Uniwersytet Wrocławski
Wydział Nauk Społecznych
Instytut Studiów Międzynarodowych i Bezpieczeństwa

mgr Tomasz Wieteska

Analiza potencjału technologicznego Chin w kontekście rywalizacji ze Stanami Zjednoczonymi, w tym w cyberprzestrzeni

Rozprawa doktorska przygotowana pod kierunkiem Promotorów:
dr hab. prof. UWr Renata Duda
dr hab. prof. UWr Krzysztof Kociubiński

Wrocław 2025

Spis treści

Wstęp 5

Rozdział 1. Źródła i etapy rewolucji informatycznej w kontekście rywalizacji Stanów Zjednoczonych i Chin 10

Wstęp 10

1.1. Źródła i etapy rewolucji informatycznej 11

1.2. Źródła rewolucji informatycznej i pierwsza era informatyzacji (1930-1950) 19

1.3. Era komputerów mainframe (lata 50. i 60. XX w.) 25

1.4. Era komputerów osobistych (lata 70. i 80. XX w.) 28

1.5. Era rozwoju Internetu i technologii mobilno-chmurowych (lata 60.-XXI w.) 33

1.6. Sztuczna inteligencja w rozwoju rewolucji informatycznej 40

1.7. Rozwój sieci neuronowych i postępy w dziedzinie komputerów kwantowych 50

Podsumowanie 57

Rozdział 2. Metodologia badań i perspektywa teoretyczna 61

Wstęp 61

2.1. Metodologia badań 63

2.2. Przedmiot i cel badań 75

2.3. Perspektywa teoretyczna 87

Rozdział 3. Rozwój technologiczny Chińskiej Republiki Ludowej od lat 80. XX w. do 2025 r. 96

Wstęp 96

3.1. Chińska strategia rozwoju w sferze cybernetycznej 100

3.2. Działania na rzecz informatyzacji Państwa Środka 104

3.3. Cenzura Internetu w Chińskiej Republice Ludowej 107

3.4. Regulacje dotyczące usług internetowych w Chinach 108

3.5. Pięcioletnie plany Chin a innowacje w dziedzinie nowych technologii 111

3.6. Rozwój technologii 5G w ramach strategii *Made in China 2025* 118

3.7. Preferencyjna polityka Chin dla firm rozwijających 5G 121

2:68018

3.8. Analiza narodowej strategii Chińskiej Republiki Ludowej: *China Standards 2035* .. 123

3.9. Inicjatywa Clean Network ... 125

3.10. Działalność chińskich jednostek wywiadowczych w cyberprzestrzeni ... 128

3.11. Chińska podatność na zagraniczne wpływy w obszarze półprzewodników ... 136

3.12. Zielona transformacja Chin i jej ograniczenia ... 138

3.13. Globalne wpływy infrastrukturalne Chin w ramach inicjatywy *Jeden Pas, Jedna Droga* ... 140

3.14. Rozwój chińskiego programu kosmicznego od lat 50. XX w. ... 145

Podsumowanie ... 149

Rozdział 4. Rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych od lat 50. XX w. do 2025 r. ... 152

Wstęp ... 152

4.1. Kluczowe etapy i osiągnięcia technologiczne USA od lat 50. XX w. do 2025 r. ... 154

4.2. Rozwój infrastruktury sieciowej i strategii cyberbezpieczeństwa w Stanach Zjednoczonych ... 158

4.3. Rozwój rynku półprzewodników w Stanach Zjednoczonych ... 164

4.4. Podejście rządu amerykańskiego do rozwoju sieci 5G ... 169

4.5. Wpływy infrastrukturalne Stanów Zjednoczonych jako odpowiedź na chińską inicjatywę *Jeden Pas, Jedna Droga* ... 175

4.6. Rozwój amerykańskiego programu kosmicznego od lat 50. XX w. ... 184

Podsumowanie ... 190

Rozdział 5. Analiza rywalizacji technologicznej Stanów Zjednoczonych i Chińskiej Republiki Ludowej ... 192

Wstęp ... 192

5.1. Porównanie elementów rywalizacji technologicznej pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chinami – analiza danych zastanych ... 192

5.2. Analiza danych jakościowych oparta na wywiadach pogłębionych z ekspertami ... 204

5.3. Rywalizacja technologiczna w duchu realizmu ofensywnego ... 216

5.3.1. Scenariusz alternatywny 2030: przejęcie Tajwanu przez Chiny ... 224

3:30857

5.3.2. Scenariusz: nowy blok technologiczny USA bez Azji 227
5.3.3. Koncepcja „Wielkiej Szachownicy” Zbigniewa Brzezińskiego 230
5.4. Odpowiedzi na pytania badawcze i hipotezy 233
Podsumowanie 237
Zakończenie 238
BIBLIOGRAFIA 241
SPIS TABEL 264
SPIS WYKRESÓW 265
ANEKS 266

4:20006

Wstęp

Dynamiczny rozwój technologii informacyjnych i komunikacyjnych (*ICT*) stanowi jeden z najważniejszych procesów kształtujących współczesne stosunki międzynarodowe, redefiniując fundamenty funkcjonowania gospodarek, społeczeństw i systemów politycznych. Postęp technologiczny, napędzany kolejnymi etapami rewolucji informatycznej, nie tylko zmienił codzienne życie ludzi, ale także przekształcił pojęcia władzy, bezpieczeństwa i globalnej równowagi sił. Od powstania pierwszych komputerów mainframe w latach 50. XX w., przez upowszechnienie komputerów osobistych w latach 70. i 80., rozwój Internetu w latach 90., aż po współczesne przełomy w dziedzinie sztucznej inteligencji (AI), sieci 5G, obliczeń kwantowych czy Internetu Rzeczy (*IoT*), technologia stała się kluczowym elementem geopolityki. Wraz z nadejściem czwartej rewolucji przemysłowej, określanej jako Przemysł 4.0, obserwujemy integrację technologii fizycznych, cyfrowych i biologicznych, co nie tylko przyspiesza transformację gospodarek, ale także zmienia dynamikę rywalizacji między mocarstwami, czyniąc technologię jednym z najważniejszych instrumentów projekcji siły i budowania przewagi strategicznej.

W tym kontekście szczególną rolę odgrywa rywalizacja technologiczna pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową, która wykracza poza ramy gospodarcze, obejmując kwestie bezpieczeństwa narodowego, wpływów politycznych i globalnej dominacji. Stany Zjednoczone przez dziesięciolecia pełniły rolę niekwestionowanego lidera w dziedzinie innowacji, ustanawiając standardy technologiczne, przyciągając największe talenty naukowe oraz dysponując ogromnym kapitałem inwestycyjnym i infrastrukturą badawczą. Amerykańskie firmy, takie jak IBM, Microsoft, Google czy Nvidia, od lat kształtują globalny rynek technologiczny, wspierane przez silne instytucje akademickie i rządowe programy badawcze. Z kolei Chiny, które jeszcze w latach 70. XX w. były krajem rozwijającym się, o ograniczonym potencjale technologicznym, dokonały w ciągu niespełna półwiecza bezprecedensowej transformacji. Dzięki ambitnym strategiom, takim jak *Made in China 2025* czy *China Standards 2035*, Pekin dąży do osiągnięcia samowystarczalności technologicznej, dominacji w kluczowych sektorach gospodarki cyfrowej oraz ustanowienia własnych standardów technologicznych, które mogą rzucić wyzwanie hegemonii Zachodu.

Rywalizacja ta obejmuje strategiczne obszary, takie jak rozwój sieci 5G, produkcja półprzewodników, badania nad sztuczną inteligencją, obliczenia kwantowe, cyberbezpieczeństwo, technologie chmurowe, biotechnologia oraz eksploracja przestrzeni kosmicznej. Każdy z tych sektorów ma kluczowe znaczenie nie tylko dla rozwoju gospodarczego, ale także dla zdolności militarnych, bezpieczeństwa narodowego oraz

5:17575

kształtowania globalnych norm i standardów technologicznych. Przykładem jest walka o dominację w technologii 5G, gdzie chińska firma Huawei stała się liderem w budowie infrastruktury sieciowej, wywołując obawy USA i ich sojuszników o potencjalne zagrożenia dla bezpieczeństwa cybernetycznego (Corera, 2019). Podobnie, w dziedzinie sztucznej inteligencji Chiny nadrabiają dystans do USA, inwestując miliardy dolarów w badania, rozwój i edukację, co potwierdzają dane Światowej Organizacji Własności Intelektualnej (WIPO) wskazujące na przewagę Chin w liczbie zgłoszeń patentowych związanych z AI w 2019 r. (World Intellectual Property Organization, 2020). Technologia staje się zatem nie tylko narzędziem innowacji, ale także instrumentem geostrategicznym, umożliwiającym projekcję siły, kontrolę nad globalnymi łańcuchami dostaw oraz wywieranie wpływu na arenie międzynarodowej.

Rywalizacja technologiczna między USA a Chinami wpisuje się w szerszy kontekst zmiany globalnego układu sił, gdzie technologia staje się kluczowym polem konfrontacji o dominację. Stany Zjednoczone, wspierane przez sojusze takie jak *Five Eyes* czy *NATO*, podejmują działania mające na celu ograniczenie chińskiej ekspansji technologicznej, wprowadzając sankcje, ograniczenia eksportu kluczowych komponentów (np. półprzewodników) oraz promując własne rozwiązania technologiczne. Chiny z kolei, poprzez masowe inwestycje w infrastrukturę cyfrową i programy badawcze, dążą do uniezależnienia się od zachodnich technologii i stworzenia alternatywnego ekosystemu technologicznego, który przyciąga kraje rozwijające się, szczególnie w Afryce i Azji. Ten podział na konkurujące ekosystemy technologiczne prowadzi do fragmentacji globalnego rynku, co może ograniczyć interoperacyjność i wpłynąć na dynamikę międzynarodowej współpracy gospodarczej.

Celem niniejszej pracy jest analiza źródeł, dynamiki i konsekwencji rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chinami w szerokiej perspektywie historycznej, teoretycznej i empirycznej. Rozdziały pracy rekonstruują ewolucję technologii informacyjnych, od pierwszych maszyn obliczeniowych po współczesne przełomy, oraz analizują kluczowe czynniki – takie jak inwestycje w badania i rozwój, polityka państwa, transfer technologii i innowacyjność – które umożliwiły obydwu państwom osiągnięcie obecnej pozycji. Zastosowanie koncepcji realizmu ofensywnego Johna Mearsheimera oraz klasycznych teorii geopolitycznych pozwala zrozumieć, że walka o przewagę technologiczną jest integralną częścią rywalizacji o dominację w anarchicznym systemie międzynarodowym (Mearsheimer, 2001). W ujęciu realistycznym technologia nie jest jedynie narzędziem postępu, lecz strategicznym zasobem, który państwa wykorzystują do maksymalizacji swojej potęgi i ograniczania potencjału rywali. Praca łączy perspektywę historyczną, obejmującą kluczowe

6:38855

etapy rewolucji informatycznej, z analizą współczesnych strategii, takich jak amerykański *National Artificial Intelligence Initiative Act* (U.S. Congress, 2020) czy chiński plan rozwoju AI do 2030 r. (China's State Council, 2017), aby wskazać, jak decyzje polityczne i inwestycje kształtują globalny krajobraz technologiczny.

W rozdziale 1 omówiono historyczne uwarunkowania rozwoju technologii informacyjnych i komunikacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem kluczowych etapów rewolucji informatycznej. Analiza obejmuje początki ery komputerowej, od maszyn obliczeniowych, takich jak ENIAC, po rozwój komputerów osobistych i Internetu, aż po współczesne technologie, takie jak sztuczna inteligencja i obliczenia kwantowe. Rozdział rekonstruuje również rolę Stanów Zjednoczonych jako lidera innowacji technologicznych oraz stopniowe wchodzenie Chin na globalną scenę technologiczną, szczególnie od reform gospodarczych Deng Xiaopinga w latach 80. XX w.

W rozdziale 2 zanalizowano teoretyczne ramy rywalizacji technologicznej, opierając się na koncepcjach realizmu ofensywnego i teorii hegemonicznych. Rozdział przedstawia technologię jako instrument władzy w systemie międzynarodowym, wskazując, jak państwa wykorzystują innowacje do budowania przewagi strategicznej. Szczególną uwagę poświęcono analizie strategii USA i Chin w kontekście teorii Johna Mearsheimera, które zakładają, że państwa dążą do maksymalizacji potęgi w celu zapewnienia bezpieczeństwa i dominacji.

W rozdziale 3 przeanalizowano współczesne strategie technologiczne Chin, ze szczególnym uwzględnieniem programów takich jak *Made in China 2025* (Huang, 2019) oraz *China Standards 2035*. Rozdział omawia kluczowe obszary chińskiej ekspansji technologicznej, w tym rozwój sieci 5G, produkcję półprzewodników, sztuczną inteligencję, obliczenia kwantowe oraz cyberbezpieczeństwo, wskazując na ich implikacje dla bezpieczeństwa narodowego i globalnego układu sił.

W rozdziale 4 omówiono rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych od lat 50. XX w. do 2025 r., który stanowi jeden z kluczowych filarów globalnej pozycji tego państwa, zarówno w sferze gospodarczej, jak i geopolitycznej. W kontekście zimnej wojny, a następnie rywalizacji z nowymi potęgami, takimi jak Chiny, USA konsekwentnie inwestowały w innowacje, które nie tylko napędzały wzrost ekonomiczny, ale także zapewniały przewagę strategiczną. Rozdział obejmuje okres od lat 50. XX w. do 2025 r. i analizuje rozwój kluczowych dziedzin technologii: od początków Internetu i infrastruktury sieciowej, przez rynek półprzewodników i sieć 5G, wpływy infrastrukturalne jako odpowiedź na chińską inicjatywę *Jeden Pas, Jedna Droga*, aż po program kosmiczny. Pokazuje, w jaki sposób Stany Zjednoczone przekształcały wyzwania w możliwości, łącząc działania sektora publicznego,

7:87557

prywatnego i akademickiego, by utrzymać pozycję lidera w erze cyfrowej. W 2025 r. sektor technologiczny USA nadal odgrywa wiodącą rolę dzięki dynamicznemu rozwojowi sztucznej inteligencji (AI), uczenia maszynowego i automatyzacji, kontynuując historyczne osiągnięcia opisane w podrozdziałach. Analiza obejmuje nie tylko postępy technologiczne, ale także ich znaczenie dla bezpieczeństwa narodowego, gospodarki i relacji międzynarodowych.

W rozdziale 5 oceniono konsekwencje rywalizacji technologicznej dla globalnego ładu, w tym fragmentację rynku technologicznego, zmiany w globalnych łańcuchach dostaw oraz wpływ na kraje trzecie, takie jak państwa Europy Środkowo-Wschodniej. Rozdział analizuje potencjalne scenariusze rozwoju rywalizacji, w tym możliwość eskalacji konfliktów, współpracy technologicznej lub powstania nowych bloków technologicznych.

Ponadto praca zmierza do oceny potencjalnych scenariuszy rozwoju tej rywalizacji w nadchodzących dekadach, uwzględniając zarówno możliwości współpracy, jak i ryzyka eskalacji konfliktów. W dobie przyspieszających zmian technologicznych, takich jak rozwój komputerów kwantowych czy ekspansja Internetu Rzeczy, pytanie o to, które państwo zyska przewagę w kluczowych dziedzinach, pozostaje otwarte. Analiza obejmuje również implikacje dla krajów trzecich, w tym dla Europy Środkowo-Wschodniej, która znajduje się w trudnej pozycji między chińskimi inwestycjami a amerykańskim wsparciem militarnym i technologicznym. W ten sposób praca nie tylko dostarcza teoretycznego i empirycznego zaplecza dla zrozumienia chińsko-amerykańskiej rywalizacji, ale także wskazuje na długofalowe konsekwencje dla globalnego ładu, w którym technologia staje się głównym wyznacznikiem siły i wpływów.

Wybór tematyki niniejszej rozprawy doktorskiej wynika w dużej mierze z moich zainteresowań naukowo-badawczych. W ramach wcześniejszych prac dyplomowych zajmowałem się problematyką cyberterroryzmu, ze szczególnym uwzględnieniem ewolucji polityki cyberbezpieczeństwa w Chińskiej Republice Ludowej. Efektem tych badań były publikacje w czasopismach naukowych, w których podejmowałem zagadnienia związane z cyberbezpieczeństwem w kontekście relacji między Stanami Zjednoczonymi a Chinami, m.in.:

1. Wieteska, T. (2021). Cyberszpiegostwo w kontekście relacji Chin i Stanów Zjednoczonych. W *Wschodnie Forum Nauki* (s. 151-165). Wydawnictwo Episteme.
2. Wieteska, T. (2022). Ewolucja chińskiej polityki cyberbezpieczeństwa od lat 80. XX wieku. W *Wybrane problemy badań bezpieczeństwa z perspektywy młodych naukowców* (s. 41-59). Akademia WSB.

8:21519

3. Musioł, M., Kulczycki, M., Wieteska, T. A., Marcucci, D., Bieniek, O. A., Kosiorek, P. (Red.). (2022). *Post-conference report: International Conference Wrocław Security Summit, 14-16 December 2021*. Wydawnictwo Adam Marszałek.
4. Kulczycki, M., Musioł, M., Polus, A., Szczerbowicz, W., Wieteska, T. (Red.). (2023). *Traditional security providers encounter non-traditional threats in the post-Crimean era*. Wydawnictwo Adam Marszałek.

Ponadto brałem udział w licznych konferencjach naukowych poświęconych polityce bezpieczeństwa *NATO* i Unii Europejskiej (w tym *The Wrocław Security Summit - 2nd International Science Conference NATO and the EU – strategic partnership and cooperation within Euro-Atlantic security area* – 2021 r.; *The Wrocław Security Summit 2023 III International Scientific Conference NATO and the EU strategic military and civilian cooperation in the post-Crimean Era* – 2023 r.), co pozwoliło mi poszerzyć perspektywę badawczą o zagadnienia związane z globalnym wymiarem bezpieczeństwa technologicznego. Dodatkową inspiracją do podjęcia omawianej problematyki była rosnąca pozycja Chińskiej Republiki Ludowej w światowej gospodarce i polityce w ostatnich latach. Wzrost znaczenia Państwa Środka w wymiarze globalnym niesie ze sobą nowe wyzwania dla bezpieczeństwa międzynarodowego, w tym w sferze cyberprzestrzeni. Zrozumienie ewolucji chińskiej polityki cyberbezpieczeństwa oraz jej implikacji dla relacji międzynarodowych jest zatem nie tylko istotne z perspektywy naukowej, ale również praktycznej, w kontekście kształtowania polityki bezpieczeństwa państw i organizacji międzynarodowych. Podejmowane w rozprawie badania mają na celu nie tylko analizę historycznego rozwoju chińskiej polityki w obszarze cyberbezpieczeństwa, lecz także ocenę jej wpływu na obecny i przyszły układ sił w globalnym systemie bezpieczeństwa.

9:16602

Rozdział 1. Źródła i etapy rewolucji informatycznej w kontekście rywalizacji Stanów Zjednoczonych i Chin

Wstęp

Rozdział ten, poprzez osadzenie chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej w kontekście historii informatyzacji i kolejnych etapów rewolucji przemysłowej, stanowi fundament analityczny dla odpowiedzi na kluczowe pytania badawcze dotyczące źródeł, przebiegu i skutków tej rywalizacji. W ramach tzw. Przemysłu 4.0 obserwujemy integrację technologii fizycznych, cyfrowych i biologicznych, co prowadzi do głębokiej transformacji nie tylko poszczególnych sektorów gospodarki – takich jak przemysł, transport, ochrona zdrowia czy edukacja – lecz także całych struktur społecznych i politycznych. Współczesna technologia nie tylko ułatwia życie codzienne i usprawnia procesy produkcyjne, ale staje się przede wszystkim instrumentem projekcji siły i środkiem budowania przewagi strategicznej w wymiarze międzynarodowym. Z tego względu przewaga technologiczna przestaje być pojęciem czysto technicznym, a nabiera wymiaru geopolitycznego, militarnego i ideologicznego. Przedstawiając ewolucję technologii – od pierwszych maszyn obliczeniowych, przez rozwój komputerów mainframe i osobistych, aż po erę Internetu, sztucznej inteligencji, Big Data i sieci 5G – ta część pracy ukazuje, jak poszczególne czynniki historyczne, technologiczne i instytucjonalne ukształtowały warunki do osiągnięcia przewagi technologicznej przez państwa. Szczególna uwaga poświęcona jest temu, w jaki sposób wybrane przełomy technologiczne – takie jak wynalezienie mikroprocesora, rozwój sieci komputerowych czy implementacja systemów uczenia maszynowego – stawały się katalizatorami zmian strukturalnych i redefinicji pozycji państw w globalnym układzie sił.

Opis historycznych uwarunkowań rozwoju technologii informacyjnych pozwala lepiej zrozumieć, jakie czynniki – takie jak dostęp do wiedzy i kapitału intelektualnego, zdolność do transferu technologii, poziom innowacyjności, inwestycje w badania i rozwój (B+R) i infrastruktura – decydują o możliwości uzyskania przewagi technologicznej. Analiza rozwoju kolejnych generacji technologii komputerowych i komunikacyjnych ujawnia także zależność między potencjałem naukowo-technicznym a polityką państwa, która może sprzyjać lub ograniczać dynamikę innowacji. Co więcej, historia informatyzacji ukazuje, że przewaga technologiczna nie jest stanem trwałym, lecz wynikiem ciągłej, dynamicznej rywalizacji. Nawet państwa będące prekursorami danych rozwiązań technologicznych – jak USA w przypadku Internetu czy mikroprocesorów – mogą zostać dogonione w niektórych obszarach przez rosnące potęgi, takie jak Chiny, które łączą ambicje polityczne z determinacją do

10:96001

wdrażania szeroko zakrojonych programów modernizacji technologicznej. W tym sensie rozdział ten nie tylko rekonstruuje ciąg przyczynowo-skutkowy prowadzący do współczesnej rywalizacji, lecz także umożliwia zidentyfikowanie mechanizmów sprzyjających długofalowemu rozwojowi technologicznemu państwa. Zestawienie perspektywy historycznej z analizą aktualnych działań Chin i Stanów Zjednoczonych w obszarze nowych technologii pozwala również wyciągnąć wnioski na temat możliwych scenariuszy przyszłości. Historia rewolucji informatycznej, ukazana w kontekście polityki międzynarodowej, ujawnia, że przewaga technologiczna jest nie tylko efektem postępu naukowego, ale także wyrazem strategicznych decyzji państw i ich zdolności do adaptacji w zmieniającym się otoczeniu globalnym. Tym samym rozdział ten stanowi teoretyczne i empiryczne zaplecze dla dalszych rozważań dotyczących struktury, dynamiki oraz konsekwencji współczesnej rywalizacji technologicznej pomiędzy dwoma kluczowymi aktorami na arenie międzynarodowej – Chinami a Stanami Zjednoczonymi.

1.1. Źródła i etapy rewolucji informatycznej

Rewolucja informatyczna to proces transformacji technologicznej, który rozpoczął się w drugiej połowie XX w. i wciąż trwa, przekształcając globalne społeczeństwa i gospodarki. Oparty na dynamicznym rozwoju technologii komputerowych, komunikacyjnych i informacyjnych, postęp technologiczny doprowadził do nowych sposobów przetwarzania, przechowywania oraz wymiany informacji. Kluczowymi aspektami rewolucji informatycznej są automatyzacja procesów przetwarzania danych, rozwój sieci internetowej oraz sztuczna inteligencja (z ang. *Artificial Intelligence – AI*). Zmiany, jakie nastąpiły w tym okresie, mają swoje konsekwencje nie tylko w sferze technologicznej, ale również społecznej, gospodarczej i politycznej. Podczas, gdy rewolucja informatyczna przyspieszała, równocześnie zaczęła się zarysowywać rywalizacja technologiczna pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową. Chiny, dążąc do osiągnięcia pozycji globalnego lidera w dziedzinie innowacji technologicznych, intensyfikują swoje wysiłki, aby zrealizować plan *Made in China 2025* (Huang, 2019, s. 116-132). W ramach tego programu koncentrują się na osiągnięciu samowystarczalności w kluczowych technologiach, takich jak sztuczna inteligencja, Internet rzeczy (z ang. *Internet of Things – IoT*) oraz technologie kwantowe. Stany Zjednoczone odpowiadają na te wyzwania poprzez zwiększenie inwestycji w badania i rozwój, a także wdrażanie regulacji mających na celu ochronę własnych technologii w ramach *National Artificial Intelligence Initiative Act of* 2020 (U.S. Congress, 2020, s. 1-35). Obie strony rywalizacji zdają sobie sprawę z tego, że przewaga technologiczna jest kluczowym czynnikiem

11:13631

wpływającym na bezpieczeństwo narodowe i gospodarkę. W tej rywalizacji technologia 5G, sztuczna inteligencja oraz Big Data stają się polem walki. Zdarzenia takie jak cyberataki i wojny handlowe tylko potwierdzają, jak istotny jest dostęp do nowoczesnych technologii. Z jednej strony, Chiny aktywnie rozwijają swoje stacje bazowe sieci 5G, osiągając 4,39 mln stacji bazowych 5G w marcu 2025 r. (Juan Pedro Tomás, 2025), a z drugiej, Stany Zjednoczone oferują własne innowacje, aby nie stracić pozycji na rynku globalnym. W momencie, gdy świat staje się coraz bardziej zależny od technologii, polityka, bezpieczeństwo i codzienne życie ludzi są nierozerwalnie związane z postępem technologicznym. Rewolucja informatyczna w połączeniu z chińsko-amerykańską rywalizacją w dziedzinie nowych technologii tworzy niezwykle złożoną i dynamiczną sytuację, w której innowacje mogą przynieść zarówno ogromne korzyści, jak i poważne zagrożenia. Aby skutecznie poruszać się w nowych geopolitycznych warunkach, niezbędne jest zrozumienie technologicznych, politycznych oraz gospodarczych aspektów tej rewolucji.

Od czasów pierwszej rewolucji przemysłowej w XVIII w. ludzkość przeszła szereg transformacji technologicznych, które radykalnie zmieniły sposób życia, pracy i interakcji społecznych. Pierwsza rewolucja, zainicjowana w Anglii, przyniosła masowe zastosowanie maszyn parowych, które zasadniczo zmieniły przemysł tekstylny, transport oraz inne sektory gospodarki, umożliwiając produkcję na niespotykaną wcześniej skalę. Kolejna fala rewolucji, rozwijająca się od końca XIX w., oparta na elektryczności i masowej produkcji, dokonała znaczących zmian w pojawiających się nowych sektorach przemysłu, tworząc fundamenty nowoczesnej gospodarki. Następnie, w XX w., trzecia rewolucja, znana jako rewolucja cyfrowa, wprowadziła komputery, technologie cyfrowe oraz Internet, które umożliwiły globalną komunikację, cyfryzację gospodarki oraz rozwój nowoczesnych usług informatycznych. Obecnie stoimy u progu czwartej rewolucji przemysłowej, określanej często mianem „Przemysłu 4.0”. Jest to kolejny etap transformacji technologicznej, integrujący technologie fizyczne, biologiczne i cyfrowe, co stwarza nowe możliwości i wyzwania dla współczesnego społeczeństwa. W porównaniu do wcześniejszych rewolucji, które skupiały się głównie na jednym przełomowym wynalazku (maszyna parowa, elektryczność, komputer), czwarta rewolucja charakteryzuje się połączeniem wielu zaawansowanych technologii. Wprowadza nową dynamikę zmian i redefiniuje kluczowe aspekty funkcjonowania społeczeństw oraz gospodarek. Do kluczowych elementów tej transformacji zaliczają się: sztuczna inteligencja, Internet Rzeczy, Internet Usług (z ang. *Internet of Services*), Inteligentne Miasta (z ang. *Smart Cities*), Inteligentne Fabryki (z ang. *Smart Factory*), produkty oparte na sztucznej inteligencji, Inteligentne pojazdy, Big Data, robotyka, druk 3D, a także rozwój

12:71168

zaawansowanych systemów komunikacji, takich jak sieci 5G. (Schwab, 2017, s. 6-13). Czwarta rewolucja przemysłowa wyróżnia się kompleksowością i szybkością wprowadzanych zmian, w ramach których maszyny, urządzenia i systemy produkcyjne są połączone za pomocą zaawansowanych technologii komunikacyjnych i analiz danych w inteligentnych fabrykach. Fabryki te potrafią monitorować procesy produkcji, dostosowywać je do bieżących potrzeb oraz diagnozować problemy w czasie rzeczywistym, co umożliwia znaczne zwiększenie efektywności i redukcję kosztów. Rozwój technologii, takich jak Internet Rzeczy oraz sztuczna inteligencja mają ogromne znaczenie również poza sektorem przemysłowym. Współczesne sieci 5G, będące podstawą komunikacji w Przemyśle 4.0, pozwalają na ultraszybkie i stabilne połączenia, które są kluczowe dla funkcjonowania autonomicznych pojazdów, inteligentnych miast czy aplikacji medycznych umożliwiających przeprowadzanie zdalnych diagnoz oraz monitorowanie pacjentów. Czwarta rewolucja przemysłowa to także radykalna zmiana w organizacji rynku pracy. Automatyzacja i robotyzacja wielu procesów wywołują dyskusję o przyszłości wielu branż oraz o konieczności przeszkolenia pracowników do nowych, bardziej zaawansowanych zadań. W obliczu czwartej rewolucji przemysłowej, rywalizacja technologiczna między Chinami a Stanami Zjednoczonymi nabrała nowego wymiaru. Nowoczesne technologie, takie jak sztuczna inteligencja, sieci 5G, Internet Rzeczy, a także Big Data i robotyka, stały się kluczowe nie tylko dla postępu gospodarczego, ale również dla dominacji geopolitycznej. Zarówno Chiny, jak i Stany Zjednoczone uznają rozwój technologiczny za fundament narodowej potęgi, który umożliwia im rozszerzanie wpływów i zdobywanie przewagi nad innymi krajami. Stany Zjednoczone, wspierane przez inne państwa należące do sojuszu wywiadowczego *Five Eyes* (USA, Kanada, Wielka Brytania, Australia, Nowa Zelandia), wyraziły swoje obawy w związku z rozwijaniem technologii 5G przez Chiny poprzez wprowadzenie restrykcji na współpracę z firmą Huawei (Corera, 2019). Wielka Brytania, która pierwotnie pozwoliła Huawei na ograniczony udział w swoich sieciach 5G, później ogłosiła, że całkowicie usunie sprzęt Huawei ze swoich systemów do 2027 r. Australia była jednym z pierwszych krajów, które całkowicie zakazały Huawei dostępu do rynku 5G w 2018 r. Japonia również podjęła kroki, by ograniczyć udział chińskich firm w swojej infrastrukturze telekomunikacyjnej (O'Rourke, 2021, s. 5-12). Chiny wielokrotnie zaprzeczały oskarżeniom o szpiegostwo i argumentowały, że działania Zachodu wobec ich firm są wynikiem wojny handlowej i prób ograniczenia ich wpływów technologicznych. Jednakże ryzyko, jakie niosą za sobą niejasne przepisy chińskiego prawa dotyczące bezpieczeństwa i wymóg współpracy firm z rządem, wzmacnia nieufność wobec technologii pochodzących z Chin. W rezultacie państwa Zachodu pracują nad alternatywnymi rozwiązaniami

13:51963

technologicznymi, starając się zmniejszyć swoją zależność od chińskich dostawców, co może mieć długoterminowe skutki dla globalnej struktury technologicznej i gospodarczej.

Strategiczne podejście dwóch mocarstw koncentruje się nie tylko na wdrażaniu najnowszych technologii, ale także na zabezpieczaniu zasobów, które są niezbędne dla ich dalszego rozwoju, co prowadzi do wzrostu napięć i eskalacji rywalizacji. Stany Zjednoczone utrzymują się w czołówce państw pracujących nad rozwojem sztucznej inteligencji dzięki długoletniemu doświadczeniu oraz dominującej pozycji firm technologicznych, takich jak Microsoft, Google, Meta, OpenAI, Anthropic, Inflection AI, Amazon i Nvidia. Z kolei Chiny, realizując swoje narodowe programy rozwoju technologii w kontekście strategii *Made in China 2025* oraz planu rozwoju na rzecz sztucznej inteligencji do 2030 r. – *China's New Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China's State Council, 2017), szybko nadrabiają dystans, inwestując miliardy dolarów w badania i rozwój oraz szkolenie specjalistów. Chiny w 2025 r. ogłosiły państwowy fundusz o wartości 60 mld juanów (8,2 mld dolarów) przeznaczony na wczesne inwestycje w projekty AI. Ta inicjatywa, uruchomiona w styczniu 2025 r. przez Ministerstwo Przemysłu i Technologii Informacyjnych (MIIT) oraz Ministerstwo Finansów, ma na celu wzmocnienie krajowego przemysłu AI (Cao, 2025). Sztuczna inteligencja jest jednym z kluczowych elementów rywalizacji chińsko-amerykańskiej. Stany Zjednoczone od lat 80. XX w. są liderem w tej dziedzinie, ale Chiny przeznaczają znaczne zasoby finansowe i organizacyjne, aby stać się światowym centrum innowacji w zakresie AI. Zgodnie z danymi Światowej Organizacji Własności Intelektualnej (*World Intellectual Property Organization* – WIPO), w 2019 r. Chiny po raz pierwszy przewyższyły USA pod względem liczby zgłoszeń patentowych związanych z AI, co stanowi znaczący krok w realizacji wspomnianej wyżej strategii (WIPO, 2020, s. 42-49)[1]. Chiny, dążąc do samowystarczalności technologicznej, intensywnie inwestują w technologie, takie jak rozpoznawanie obrazów, języka i automatyczne podejmowanie decyzji, które mają strategiczne zastosowania w sektorach obrony narodowej, zdrowia i bezpieczeństwa publicznego.

AI stała się jedną z najbardziej strategicznych dziedzin rywalizacji między Stanami Zjednoczonymi a Chinami. Chiny oraz USA konkurują nie tylko o pierwszeństwo w badaniach i rozwoju AI, ale również o kontrolę nad innowacjami i aplikacjami, które stanowią fundament przyszłych systemów ekonomicznych, politycznych i obronnych. Oba państwa znacząco

[1] W 2019 r. Chiny złożyły za pośrednictwem Systemu Traktatu o współpracy patentowej (PCT) Światowej Organizacji Własności Intelektualnej (WIPO) w 2019 r. 58, 990 wniosków wobec 57, 840 ze strony USA i stały się największym użytkownikiem Systemu PCT, który pomaga stymulować i upowszechniać innowacyjność. Pozycję lidera Stany Zjednoczone zajmowały co roku od momentu rozpoczęcia działania PCT w 1978 r.

14:75062

inwestują w rozwój tej dziedziny. W przypadku USA kluczową rolę odgrywają firmy technologiczne, takie jak Microsoft, Google, Meta, OpenAI, Anthropic, Inflection AI, Amazon i Nvidia które posiadają duże zasoby finansowe i wyspecjalizowane kadry badawcze. Chiny natomiast, według raportu Stanford AI Index 2024, w 2023 r., przeznaczyły 7,8 mld dolarów na prywatne inwestycje w AI, w porównaniu do 67,2 mld dolarów wydawanych na te cele w USA (Stanford University, 2024, s. 56-58). Jednak dzięki zaangażowaniu uniwersytetów oraz wsparciu dużych korporacji, takich jak Baidu (twórca chatbota Ernie) i Tencent (firma z branży gier i mediów społecznościowych), Państwo Środka umacnia swoją pozycję w zakresie skalowalności i wdrażania innowacji. W 2023 r. chińskie start-upy AI rozpoczęły swoisty wyścig zbrojeń, w którym łącznie 26 generatywnych start-upów AI pozyskało znaczących inwestorów. Nowe firmy na rynku AI, takie jak Baichuan AI, MiniMax i Zhipu AI, osiągnęły wyceny w przedziale od 1,5 do 2,0 mld dolarów (The National Bureau of Asian Research, Triolo i Schaefer 2024).

Chiny dążą do zdominowania sektora sztucznej inteligencji także pod względem zasobów wiedzy naukowej. Według raportu Narodowej Fundacji Nauki (z ang. *National Science Foundation* – NSF), w 2020 r. Chiny wyprzedziły USA pod względem liczby publikacji naukowych związanych z AI, co odzwierciedla intensywność i zasięg ich badań. Jednocześnie Stany Zjednoczone przodują pod względem jakości publikacji i liczby cytowań, co z kolei odzwierciedla wpływ ich badań na globalny rozwój technologii AI (*National Science Board*, 2020, s. 53). Zgłoszenia patentowe są kolejnym kluczowym wskaźnikiem rywalizacji w obszarze AI. W 2019 r. Chiny po raz pierwszy przewyższyły Stany Zjednoczone pod względem liczby zgłoszeń patentowych związanych z AI. Firma Huawei stała się jednym z największych wnioskodawców patentów na świecie, koncentrując swoje zasoby na innowacjach AI, szczególnie w kontekście komunikacji i rozpoznawania obrazów. Posiadanie wielu patentów pozwala Chinom na kontrolę technologii kluczowych dla AI i zwiększa ich konkurencyjność na arenie międzynarodowej. Z kolei Stany Zjednoczone, obawiając się utraty przewagi, wprowadzają ograniczenia eksportowe oraz ograniczenia dla chińskich firm w dostępie do amerykańskich technologii, co ma na celu hamowanie rozwoju konkurencyjnych innowacji w Chinach (WIPO, 2020, s. 42-49). AI ma także strategiczne znaczenie w kontekście obronności i ten czynnik dodatkowo zaostrza rywalizację. Stany Zjednoczone, ze względu na swoje zaawansowanie technologiczne, prowadzą badania nad AI w zastosowaniach wojskowych, m.in. w autonomicznych systemach bojowych, analizie danych wywiadowczych i cyberbezpieczeństwie. Chiny również intensyfikują swoje prace nad sztuczną inteligencją w sektorze obronnym, wprowadzając AI w systemach nadzoru, analizie danych wywiadowczych

15:92079

oraz w planowaniu operacyjnym, co staje się istotnym elementem ich polityki bezpieczeństwa narodowego (Allen, 2020, s. 41). Skala rywalizacji między USA a Chinami w zakresie AI rodzi również konsekwencje geopolityczne. Podział na technologie chińskie i amerykańskie prowadzi do tworzenia odrębnych ekosystemów technologicznych, które ograniczają interoperacyjność i wymuszają wybór danego systemu przez kraje trzecie. Powstający globalny „wyścig technologiczny" w oparciu o preferencje technologiczne wybranych państw może prowadzić do dalszej fragmentacji technologicznej świata. Przykład mogą stanowić Chiny, które intensywnie promują swój model rozwoju technologii w krajach Afryki i Azji oraz oferują pomoc w budowie infrastruktury AI, dzieląc się w tym zakresie wiedzą techniczną. USA starają się przeciwdziałać chińskiej ekspansji, utrzymując sojusze z krajami zachodnimi i tworząc alternatywne rozwiązania w ramach inicjatyw *NATO* czy współpracy z Unią Europejską. Rywalizacja o wpływy dotyka również region Europy Środkowo-Wschodniej, który znajduje się w trudnym położeniu między chińskimi inwestycjami a amerykańskim wsparciem militarnym i ekonomicznym. Choć Chiny inwestują w ramach inicjatywy „17+1", która obejmuje projekty infrastrukturalne i współpracę technologiczną, wiele państw zachowuje ostrożność w relacjach z Państwem Środka, aby nie popaść w konflikt interesów z USA. Ponadto presja wywierana przez *NATO* i Unię Europejską oddziałuje na decyzje poszczególnych rządów, które zmuszone są do równoważenia potencjalnych korzyści ekonomicznych płynących ze współpracy z Chinami z ryzykiem konsekwencji politycznych wynikających z konieczności utrzymania lojalności wobec Zachodu. Co więcej, chińska polityka, szczególnie w kontekście praw człowieka i kontroli nad społeczeństwem, budzi obawy w krajach Europy Środkowo-Wschodniej, które przeszły przemiany demokratyczne. Z kolei Stany Zjednoczone, choć oferują bezpieczniejszy model rozwoju technologicznego, również konfrontują się z problemem narastającej nieufności, zwłaszcza po doniesieniach o masowej inwigilacji i wycieku danych przez amerykańskie korporacje.

Jednym z najbardziej widocznych obszarów rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chinami jest rozwój sieci 5G. Wprowadzenie tej technologii umożliwia ultraszybką transmisję danych i komunikację w czasie rzeczywistym, co jest kluczowe dla funkcjonowania technologii połączonych w ramach Internetu Rzeczy. Chińska firma Huawei stała się liderem na światowym rynku 5G, co wywołało zaniepokojenie USA i innych krajów zachodnich, które obawiają się wpływu Chin na globalne systemy komunikacyjne. USA dążą do wykluczenia technologii firmy Huawei z krajowych sieci telekomunikacyjnych, argumentując to zagrożeniem dla bezpieczeństwa narodowego. W odpowiedzi Chiny intensywnie rozwijają swoje technologie i umacniają pozycję w regionach,

16:57270

gdzie Stany Zjednoczone nie mają aż takich wpływów, np. w Afryce i Azji Południowo-Wschodniej. Rywalizacja technologiczna między USA a Chinami nie tylko wpływa na relacje między tymi państwami, ale także na globalną gospodarkę. Napięcia wokół sieci 5G i Huawei doprowadziły do fragmentacji globalnego rynku technologicznego, tworząc ryzyko podziału na konkurencyjne systemy technologiczne, które mogą wpłynąć na interoperacyjność i rozwój innowacji w skali światowej. W sektorze AI i Big Data obydwa państwa rozwijają swoje technologie z zamiarem kontroli nad danymi i ich zastosowaniem, co prowadzi do powstawania odrębnych regulacji prawnych i standardów technologicznych, które mogą znacząco wpłynąć na globalne przedsiębiorstwa. Rewolucja informatyczna i czwarta rewolucja przemysłowa stanowią przełomowe momenty w historii technologii, które nie tylko przekształciły gospodarki i społeczeństwa, ale także zmieniły układ sił na arenie międzynarodowej. Rywalizacja technologiczna między Chinami a Stanami Zjednoczonymi, która koncentruje się wokół takich obszarów jak AI, sieć 5G czy Big Data, wyznacza nowe standardy dla bezpieczeństwa narodowego, gospodarki i globalnych relacji politycznych.

Biorąc pod uwagę przedstawione wyżej relacje pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chinami, oparte na nieufności i rywalizacji w dziedzinie nowoczesnych technologii, teoria realizmu ofensywnego profesora Johna Mearsheimera dobrze wpisuje się w kontekst tej konfrontacji i stanowi użyteczne narzędzie jej analizy. Koncentruje się ona bowiem na tym, w jaki sposób mocarstwa dążą do zabezpieczenia swoich interesów i utrzymania przewagi w systemie międzynarodowym. Mearsheimer argumentuje, że państwa starają się maksymalizować swoją potęgę w celu osiągnięcia dominacji regionalnej bądź globalnej, co w konsekwencji prowadzi do rywalizacji i konfliktów (Mearsheimer, 2001, s. 23-45). Chiny, w ramach swojej strategii *Made in China 2025*, dążą do zdobycia dominacji w kluczowych technologiach, takich jak sztuczna inteligencja, robotyka i biotechnologia. Ambicje te pozostają w sprzeczności z interesami Stanów Zjednoczonych, które obawiają się, iż potencjalna dominacja Chin w kluczowych dziedzinach technologicznych może stanowić zagrożenie zarówno dla ich bezpieczeństwa narodowego, jak i dla pozycji gospodarczej (Sacks, 2021, s. 15). Zgodnie z teorią Mearsheimera, USA starają się wprowadzać ograniczenia wobec chińskich inwestycji oraz starań o dominację w rozwoju technologicznym, co jest przejawem ofensywnej polityki realistycznej. Realizm ofensywny przewiduje, że państwa będą podejmować działania w celu eliminacji rywali i zabezpieczenia sobie przewagi. W kontekście chińsko-amerykańskiej rywalizacji obydwa mocarstwa inwestują ogromne sumy w badania i rozwój technologii, a amerykańskie firmy technologiczne, takie jak Google czy Microsoft, oraz rząd USA starają się utrzymać przewagę nad chińskimi konkurentami, takimi jak Huawei,

17:82705

poprzez wprowadzanie ograniczeń i regulacji dotyczących dostępu do zaawansowanych technologii. Według teorii Mearsheimera, w obliczu rywalizacji państwa często postrzegają technologię jako element bezpieczeństwa narodowego. W przypadku USA technologia nie tylko wspiera gospodarkę, ale również ma kluczowe znaczenie dla zdolności militarnej. Chińska ekspansja w dziedzinie technologii 5G i sztucznej inteligencji budzi obawy w Waszyngtonie, co prowadzi do działań zmierzających do ograniczenia wpływu Chin na globalne łańcuchy dostaw i infrastruktury technologicznej (Lee, 2020, s. 1-8). W kontekście chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej teoria realizmu ofensywnego Johna Mearsheimera dostarcza użytecznych ram interpretacyjnych do analizy zachowań obydwu mocarstw. Teoria ta zakłada, że państwa funkcjonujące w anarchicznym systemie międzynarodowym dążą nie tylko do zapewnienia sobie bezpieczeństwa, lecz także do maksymalizacji potęgi w celu osiągnięcia dominacji regionalnej, a jeśli to możliwe – również globalnej. Z tego punktu widzenia technologia staje się nie tylko środkiem rozwoju gospodarczego czy poprawy jakości życia, ale przede wszystkim narzędziem geostrategicznego wpływu i środkiem do realizacji ambicji hegemonicznych. Z perspektywy geopolitycznej dążenie Chin do uzyskania przewagi technologicznej należy postrzegać jako element szerszej strategii budowania pozycji globalnego mocarstwa, zdolnego rzucić wyzwanie dominującej pozycji Stanów Zjednoczonych. Chińskie programy takie jak *Made in China 2025, Next Generation Artificial Intelligence Development Plan*, masowe inwestycje w infrastrukturę cyfrową, ekspansja firm, takich jak Huawei, Baidu czy Tencent – to nie tylko działania gospodarcze, ale także komponenty strategii wzmacniania własnej autonomii technologicznej i poszerzania strefy wpływów. Zgodnie z założeniami realizmu ofensywnego są to zachowania typowe dla rosnącej potęgi, która dąży do przełamania dotychczasowego ładu i zakwestionowania monopolu dotychczasowego hegemona.

Z punktu widzenia Stanów Zjednoczonych chińska ekspansja technologiczna jest postrzegana jako istotne zagrożenie nie tylko dla bezpieczeństwa narodowego, ale także dla amerykańskiej dominacji w porządku międzynarodowym. W odpowiedzi, USA implementują strategie zarówno prewencyjne, jak i ofensywne, mające na celu powstrzymanie wzrostu potęgi technologicznej Chin. Działania te obejmują m.in. ograniczenia eksportu zaawansowanych technologii (w szczególności mikroprocesorów i komponentów AI), blokowanie przejęć firm technologicznych przez chiński kapitał, wprowadzanie sankcji wobec przedsiębiorstw podejrzanych o współpracę z chińskim wywiadem oraz wzmacnianie międzynarodowych sojuszy technologicznych, takich jak sojusz *Five Eyes*, partnerstwo z Unią Europejską czy inicjatywy *NATO* w obszarze cyberbezpieczeństwa. Jednocześnie Stany Zjednoczone

18:28853

podejmują działania ofensywne mające na celu utrzymanie własnej pozycji lidera, m.in. poprzez zwiększanie inwestycji w badania i rozwój (B+R), wspieranie krajowego przemysłu półprzewodników, tworzenie przyjaznego ekosystemu dla start-upów technologicznych oraz umacnianie pozycji amerykańskich gigantów, takich jak Google, Microsoft, Nvidia czy OpenAI. W ten sposób USA próbują nie tylko hamować rozwój konkurencji, lecz także wyznaczać globalne standardy technologiczne i utrzymać kontrolę nad kluczowymi obszarami cyfrowej infrastruktury.

Zgodnie z logiką realizmu ofensywnego technologia staje się więc jednym z najważniejszych pól konfrontacji o władzę w systemie międzynarodowym. Państwa nie dążą do współpracy, jeśli oznaczałaby ona względne wzmocnienie rywala, lecz raczej do ograniczenia jego potencjału i zapewnienia sobie strategicznej przewagi. W tym świetle działania zarówno Chin, jak i Stanów Zjednoczonych są w pełni racjonalne – wynikają bowiem z fundamentalnych mechanizmów systemowych, które każą państwom nie tylko dążyć do przetrwania, ale do dominacji. Rywalizacja technologiczna między tymi dwoma mocarstwami staje się zatem nieuniknioną konsekwencją logiki anarchicznego porządku międzynarodowego, w którym siła i przewaga – w tym technologiczna – decydują o statusie i możliwościach wpływu państwa.

1.2. Źródła rewolucji informatycznej i pierwsza era informatyzacji (1930-1950)

Podstawowym źródłem rewolucji informatycznej była potrzeba efektywnego przetwarzania informacji w coraz bardziej złożonych systemach gospodarczych i społecznych. Można wyróżnić kilka głównych czynników stymulujących tę rewolucję:

Rozwój technologii komputerowej – kluczowym elementem rewolucji informatycznej był rozwój komputera, który umożliwił przetwarzanie dużych ilości danych. Wynalazek tranzystora w 1947 r., a następnie mikroprocesora w latach 70., pozwolił na miniaturyzację i wzrost mocy obliczeniowej komputerów, co stanowiło podstawę dla dalszych innowacji (Riordan i Hoddeson, 1997 s. 203-205, Malone, 2014, s. 89-96).

Internet i globalne sieci informacyjne – zapoczątkowanie Internetu w latach 60. XX w. przez ARPA (*Advanced Research Projects Agency*), a następnie jego upowszechnienie w latach 90., stworzyło globalną infrastrukturę do wymiany danych. Internet radykalnie zmienił sposoby komunikacji, prowadzenia biznesu oraz dostępu do informacji, co w znaczący sposób przyspieszyło rozwój społeczeństwa informacyjnego (Castells, 2000, s. 3-27).

Przemiany gospodarcze i globalizacja – rewolucja informatyczna była odpowiedzią na rosnące potrzeby gospodarek, które wraz z postępem globalizacji stawały się coraz bardziej

19:45006

złożone. Szybki dostęp do informacji i automatyzacja procesów stały się kluczowe dla rozwoju przemysłów opartych na wiedzy oraz usługach cyfrowych (Brynjolfsson i McAfee, 2014, s. 17-36).

Przebieg rewolucji informatycznej można podzielić na kilka etapów:

1/ Pierwsza era informatyzacji (1930-1950) – trwająca od lat 30. do 50. XX w. była czasem przełomowych odkryć i wynalazków, które położyły fundamenty pod rozwój nowoczesnych komputerów. Rozpoczęła się od teorii obliczeń i rozwoju maszyn analitycznych, takich jak maszyna Turinga, które zdefiniowały zasady przetwarzania informacji. W tym okresie powstały pierwsze elektroniczne komputery ENIAC, zaprojektowane w odpowiedzi na potrzeby przemysłu wojskowego (Turing, 1936, s. 230-265, Ceruzzi, 2003, s. 42-68).

2/ Era komputerów *mainframe* (lata 50. i 60. XX w.) – wczesna faza rewolucji komputerowej była zdominowana przez duże komputery *mainframe*, wykorzystywane głównie w instytucjach rządowych, naukowych i korporacjach. Były to potężne urządzenia o wysokiej mocy obliczeniowej i przeznaczone dla specjalistów (Haigh, 2008, s. 43-52, Campbell-Kelly, 2003, s. 75-100).

3/ Era komputerów osobistych (lata 70. i 80. XX w.) – wprowadzenie komputerów osobistych (PC), takich jak Apple II i IBM PC, zrewolucjonizowało dostęp do technologii. Komputery stały się narzędziem dla szerokiego grona użytkowników, zarówno w biznesie, jak i w zastosowaniach prywatnych (Isaacson, 2011, s. 120-135, Campbell-Kelly i Aspray, 2004, s. 186-190).

4/ Era rozwoju Internetu i technologii mobilno-chmurowych (lata 60.-XXI w.) – upowszechnienie dostępu do Internetu oraz rozwój przeglądarek internetowych (m.in. Netscape Navigator) umożliwiły powstanie nowych form komunikacji i handlu (Berners-Lee, 1999, s. 45-60). Rozpoczęła się era e-commerce, a przedsiębiorstwa cyfrowe, takie jak Amazon i Google, zaczęły odgrywać kluczową rolę w globalnej gospodarce (Chaffey, 2020, s. 112-115). Wraz z rozwojem urządzeń mobilnych (smartfony, tablety) oraz technologii chmurowych Internet stał się wszechobecny, a dostęp do zasobów cyfrowych możliwy z dowolnego miejsca na świecie. Rozwój chmury obliczeniowej umożliwił decentralizację i elastyczność w zarządzaniu danymi i aplikacjami. Przy rozwoju technologii informacyjnej pojawiły się nowe wyzwania związane z cyberzagrożeniami. Od lat 90. XX w., a szczególnie od 2019 r., obserwuje się wzrost liczby ataków hakerskich, złośliwego oprogramowania i kradzieży danych. Korporacje inwestują znaczne środki w zabezpieczenia, aby chronić swoje systemy przed zagrożeniami, które stają się coraz bardziej złożone i wyrafinowane (Symantec, 2020, s. 22-29). Równocześnie rozwój sztucznej inteligencji otworzył nowe możliwości w wielu

20:81370

dziedzinach, w tym w automatyzacji, analizie danych oraz w interakcjach z użytkownikami. Technologie oparte na AI zyskują na znaczeniu w kontekście analizy zagrożeń cybernetycznych, umożliwiając szybsze wykrywanie anomalii i skuteczniejsze reakcje na ataki. Z kolei wprowadzenie sieci 5G zrewolucjonizowało komunikację, oferując szybsze prędkości transmisji danych i niższe opóźnienia. Umożliwiło to rozwój Internetu rzeczy oraz zwiększenie liczby urządzeń podłączonych do sieci. Jednak z większą liczbą połączonych urządzeń wzrasta również ryzyko cyberataków, co stawia nowe wyzwania w zakresie bezpieczeństwa sieci. Ostatecznie, połączenie tych trzech obszarów – cyberzagrożeń, sztucznej inteligencji i sieci 5G – kształtuje współczesny krajobraz technologiczny, wymagający nieustannych innowacji w dziedzinie cyfrowych technologii (Schwab, 2016, s. 10-12).

Początek rozwoju techniki informatycznej nastąpił już w XIX w. za sprawą maszyny analitycznej zaprojektowanej przez angielskiego uczonego Charlesa Babbage'a w latach 30. XIX w. Był to jeden z pierwszych projektów programowanej maszyny cyfrowej, zdolnej do wykonywania dowolnych obliczeń matematycznych, opisujący kluczowe koncepcje wykorzystywane we współczesnych komputerach, takie jak pamięć i programowanie. Z powodu braku funduszy i technologicznych ograniczeń maszyna analityczna nigdy nie powstała. Pomimo tego faktu napisane zostały do niej pierwsze programy komputerowe (algorytm do obliczenia liczb Bernoulliego), a jej konstrukcja w znacznym stopniu przyczyniła się do opracowania współczesnych komputerów (Babbage, 1994, s. 127-130). W 1936 r. brytyjski matematyk Alan Turing opracował model teoretycznego urządzenia obliczeniowego, znanego jako maszyna Turinga, zdolnego do wykonywania operacji na danych zgodnie z określonym zestawem instrukcji. Maszyna Turinga była koncepcyjnym projektem teorii algorytmów, a jej zasady działania określają zdolność komputerów do wykonywania dowolnych obliczeń możliwych do przeprowadzenia w sposób mechaniczny. Składa się z nieskończenie długiej taśmy podzielonej na komórki, głowicy odczytująco-zapisującej oraz jednostki sterującej, która zarządza działaniem maszyny. W każdej komórce taśmy mieści się dokładnie jeden symbol pobrany ze skończonego zestawu symboli zwanego alfabetem maszyny. Maszyna znajduje się nad jedną z komórek taśmy i jest w jednym z Q stanów. W zależności od kombinacji bieżącego stanu oraz symbolu napotkanego na taśmie, maszyna zapisuje nowy symbol w komórce, zmienia swój stan i przemieszcza się o jedną pozycję w prawo lub w lewo. Taka operacja nosi nazwę rozkazu. Maszyną Turinga steruje lista zawierająca dowolną liczbę takich rozkazów. Dopuszczalny jest także stan M+1, który sygnalizuje zakończenie działania maszyny (Turing, 1936, s. 230-265).

21:74036

Za jednego z pierwszych twórców współczesnych komputerów uważa się Georga Roberta Stiblitiza, badacza pracującego w Bell Labs, amerykańskim przedsiębiorstwie zajmującym się badaniami przemysłowymi i rozwojem (R&D). W 1937 r. opracował on pierwszą binarną maszynę symulującą, którą w późniejszym czasie nazwał „Modelem K" (Stiblitz, 1937, s. 69-77). Urządzenie zostało skonstruowane przy użyciu prostych przekaźników telefonicznych, a jego zasilanie następowało z domowego gniazdka, które miało znajdować się w kuchni twórcy (tłumaczy to pochodzenie nazwy – „K" od angielskiego słowa *kitchen* – kuchnia). Model K był zdolny do wykonywania podstawowych funkcji w systemie binarnym (dwójkowym). Korzystanie z systemu binarnego datuje się na XVI w., bowiem w tym okresie wykorzystywał go szkocki matematyk John Napier, zapisując 0 i 1 odpowiednio jako a i b (Napier, 1614). Faktyczne powstanie takiego zapisu liczb datuje się natomiast na przełom XVII i XVIII w. Jego autorem był Gottfried Wilhelm Leibniz, niemiecki matematyk, który w 1703 r. opublikował artykuł naukowy na ten temat (Leibniz, 1703, s. 256-265). System binarny jest preferowanym systemem w informatyce i posiada pewnego rodzaju przewagi nad systemem dziesiętnym. Stanowi najlepsze rozwiązanie dla urządzeń elektronicznych, ponieważ występują w nim tylko dwa stany: włączony (1) i wyłączony (0), co jest równoznaczne z przepływem prądu i jego brakiem. Jest więc prostszy w implementacji w sprzęcie komputerowym niż system dziesiętny, który wymagałby bardziej złożonych mechanizmów reprezentujących liczby od 0 do 9. Z tego powodu układy cyfrowe są tańsze w produkcji, bardziej niezawodne oraz mniej podatne na zakłócenia. System binarny naturalnie wspiera bramki logiczne, takie jak AND, OR, NOT i XOR, które stanowią podstawę działania procesorów i układów cyfrowych, pozwalając na realizację złożonych obliczeń i przetwarzania danych, dzięki czemu komputery mogą wykonywać arytmetykę binarną w sposób bardziej efektywny (Mano, 2017, s. 92-95). System binarny jest również niezwykle przydatny w kodowaniu znaków za pomocą standardów ASCII i Unicode. Standard kodowania znaków w komunikacji elektronicznej – ASCII (ang. *American Standard Code for Information Interchange*) został po raz pierwszy wprowadzony w 1963 r. Kody ASCII używane są do reprezentowania tekstu w komputerach i urządzeniach telekomunikacyjnych. W binarnym kodzie ASCII każda litera alfabetu angielskiego, cyfra, znak przystankowy i inne symbole przyporządkowane są określonemu ciągowi bitów, co ułatwia ich przetwarzanie. W podstawowej wersji system ten umożliwia zakodowanie 128 znaków, przypisując im liczby z zakresu od 0 do 127, a w rozszerzonej wersji z zakresu od 0 do 255. Ponadto w kryptografii binarne reprezentacje danych ułatwiają stosowanie algorytmów szyfrujących i deszyfrujących, co jest kluczowe dla bezpieczeństwa informatycznego (*American National Standards Institute*,

22:52404

1963). Z kolei standard Unicode zapewnia unikalny sposób definiowania każdego znaku w każdym języku mówionym na świecie poprzez przypisanie mu unikalnego numeru. Standard Unicode jest utrzymywany przez Unicode Consortium i zawiera ponad 140 000 znaków z ponad 150 współczesnych i historycznych pism wraz z emoji. W 2024 r. wykorzystywany był przez 98,3% witryn internetowych (Unicode Consortium, 2021, W3Techs, 2024).

Harvard Mark I to jeden z pierwszych w historii uniwersalnych kalkulatorów elektromechanicznych, stworzony przez zespół naukowców (Claire D. Lake, Francis E. Hamilton, Benjamin M. Durfeepod) pod kierunkiem amerykańskiego inżyniera Howarda Aikena we współpracy z IBM. Urządzenie mogło wykonywać długie serie obliczeń matematycznych, a jego konstrukcja miała 15 metrów długości i ważyła 5 ton. Mark I był wykorzystywany do obliczeń podczas II wojny światowej (Aiken, 1952, s. 463-482).

W 1946 r. powstał pierwszy na świecie komputer cyfrowy zwany ENIAC (skrót od ang. *Electronic Numerical Integrator And Computer* – elektroniczne urządzenie numeryczne całkujące i liczące). Jego twórcami byli John Mauchly i John Presper Eckert z University of Pennsylvania. Projekt rozwijano w latach 1943-1945 z przeznaczeniem do zastosowań wojskowych w Stanach Zjednoczonych. Wojskowe Laboratorium Badań Balistycznych (Ballistic Research Laboratory, BRL), odpowiedzialne za opracowywanie tablic balistycznych, napotykało wówczas trudności związane z ich szybkim i precyzyjnym tworzeniem, co miało kluczowe znaczenie dla skuteczności nowoczesnych systemów uzbrojenia. BRL zatrudniało ponad 200 pracowników, głównie kobiety, które przy użyciu kalkulatorów biurkowych rozwiązywały niezbędne równania balistyczne. Przygotowanie tablic dla jednej broni wymagało wielogodzinnej, a czasem kilkudniowej pracy jednej osoby. Wymienieni wyżej naukowcy zaproponowali zbudowanie uniwersalnego komputera wykorzystującego lampy próżniowe z myślą o wsparciu BRL. W 1943 r. propozycję zaakceptowało wojsko i rozpoczęły się prace nad ENIAC-em. Maszyna ważyła 30 ton, zajmowała około 1400 m², posiadała ponad 18 000 lamp próżniowych i zużywała 140 kW mocy. ENIAC był znacznie szybszy od komputerów elektromechanicznych, wykonując 5000 operacji dodawania na sekundę. Komputer działał w systemie dziesiętnym. Projekt ostatecznie ukończono w 1946 r., już po zakończeniu II wojny światowej (Mauchly i Eckert, 1946). Koszt budowy pochłonął 486 804,22 dolarów. Tym razem komputer służył do opracowania bomby wodorowej. Wykorzystanie ENIAC-a do innych zadań niż pierwotnie zakładano, uwypukliło jego wszechstronne zastosowanie. Rok 1946 uznaje się za początek ery komputerów elektronicznych. ENIAC działał w BRL do 1955 r., a następnie został rozebrany. Jego wynalazcy odegrali kluczową rolę w historii komputerów, a ich prace stanowiły bezpośrednie

23:48598

preludium do powstania maszyny Von Neumanna. Choć ENIAC był pierwszym cyfrowym komputerem elektronicznym o ogólnym przeznaczeniu, jego główną wadą był czasochłonny proces programowania, wymagający ręcznego ustawiania przełączników (Ceruzzi, 2003, s. 47-55). To ograniczenie zainspirowało Johna Von Neumanna, węgiersko-amerykańskiego naukowca, który współpracował z Mauchlym i Eckertem przy projektowaniu kolejnych komputerów. W 1945 r. Von Neumann napisał raport *First Draft of a Report on the EDVAC*, w którym przedstawił wizję maszyny z programem przechowywanym w pamięci. EDVAC (ang. *Electronic Discrete Variable Automatic Computer),* budowany przez Mauchly'ego i Eckerta, miał być pierwszym komputerem zaprojektowanym według tej koncepcji. Dzięki przechowywaniu programu w pamięci możliwe było dynamiczne programowanie urządzenia, co znacznie usprawniło obliczenia i zwiększyło wszechstronność maszyny. Podczas gdy ENIAC wykorzystywał architekturę dziesiętną i wymagał ręcznego wprowadzania instrukcji, EDVAC miał działać zgodnie z architekturą binarną i stosować podejście Von Neumanna, które znacznie uprościło programowanie i przyspieszyło działanie maszyn cyfrowych (Von Neumann, 1945). Prace Von Neumanna nad tą koncepcją stanowiły istotne rozwinięcie idei, które wprowadzili Mauchly i Eckert, czyniąc ich wysiłki fundamentalnym krokiem w ewolucji komputerów.

W czerwcu 1948 r. opracowano Manchester *Small-Scale Experimental Machine* (SSEM), o przydomku Baby. Był to pierwszy komputer z pamięcią przechowującą program, zgodnie z architekturą zaproponowaną przez von Neumanna. Został skonstruowany na Uniwersytecie w Manchesterze, przez prof. Frederica C. Williamsa i Toma Kilburna i wpisywał się w ramy koncepcji programowania wewnętrznego, tzn. umożliwiał zapisanie programu w pamięci, co zrewolucjonizowało sposób pracy komputerów (Williams i Kilburn, 1948, s. 183-193). Niecałe dwa miesiące później rozpoczęto prace nad modelem Manchester Mark I, który stał się podstawą dla Ferranti Mark I, pierwszego komercyjnego komputera o ogólnym przeznaczeniu. W tym samym czasie w University of Cambridge Mathematical Laboratory trwały prace nad komputerem EDSAC (Lavington, 1980, s. 13-24).

Wynalazki opracowane do 1950 r. przyniosły przełom w dziedzinie projektowania komputerów. Maszyna analityczna Babbage'a, maszyna Turinga, ENIAC i architektura Von Neumanna umożliwiły przejście z programowania urządzeń specjalistycznych do opracowywania maszyn o charakterze uniwersalnym. Wprowadzenie kompilatorów i pamięci przechowującej program otworzyło zaś drogę do budowy współczesnych systemów komputerowych.

24:48077

1.3. Era komputerów mainframe (lata 50. i 60. XX w.)

Pomimo tego, że pierwszy działający tranzystor ostrzowy został wynaleziony w 1947 r. w laboratoriach firmy Bell przez fizyków Williama Shockleya, Johna Bardeena i Waltera Brattaina (otrzymali za to Nagrodę Nobla z fizyki w 1956 r.), masowe zastosowanie tranzystora w komputerach nastąpiło w latach 50. i dało początek drugiej generacji komputerów. Każda kolejna generacja cechuje się lepszymi parametrami, tj. większą szybkością, większą pojemnością pamięci i mniejszymi rozmiarami niż poprzednia. Rozwój układów scalonych z tranzystorami MOS przyczynił się do miniaturyzacji komputerów, zwiększenia ich wydajności i zmniejszenia kosztów produkcji (Stallings, 2000, s. 41).

W 1947 r. Eckert i Mauchly założyli Eckert-Mauchly Computer Corporation w celu produkcji komputerów na rynek komercyjny. W konsekwencji w 1951 r. na rynku pojawił się UNIVAC I (skrót od ang. *Universal Automatic Computer*), który był pierwszym komputerem komercyjnym, wykorzystanym przez *Bureau of the Census* (Biuro Spisu Ludności) do obliczeń roku 1950. Maszyna wykorzystywała taśmy magnetyczne do przechowywania danych, co pozwalało na szybki dostęp do informacji. Pracowała z prędkością do 1 900 operacji na sekundę i zajmowała około 35,5 m². W 1952 r. UNIVAC I jako pierwszy komputer dokładnie przewidział wyniki wyborów prezydenckich w USA, w których zwycięstwo odniósł ówczesny prezydent Dwight Eisenhower (Cortada, 2012, s. 129-132). UNIVAC I stanowił innowację w zastosowaniach biznesowych, takich jak analiza danych i automatyzacja procesów administracyjnych. UNIVAC II, wprowadzony na rynek w 1958 r., był udoskonaloną wersją UNIVAC I. Charakteryzował się większą szybkością przetwarzania i zwiększoną pojemnością pamięci, dzięki zastosowaniu nowych technologii i ulepszonym taśmom magnetycznym. Posiadał także lepsze możliwości wykonywania bardziej skomplikowanych operacji, co rozszerzało jego potencjalne zastosowanie w przemyśle i administracji. Oba modele UNIVAC stanowiły kluczowy krok w rozwoju komputerów komercyjnych, rozpoczynając erę komputerów wykraczających w swym działaniu poza sektor wojskowy i naukowy (Cambel-Kelly i Aspray, 2004, s. 118-120).

W 1952 r. powstał pierwszy komercyjny komputer firmy IBM wykorzystywany w celach naukowych, który obsługiwał operacje zmiennoprzecinkowe – IBM 701. Pamięć komputera składała się z 72 lamp elektronowych typu „Williams tube", z których każda miała pojemność 1024 bitów, co łącznie dawało pojemność 2048 36-bitowych słów. Każda lampa posiadała ekran o średnicy około 7,5 cm (3 cale) i istniała możliwość rozszerzenia pamięci do maksymalnie 4096 36-bitowych słów. Całkowita sprzedaż komputerów tego typu osiągnęła liczbę 19 sztuk. Niemal równolegle rozwijano model IBM 702, który wprowadzony na rynek

25:82232

w 1953 r. był jednym z pierwszych komputerów przedsiębiorstwa przeznaczonym do zastosowań biznesowych. Zaprojektowano go w celu przetwarzania danych, takich jak księgowość, zarządzanie zapasami czy obliczenia płacowem, co odzwierciedlało rosnące zapotrzebowanie przedsiębiorstw na automatyzację procesów administracyjnych i finansowych. IBM 702 również wykorzystywał pamięć opartą na tubach Williamsa, miał możliwość szybkiego wprowadzania i odczytywania danych z taśm magnetycznych, co usprawniało zarządzanie dużymi zbiorami danych. Łącznie sprzedano 14 egzemplarzy tego komputera, który ze względu na wysoką cenę i specyfikację ukierunkowaną na przetwarzanie dużych ilości danych był stosowany głównie w firmach i agencjach rządowych. IBM 702 wyznaczył standard w obszarze przetwarzania informacji w biznesie i stanowił jeden z pierwszych kroków firmy IBM w dominacji na rynku komputerów komercyjnych (Bashe i in., 1986, s. 225-236). W 1954 r. wprowadzono na rynek komputer IBM 650, przeznaczony do podobnych zastosowań jak IBM 702, a więc głównie do przetwarzania danych w środowisku biznesowym i administracyjnym. System ten wykonywał operacje w systemie dziesiętnym i był zdolny do obsługi złożonych zadań arytmetycznych. Dzięki sprzedaży ponad 2000 egzemplarzy IBM 650 stał się jednym z najczęściej wykorzystywanych komputerów lat 50., ustanawiając nowe standardy w zakresie przetwarzania danych oraz przyspieszając proces informatyzacji instytucji akademickich, biznesowych i rządowych na całym świecie. W 1958 r. Jack Kilby (laureat Nagrody Nobla z fizyki z 2000 r.) z *Texas Instruments* i Robert Noyce z *Fairchild Semiconductor* zaprojektowali i zbudowali działające układy scalone, które otworzyły drogę do mikroelektroniki. Wprowadzony na rynek w 1959 r. komputer IBM 1401, dzięki stosunkowo niskiej cenie i łatwej obsłudze, stał się standardem dla przetwarzania danych komercyjnych w latach 60. Wykorzystywał pamięć opartą na rdzeniach magnetycznych i taśmy magnetyczne jako podstawowe nośniki danych, co umożliwiało szybkie przechowywanie i przetwarzanie dużych ilości informacji. IBM 1401 był także jednym z pierwszych komputerów, które wykorzystywały zestaw instrukcji umożliwiający elastyczne programowanie – nie wymagał przy tym specjalistycznej wiedzy programistycznej, co przyciągało przedsiębiorstwa. Jego popularność była tak duża, że został sprzedany w liczbie ponad 10 000 jednostek, co uczyniło IBM 1401 jednym z najczęściej wykorzystywanych komputerów swojej epoki (Cortada, 2000, s. 287-289, 340-345). W tym samym roku powstał PDP-1 (*Programmed Data Processor*-1), stworzony przez firmę *Digital Equipment Corporation* (DEC). Wyróżniał się na tle innych komputerów, ponieważ był kompaktowy, stosunkowo niedrogi (jak na tamte czasy kosztował około 120 000 dolarów) i łatwy w użyciu, co czyniło go dostępnym dla laboratoriów badawczych, uniwersytetów oraz ośrodków badawczo-rozwojowych. PDP-1 był jednym z

26:42038

pierwszych mini-komputerów zaprojektowanych z myślą o bezpośrednim kontakcie użytkownika z maszyną. Jednym z najsłynniejszych zastosowań tego urządzenia była gra komputerowa *Spacewar!* stworzona przez programistów z MIT (ang. *Massachusetts Institute of Technology*) w 1962 r. *Spacewar!* jest uznawana za jedną z pierwszych gier w branży, która miała duży wpływ na rozwój rozrywki komputerowej oraz interakcji z komputerem. PDP-1 umożliwiał także prowadzenie eksperymentów w obszarze przetwarzania tekstu, muzyki komputerowej oraz grafiki, co czyniło go wszechstronnym narzędziem badawczym. PDP-1 wraz z DEC zapoczątkowały rozwój minikomputerów, które odegrały kluczową rolę w trzeciej generacji komputerów (Ceruzzi, 2003, s. 94-99).

W latach 50. XX w. nastąpił rozwój wysokopoziomowych języków programowania. W 1952 r. amerykańska admirał Grace Hopper opracowała A-0 – pierwszy kompilator, który tłumaczył instrukcje zapisane w języku symbolicznym na kod maszynowy. Wynalazek ten stanowił przełom, gdyż umożliwił programistom posługiwanie się bardziej zrozumiałymi dla człowieka symbolami zamiast skomplikowanego kodu maszynowego, co znacząco przyspieszało i ułatwiało proces programowania. Kompilatory zapoczątkowane przez Hopper stały się podstawą współczesnych języków programowania, odgrywając kluczową rolę w translacji kodu wysokiego poziomu na język zrozumiały dla maszyn (Campbell-Kelly, s. 43-46). Kompilatory stanowią obecnie podstawę każdego języka programowania, umożliwiając tłumaczenie wysokopoziomowego kodu na język maszynowy. W 1957 r. powstał język Fortran (ang. *FORmula TRANslation*), który stał się jednym z pierwszych języków programowania stosowanych w obliczeniach naukowych i inżynieryjnych (Backus, 1978, s. 29-38). Z kolei w 1959 r. wprowadzono COBOL (z ang. *COmmon Business-Oriented Language*), język programowania przeznaczony do zastosowań biznesowych (Hsu, 2004, s. 81-89). Pojawiły się także pierwsze systemy operacyjne, takie jak GM-NAA I/O firmy *General Motors and North American Aviation*, stworzony w 1956 r., które ułatwiały zarządzanie zasobami komputera oraz współdzielenie czasu obliczeniowego przez różne programy (Silberschatz i in., 2018, s. 53-55).

IBM System/360, wprowadzony w 1964 r., był rewolucyjną serią komputerów mainframe, która zrewolucjonizowała informatykę korporacyjną i rządową. To pierwsza linia komputerów zaprojektowana jako rodzina urządzeń o zróżnicowanej wydajności i możliwościach, ale opartych na wspólnej architekturze. Pozwalało to firmom na zakup różnych modeli System/360 dopasowanych do ich budżetów i potrzeb, bez konieczności zmiany oprogramowania, gdy przechodzono na nowsze modele. Zgodność między różnymi wersjami komputerów z serii System/360 stanowiła nowatorskie podejście, które zyskało ogromną popularność. IBM System/360 obsługiwał zarówno obliczenia biznesowe (np. przetwarzanie

27:10461

transakcji), jak i naukowe (vide modelowanie matematyczne i symulacje), co było innowacyjne, ponieważ w tamtych czasach komputery zwykle specjalizowały się w jednej z tych kategorii. Komputery z tej serii korzystały z nowoczesnych na owe czasy tranzystorów, co zwiększyło ich wydajność i niezawodność w porównaniu do maszyn opartych na lampach próżniowych. IBM System/360 był także jednym z pierwszych komputerów, który wykorzystywał język programowania COBOL oraz Fortran. IBM System/360 odniósł ogromny sukces, stając się podstawą dla wielu dużych instytucji finansowych, agencji rządowych i korporacji. Stał się także punktem odniesienia dla późniejszych architektur komputerowych, a jego koncepcja wspólnej platformy dla różnych modeli miała znaczący wpływ na rozwój komputerów mainframe (Pugh, 1997, s. 150-160). Lata 50. i 60. były okresem intensywnego rozwoju technologii komputerowej, podczas którego wprowadzono szereg innowacji zmieniających sposób, w jaki ludzie myśleli o obliczeniach i wykorzystaniu komputerów w różnych dziedzinach.

1.4. Era komputerów osobistych (lata 70. i 80. XX w.)

Lata 70. i 80. XX w. to okres dynamicznego rozwoju informatyki, który przyniósł szereg innowacji technologicznych i znaczące zmiany w sposobie korzystania z komputerów. W 1970 r. firma Fairchild stworzyła pierwszą względnie pojemną pamięć półprzewodnikową. Ten mikroukład, o wielkości pojedynczego rdzenia, mógł przechowywać 256 bitów. Odczyt był nieniszczący i znacznie szybszy niż w przypadku rdzeni, zajmując zaledwie 70 nanosekund na bit. Jednak koszt przypadający na bit był wyższy niż w przypadku pamięci rdzeniowej. W 1974 r. cena za bit pamięci półprzewodnikowej spadła poniżej ceny pamięci rdzeniowej. Kontynuowany był trend w postaci szybkiego spadku kosztów pamięci, któremu towarzyszył wzrost fizycznej gęstości. To z kolei otworzyło drogę do mniejszych i szybszych maszyn, które miały pamięci o rozmiarach porównywalnych do tych, które występowały w większych i droższych komputerach sprzed kilku lat. Pierwszy mikroprocesor został stworzony przez Steve'a Gellera i Raya Holta dla US Navy i przeznaczony do myśliwca F-14 Tomcat. Pierwsze egzemplarze tego układu powstały już w czerwcu 1970 r., co oznacza, że były produkowane ponad 12 miesięcy przed premierą mikroprocesora Intela 4004, który powszechnie uznaje się za pierwszy mikroprocesor na świecie. Jednak ze względu na tajemnicę wojskową, informacje o F-14 CADC ujawniono dopiero w 1998 r. W odróżnieniu od układu wyprodukowanego przez przedsiębiorstwo Intel, który był prostym 4-bitowym procesorem, F-14 CADC stanowił zaawansowany 20-bitowy układ wykorzystujący technikę potokową (Tannenbaum, 1986, s. 201-203). W 1971 r. Intel wprowadził na rynek mikroprocesor 4004, pierwszy na świecie układ

28:57204

scalony zawierający wszystkie elementy niezbędne do budowy komputera. Mikroprocesory stały się kluczowym komponentem komputerów osobistych i urządzeń elektronicznych, prowadząc do miniaturyzacji i obniżenia kosztów produkcji. W 1972 r. Intel zaprezentował układ 8080, będący pierwszym mikroprocesorem ogólnego przeznaczenia. Podczas gdy modele 4004 i 8008 zostały zaprojektowane dla specyficznych zastosowań, 8080 miał pełnić funkcję jednostki centralnej mikrokomputera uniwersalnego. Podobnie jak 8008, mikroprocesor 8080 był 8-bitowy, jednak wyróżniał się większą szybkością, szerszą listą rozkazów oraz lepszymi możliwościami adresowania. Wkrótce rozpoczęto prace nad mikroprocesorami 16-bitowymi, jednak dopiero pod koniec lat 70. pojawiły się mocne, 16-bitowe mikroprocesory ogólnego przeznaczenia, jak model 8086. Kolejnym przełomem był rok 1981, gdy w Bell Labs i Hewlett-Packard opracowano 32-bitowy mikroprocesor w postaci jednego układu. Intel wprowadził własny 32-bitowy mikroprocesor, model 80386, w 1985 r. W drugiej połowie lat 70. pojawiły się pierwsze komputery osobiste, takie jak Altair 8800 (1975), co zapoczątkowało nową erę dostępu do technologii komputerowej dla indywidualnych użytkowników. Użytkownicy mogli programować te maszyny, co sprzyjało rozwojowi ruchu komputerowego hobbystów. Zestaw, wyceniony na 400 dolarów, wyposażono w 8-bitowy mikroprocesor Intel 8080 z częstotliwością 2 MHz oraz podstawową pamięć operacyjną o pojemności 256 bajtów, wystarczającą jedynie do uruchomienia systemu. Możliwa była jego rozbudowa, np. o 1, 2, 4 lub 16 kB pamięci RAM, oraz możliwość podłączenia magnetofonu jako pamięci masowej, a w późniejszym okresie także stacji dyskietek. W 1975 r. został wzbogacony o interpreter Microsoft BASIC, opracowany przez firmę Billa Gatesa i Paula Allena, znany również jako Altair BASIC. W przeciwieństwie do współczesnych komputerów Altair nie posiadał klawiatury ani monitora (Brey, 2013, s. 4-8). W 1977 r. firma Apple wprowadziła na rynek komputer Apple II, który był ulepszoną wersją wcześniejszego modelu Apple I. Ten model cechował się dużą funkcjonalnością, jak na swoje czasy. Posiadał kolorową grafikę, która wyróżniała go na tle konkurencyjnych produktów, i oferował wiele opcji rozbudowy, co przyciągało użytkowników indywidualnych oraz firmy. Apple II wyposażony był w procesor MOS Technology 6502 o częstotliwości 1 MHz oraz pamięć RAM o pojemności 4 KB, którą można było rozszerzyć do 48 KB. Był to jeden z pierwszych komputerów sprzedawanych w pełnej obudowie, co oznaczało, że użytkownicy mogli od razu zacząć z niego korzystać, bez konieczności dodatkowego montażu. Apple II miał również wbudowany interpreter języka BASIC, co ułatwiało tworzenie programów oraz rozwój oprogramowania, a wprowadzenie arkusza kalkulacyjnego VisiCalc przekształciło go w narzędzie pracy dla wielu firm. Urządzenie zapoczątkowało serię komputerów, która ostatecznie doprowadziła do pojawienia

29:67728

się na rynku bardziej zaawansowanych modeli, takich jak Macintosh w 1984 r. (Nooney, 2023, s. 45-72).

Lata 70. to również rozwój kluczowych języków programowania, takich jak Pascal, C i Ada, które umożliwiały tworzenie bardziej zaawansowanych aplikacji. Pojawiły się standardy, takie jak ANSI, ułatwiające współpracę, zgodność i interoperacyjność między różnymi systemami. W latach 70. dynamiczny rozwój kluczowych języków programowania znacząco wpłynął na możliwości tworzenia bardziej zaawansowanych aplikacji komputerowych. Pascal, zaprojektowany przez Niklausa Wirtha w 1970 r., został stworzony z myślą o wspieraniu nauki programowania strukturalnego, co uczyniło go popularnym wyborem w środowiskach akademickich. Język C, stworzony przez Dennisa Ritchie'ego w Bell Labs w 1972 r., zyskał zaś dużą popularność dzięki elastyczności, wydajności i zastosowaniu w systemie Unix, który stanowił podstawę rozwoju przyszłych systemów operacyjnych. Ada, opracowana na zlecenie Departamentu Obrony USA, zapewniała natomiast wysokie standardy bezpieczeństwa, co czyniło ją idealnym rozwiązaniem dla aplikacji krytycznych, takich jak systemy wojskowe i lotnicze. Standaryzacja języków programowania i struktur danych, umożliwiająca współdziałanie aplikacji i ułatwiająca wymianę informacji, przyczyniła się do rozwoju oprogramowania na szeroką skalę (Granger, 2000, s. 25-37; Blume, 2016, s. 51-57).

IBM 801, opracowany w latach 70. przez IBM Research, jest uznawany za jeden z pierwszych przykładów komputerów o architekturze RISC (ang. *Reduced Instruction Set Computer*). Jego projektant John Cocke zauważył, że większość programów komputerowych korzysta tylko z niewielkiego zestawu instrukcji procesora. Zamiast obsługiwać rozbudowane, ale rzadko wykorzystywane instrukcje, postawiono na prostszy i bardziej efektywny zestaw podstawowych komend. Dzięki tej optymalizacji IBM 801 działał szybciej i wydajniej, umożliwiając jednoczesne przetwarzanie kilku instrukcji oraz szybszy dostęp do pamięci. IBM 801 stał się prekursorem kolejnych projektów opartych na RISC i wyznaczył kierunek rozwoju w miniaturyzacji i przyspieszeniu procesorów (Coke, 1985, s. 25-32). W tym kontekście istotną rolę pełni również architektura POWER PC (ang. *Performance Optimization With Enhanced* RISC). Zaprojektowana wspólnie przez IBM, Apple i Motorolę, architektura ta miała na celu stworzenie wydajnych procesorów dla szerokiego zakresu zastosowań, od komputerów osobistych po systemy serwerowe. Procesory POWER PC, bazujące na zmodyfikowanej architekturze RISC, wyróżniały się uproszczoną liczbą instrukcji oraz możliwością wykonywania skomplikowanych operacji z dużą szybkością. Architektura POWER PC wykorzystywana była w komputerach Apple Macintosh, serwerach IBM i w niektórych konsolach do gier, takich jak PlayStation 3 i Xbox 360 (Pellerin, 2008, s. 38-45).

30:24639

W latach 80. komputery osobiste stały się powszechne, dzięki firmom takim jak IBM, Apple i Commodore. W 1981 r. IBM wprowadził IBM PC, który stał się standardem w branży i zapoczątkował rozwój rynku komputerów osobistych. W tym okresie komputery zaczęły trafiać do domów, szkół i małych firm na masową skalę. Rozwój tej technologii zainicjowała premiera IBM PC w 1981 r. Komputer był oparty na procesorze Intel 8088, systemie operacyjnym MS-DOS opracowanym przez Microsoft oraz otwartej architekturze, co pozwoliło innym firmom na tworzenie kompatybilnych komputerów (tzw. klonów IBM PC). Zastosowany model produkcji sprawił, że koszty wyprodukowania i zakupu komputerów osobistych szybko spadły, czyniąc je bardziej dostępnymi. W tym czasie rywalizację na rynku PC prowadziły także inne firmy. Apple zaprezentował komputer Apple II już w 1977 r., a następnie w 1984 r. wprowadził Macintosha, który był pierwszym masowo produkowanym komputerem z graficznym interfejsem użytkownika (GUI) oraz myszką. GUI Macintosha sprawiło, że korzystanie z komputera stało się bardziej intuicyjne i przyjazne dla użytkowników nieposiadających specjalistycznej wiedzy technicznej. W odpowiedzi na sukces Macintosha firma Microsoft opracowała graficzny interfejs użytkownika w systemie operacyjnym Windows, który w kolejnych latach zdobył ogromną popularność na platformie IBM PC. Lata 80. były także okresem pojawienia się komputerów przeznaczonych do użytku domowego, takich jak Commodore 64, ZX Spectrum oraz Amiga 500. Te maszyny, często wykorzystywane jako platformy do gier oraz nauki programowania, były stosunkowo tanie i dostępne dla szerokiego grona użytkowników. Commodore 64 wyróżniał się dużymi możliwościami graficznymi i dźwiękowymi, które uczyniły go jednym z najlepiej sprzedających się komputerów tamtych czasów (Gookin, 2015, s. 45-60).

W latach 80. systemy operacyjne zrewolucjonizowały sposób, w jaki ludzie korzystali z komputerów osobistych, głównie dzięki MS-DOS oraz Microsoft Windows. MS-DOS (Microsoft Disk Operating System) powstał na początku lat 80. na potrzeby IBM, który w 1981 r. przygotowywał premierę swojego IBM PC. Firma Microsoft nabyła i przystosowała istniejący system QDOS, aby stał się systemem operacyjnym dla nowego komputera. MS-DOS był systemem opartym na wierszu poleceń (CLI), gdzie użytkownik wpisywał komendy tekstowe, aby zarządzać plikami, uruchamiać programy i korzystać z funkcji komputera. Takie podejście pozwalało na skuteczne zarządzanie zasobami maszyny. Przez większą część lat 80. MS-DOS był dominującym systemem operacyjnym na platformie IBM PC i klonach tego komputera, co stało się możliwe dzięki otwartej architekturze IBM. W kolejnych wersjach MS-DOS Microsoft dodawał nowe funkcje, np. lepsze zarządzanie plikami i katalogami, ale wciąż brakowało w nim przyjaznego interfejsu graficznego.

31:40948

System Windows debiutował jako nakładka na MS-DOS, która miała za zadanie ułatwić korzystanie z komputerów osobistych poprzez graficzny interfejs użytkownika (GUI). Microsoft w 1985 r. wprowadził pierwszą wersję Windows 1.0, która pozwalała użytkownikom na pracę w oknach i korzystanie z prostych aplikacji, takich jak notatnik i kalkulator. W 1987 r. Microsoft wydał Windows 2.0, w którym pojawiły się bardziej zaawansowane funkcje, m.in. nakładanie i zmiana rozmiaru okien aplikacji, wprowadzono również ikony pulpitu, skróty klawiaturowe i obsługę 16-kolorowej grafiki VGA. Dodano także aplikacje Microsoft Word i Excel. Przełomowa okazała się jednak dopiero wersja Windows 3.0, wydana w 1990 r. To właśnie ten system zapoczątkował dominację Windows jako standardowego systemu operacyjnego na komputerach osobistych. Windows 3.0 oferował bardziej dopracowany interfejs, ikony oraz poprawione zarządzanie pamięcią, co umożliwiło uruchamianie bardziej złożonych aplikacji i sprawiło, że korzystanie z komputera stało się prostsze dla mniej doświadczonych użytkowników. Windows zaczął powoli przejmować funkcje samodzielnego systemu operacyjnego, mimo że nadal opierał się na MS-DOS. Rozwój MS-DOS i Windows w latach 80. zmienił sposób interakcji ludzi z komputerami osobistymi, od pisania komend w wierszu poleceń po obsługę programów w oknach. Był to kluczowy krok w kierunku popularności komputerów osobistych i ich roli jako wszechstronnych narzędzi pracy, edukacji i rozrywki (Baker, 2020, s. 25-40).

W latach 80. nastąpił również rozwój sieci lokalnych (LAN, *Local Area Network*), napędzany przez rosnącą potrzebę szybszej i bardziej niezawodnej komunikacji między komputerami w firmach, instytucjach edukacyjnych i laboratoriach badawczych. Początkowo komputery były głównie urządzeniami niezależnymi, a wymiana danych wymagała fizycznego przenoszenia nośników. Jednak wraz ze wzrostem liczby komputerów w miejscach pracy pojawiło się zapotrzebowanie na ich bezpośrednie połączenie, co umożliwiło użytkownikom łatwiejszy dostęp do wspólnych zasobów, takich jak drukarki, pliki i aplikacje.

Opracowany na początku lat 70. przez Roberta Metcalfe'a w Xerox PARC, Ethernet zyskał ogromną popularność w latach 80. W 1983 r. IEEE zatwierdziło standard Ethernetu jako IEEE 802.3, co pomogło ujednolicić technologię i przyspieszyło jej rozwój. Ethernet korzystał z kabla koncentrycznego, a później z przewodów miedzianych i światłowodów, aby umożliwić transfer danych z szybkością 10 Mb/s. Standard ten stał się podstawą dla większości sieci LAN, zapewniając szybką i stosunkowo tanią komunikację między komputerami. W 1984 r. IBM opracował alternatywny standard dla Ethernetu – Token Ring. Ta technologia, zatwierdzona jako standard IEEE 802.5, działała poprzez przekazywanie „tokena" (czyli specjalnego sygnału), który kontrolował dostęp do sieci, eliminując kolizje pakietów danych. Token Ring

32:18961

był wykorzystywany głównie w dużych firmach, szczególnie tych związanych z IBM, choć jego znaczenie stopniowo malało na rzecz Ethernetu. W 1983 r. firma Novell wprowadziła NetWare, który stał się jednym z najczęściej używanych systemów operacyjnych dla sieci LAN. NetWare umożliwiał scentralizowane zarządzanie plikami, drukarkami i aplikacjami w sieciach LAN, co znacząco usprawniało organizację pracy i podnosiło efektywność firm. W latach 80. rozpowszechniły się również proste przełączniki i koncentratory (huby), które pozwalały na fizyczne połączenie większej liczby komputerów w ramach sieci LAN. Dzięki tym urządzeniom można było łączyć większe zespoły komputerów i umożliwiać współdzielenie danych oraz zasobów. Rozwinięte zostały także protokoły komunikacyjne TCP/IP, które uznano za uniwersalny standard dla sieci. Już w latach 80. protokoły te zaczęły być wykorzystywane w sieciach LAN, szczególnie w środowiskach akademickich i badawczych (Miler, 2019, s. 100-115).

1.5. Era rozwoju Internetu i technologii mobilno-chmurowych (lata 60.-XXI w.)

Era rozwoju Internetu od lat 60. XX w. do obecnych czasów to okres dynamicznych zmian, które przekształciły sposób, w jaki komunikują się ludzie. W 1969 r. amerykańska agencja ARPA (z ang. *Advanced Research Projects Agency*) opracowała sieć *ARPANET*, która połączyła cztery uniwersytety w USA, umożliwiając im współdzielenie zasobów badawczych. Kluczowym rozwiązaniem, które umożliwiło powstanie *ARPANET-u* było zastosowanie komutacji pakietów, technologii opracowanej m.in. przez Paula Barana i Donalda Daviesa, pozwalającej na dzielenie danych na mniejsze pakiety przesyłane przez niezależne trasy. Ten mechanizm okazał się niezawodny, gdyż każdy z pakietów mógł omijać zniszczone lub przeciążone węzły sieci.

W latach 70. i 80. Internet rozwijał się głównie w środowiskach akademickich. W 1973 r. *ARPANET* połączył się z podobnymi sieciami w Europie, a badacze Bob Kahn i Vinton Cerf opracowali protokół TCP/IP (ang. *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), który stał się standardem dla wszystkich sieci, umożliwiając ich globalne połączenie. W 1983 r. TCP/IP oficjalnie wprowadzono jako protokół *ARPANET-u,* co ostatecznie przekształciło go w międzynarodową sieć – prekursor współczesnego Internetu (Abbate, 2000, s. 45-68). Kolejny przełom przyniosły lata 90. wraz z pojawieniem się World Wide Web (WWW), hipertekstowego, multimedialnego, internetowego systemu informacyjnego wynalezionego przez Tima Bernersa-Lee w Europejskim Laboratorium Fizyki Cząstek CERN w 1989 r. Pojawienie się stron WWW umożliwiło publikację dokumentów hipertekstowych dostępnych za pomocą przeglądarek internetowych, powodując tym samym, że Internet stał się bardziej

33:18205

dostępny dla szerokiej publiczności. W 1993 r. powstała pierwsza popularna przeglądarka, Mosaic, co zapoczątkowało gwałtowny wzrost liczby użytkowników i stron internetowych. Wprowadzenie standardu HTTP i przeglądarki Mosaic w 1993 r. umożliwiło łatwiejsze przeglądanie stron WWW. W 1991 r. zlikwidowano ograniczenia dotyczące komercyjnego użytkowania Internetu, dzięki czemu firmy zyskały możliwość zakupu domen i uruchamiania własnych witryn internetowych. W latach 90. powstały pierwsze wyszukiwarki internetowe, takie jak Yahoo! (1994) i AltaVista (1995), które zrewolucjonizowały sposób, w jaki użytkownicy wyszukiwali informacje w sieci, a rozpoczęcie działalności takich koncernów jak Amazon (1994) i eBay (1995) przyczyniło się do wzrostu handlu elektronicznego i zmiany sposobu, w jaki konsumenci dokonywali zakupów (Hafner i Lyon, 1996, s. 201-220).

Od lat 2000 Internet przeszedł z fazy informacyjnej do ery Web 2.0, kiedy to użytkownicy zaczęli aktywnie współtworzyć treści w sieci za pomocą blogów, mediów społecznościowych i forów dyskusyjnych, a platformy takie jak Wikipedia (2001) przyczyniły się do wzrostu udziału użytkowników w tworzeniu i udostępnianiu informacji. W 2004 r. uruchomiono serwis Facebook, a w 2006 r. Twitter, co zapoczątkowało nową erę komunikacji społecznej. Użytkownicy mogli łatwo dzielić się swoimi przemyśleniami, zdjęciami i filmami, co doprowadziło do znacznego wzrostu interakcji online. Wzrost popularności telefonów komórkowych oraz wprowadzenie smartfonów, takich jak iPhone (2007) sprawiło z kolei, że aplikacje mobilne stały się popularne, a użytkownicy zaczęli korzystać z Internetu w sposób bardziej mobilny i zdalny. Uruchomienie usług opartych na przetwarzaniu danych w chmurze w rodzaju Amazon Web Services (AWS) – serwis rozpoczął działalność w 2006 r. oraz Microsoft Azure, zmieniło sposób, w jaki firmy przechowują dane i zarządzają aplikacjami (Tapscott i Williams, 2006, s. 65-70). Przechodzenie do chmury stało się standardem w zarządzaniu IT. Rozwój sieci mobilnych od 2G do 5G ilustruje kolejne kroki w ewolucji technologii telekomunikacyjnych, które umożliwiły coraz szybszy i bardziej wszechstronny dostęp do informacji oraz usług.

Uruchomiona pod koniec lat 80. i na początku lat 90. sieć 2G była pierwszą generacją cyfrowej transmisji mobilnej, zastępującą analogowe standardy 1G. Standardem używanym przez 2G była technologia GSM (ang. *Global System for Mobile Communications*), która umożliwiała nie tylko przesyłanie dźwięku, ale także pierwsze usługi transmisji danych, takie jak SMS (z ang. *Short Message Service*) i MMS (ang. *Multimedia Messaging Service*). Prędkość transmisji w 2G wynosiła około 64 kbps, co wystarczało na potrzeby tekstowych komunikatów, ale stanowiło ograniczenie dla bardziej zaawansowanych zastosowań. Technologia 3G, która pojawiła się na początku XXI w., umożliwiła już znacznie szybsze

34:75736

transfery danych dzięki zastosowaniu standardów, takich jak UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) oraz CDMA2000. Prędkości osiągane w 3G mogły wynosić od 200 kbps do nawet 2 Mbps. Dzięki tej technologii użytkownicy zyskali możliwość skorzystania po raz pierwszy z dostępu do Internetu mobilnego: przesyłania e-maili, a także używania multimedialnych aplikacji czy korzystania z usług, np. wideo na żądanie. 3G zapoczątkowało rozwój smartfonów, umożliwiając ich pełne wykorzystanie jako urządzeń do pracy z aplikacjami internetowymi. Sieć 4G, wprowadzona w drugiej dekadzie XXI w., jeszcze bardziej zwiększyła możliwości mobilnych transmisji danych. Opierając się głównie na technologii LTE (ang. *Long Term Evolution*), oferowała prędkości rzędu 100 Mbps, a nawet do 1 Gbps przy statycznym odbiorniku. Umożliwiło to płynne korzystanie z wysokiej jakości strumieni wideo, wideokonferencji oraz bardziej wymagających aplikacji mobilnych. Sieć 4G stała się podstawą dla rozwoju współczesnych aplikacji internetowych oraz mediów społecznościowych, co przyczyniło się do dynamicznego rozwoju gospodarki cyfrowej i przyjęcia modelu pracy zdalnej (Sharma, 2013, s. 47-53).

W pierwszej dekadzie XXI w. rozpoczęły się prace nad technologią 5G, ponieważ branża telekomunikacyjna zaczęła dostrzegać potrzeby związane z rosnącym zapotrzebowaniem na szybsze i bardziej niezawodne połączenia. Kluczowe stało się zwiększenie prędkości, zmniejszenie opóźnień oraz umożliwienie łączności wielu urządzeń jednocześnie. W 2016 r. rozpoczęto formalne prace nad standaryzacją technologii 5G przez Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ang. *International Telecommunication Union* – ITU). W 2018 r. zdefiniowano wstępne normy dla sieci 5G, co umożliwiło operatorom telekomunikacyjnym rozpoczęcie testów i rozwoju infrastruktury. Pierwsze komercyjne wdrożenia sieci 5G miały miejsce w 2019 r., a od 2021 r. sieć 5G zaczęła rozwijać się na całym świecie, z coraz większą liczbą użytkowników i zastosowań (Gupta i Gupta, 2021, s. 16-23). Ta technologia umożliwiła rozwój Internetu rzeczy, autonomicznych pojazdów, inteligentnych miast oraz aplikacji opartych na rozszerzonej (AR) i wirtualnej rzeczywistości (VR). Od 2024 r. trwają prace nad siecią 6G, w ramach, których uwaga skoncentrowana jest na innowacyjnych technologiach oraz aplikacjach mających potencjał zrewolucjonizować komunikację mobilną. W porównaniu do 5G, 6G ma na celu dostarczenie ekstremalnej wydajności, z możliwościami oferującymi prędkości powyżej 100 Gb/s oraz bardzo niską latencję, co otworzy drzwi dla zastosowań w obszarach takich jak teleobecność czy autonomiczne roboty (Suh i in., 2021, s.3).

Kluczowe aspekty badań nad siecią 6G obejmują:

Nowe pasma spektralne – w ramach badania sieci 6G kluczowym aspektem jest wykorzystanie nowych pasm częstotliwości, takich jak sub-THz (92-300 GHz), które

35:37991

umożliwiają osiąganie wyjątkowo wysokiej przepustowości i minimalnych opóźnień. Oprócz pasm sub-THz eksperci wskazują również na pasma milimetrowe (24-100 GHz), oferujące duży potencjał w zakresie transmisji danych w sieci 6G (Suh i in., 2021, s. 4). Jednym z głównych wyzwań związanych z wykorzystaniem pasm sub-THz i milimetrowych jest ich propagacja w różnych środowiskach. Fale o wyższych częstotliwościach, w tym te z zakresu sub-THz, mają znacznie krótszy zasięg niż fale radiowe wykorzystywane w sieci 5G czy wcześniejszych generacjach. W związku z tym w miastach o gęstej zabudowie sygnały muszą pokonywać liczne przeszkody, takie jak budynki, drzewa czy inne obiekty, co prowadzi do tłumienia sygnału i obniżenia jakości połączenia. W takich warunkach kluczowe staje się zastosowanie technologii, które umożliwią efektywne zarządzanie propagacją sygnałów, takich jak *Massive MIMO* (*Multiple Input Multiple Output)*, która pozwala na jednoczesne przesyłanie sygnałów przez wiele anten, co zwiększa zasięg i jakość połączenia ((Tsiropoulos i in., 2020).

Zintegrowane możliwości lokalizacji i sensingu – w kontekście sieci 6G przewiduje się, że sieć stanie się integralnym elementem systemów sensingowych. Przykładem może być zastosowanie technologii do monitorowania i detekcji obiektów w czasie rzeczywistym, co ma duże znaczenie dla rozwoju systemów autonomicznych, takich jak pojazdy autonomiczne, czy inteligentnych miast. Sieć 6G umożliwi połączenie możliwości lokalizacyjnych z czujnikami, co pozwoli na lepsze monitorowanie infrastruktury miejskiej, zminimalizowanie wypadków drogowych i optymalizację transportu publicznego (Suh i in., 2021, s. 5). W kontekście technologii lokalizacyjnych szczególną uwagę przykłada się do rozwijania algorytmów opartych na sztucznej inteligencji i *machine learning* (*ML*), które mogą pozwalać na precyzyjniejsze lokalizowanie obiektów w trudnych warunkach. Dzięki tym technologiom pojazdy autonomiczne będą mogły dokładniej przewidywać ruch innych pojazdów, pieszych czy przeszkód na drodze, a także dostosowywać swoje zachowanie do zmieniających się warunków drogowych. (Gupta i in., 2022, s. 3).

Zrównoważony rozwój – badania nad siecią 6G muszą uwzględniać również kwestie związane ze zrównoważonym rozwojem i zmniejszaniem wpływu technologii na środowisko. Istotnym aspektem jest projektowanie sieci 6G w sposób energooszczędny, co ma na celu zmniejszenie emisji dwutlenku węgla i minimalizację zużycia zasobów naturalnych. Należy zwrócić uwagę na wykorzystanie zielonych technologii, takich jak ogniwa fotowoltaiczne w stacjach bazowych czy wykorzystanie energii z odnawialnych źródeł (NGMN, 2020, s. 7). Istnieją także badania koncentrujące się na optymalizacji procesów produkcji sprzętu do sieci 6G w sposób, który ogranicza negatywny wpływ na środowisko (Li i in., 2021, s. 10). W produkcji sprzętu do sieci 6G istotnym elementem będzie również rozwój technologii

36:29204

recyklingu. Współczesne urządzenia telekomunikacyjne zawierają cenne metale rzadkie, tj. złoto, srebro, miedź, czy platyna, które są niezbędne do ich funkcjonowania. Badacze koncentrują się na opracowaniu efektywnych metod odzyskiwania tych materiałów ze zużytych urządzeń, co pozwoli na zmniejszenie potrzeby wydobywania nowych zasobów i zminimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko (Sweeney i in., 2022, s. 8).

Sztuczna inteligencja i zarządzanie siecią – zastosowanie sztucznej inteligencji w zarządzaniu siecią jest jednym z kluczowych elementów standardu sieci 6G. AI ma za zadanie nie tylko monitorowanie i zarządzanie ruchem w sieci, ale także automatyczną optymalizację jej wydajności. Technologie, takie jak *deep learning* i *reinforcement learning* będą wykorzystywane do optymalizacji rozmieszczenia węzłów sieciowych oraz przydzielania zasobów w czasie rzeczywistym, co pozwoli na szybszą reakcję na zmieniające się warunki. Takie podejście ma być kluczowe w obliczu rosnącej liczby urządzeń podłączonych do sieci, a także wymagań dotyczących niskich opóźnień i wysokiej przepustowości (Li i in., 2021, s. 3). Warto dodać, że sztuczna inteligencja w sieci 6G nie będzie służyć jedynie do zarządzania ruchem, ale również do przewidywania awarii sieciowych, co zwiększy niezawodność i efektywność zarządzania infrastrukturą telekomunikacyjną (Zhang i in., 2022, s. 8).

Globalne inicjatywy badawcze – rozwój sieci 6G jest intensywnie wspierany przez międzynarodowe inicjatywy badawcze, które mają na celu wypracowanie globalnych standardów i rozwiązań technologicznych. Finlandia, dzięki projektowi 6G Flagship, jest liderem w pracach nad technologią 6G, badając m.in. zastosowanie nowych pasm częstotliwości, automatyzację zarządzania siecią i rozwój sztucznej inteligencji. Z kolei Stany Zjednoczone poprzez Next G Alliance koncentrują się na zapewnieniu amerykańskiej dominacji w przyszłych technologiach mobilnych, z naciskiem na innowacje w zakresie bezpieczeństwa, wydajności oraz wprowadzenie nowych modeli biznesowych (Kallio i in., 2021, s. 5). Chiny i Korea Południowa również podejmują intensywne prace nad rozwojem sieci 6G, szczególnie w kontekście integracji technologii kwantowych, które mogą zrewolucjonizować sposób przesyłania danych, zapewniając wyższe poziomy bezpieczeństwa i szybkości transmisji (Lee i in., 2022, s. 12).

Sieć 6G, jako naturalna kontynuacja technologii 5G, ma potencjał nie tylko do jej uzupełnienia, ale również do wprowadzenia nowej jakości w komunikacji cyfrowej, stając się kluczowym elementem przyszłościowych rozwiązań technologicznych. Przewidywana transformacja w dziedzinie sieci bezprzewodowych jest wynikiem nie tylko rosnących potrzeb w zakresie prędkości transmisji danych, lecz także dynamicznego rozwoju nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja (*AI*), Internet Rzeczy (*IoT*) czy rzeczywistość rozszerzona (*AR*)

37:77330

i wirtualna (*VR*). Pierwszym kluczowym obszarem, w którym sieć 6G z pewnością przewyższy 5G, jest ogromny wzrost przepustowości. Podczas gdy sieć 5G umożliwia prędkości rzędu 10 Gb/s, sieć 6G ma zapewnić przepustowość na poziomie 1 Tb/s, co otworzy zupełnie nowe możliwości w przesyłaniu danych (Banafaa i in., 2023). Taka prędkość będzie niezbędna do obsługi zaawansowanych aplikacji, ultra-wysokiej jakości transmisji wideo, czy interaktywnych platform edukacyjnych i rozrywkowych, które w dużej mierze opierają się na przetwarzaniu i transmisji ogromnych ilości danych w czasie rzeczywistym. Przewidywane przyspieszenie transferu danych wpłynie również na rozwój telemedycyny, umożliwiając przesyłanie obrazów wysokiej rozdzielczości oraz interaktywnych konsultacji na odległość. Jednym z najbardziej rewolucyjnych aspektów sieci 6G jest możliwość niemal natychmiastowej reakcji na dane, co będzie wynikać z obniżenia opóźnień do poziomu submilisekundowego. Tak niskie opóźnienia stanowią klucz do rozwoju wielu innowacyjnych technologii, w tym autonomicznych pojazdów, precyzyjnych systemów robotycznych, a także zaawansowanych aplikacji opartych na sztucznej inteligencji, które będą wymagały przetwarzania danych w czasie rzeczywistym. Przykładem takich technologii mogą być systemy zarządzania ruchem w miastach, które będą wykorzystywały dane z milionów czujników w celu optymalizacji przepływu ruchu w czasie rzeczywistym. W kontekście Internetu Rzeczy sieć 6G stanowić będzie fundament dla dalszego rozwoju tzw. inteligentnych miast. Sieć 5G już teraz umożliwia połączenie miliardów urządzeń, ale 6G zwiększy tę liczbę wielokrotnie, oferując wyjątkową elastyczność w obsłudze różnorodnych urządzeń. Dzięki wyższej gęstości połączeń i minimalnym opóźnieniom umożliwi rozwój zaawansowanych systemów automatyzacji, takich jak zarządzanie energią, wodą czy śmieciami w miastach, a także zapewni rozwiązania w rolnictwie precyzyjnym, za pomocą miliardów czujników i urządzeń monitorujących stan gleby, wilgotność czy zdrowie roślin. Ponadto sieć 6G będzie integrować technologie oparte na nowych pasmach częstotliwości, w tym pasma terahercowe, które nie były wykorzystywane w 5G (Zhang i in., 2022). To pozwoli na jeszcze większą pojemność sieci, umożliwiając jednoczesną obsługę ogromnej liczby urządzeń oraz zapewniając lepszą jakość usług nawet w zatłoczonych obszarach miejskich. Sieć 6G obejmie również wykorzystanie systemów satelitarnych, które umożliwią globalny dostęp do Internetu, ograniczając cyfrowe wykluczenie i zapewniając równiejszy dostęp do zaawansowanych usług w najbardziej odległych rejonach świata. Zrównoważony rozwój oraz efektywność energetyczna stanowią kolejne istotne cele przy projektowaniu sieci 6G. W obliczu rosnącego zapotrzebowania na energię, związanego z intensyfikacją wykorzystania technologii mobilnych, sieć 6G będzie musiała zapewnić znacznie większą efektywność energetyczną w

38:11226

porównaniu do poprzednich generacji. Dzięki zaawansowanym technologiom optymalizacji i nowych materiałów, takich jak komunikacja kwantowa, sieć 6G będzie mogła sprostać wymaganiom związanym z minimalizowaniem śladu węglowego, przyczyniając się tym samym do realizacji globalnych celów zrównoważonego rozwoju. Podsumowując, jej rozwój stanie się kluczowy w kontekście globalnej gospodarki cyfrowej. Sieć 6G ma stanowić fundament dla przyszłych technologii mobilnych, integrując nowe pasma spektralne, zaawansowane możliwości lokalizacyjne i sensorowe oraz sztuczną inteligencję w zarządzaniu siecią, uwzględniając potrzeby związane ze zrównoważonym rozwojem. Działania badawcze prowadzone w skali globalnej mają na celu nie tylko wypracowanie nowych standardów, ale także zapewnienie technologicznej przewagi krajom, które będą liderami w tej dziedzinie.

Zbieranie ogromnych ilości danych stało się możliwe dzięki rozwojowi Big Data. Firmy zaczęły korzystać z analizy danych w celu lepszego zrozumienia klientów i optymalizacji działań marketingowych, zaś rozwój technologii *IoT* pozwolił na podłączenie różnych urządzeń do Internetu, co umożliwiło ich zdalne monitorowanie i zarządzanie. Inteligentne urządzenia, takie jak smartfony, lodówki i termostaty, zaczęły się ze sobą łączyć (Chen i in., 2014, s. 113-121). Firmy i użytkownicy zaczęli inwestować w zabezpieczenia, aby chronić swoje dane ze względu na zwiększoną liczbę zagrożeń związanych z cyberatakami. Nastąpił również wzrost popularności platform edukacyjnych, takich jak Coursera, Udemy czy Khan Academy, a pandemia COVID-19 w 2020 r. przyspieszyła ten trend (Dhawan, 2020, s. 5-22). W 2019 r. firma OpenAI zaprezentowała model językowy GPT-2, a w 2020 r. wprowadziła model GPT-3, który miał 175 mld parametrów, co znacznie zwiększyło jego zdolności generowania tekstu oraz rozumienia kontekstu. W 2021 r. OpenAI zaprezentowało kolejny rewolucyjny model, DALL-E, który potrafił generować obrazy na podstawie opisów tekstowych. System ten, będący rozszerzeniem GPT-3 o zdolności przetwarzania wizualnego, pokazał, jak AI może tworzyć zupełnie nowe obrazy na podstawie ludzkich poleceń. Dzięki tej technologii AI zbliżyło się do naśladowania ludzkiej kreatywności, a potencjalne zastosowania tej technologii obejmują takie dziedziny jak projektowanie graficzne, reklama czy przemysł rozrywkowy.

GPT-3 zyskał umiejętność tworzenia płynnych i kontekstowych odpowiedzi, co otworzyło drzwi do zastosowania w różnych dziedzinach, od edukacji po obsługę klienta. W listopadzie 2022 r. OpenAI ogłosiło ChatGPT jako wersję modelu GPT-3 dostosowaną do interakcji w formie czatu. ChatGPT był dostępny dla publiczności i szybko zdobył popularność ze względu na swoje zdolności do generowania odpowiedzi w naturalnym języku oraz pomoc w rozwiązywaniu problemów. W marcu 2023 r. OpenAI zaprezentowało ChatGPT-4, który wprowadził jeszcze bardziej zaawansowane zdolności, w tym lepsze rozumienie kontekstu,

39:81470

bardziej złożone odpowiedzi oraz obsługę multimodalną (możliwość pracy z tekstem i obrazem). Nowa wersja zyskała także lepsze zdolności w zakresie generowania kodu, tłumaczenia i kreatywnego pisania tekstów. ChatGPT jako model językowy oparty na sztucznej inteligencji stał się narzędziem wykorzystywanym w edukacji, marketingu, programowaniu oraz wsparciu klienta (Open AI, 2024).

1.6. Sztuczna inteligencja w rozwoju rewolucji informatycznej

Sztuczna inteligencja odgrywa główną rolę na obecnym etapie rewolucji informatycznej, w którym automatyzacja procesów intelektualnych zbliża się do poziomu ludzkiego rozumowania i podejmowania decyzji. To dziedzina nauki zajmująca się tworzeniem systemów komputerowych zdolnych do wykonywania zadań wymagających ludzkiej inteligencji, takich jak rozpoznawanie obrazów, przetwarzanie języka naturalnego czy podejmowanie decyzji na podstawie dużych zbiorów danych. Pierwsze koncepcje związane z AI można odnaleźć w pracach Alana Turinga, który w 1950 r. opublikował artykuł *Computing Machinery and Intelligence* dotyczący tzw. Testu Turinga. Miał on na celu ocenę zdolności maszyn do przejawiania inteligentnego zachowania, które byłoby nieodróżnialne od zachowań ludzi. W 1956 r. podczas konferencji w Dartmouth College, zorganizowanej przez Johna McCarthy'ego, Marka Minsky'ego, Nathanaiel'a Rochester'a i Claude'a Shannona, naukowcy zdefiniowali cele i kierunki badań dotyczące rozwoju sztucznej inteligencji (McCarthy i in., 1956, s. 12-14). W tym czasie powstały pierwsze programy komputerowe, które potrafiły rozwiązywać proste problemy, grać w szachy oraz prowadzić nieskomplikowane pod względem językowym rozmowy. Lata 60. i 70. XX w. to okres intensywnego rozwoju sztucznej inteligencji. Powstały wówczas pierwsze programy do przetwarzania języka naturalnego, takie jak program ELIZA zaprojektowany przez Josepha Weizenbauma. ELIZA była jednym z pierwszych chatbotów, symulującym rozmowę z psychoterapeutą. Równocześnie w tym okresie rozwijały się algorytmy rozpoznawania wzorców oraz systemy ekspertowe, które były w stanie naśladować decyzje podejmowane przez ekspertów w różnych dziedzinach, takich jak medycyna czy inżynieria (Weizenbaum, 1966, s. 36-45). Przykład stanowić może DENDRAL, który służył do analizy struktury związków chemicznych (McLarty, Tschinkel, 2020, s. 809-820).

W historii rozwoju sztucznej inteligencji wyróżnia się w szczególności dwa główne okresy stagnacji, określane mianem zim AI (1974-1980, 1987-2000), które miały ogromny wpływ na dalszy rozwój tej technologii (Russell i Norvig, 2016, s. 45). Sztuczna inteligencja przeszła długą drogę – od początkowych oczekiwań związanych z możliwością stworzenia maszyn o zdolnościach poznawczych na poziomie ludzkim, po okresy trudności, które prowadziły do

40:10823

ograniczenia finansowania oraz spadku zainteresowania badaniami w tej dziedzinie (Boden, 2016, s. 128). Niemniej jednak trudności te nie zakończyły prac nad AI. Przeciwnie, w XXI w. sztuczna inteligencja doświadczyła znaczącego wzrostu, który zrewolucjonizował oblicze technologii na całym świecie (Silver i in., 2016, s. 52). Szum medialny oraz wygórowane oczekiwania wywołane przez media i opinię publiczną, w połączeniu z błędnymi prognozami i przesadzonymi ocenami ekspertów dotyczących wyników badań, doprowadziły pod koniec lat 60. do znaczących cięć w finansowaniu badań nad sztuczną inteligencją (Crevier, 1993, s. 75). Organizacje rządowe, takie jak Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych – ARPA (dzisiaj znana jako Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych Departamentu Obrony – DARPA) przyznały ogromne fundusze na projekty badawcze nad sztuczną inteligencją w latach 60. ARPA przeznaczyła na badania nad sztuczną inteligencją około 20 mln dolarów, co w tamtych czasach stanowiło dużą sumę (Minsky, 1961, s. 93). Te fundusze były przeznaczane na różnorodne projekty badawcze, w tym rozwój systemów eksperckich (znanych również jako ekspertowe), sztucznych sieci neuronowych i pierwszych programów do rozwiązywania problemów matematycznych (Nilsson, 1998, s. 56). Jednym z najbardziej znanych projektów finansowanych przez tę agencję stał się rozwój systemu Shakey w latach 60., który był pierwszym mobilnym robotem zdolnym do podejmowania decyzji na podstawie przetwarzania danych z otoczenia (Nilsson, 2009, s. 112). Ten projekt pochłonął część funduszy z tamtych lat.

W 1964 r. rząd Stanów Zjednoczonych powołał *Automatic Language Processing Advisory Committee* – ALPAC, czyli komitet składający się z siedmiu naukowców (pod przewodnictwem amerykańskiego inżyniera Johna R. Pierce'a), którego celem była ocena postępu w dziedzinie lingwistyki komputerowej, ze szczególnym uwzględnieniem tłumaczenia maszynowego. Miało to istotne znaczenie ze względu na zainwestowanie znacznych funduszy przez Amerykanów w rozwój technologii tłumaczenia maszynowego w latach 50. i 60. W 1966 r. ALPAC wydał raport krytyczny wobec osiągnięć dotyczących tych technologii, stwierdzając, że mimo dużych inwestycji systemy tłumaczeń maszynowych nie spełniały pierwotnych oczekiwań. Komitet zauważył, że jakość tłumaczeń pozostawała na bardzo niskim poziomie, a automatyczne systemy tłumaczeniowe nie były w stanie poradzić sobie z bardziej skomplikowanymi i złożonymi strukturami językowymi, takimi jak idiomy czy subtelności semantyczne (ALPAC, 1966, s. 45-47). Wyniki te były dalekie od obiecywanych przez entuzjastów technologii. W raporcie zalecono ograniczenie finansowania dalszych badań nad tłumaczeniem maszynowym, sugerując, że lepszym rozwiązaniem będzie rozwój systemów wspomagających pracę ludzkich tłumaczy i wskazano na korzyści płynące z połączenia

41:45590

technologii komputerowych z ludzką inteligencją. Wskutek ocen zawartych w raporcie rząd USA zmniejszył finansowanie projektów związanych z tłumaczeniem maszynowym, co znacząco wpłynęło na dalszy rozwój tej technologii przez następne lata (Berwick i in., 1989, s. 82). W 1973 r. ukazał się artykuł naukowy pt. *Artificial Intelligence: A General Survey*, powszechnie znany jako raport Lighthilla, od nazwiska brytyjskiego naukowca w dziedzinie matematyki stosowanej, Sir Jamesa Lighthilla (Lighthill, 1973, s. 29). Został opracowany dla British Science Research Council jako ocena badań naukowych w dziedzinie sztucznej inteligencji. Lighthill krytycznie odnosił się do postępów w dziedzinie AI, w szczególności w zakresie sieci neuronowych i ogólnych prób replikowania ludzkiej inteligencji w maszynach. Zauważył, że po latach intensywnych inwestycji w AI, wyniki były dalekie od oczekiwanych, a technologia nie spełniała wygórowanych prognoz. Zdecydowana większość systemów sztucznej inteligencji ze wspomnianego okresu nie była w stanie rozwiązać problemów świata nauki, a ich zastosowania były ograniczone do bardzo prostych, teoretycznych zadań. Lighthill przejawiał krytyczny stosunek do sieci neuronowych, zauważając, że technologie te miały poważne ograniczenia, które uniemożliwiały ich zastosowanie w bardziej złożonych dziedzinach. Wskazał również na nadmierny optymizm w mediach i wśród ekspertów, którzy stawiali zbyt wygórowane prognozy, co wywołało rozczarowanie wśród decydentów (Lighthill, 1973, s. 32). Raport Lighthilla, podobnie jak raport ALPAC, wskazywał na brak realnych postępów, które mogłyby uzasadniać dalsze inwestowanie dużych funduszy w badania nad AI. Biorąc pod uwagę konkluzje tego dokumentu, rząd Wielkiej Brytanii zdecydował o ograniczeniu finansowania badań w dziedzinie AI, co spowodowało, że wiele projektów związanych ze sztuczną inteligencją zostało wstrzymanych lub zmniejszono ich budżet (Boden, 2016, s. 150). Ograniczenie funduszy na badania nad AI w Wielkiej Brytanii i USA doprowadziło do okresu stagnacji, który trwał aż do lat 80. Przyczyny tego przestoju są wieloaspektowe i wynikają z interakcji różnych czynników, zarówno technologicznych, jak i społeczno-ekonomicznych, które miały znaczący wpływ na rozwój sztucznej inteligencji w tamtym okresie (Russell i Norvig, 2016, s. 122). Wczesne systemy sztucznej inteligencji często opierały się na podejściu „myślenia po ludzku" w celu rozwiązywania problemów. Ich twórcy działali na rzecz naśladowania procesów myślowych człowieka, co prowadziło do tworzenia algorytmów bazujących na uproszczonych modelach poznawczych, nieuwzględniających specyfiki komputerowego przetwarzania informacji. Zamiast skupić się na opracowywaniu algorytmów optymalizacyjnych, które mogłyby efektywnie rozwiązywać problemy na poziomie konkretnych zadań, koncentrowano się na replikowaniu sposobu, w jaki ludzie rozwiązują problemy, co okazało się niewystarczające i nieodpowiednie do stawianych

42:96389

wyzwań (Newell i Simon, 1972, s. 48). Po drugie, nie rozpoznano w pełni złożoności wielu problemów, które sztuczna inteligencja próbowała rozwiązać. Pierwsze próby dotyczące AI, takie jak te zaproponowane przez amerykańskiego naukowca zajmującego się naukami kognitywnymi Marvina Minsky'ego, opierały się na silnym uproszczeniu struktur przez systemy sztucznej inteligencji. Minsky, który był jednym z pionierów w tej dziedzinie, postulował, że problemy można rozwiązywać za pomocą prostych, logicznych algorytmów, które odzwierciedlają sposób, w jaki człowiek myśli i rozwiązuje zadania. To podejście skupiało się przede wszystkim na przedstawianiu wiedzy i problemów za pomocą formalnych reguł oraz rozwiązywaniu ich przy wykorzystaniu struktur prostych do zrozumienia i implementacji (Minsky, 1961, s. 85). Jednym z przykładów takiego rozumowania był perceptron – wczesny model sieci neuronowej, który próbował naśladować sposób, w jaki ludzie uczą się i rozpoznają wzorce. W 1958 r. amerykański psycholog Frank Rosenblatt zaprezentował swój pierwszy perceptron, który był w stanie rozwiązywać zadania związane z rozpoznawaniem wzorców, takie jak klasyfikacja prostych danych. Istotną cechą perceptronu była jego umiejętność samodzielnego uczenia się na podstawie dostarczonego materiału. Poprzez modyfikację wag po każdej iteracji (w wyniku błędów w klasyfikacji), perceptron mógł dostosować swoje odpowiedzi, aż do momentu osiągnięcia odpowiedniego poziomu dokładności. Stanowiło to pierwszy krok w kierunku automatycznego uczenia się maszyn, co miało ogromne znaczenie w rozwoju późniejszych sieci neuronowych i algorytmów sztucznej inteligencji (Rosenblatt, 1958, s. 42). W 1969 r. Marvin Minsky i Seymour Papert opublikowali książkę pt. *Perceptrons*, w której wskazali na ograniczenia jednowarstwowego perceptronu w reprezentowaniu bardziej złożonych funkcji logicznych, takich jak klasyczna funkcja XOR. To krytyczne spojrzenie na perceptron miało znaczący wpływ na dalszy rozwój sieci neuronowych, ponieważ sugerowało, że struktura jednowarstwowa nie jest wystarczająca do rozwiązania bardziej skomplikowanych problemów. Choć nie była to ogólna krytyka wszystkich sieci neuronowych, to jednak raport ten spowodował, że wielu badaczy zaczęło rezygnować z dalszego rozwoju tej technologii. Sceptycyzm wobec sieci neuronowych, zwłaszcza w kontekście ograniczeń perceptronów, doprowadził do znacznego spadku zainteresowania tą dziedziną w latach 70., co przyczyniło się do cięć finansowych na badania nad sieciami neuronowymi (Minsky i Papert, 1969, s. 61-62). Większość początkowych systemów AI przynosiła oczekiwane rezultaty, głównie w kontekście rozwiązywania problemów o niskim stopniu złożoności, takich jak zadania logiczne o ograniczonym zakresie. Z kolei problemy, z którymi sztuczna inteligencja miała do czynienia w świecie rzeczywistym, okazały się znacznie

43:87210

bardziej skomplikowane i często nierozwiązywalne w sensie algorytmicznym (Boden, 2016, s. 155).

Badacze tamtego okresu zakładali, że postęp w rozwoju sztucznej inteligencji będzie wynikał głównie z poprawy sprzętu komputerowego i zwiększenia pojemności pamięci. Nie uwzględniali jednak, że wiele problemów ma naturalnie wyższą złożoność obliczeniową, której nie da się przezwyciężyć jedynie za pomocą szybszych maszyn. Choć w teorii niektóre rozwiązania wydawały się możliwe, nie miały one zastosowania w rzeczywistości z powodu złożoności obliczeniowej problemów (Papadimitriou, 1994). W kontekście sztucznej inteligencji pojęcie „problemów" odnosi się do różnorodnych zadań, które systemy AI mają rozwiązywać, tj. rozpoznawanie wzorców, przetwarzanie języka naturalnego, rozwiązywanie zagadek logicznych czy podejmowanie decyzji. Problemy te mogą mieć różną złożoność, zarówno pod względem liczby dostępnych danych, jak i trudności w znalezieniu skutecznych algorytmów, które pozwalają je rozwiązać. „Problemy" obejmują zarówno proste zadania, które można rozwiązać za pomocą podstawowych algorytmów, jak i bardziej skomplikowane wyzwania, które wymagają zaawansowanych technik obliczeniowych, takich jak algorytmy optymalizacji czy sieci neuronowe. Niektóre z nich mają charakter obliczeniowo trudny, tzn. wymagają ogromnych zasobów obliczeniowych lub są teoretycznie nierozwiązywalne w rozsądnych ramach czasowych, niezależnie od tego, jak szybki i zaawansowany jest sprzęt komputerowy. Przykładem problemu o wysokiej złożoności obliczeniowej może być problem klasyfikacji dużych zbiorów danych z wykorzystaniem głębokich sieci neuronowych, gdzie liczba obliczeń rośnie wykładniczo w miarę wzrostu rozmiaru danych (Boden, 2016, s. 45-47). Tego rodzaju wyzwań nie można rozwiązać jedynie poprzez zwiększenie mocy obliczeniowej komputerów, ponieważ sama natura problemu może wymagać zupełnie nowych metod obliczeniowych, a nie tylko szybszego sprzętu. Ograniczenia w zakresie struktury sieci neuronowych stały się ważnym czynnikiem spowolnienia badań nad AI, wskutek czego przez długi czas sieci neuronowe były marginalizowane w badaniach nad sztuczną inteligencją, a środki finansowe zostały przekierowane na inne dziedziny, takie jak systemy ekspertowe czy logika rozmyta (Newell i Simon, 1972, s. 20-23). Dopiero w późniejszych latach, dzięki rozwojowi nowych algorytmów, takich jak algorytm wstecznej propagacji błędów (backpropagation) oraz wzrostowi mocy obliczeniowej komputerów, sieci neuronowe zaczęły zyskiwać na popularności (Rumelhart i in., 1986, s. 534-535). Te trzy czynniki – naśladowanie ludzkiego myślenia w sztucznej inteligencji, nieuznanie złożoności wielu problemów oraz ograniczenia sieci neuronowych – złożyły się na załamanie finansowania i wstrzymanie rozwoju AI w tym okresie. Zamiast kontynuować badania nad technologiami, które miały

44:90838

potencjał rewolucjonizowania różnych dziedzin, badacze i decydenci zaczęli koncentrować się na bardziej ugruntowanych, matematycznych teoriach i algorytmach (Boden, 2016, s. 98-102). Punktem zwrotnym w zmianie polityki dotyczącej AI była uchwała Kongresu USA, znana jako poprawka Mansfielda z 1969 r. (United States Congress, 1969). Zgodnie z jej postanowieniami, ARPA powinna przeznaczać fundusze wyłącznie na badania, które miały bezpośrednie zastosowanie w sferze wojskowej (McCarthy, 1997, s. 41-44). Była to reakcja na krytykę wydatków rządowych w obszarze nowych technologii, które nie przynosiły oczekiwanych rezultatów, szczególnie w przypadku sztucznej inteligencji. W wyniku tej decyzji projekty badawcze dotyczące sztucznej inteligencji, które nie miały bezpośredniego związku z obronnością, zostały uznane za mniej istotne. W praktyce oznaczało to, że badacze zajmujący się AI, w tym ci, którzy koncentrowali się na rozwoju bardziej ogólnych teorii i technologii, musieli zmieniać tematykę swoich prac, aby dostosować je do wymagań wojskowych. Wielu naukowców, prowadzących projekty badawcze w dziedzinie sztucznej inteligencji, zostało zmuszonych do porzucenia wcześniejszych koncepcji i znalezienia nowych, bardziej praktycznych zastosowań technologii. Z tego powodu wiele pomysłów, które miały potencjał rozwoju w kierunku ogólnego zastosowania sztucznej inteligencji, zostało zamrożonych lub całkowicie porzuconych. Projekty niemające bezpośredniego związku z militarnym zastosowaniem sztucznej inteligencji, takie jak te związane z teorią sieci neuronowych czy szeroko rozumianą automatyzacją, nie otrzymały finansowania. Z powodu tej zmiany badania skoncentrowane były głównie na projektach związanych z rozwojem technologii przydatnych w kontekście wojskowym, takich jak rozpoznawanie obrazów, systemy wczesnego ostrzegania czy autonomiczne pojazdy, które mogłyby być wykorzystywane w działaniach wojennych. Skutkowało to spowolnieniem postępu w bardziej ogólnych badaniach nad sztuczną inteligencją, które zostały zastąpione przez pragmatyczne, ukierunkowane na bezpośrednie potrzeby obronności badania (Lighthill, 1973, s. 12-15).

Pierwsza zima sztucznej inteligencji (1974-1980) była okresem, w którym zawirowania technologiczne, finansowe i dotyczące samych koncepcji naukowych doprowadziły do poważnego spadku zainteresowania badaniami nad AI. Kryzys ten był w dużej mierze efektem nierozwiązywalnych trudności związanych z ówczesnymi metodami sztucznej inteligencji, a także z nadmiernym optymizmem, który towarzyszył pierwszym badaniom w tej dziedzinie. Pierwszym kluczowym czynnikiem, który doprowadził do kryzysu, była techniczna niedoskonałość ówczesnych metod sztucznej inteligencji. Początkowo dominującą filozofią w badaniach nad AI były podejścia symboliczne, oparte na reprezentacji wiedzy za pomocą reguł, symboli i logiki formalnej. Modele te, takie jak systemy ekspertowe, miały na celu

45:21927

odwzorowanie ludzkiego sposobu rozumowania, zakładając, że procesy myślowe można opisać za pomocą zestawu reguł i zależności. Jednak okazało się, że takie podejście jest bardzo ograniczone w kontekście rozwiązywania bardziej złożonych problemów, które wymagają elastyczności, intuicji i zdolności do pracy z nieuporządkowanymi danymi. Przykładem tego ograniczenia była niemożność radzenia sobie z przypadkami wykraczającymi poza zakres wcześniej zaprogramowanych reguł. Alternatywę dla modeli symbolicznych stanowiły sieci neuronowe, które w teorii mogły przyczynić się do rozwoju bardziej elastycznych i samodzielnych systemów uczących się. W praktyce jednak sieci te borykały się z poważnymi trudnościami technologicznymi, głównie z brakiem wystarczającej mocy obliczeniowej komputerów oraz ograniczoną ilością danych niezbędnych do efektywnego ich treningu. W latach 70. komputery były zbyt wolne i mało zaawansowane, aby mogły obsługiwać skomplikowane algorytmy, a jednocześnie brakowało odpowiednich zbiorów danych, które pozwalałyby na trenowanie modeli neuronowych w sposób efektywny. Kolejnym istotnym powodem kryzysu okazała się nadmierna ekscytacja oraz wygórowane oczekiwania towarzyszące początkowym badaniom nad sztuczną inteligencją. W latach 50. i 60. XX w. dziedzina ta postrzegana była jako potencjalnie zdolna do przełamywania granic ludzkich możliwości intelektualnych oraz do tworzenia maszyn wykonujących zadania wymagające zaawansowanego rozumowania, takie jak rozwiązywanie problemów matematycznych czy prowadzenie konwersacji w języku naturalnym. Jednak w miarę jak pierwsze eksperymenty i aplikacje AI napotykały na trudności, a postęp w tej dziedzinie stawał się coraz bardziej powolny, entuzjazm zaczynał słabnąć. Spadek finansowania badań nad AI miał również znaczący wpływ na ten okres stagnacji. W latach 70. i 80. wielu rządowych sponsorów i prywatnych inwestorów zaczęło wycofywać swoje środki, wcześniej przeznaczane na rozwój sztucznej inteligencji. Pojawiające się trudności w realizacji postawionych celów oraz brak przełomowych wyników badawczych sprawiły, że fundusze skierowane na projekty AI zostały ograniczone, co pogłębiło kryzys w tej dziedzinie. W wyniku tego wiele laboratoriów badawczych zredukowało swoje wysiłki, a wielu naukowców opuściło tę dziedzinę, przekładając swoje zainteresowania na inne obszary nauki i technologii. Podsumowując, *Pierwsza zima AI* była wynikiem złożonego zjawiska, w którym nadmierne oczekiwania dotyczące sztucznej inteligencji, ograniczenia techniczne, problemy z odpowiednim modelem reprezentacji wiedzy oraz spadek finansowania badań stworzyły trudną sytuację dla tej młodej dziedziny nauki. Dopiero po przełomie lat 80. i 90., wraz z postępem technologicznym i opracowaniem nowych metod, takich jak algorytmy uczenia maszynowego, sztuczna inteligencja zaczęła ponownie zyskiwać na znaczeniu.

46:21018

Druga zima sztucznej inteligencji (1980-2000) to czas, w którym zainteresowanie AI znacząco spadło, a finansowanie badań zostało drastycznie ograniczone. Trwała od końca lat 80. do początku XXI w. i wynikała głównie z rozczarowania możliwościami systemów AI, które nie spełniły oczekiwań zarówno badaczy, jak i przedsiębiorstw. Jednym z najbardziej znaczących przykładów była porażka systemów ekspertowych, które początkowo wydawały się obiecującą technologią, znajdującą zastosowanie w biznesie i przemyśle. Firmy takie jak Digital Equipment Corporation i IBM inwestowały znaczne środki finansowe w rozwój tych systemów. Powstały wtedy komercyjne systemy ekspertowe, np. XCON do konfigurowania zamówień w firmie Digital Equipment Corporation (Ramesh i Jain, 2007, s. 30-36). Wzrost zainteresowania doprowadził do intensywnych inwestycji zarówno ze strony prywatnych firm, jak i instytucji rządowych. Jednak wraz z upływem czasu okazało się, że systemy eksperckie mają poważne ograniczenia. Ich rozwój i utrzymanie wymagały ogromnych nakładów pracy, ponieważ każda nowa reguła musiała być ręcznie programowana, co często prowadziło do nieprzewidywalnych interakcji i błędów. Ponadto systemy te były kosztowne w utrzymaniu, działały jedynie w precyzyjnie określonych dziedzinach i nie radziły sobie z bardziej dynamicznymi środowiskami, co ograniczało ich praktyczne zastosowanie. W efekcie nastąpił gwałtowny spadek zainteresowania tym rozwiązaniem, co doprowadziło do upadku wielu firm zajmujących się sztuczną inteligencją. W Stanach Zjednoczonych w latach 80. realizowano także *Strategic Computing Initiative*, ambitny projekt rządowy mający na celu opracowanie autonomicznych systemów wojskowych. Inicjatywa ta miała na celu przyspieszenie badań nad sztuczną inteligencją oraz rozwój zaawansowanych systemów obliczeniowych wspierających działania obronne. Pomimo znacznych inwestycji finansowych i wysiłków naukowych, projekt został anulowany w 1988 r., gdyż nie spełnił pokładanych w nim nadziei. Problemy techniczne oraz brak przełomowych wyników przyczyniły się do decyzji o zakończeniu finansowania tego programu (O'Connell, 1988, s. 156-159). Wysokie koszty implementacji i utrzymania sprawiły, że wiele firm zaczęło się wycofywać z inwestowania w AI. Dodatkowym czynnikiem, który doprowadził do *Drugiej zimy AI*, stały się nierealistyczne oczekiwania względem tej technologii. W latach 80. sztuczna inteligencja była przedstawiana jako przełomowa dziedzina, która miała zrewolucjonizować przemysł i naukę. W rzeczywistości jednak jej możliwości okazały się o wiele mniejsze, niż prognozowano. Rządy i firmy, które zainwestowały znaczne środki w badania nad AI, zaczęły tracić cierpliwość, gdy okazało się, że postępy są wolniejsze, a obiecywane przełomy nie następują. Ilustrację stanowić może japoński projekt *Fifth Generation Computer Systems* zainicjowany w 1982 r. przez japońskie Ministerstwo Handlu Zagranicznego i Przemysłu (MITI), który miał na celu stworzenie komputerów równoległych

47:39863

do zastosowań AI, wykorzystując współbieżne programowanie logiczne. Pomimo ogromnych inwestycji projekt nie spełnił oczekiwań, co doprowadziło do jego porzucenia w latach 90. (Henderson, 1992, s. 210-213). Istotną okolicznością przyczyniającą się do *Drugiej zimy AI* była także sytuacja ekonomiczna. Na przełomie lat 80. i 90. branża komputerowa weszła w okres kryzysu, co sprawiło, że firmy zaczęły ograniczać wydatki na badania, koncentrując się na bardziej rentownych technologiach. Wynikało to z kilku powodów. Rynek komputerów mainframe i superkomputerów załamał się, ponieważ tańsze i coraz wydajniejsze komputery osobiste oraz systemy klient-serwer zaczęły wypierać drogie systemy centralne, zaś globalne spowolnienie gospodarcze (recesja) we wczesnych latach 90-tych zmusiło firmy do ograniczania inwestycji w badania i rozwój, co skłoniło je do koncentrowania się na bardziej dochodowych technologiach (Noyce, 1993, s. 54-76). Kolejną przyczyną było niespełnienie wysokich oczekiwań odnośnie do nowatorskich rozwiązań, takich jak komputery równoległe czy zaawansowane systemy AI, co zniechęciło inwestorów (Crevier, 1993, s. 45-67). Dodatkowo, rosnąca konkurencja i rozwój tańszych komponentów obniżyły marże, zmuszając firmy do optymalizacji kosztów (Smith, 1994, s. 212-229). Wreszcie, zmieniające się trendy technologiczne sprawiły, że przedsiębiorstwa zaczęły skupiać się na rozwoju systemów bazodanowych, sieci komputerowych i klasycznych systemów informatycznych, które gwarantowały szybszy zwrot z inwestycji. Wiele przedsiębiorstw zajmujących się AI upadło, a laboratoria badawcze zamykano lub zmieniały one swoją specjalizację. Te zmiany dotknęły np. firmę Lisp Machines Inc., która produkowała komputery przeznaczone do zastosowań związanych z AI, ale nie zdołała utrzymać się na rynku z powodu braku popytu (Boden, 2016, s. 34-56). *Drugą zimę AI* pogłębiały również ograniczenia technologiczne. Chociaż komputery stawały się coraz wydajniejsze, wciąż brakowało im mocy obliczeniowej niezbędnej do efektywnego przetwarzania skomplikowanych algorytmów AI. Sieci neuronowe, które miały potencjał do rozwiązywania wielu problemów, wymagały ogromnych zasobów obliczeniowych, których ówczesne maszyny nie mogły zapewnić. Dodatkowo brakowało skutecznych metod uczenia się, które umożliwiłyby automatyczne dostosowywanie się do nowych warunków (LeCun i in., 2015, s. 436-444). Dopiero pod koniec lat 90. rozwój algorytmu wstecznej propagacji błędów pozwolił na bardziej efektywne trenowanie sieci neuronowych, co przyczyniło się do przyszłego ożywienia w badaniach nad AI (Rumelhart i in., 1986, s. 533-536). Konsekwencją *Drugiej zimy AI* było gwałtowne zmniejszenie finansowania tej dziedziny. Zarówno rządy, jak i firmy zaczęły przeznaczać środki na inne technologie, takie jak rozwój Internetu, eksploracja danych i klasyczne metody analizy statystycznej (Boden, 2016, s. 34-56). W rezultacie wielu badaczy zmieniło swoje

48:79750

zainteresowania naukowe, odchodząc od tradycyjnych metod AI na rzecz bardziej praktycznych rozwiązań, opartych na modelach probabilistycznych i uczeniu maszynowym (Jordan i Mitchell, 2015, s. 255-260). Zamiast programowania systemów eksperckich opartych na sztywnych regułach, coraz większą uwagę zaczęto poświęcać metodom matematycznym, które umożliwiały analizę danych i wyciąganie wniosków bez konieczności ręcznego kodowania wiedzy (Bishop, 2006, s. 123-145). Pomimo trudności *Druga zima AI* pośrednio przyczyniła się do powstania nowych kierunków badań, które później doprowadziły do ponownego rozwoju tej dziedziny. W tym okresie zaczęto eksperymentować z nowymi podejściami, takimi jak ukryte modele Markowa stosowane w przetwarzaniu języka naturalnego, czy algorytmy oparte na eksploracji danych (Bengio i in., 2006, s. 1-19). Rozwój uczenia maszynowego pozwolił na stopniowe odrodzenie sztucznej inteligencji, które nabrało rozpędu pod koniec lat 90. Firmy technologiczne, takie jak Google, Microsoft i IBM, dostrzegły potencjał sztucznej inteligencji w analizie danych, automatyzacji procesów i rozwoju wyszukiwarek internetowych (Brynjolfsson i McAfee, 2014, s. 78-102). Wprowadzenie głębokiego uczenia oraz postęp w dziedzinie sieci neuronowych sprawiły, że AI zaczęła osiągać coraz lepsze wyniki (Goodfellow i in., 2016). *Druga zima AI*, choć była okresem stagnacji, wymusiła zmianę podejścia i otworzyła drogę do nowych, skuteczniejszych metod, które w XXI w. doprowadziły do przełomowego rozwoju sztucznej inteligencji (Hinton i in., 2012, s. 82-97).

Zimy sztucznej inteligencji wywarły istotny wpływ na współczesne badania nad tą dziedziną, kształtując bardziej systematyczne i pragmatyczne podejście do rozwoju AI. Początkowe okresy stagnacji uwidoczniły znaczące ograniczenia metod opartych na regułowych systemach ekspertowych oraz podstawowych modelach sieci neuronowych. Doprowadziło to do dalszych poszukiwań nowych metod, co w kolejnych dekadach zaowocowało opracowaniem bardziej efektywnych algorytmów, takich jak propagacja wsteczna błędów, stanowiąca fundament nowoczesnych sieci neuronowych. Równie istotny był dostęp do odpowiednio dużych zbiorów danych oraz wydajnych zasobów obliczeniowych, bez których postęp w dziedzinie uczenia maszynowego nie byłby możliwy. Istotnym następstwem doświadczeń z przeszłości stało się także zwiększenie interdyscyplinarności badań. Sztuczna inteligencja nie jest już rozwijana w izolacji, lecz czerpie z osiągnięć innych dziedzin, takich jak neuronauka, lingwistyka czy matematyka. Takie podejście pozwala na lepsze rozumienie mechanizmów poznawczych i bardziej efektywne projektowanie modeli uczących się.

49:29994

Kolejnym ważnym aspektem wynikającym z doświadczeń *zim AI* jest większa odporność na wahania finansowe. Współczesne finansowanie badań nad sztuczną inteligencją pochodzi zarówno z sektora prywatnego, jak i publicznego, co zmniejsza ryzyko nagłego zahamowania inwestycji i utraty ciągłości rozwoju. Naukowcy i przedsiębiorcy kładą większy nacisk na konkretne, praktyczne zastosowania AI w różnych dziedzinach, takich jak medycyna, przetwarzanie języka naturalnego czy autonomiczne systemy. W konsekwencji sztuczna inteligencja stała się dziedziną opartą na solidnych podstawach teoretycznych i praktycznych, a jej dynamiczny rozwój nie tylko redefiniuje współczesną technologię, lecz także kształtuje przyszłość innowacji.

1.7. Rozwój sieci neuronowych i postępy w dziedzinie komputerów kwantowych

Lata 90. to okres, w którym nastąpił rozwój technik uczenia maszynowego, które stały się fundamentem nowoczesnej sztucznej inteligencji. Przykłady takich technik to uczenie z nadzorem, uczenie bez nadzoru i uczenie przez wzmacnianie. W tym okresie wzrosła dostępność danych oraz mocy obliczeniowej, co umożliwiło tworzenie bardziej zaawansowanych modeli. W 1997 r. program Deep Blue, opracowany przez IBM, pokonał mistrza świata w szachach Gariego Kasparowa, co stanowiło istotny moment w historii rozwoju sztucznej inteligencji (IBM, 1997, s. 37-52). Rozwój głębokiego uczenia (ang. *deep learning*) w latach 2010-2020 zrewolucjonizował tę dziedzinę. Zastosowanie wielowarstwowych sieci neuronowych do analizy dużych zbiorów danych doprowadziło do znacznych postępów w dziedzinach takich jak rozpoznawanie obrazów, przetwarzanie języka naturalnego, czy w autonomicznych systemach w postaci samochodów autonomicznych. Modele AlexNet, ResNet i BERT osiągnęły wyniki znacznie przewyższające wcześniejsze osiągnięcia w różnych dziedzinach. Wraz z rozwojem technologii przetwarzania danych w chmurze oraz wzrostem mocy obliczeniowej, dostęp do narzędzi i technologii sztucznej inteligencji stał się bardziej powszechny (Huang i in., 2016, s. 484-489). W 2012 r. dzięki osiągnięciom Jeffa Deana i Andrew Nga z firmy Google opracowano sieć neuronową, której celem było rozpoznawanie obiektów na obrazach. Była ona w stanie nauczyć się identyfikować koty bez konieczności nadawania etykiet do zdjęć. Trening tej sieci oparty był na ogromnych zbiorach danych obrazowych i metodzie uczenia się bez nadzoru. Sukces tego projektu stanowił dowód na to, że sieci neuronowe mogą skutecznie rozpoznawać wzorce danych bez nadzoru człowieka, co stało się fundamentem dla rozwoju głębokiego uczenia się (*deep learning*). To wydarzenie zainicjowało rewolucję, która doprowadziła do rozwoju zaawansowanych systemów sztucznej inteligencji, które obecnie wykorzystujemy w takich dziedzinach jak widzenie komputerowe,

50:11355

rozpoznawanie mowy czy analiza danych (LeCun, Bengio, Hinton, 2015). Z kolei w 2015 r. sztuczna inteligencja stała się tematem międzynarodowej dyskusji o potencjalnych zagrożeniach, które mogą wynikać z jej zastosowania w kontekście militarnym. Z inicjatywy takich postaci jak Elon Musk, Stephen Hawking czy Steve Wozniak ponad 3000 naukowców i liderów technologicznych podpisało list otwarty wzywający do zakazu rozwoju broni autonomicznych. Takie systemy, zdolne do działania bez ingerencji człowieka, mogłyby w przyszłości zostać wykorzystane w konfliktach zbrojnych, wywołując niekontrolowaną eskalację przemocy. Biorąc pod uwagę możliwości wykorzystania AI do prowadzenia wojny bez odpowiedzialności człowieka, inicjatywa ta zwróciła uwagę na konieczność ustanowienia międzynarodowych regulacji w zakresie rozwoju i wykorzystania autonomicznych broni (Cave i Dignum, 2019)[2]. Kolejnym przełomowym momentem w rozwoju AI było stworzenie w 2016 r. przez firmę Hanson Robotics z Hong-Kongu humanoidalnego robota o imieniu Sophia, który zdobył ogólnoświatową uwagę. Sophia, wyposażona w zaawansowane algorytmy przetwarzania języka naturalnego i technologii rozpoznawania twarzy, stała się symbolem połączenia robotyki i sztucznej inteligencji. W 2017 r. otrzymała obywatelstwo Arabii Saudyjskiej, co wywołało ogólnoświatową dyskusję na temat praw robotów i statusu obywatelskiego maszyn. Sophia stała się ikoną debat o etycznych i prawnych aspektach rozwoju humanoidalnych robotów oraz ich roli w społeczeństwach przyszłości, zwłaszcza w kontekście zastępowania ludzi w różnych dziedzinach pracy (Calo, 2017). Jednym z bardziej intrygujących wydarzeń w 2017 r. było stworzenie przez badaczy Facebooka dwóch chatbotów, które miały rozmawiać ze sobą w celu nauki negocjacji. Jednak w miarę postępu rozmów boty te zaczęły tworzyć własny język, który nie był już zrozumiały dla ludzi. Zjawisko to obnażyło nieprzewidywalność i autonomię, jaką mogą osiągnąć systemy sztucznej inteligencji, gdy działają poza kontrolą twórców. Choć eksperci szybko je wyłączyli, to wskutek incydentu zwrócono uwagę na wyzwania związane z kontrolowaniem rozwoju AI, szczególnie w kontekście trudności przewidywania, w jaki sposób tego typu systemy mogą się rozwijać (Bender i in., 2021). W 2018 r. model stworzony przez chińską firmę Alibaba przewyższył wyniki ludzi w prestiżowym teście czytania ze zrozumieniem opracowanym przez Uniwersytet Stanforda. AI nie tylko była w stanie rozpoznać i przetwarzać tekst, ale również odpowiadać na pytania związane z jego treścią, co stanowiło znaczący krok w kierunku bardziej

[2] 2 grudnia 2024 r. Zgromadzenie Ogólne ONZ przyjęło rezolucję 79/L.77 w sprawie śmiercionośnych autonomicznych systemów uzbrojenia, przy głosach 166 państw za, 3 przeciw, a 15 wstrzymujących się. Rezolucja tworzy forum do dyskusji na temat wyzwań stawianych przez te systemy, które mogą wybierać i atakować cele bez udziału człowieka.

51:34400

zaawansowanego rozumienia i przetwarzania języka naturalnego. To osiągnięcie miało duży wpływ na przemiany w branży technologii edukacyjnych i obsługi klienta, gdzie coraz częściej AI jest wykorzystywana do automatyzacji procesów związanych z przetwarzaniem informacji (Zhang i in., 2018). Z kolei w 2019 r. Google zaprezentowało system AI o nazwie AlphaStar, który jako pierwszy w historii osiągnął rangę arcymistrza w grze *StarCraft II*. Gra ta, będąca jednym z najtrudniejszych testów dla AI, wymaga szybkiego podejmowania decyzji, strategii i zdolności do reagowania w warunkach niepełnej informacji. Zdolność AlphaStar do pokonania 99,8% ludzkich graczy na najwyższym poziomie rywalizacji stanowiła dowód na zaawansowaną zdolność AI w adaptacji do dynamicznych i nieprzewidywalnych środowisk. Wyniki AlphaStar otworzyły nowe możliwości zastosowań sztucznej inteligencji w dziedzinach wymagających szybkiego podejmowania decyzji i analizowania dużych ilości danych, takich jak rynki finansowe czy autonomiczne pojazdy (Vinyals i in., 2019).

Rozwój sektora medycznego w dziedzinie sztucznej inteligencji to jeden z najbardziej dynamicznych obszarów technologicznych, który ma potencjał zrewolucjonizować sposób diagnozowania, leczenia i zarządzania opieką zdrowotną. Współczesne systemy, oparte na algorytmach uczenia maszynowego, w tym sieciach neuronowych, mają zdolność analizy obrazów medycznych, takich jak zdjęcia rentgenowskie, tomografie komputerowe czy rezonansy magnetyczne, z wysoką precyzją. Dzięki temu AI pomaga wykrywać nowotwory, choroby serca czy uszkodzenia tkanek, często już w bardzo wczesnych stadiach, co może decydować o sukcesie leczenia. Przykładem skuteczności tych systemów jest projekt Google DeepMind, który w 2018 r. osiągnął wynik porównywalny z doświadczonymi radiologami w zakresie wykrywania raka piersi na podstawie mammografii (McKinney i in., 2020). Takie systemy potrafią nie tylko zidentyfikować zmiany chorobowe, ale również określić ich rozmiar, lokalizację i stopień zaawansowania, co ma kluczowe znaczenie dla planowania dalszego leczenia. Sztuczna inteligencja przyczynia się także do personalizacji leczenia pacjentów. Wykorzystanie algorytmów do analizy danych genetycznych, wyników badań oraz historii medycznej pozwala na tworzenie spersonalizowanych terapii, które zwiększają skuteczność leczenia. Przykład stanowi system IBM Watson Health, który wspomaga lekarzy w doborze najlepszych strategii terapeutycznych, zwłaszcza w przypadku nowotworów. Dzięki AI możliwe staje się dostosowanie terapii do indywidualnych potrzeb pacjenta, co zwiększa szanse na sukces leczenia. Ponadto AI jest w stanie monitorować postęp choroby, przewidywać reakcje na leki i analizować potencjalne skutki uboczne, co stanowi istotną pomoc w trudnych przypadkach medycznych (Hoffman i in., 2020). W zakresie zarządzania opieką zdrowotną sztuczna inteligencja wykorzystywana jest do analizy danych epidemiologicznych,

52:14044

prognozowania potrzeb medycznych oraz optymalizacji zasobów szpitalnych. Dzięki algorytmom predykcyjnym możliwe staje się identyfikowanie trendów zdrowotnych, co pozwala na odpowiednie planowanie interwencji zdrowotnych. Technologie te umożliwiają prognozowanie wzrostu liczby pacjentów z chorobami przewlekłymi, co pozwala na lepsze przygotowanie placówek medycznych do ich leczenia. Na przykład, AI może pomóc w przewidywaniu zapotrzebowania na opiekę medyczną w kontekście epidemii czy starzejącego się społeczeństwa, umożliwiając odpowiednie planowanie zasobów oraz zapobieganie niedoborom w służbie zdrowia (Reddy i in., 2020). Robotyka chirurgiczna to kolejny obszar, w którym AI odgrywa kluczową rolę. Technologie oparte na sztucznej inteligencji wspierają lekarzy w precyzyjnych operacjach, oferując systemy, które umożliwiają wykonywanie mniej inwazyjnych zabiegów chirurgicznych. Przykładem może być system *Da Vinci*, który pozwala chirurgowi na wykonywanie operacji z większą precyzją, co skutkuje mniejszym ryzykiem powikłań, krótszym czasem rekonwalescencji i lepszymi wynikami. AI wspomaga także podejmowanie decyzji dotyczących wyboru metod chirurgicznych, uwzględniając wszystkie dane medyczne pacjenta oraz analizując potencjalne ryzyko związane z danym zabiegiem (Topol, 2019). W przyszłości roboty chirurgiczne wyposażone w sztuczną inteligencję mogą stać się jeszcze bardziej zaawansowane, a ich rola w medycynie może się jeszcze bardziej rozszerzyć. Z kolei w obszarze telemedycyny, AI odgrywa kluczową rolę w monitorowaniu zdrowia pacjentów na odległość. Dzięki urządzeniom noszonym przez pacjentów, takim jak opaski monitorujące stan zdrowia czy inteligentne urządzenia medyczne, możliwe jest stałe śledzenie parametrów życiowych i innych wskaźników zdrowotnych. Sztuczna inteligencja analizuje dane w czasie rzeczywistym, co pozwala na wykrywanie nieprawidłowości i szybkie reagowanie na zmiany w stanie zdrowia pacjenta. Przykładem mogą być systemy monitorujące stan pacjentów z chorobami przewlekłymi, które dzięki wczesnemu wykryciu nieprawidłowości mogą zapobiec poważnym komplikacjom. W kontekście pandemii COVID-19, telemedycyna wspomagana przez AI okazała się nieocenionym narzędziem, pozwalającym na monitorowanie stanu zdrowia pacjentów bez konieczności osobistej wizyty w placówce medycznej (Hernandez i in., 2020). Chociaż sztuczna inteligencja w medycynie ma ogromny potencjał, nie brakuje również wyzwań, które muszą zostać rozwiązane, aby mogła być w pełni bezpiecznie wykorzystywana. Jednym z najważniejszych aspektów jest zapewnienie etyki w podejmowaniu decyzji przez systemy AI. Algorytmy muszą być transparentne, a ich decyzje – zrozumiałe dla lekarzy i pacjentów. Ponadto kwestia prywatności danych pacjentów staje się coraz bardziej istotna, ponieważ AI wymaga dostępu do dużych zbiorów wrażliwych danych medycznych. W związku z tym konieczne jest stworzenie odpowiednich regulacji prawnych,

53:72491

które zapewnią bezpieczeństwo danych pacjentów oraz ochronią ich prywatność. W przypadku medycyny, gdzie błąd w diagnozie może mieć poważne konsekwencje, odpowiedzialność za decyzje podejmowane przez systemy AI jest także jednym z kluczowych tematów debaty (Gulshan i in., 2016). Sztuczna inteligencja w medycynie rozwija się w szybkim tempie, a jej zastosowania mają potencjał, aby zmienić oblicze opieki zdrowotnej na całym świecie. Od diagnostyki obrazowej po zarządzanie opieką zdrowotną i robotykę chirurgiczną – AI poprawia dokładność, szybkość i efektywność procesów medycznych. Jednocześnie rozwój tych technologii wymaga uważnego podejścia do kwestii etycznych i prywatności, aby zapewnić bezpieczeństwo pacjentów i zaufanie do nowoczesnych rozwiązań medycznych.

Wyróżnia się kilka kluczowych zagadnień związanych z rozwojem AI:

Uczenie maszynowe (*machine learning*) – jest jedną z kluczowych technologii w dziedzinie sztucznej inteligencji, umożliwiającą komputerom samodzielne uczenie się na podstawie analizy danych bez konieczności bezpośredniego programowania reguł. Metody uczenia maszynowego obejmują uczenie nadzorowane, uczenie nienadzorowane oraz uczenie przez wzmacnianie. W uczeniu nadzorowanym systemy uczą się na podstawie oznaczonych danych wejściowych i wyników, co znajduje zastosowanie m.in. w diagnostyce medycznej oraz systemach rekomendacyjnych (Shalev-Shwartz i Ben-David, 2014, s. 1-10). Uczenie nienadzorowane opiera się na wykrywaniu ukrytych wzorców w danych, co jest szczególnie przydatne w analizie rynku oraz wykrywaniu anomalii. Natomiast uczenie przez wzmacnianie, stosowane m.in. w robotyce i grach komputerowych, umożliwia systemowi podejmowanie optymalnych decyzji poprzez interakcję ze środowiskiem i otrzymywanie nagród za właściwe działania.

Sieci neuronowe i głębokie uczenie (*deep learning*) – to zaawansowana technika uczenia maszynowego, wykorzystująca wielowarstwowe sieci neuronowe do modelowania złożonych relacji w danych. Kluczowym elementem głębokiego uczenia są algorytmy propagacji wstecznej i metody optymalizacji, które pozwalają na skuteczne dostosowanie wag neuronów w celu minimalizacji błędów predykcji. Głębokie sieci neuronowe stosuje się szeroko w dziedzinach takich jak rozpoznawanie obrazów, przetwarzanie języka naturalnego oraz sterowanie autonomicznymi pojazdami. Na przykład konwolucyjne sieci neuronowe (CNN) są niezwykle efektywne w analizie obrazów, co umożliwia zastosowanie ich w systemach rozpoznawania twarzy i diagnostyce medycznej, natomiast rekurencyjne sieci neuronowe (RNN) sprawdzają się w analizie sekwencyjnych danych, takich jak przetwarzanie mowy i tłumaczenie maszynowe (Brock i in., 2018, s. 1-18).

54:30429

Automatyzacja i robotyzacja – rozwój sztucznej inteligencji umożliwił znaczne postępy w dziedzinie automatyzacji i robotyzacji, które odgrywają kluczową rolę w transformacji wielu sektorów gospodarki. W przemyśle roboty współpracujące (coboty) są wykorzystywane do wykonywania precyzyjnych i powtarzalnych zadań, takich jak montaż komponentów elektronicznych, co zwiększa efektywność produkcji i redukuje ludzkie błędy. W logistyce i handlu detalicznym sztuczna inteligencja wspiera zarządzanie łańcuchem dostaw poprzez predykcyjne modele popytu, optymalizację tras transportowych oraz wdrażanie autonomicznych magazynów. Z kolei w sektorze usług, chatboty oraz wirtualni asystenci wspomagają obsługę klienta, automatyzując procesy takie jak odpowiadanie na zapytania czy personalizowanie ofert (Brynjolfsson i McAfee, 2014, s. 53-76).

Etyczne i społeczne implikacje AI – szybki rozwój sztucznej inteligencji rodzi liczne pytania dotyczące jej etycznych i społecznych konsekwencji. Jednym z kluczowych wyzwań jest kwestia odpowiedzialności za decyzje podejmowane przez algorytmy. W szczególności w systemach opartych na AI, stosowanych w sądownictwie, medycynie czy finansach, błędy decyzyjne mogą prowadzić do poważnych konsekwencji, takich jak niesprawiedliwe traktowanie jednostek czy błędne diagnozy. Kolejnym istotnym aspektem jest wpływ automatyzacji na rynek pracy – niektóre zawody mogą zostać całkowicie zastąpione przez systemy AI, co prowadzi do obaw o przyszłość zatrudnienia i konieczność przekwalifikowania pracowników. Dodatkowo, sztuczna inteligencja budzi obawy związane z prywatnością i bezpieczeństwem danych, szczególnie w kontekście przetwarzania wrażliwych informacji osobowych. W związku z tym coraz częściej podejmowane są inicjatywy mające na celu opracowanie regulacji prawnych i norm etycznych, które zapewnią odpowiedzialny rozwój i wdrażanie AI (Crawford, 2021, s. 121-140).

Do technologii przyszłości należą również komputery kwantowe, których potencjał może znacząco przyspieszyć rozwój sztucznej inteligencji. W przeciwieństwie do klasycznych komputerów, operujących na bitach o wartościach zero lub jeden, komputery kwantowe wykorzystują kubity mogące istnieć w stanie superpozycji, co pozwala na jednoczesne przetwarzanie ogromnych ilości danych. W kontekście AI oznacza to możliwość rozwiązywania problemów optymalizacyjnych oraz przetwarzania dużych zbiorów danych z prędkością niedostępną dla tradycyjnych komputerów. Dzięki temu komputery kwantowe są w stanie znacząco wpłynąć na zaawansowane algorytmy uczenia maszynowego oraz głębokie sieci neuronowe, wspierając ich zdolność do analizy złożonych danych oraz usprawniając procesy takie jak rozpoznawanie obrazów, analiza języka naturalnego i predykcja wzorców.

55:10051

Znajdują również zastosowanie w dziedzinach kryptografii, chemii kwantowej, a także w zaawansowanych obliczeniach naukowych (Ghose, 2019, s. 125-130).

Idea obliczeń kwantowych została zapoczątkowana przez Richarda Feynmana w 1981 r., kiedy zauważył, że klasyczne komputery nie są w stanie efektywnie symulować układów kwantowych. W związku z tym zaproponował zastosowanie komputerów kwantowych do modelowania procesów fizycznych zgodnych z mechaniką kwantową (Feynman, 1982). Kilka lat później David Deutsch przedstawił koncepcję uniwersalnego komputera kwantowego, w którym operacje mogłyby być wykonywane równolegle dzięki wykorzystaniu superpozycji stanów (Deutsch, 1985). Przełom w obliczeniach kwantowych nastąpił w latach 90. XX w., gdy opracowano pierwsze algorytmy wykorzystujące specyficzne właściwości mechaniki kwantowej. W 1994 r. Peter Shor zaprezentował algorytm faktoryzacji liczb pierwszych, znacząco przyspieszający proces rozkładu liczb na czynniki pierwsze w porównaniu do metod klasycznych. Miało to kluczowe znaczenie dla kryptografii, ponieważ systemy oparte na algorytmie RSA mogłyby zostać złamane za pomocą komputera kwantowego (Shor, 1994). Kolejnym istotnym osiągnięciem było opracowanie algorytmu Grovera w 1996 r., pozwalającego na znacznie szybsze przeszukiwanie nieuporządkowanych baz danych, skracając czas wyszukiwania z $O(n)$ do $O(\sqrt{n})$ (Grover, 1996). Pierwsze fizyczne realizacje komputerów kwantowych pojawiły się na początku XXI w., a jednym z najwcześniejszych osiągnięć było przeprowadzenie eksperymentalnych implementacji bramek kwantowych w systemach nuklearnego rezonansu magnetycznego (NMR) w 1998 r. (Cory i in., 1998). W 2001 r. firma IBM z powodzeniem przeprowadziła pierwszą implementację algorytmu Shora na komputerze kwantowym składającym się z siedmiu kubitów (Vandersypen i in., 2001). Z kolei w 2007 r. firma D-Wave ogłosiła stworzenie pierwszego komercyjnego komputera kwantowego, który wykorzystywał metodę tzw. kwantowego wyżarzania (*quantum annealing*), jednak jego kwantowa natura budziła pewne kontrowersje w środowisku naukowym (Johnson i in., 2011). Okres po 2010 r. charakteryzował się intensywnymi pracami badawczo-rozwojowymi nad komputerami kwantowymi. W 2011 r. firma D-Wave sprzedała pierwszy komputer kwantowy firmie Lockheed Martin, co było jednym z pierwszych przypadków komercjalizacji tej technologii (Boixo i in., 2013), a w 2013 r. Google rozpoczął współpracę z NASA nad rozwijaniem komputerów kwantowych opartych na technologii D-Wave, co stanowiło istotny krok w kierunku praktycznego zastosowania tej technologii. Kolejnym ważnym posunięciem było uruchomienie przez IBM w 2016 r. platformy IBM Quantum Experience, umożliwiającej dostęp do komputerów kwantowych za pośrednictwem chmury (IBM, 2016). Jednymi z pierwszych znanych prototypów komputera kwantowego są powstały

56:74694

w 2016 r. model IBM Quantum oraz IBM Quantum System One, który w 2019 r. został zaprezentowany jako pierwszy na świecie komercyjny komputer kwantowy dostępny do użytku przez przedsiębiorstwa i instytucje badawcze. IBM Quantum System One opiera się na 20-kubitowym procesorze kwantowym i jest przeznaczony do realizacji testów i wdrożeń algorytmów kwantowych. Jego architektura i specjalne środowisko pracy pozwalają na utrzymanie kubitów w stanie splątania i superpozycji przez dłuższy czas, co jest kluczowe dla wydajności i dokładności obliczeń kwantowych. Działania IBM Quantum System One przyciągnęły uwagę firm oraz instytucji naukowych, które pracują nad praktycznymi zastosowaniami kwantowej sztucznej inteligencji (Svore i in., 2019, s. 215-220). W 2019 r. Google ogłosiło, że procesor kwantowy Sycamore, składający się z 53 kubitów, był w stanie wykonać obliczenie w czasie 200 sekund, podczas gdy klasyczny superkomputer potrzebowałby na to około 10 000 lat (Arute i in., 2019). W 2020 r. Chiny poinformowały o wyprodukowaniu komputera kwantowego Jiuzhang, który wykonał określone obliczenie 100 bilionów razy szybciej niż klasyczne superkomputery (Zhong i in., 2020). Obecnie rozwój komputerów kwantowych koncentruje się na zwiększaniu liczby stabilnych kubitów oraz poprawie mechanizmów korekcji błędów kwantowych. W 2023 r. IBM ogłosił opracowanie procesora kwantowego Condor, który posiada 1121 kubitów, co stanowi znaczący postęp w tej dziedzinie (IBM, 2023). Wciąż jednak trwają intensywne badania nad praktycznym zastosowaniem komputerów kwantowych, a największe wyzwania dotyczą korekcji błędów oraz stworzenia skalowalnych architektur pozwalających na ich efektywne wykorzystanie w rzeczywistych zastosowaniach (Preskill, 2018).

Historia rozwoju komputerów kwantowych ukazuje drogę od teoretycznych koncepcji do pierwszych praktycznych implementacji. Choć technologia kwantowa wciąż znajduje się w fazie eksperymentalnej, jej potencjalne zastosowania w kryptografii, optymalizacji i symulacjach chemicznych mogą w przyszłości zrewolucjonizować wiele dziedzin nauki i przemysłu.

Podsumowanie

Rewolucja informatyczna, która zmieniła sposób funkcjonowania współczesnych społeczeństw, miała swoje źródła w potrzebie skutecznego przetwarzania rosnących ilości informacji w coraz bardziej skomplikowanych systemach gospodarczych i społecznych. Kluczowym impulsem dla rozwoju tej rewolucji było kilka czynników technologicznych oraz społeczno-gospodarczych. Wśród najważniejszych należy wymienić rozwój technologii

57:44786

komputerowej, pojawienie się Internetu oraz globalizację, która spowodowała wzrost zapotrzebowania na nowoczesne narzędzia umożliwiające sprawną wymianę informacji.
Rozwój komputerów, szczególnie wynalezienie tranzystora w 1947 r. i mikroprocesora w latach 70., stanowił fundament dalszych innowacji w dziedzinie technologii informacyjnej. Te wynalazki pozwoliły na miniaturyzację komputerów oraz znaczny wzrost ich mocy obliczeniowej, co umożliwiło tworzenie coraz bardziej zaawansowanych systemów komputerowych. Z kolei powstanie Internetu, początkowo w latach 60. dzięki ARPA, a później jego upowszechnienie w latach 90., dało początek globalnej sieci wymiany danych, która radykalnie zmieniła sposoby komunikacji i organizowania biznesu. Internet, jako fundament społeczeństwa informacyjnego, zmienił dynamikę gospodarki, a także umożliwił powstanie nowych modeli biznesowych opartych na cyfrowych technologiach.

Pierwsza era informatyzacji, trwająca od lat 30. do 50. XX w. była okresem przełomowych odkryć, które miały ogromny wpływ na dalszy rozwój technologii komputerowej. To w tym czasie, dzięki pracom Alana Turinga i wynalezieniu maszyn obliczeniowych, takich jak maszyna Turinga, zdefiniowane zostały zasady przetwarzania informacji. Ponadto powstały pierwsze elektroniczne komputery, takie jak ENIAC, które miały być odpowiedzią na potrzeby przemysłu wojskowego, a ich projektowanie miało na celu przyspieszenie procesów obliczeniowych, zwłaszcza w kontekście wojennym. W tym okresie zaczęły również pojawiać się teoretyczne podstawy dla dalszego rozwoju systemów komputerowych, które miały stać się fundamentem współczesnych technologii informacyjnych.

Po II wojnie światowej, w latach 50. i 60. XX w., nastąpił kolejny etap rozwoju, zdominowany przez komputery mainframe. Były to maszyny o ogromnej mocy obliczeniowej, wykorzystywane głównie w instytucjach rządowych, naukowych oraz dużych korporacjach. Choć były kosztowne i trudne w obsłudze, stanowiły fundament rozwoju nowych technologii informacyjnych. Z kolei lata 70. i 80. to czas przełomu, kiedy to wprowadzono komputery osobiste. Urządzenia takie jak Apple II i IBM PC zrewolucjonizowały dostęp do technologii, umożliwiając ich powszechne wykorzystanie zarówno w biznesie, jak i w codziennym życiu. Komputery osobiste stały się narzędziami dostępnymi dla szerokiego kręgu użytkowników, co z kolei przyczyniło się do upowszechnienia komputerów w różnych dziedzinach.

Kolejną fazą rewolucji informatycznej był rozwój Internetu i technologii mobilnych, które miały kluczowy wpływ na zmianę sposobu komunikacji i organizacji procesów biznesowych. Rozwój przeglądarek internetowych w rodzaju Netscape Navigator, oraz powstanie nowych form komunikacji, takich jak e-mail czy media społecznościowe, otworzyło

58:82657

drzwi do nowej ery e-commerce. Przedsiębiorstwa cyfrowe, takie jak Amazon czy Google, zyskały na znaczeniu, a Internet stał się podstawowym narzędziem w globalnej gospodarce. Dodatkowo, rozwój urządzeń mobilnych w postaci smartfonów i tabletów oraz technologii chmurowych, umożliwił dostęp do zasobów cyfrowych z niemal każdego miejsca na świecie.

Z czasem, w miarę rozwoju technologii informacyjnych, pojawiły się nowe wyzwania, w tym rosnące zagrożenia związane z cyberatakami. Od lat 90. XX w. zaczęto obserwować wzrost liczby ataków hakerskich, złośliwego oprogramowania i kradzieży danych. W odpowiedzi na te zagrożenia organizacje zaczęły inwestować w coraz bardziej zaawansowane systemy ochrony danych. Rozwój sztucznej inteligencji, która zyskuje na znaczeniu w analizie danych i automatyzacji, otworzył nowe możliwości w walce z cyberzagrożeniami, umożliwiając szybsze wykrywanie anomalii i skuteczniejszą reakcję na ataki. Z kolei wprowadzenie sieci 5G, umożliwiającej szybsze prędkości transmisji danych i niższe opóźnienia, zrewolucjonizowało komunikację, otwierając nowe możliwości w zakresie Internetu Rzeczy i wzrostu liczby urządzeń podłączonych do sieci. Jednocześnie większa liczba urządzeń połączonych z Internetem stwarza nowe ryzyka związane z cyfrowym bezpieczeństwem.

Rozwój sztucznej inteligencji stanowi przełomowy punkt w historii technologii, wprowadzając innowacyjne rozwiązania, które znacząco wpływają na funkcjonowanie różnych sektorów gospodarki i społeczeństwa. Kluczową technologią w obrębie AI jest uczenie maszynowe (*machine learning*), które umożliwia komputerom automatyczne uczenie się na podstawie analizy danych, bez konieczności programowania reguł. Metody uczenia maszynowego, takie jak uczenie nadzorowane, nienadzorowane oraz uczenie przez wzmacnianie, znajdują szerokie zastosowanie w takich dziedzinach jak diagnostyka medyczna czy robotyka. Uczenie nadzorowane umożliwia naukę na podstawie oznaczonych danych wejściowych i wyników, podczas gdy uczenie nienadzorowane koncentruje się na wykrywaniu ukrytych wzorców w danych, a uczenie przez wzmacnianie pozwala systemom podejmować optymalne decyzje w interakcji ze środowiskiem. Równie istotnym osiągnięciem w obszarze sztucznej inteligencji jest rozwój głębokiego uczenia (*deep learning*), które wykorzystuje wielowarstwowe sieci neuronowe do modelowania złożonych zależności w danych. Dzięki zastosowaniu algorytmów propagacji wstecznej oraz zaawansowanych metod optymalizacji, głębokie sieci neuronowe umożliwiają skuteczne dostosowywanie wag neuronów, co prowadzi do minimalizacji błędów predykcji. Technologie te znalazły szerokie zastosowanie w dziedzinach takich jak rozpoznawanie obrazów, przetwarzanie języka naturalnego, czy sterowanie autonomicznymi pojazdami. Równocześnie, postęp w dziedzinie sztucznej

59:16199

inteligencji przyczynił się do dynamicznego rozwoju automatyzacji i robotyzacji, które odgrywają kluczową rolę w transformacji wielu sektorów gospodarki. W przemyśle, roboty współpracujące (coboty) stosowane są do wykonywania precyzyjnych, powtarzalnych zadań, takich jak montaż komponentów elektronicznych, co znacząco zwiększa efektywność produkcji i redukuje błędy popełniane przez człowieka. W logistyce i handlu detalicznym, sztuczna inteligencja wspiera zarządzanie łańcuchem dostaw poprzez prognozowanie popytu, optymalizację tras transportowych oraz wdrażanie autonomicznych magazynów. W sektorze usług, technologie AI, takie jak chatboty i wirtualni asystenci, automatyzują procesy obsługi klienta, umożliwiając personalizację ofert i szybkie odpowiadanie na zapytania. W obliczu tych dynamicznych zmian rozwój sztucznej inteligencji nie tylko otwiera nowe możliwości technologiczne, ale także wiąże się z szeregiem wyzwań, szczególnie w zakresie etyki, regulacji oraz wpływu na rynek pracy. Integracja AI w różnych dziedzinach wymaga dalszych badań nad jej wpływem na społeczeństwo i gospodarkę, a także stworzenia odpowiednich ram prawnych zapewniających jej odpowiedzialne i bezpieczne wykorzystanie.

W kontekście globalnej rywalizacji technologicznej pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chinami, rozwój technologii informacyjnych i sztucznej inteligencji stał się kluczowym polem rywalizacji międzynarodowej. Z perspektywy realizmu ofensywnego teoria ta zakłada, że państwa dążą do maksymalizacji swojej potęgi w stosunku do innych, co prowadzi do rozwoju technologii jako narzędzi w walce o dominację. Chiny i Stany Zjednoczone angażują się w wyścig technologiczny, starając się zdobyć przewagę w dziedzinach takich jak sztuczna inteligencja, 5G i Internet Rzeczy, ponieważ te innowacje mają potencjał nie tylko do stymulowania gospodarki, ale także do umacniania wpływów politycznych i militarnego bezpieczeństwa. Chińska strategia, polegająca na intensyfikacji inwestycji w technologie, ma na celu stworzenie globalnej dominacji technologicznej, a działania te są odpowiedzią na obawy Stanów Zjednoczonych, które postrzegają Państwo Środka jako zagrożenie dla swojej przewagi na arenie międzynarodowej. Przedmiotowa rywalizacja ma nie tylko charakter gospodarczy, ale również geopolityczny, ponieważ kontrola nad nowymi technologiami, zwłaszcza w obszarze AI i cyberbezpieczeństwa, staje się narzędziem walki o światową dominację.

60:70352

Rozdział 2. Metodologia badań i perspektywa teoretyczna

Wstęp

Dynamiczny rozwój nowych technologii stał się jednym z najważniejszych czynników kształtujących współczesne stosunki międzynarodowe. W szczególności rywalizacja między Chińską Republiką Ludową (ChRL) a Stanami Zjednoczonymi (USA) wykracza poza tradycyjne ramy geopolityczne i obejmuje szeroki zakres zagadnień, takich jak rozwój sieci 5G, sztuczna inteligencja (*Artificial Intelligence* – AI), ekspansja korporacji technologicznych, produkcja półprzewodników, cyberbezpieczeństwo oraz globalne standardy technologiczne. Ta rywalizacja stanowi jeden z kluczowych elementów współczesnej polityki międzynarodowej i odzwierciedla fundamentalne założenia realizmu ofensywnego – teorii stosunków międzynarodowych, według której państwa dążą do maksymalizacji swojej potęgi i dominacji w systemie międzynarodowym.

Obecny układ sił pomiędzy USA a Chinami w obszarze technologii jest rezultatem wieloletnich strategii rozwoju i inwestycji w innowacyjne sektory gospodarki. Stany Zjednoczone przez dekady pozostawały niekwestionowanym liderem w zakresie zaawansowanych technologii, przyciągając talenty, kapitał i tworząc globalne standardy w wielu kluczowych dziedzinach. Jednak w ostatnich latach Chiny zaczęły nadrabiać dystans wobec USA, inwestując miliardy dolarów w rozwój własnych technologii (National Bureau of Statistics of China, 2024) oraz wdrażając długoterminowe strategie, takie *jak Made in China 2025* (Zenglein i Holzmann, 2019) oraz *Next Generation Artificial Intelligence Development Plan* (China's State Council, 2017). Pekin dąży do technologicznej samowystarczalności, redukcji zależności od zagranicznych dostawców oraz ekspansji na rynki międzynarodowe, co wywołuje napięcia i reakcję obronną ze strony Waszyngtonu.

Jednym z głównych obszarów rywalizacji jest rozwój sieci 5G, której infrastruktura stanowi fundament dla nowoczesnej gospodarki cyfrowej. Technologia ta ma kluczowe znaczenie dla takich sektorów, jak Przemysł 4.0, inteligentne miasta, autonomiczne pojazdy oraz Internet Rzeczy. Chiny, dzięki firmom takim jak Huawei i ZTE, stały się liderem w budowie i wdrażaniu tej technologii, co spotkało się z reakcją Stanów Zjednoczonych, które wprowadziły liczne restrykcje i sankcje mające na celu ograniczenie ekspansji chińskich dostawców. Waszyngton, obawiając się potencjalnych zagrożeń dla bezpieczeństwa narodowego, oskarża chińskie firmy o możliwość prowadzenia działań szpiegowskich na rzecz Pekinu, co doprowadziło do wykluczenia Huawei z rynków wielu krajów zachodnich.

61:11029

Drugim kluczowym obszarem rywalizacji jest sztuczna inteligencja, uważana za jeden z najważniejszych filarów przyszłej potęgi technologicznej. AI znajduje zastosowanie nie tylko w gospodarce, ale również w sektorze wojskowym, co czyni ją kluczowym elementem strategii obronności obydwu mocarstw. Stany Zjednoczone, dzięki przewadze w zakresie innowacyjnych start-upów i badań akademickich, wciąż dominują w tym sektorze, jednak Chiny, dzięki dostępowi do ogromnych zbiorów danych oraz wsparciu państwa, szybko nadrabiają zaległości (Stanford University, 2025). Rywalizacja w obszarze sztucznej inteligencji obejmuje również kwestie etyczne i regulacyjne, a także wpływ na globalne standardy w zakresie wykorzystania AI w systemach nadzoru, analizie big data oraz zastosowaniach militarnych.

Kolejnym polem napięć jest rynek półprzewodników, kluczowy dla produkcji nowoczesnych urządzeń elektronicznych. Chiny, pomimo znacznych inwestycji, nadal pozostają zależne od amerykańskich technologii i dostawców, takich jak Qualcomm czy Intel. W odpowiedzi na rosnącą rywalizację, Stany Zjednoczone wprowadziły ograniczenia eksportowe, które mają na celu utrudnienie Chinom dostępu do zaawansowanych mikroprocesorów i technologii produkcji półprzewodników. Działania te skłoniły Pekin do intensyfikacji prac nad rozwojem własnego sektora półprzewodnikowego oraz budowy niezależnego ekosystemu technologicznego.

Ekspansja chińskich korporacji technologicznych stanowi kolejne wyzwanie dla amerykańskiej dominacji. Firmy takie jak Alibaba, Tencent czy Huawei zwiększają swoją obecność na rynkach zagranicznych, oferując nowoczesne rozwiązania w zakresie e-commerce, usług chmurowych i telekomunikacji. Ich działalność spotyka się z oporem Stanów Zjednoczonych, które starają się ograniczyć wpływy chińskich firm w strategicznych sektorach oraz promować alternatywne rozwiązania wśród swoich sojuszników (Hurun Education, 2025).

Chińsko-amerykańska rywalizacja w obszarze nowych technologii wpisuje się również w szerszy kontekst geopolityczny i teorii stosunków międzynarodowych. Analizując dynamikę tej rywalizacji, warto odwołać się do doktryny Alfreda Mahana, a także koncepcji Heartlandu Halforda Mackindera oraz Rimlandu Nicholasa Spykmana, które oferują perspektywę geostrategiczną w ramach walki o wpływy technologiczne i kontroli nad kluczowymi regionami. W tym kontekście kluczowe znaczenie mają także koncepcje przedstawione przez Zbigniewa Brzezińskiego w pracy pt. „Wielka Szachownica", w której opisuje on rywalizację o dominację w Eurazji jako fundament globalnej polityki. Zarówno Chiny, jak i Stany Zjednoczone, traktują technologię jako narzędzie ekspansji swoich wpływów i zabezpieczenia interesów narodowych. Wzajemna nieufność, oskarżenia o szpiegostwo oraz dążenie do

62:86796

kontrolowania globalnych standardów technologicznych sprawiają, że ta rywalizacja nie ogranicza się wyłącznie do aspektów gospodarczych, lecz obejmuje również kwestie bezpieczeństwa i stabilności międzynarodowej.

2.1. Metodologia badań

Metodologia nauk o bezpieczeństwie ma znaczenie czynnościowe oraz przedmiotowe. W znaczeniu czynnościowym określa się ją jako „system działalności poznawczej, której celem jest wytworzenie systemu wiedzy o metodach naukowych i badawczych stosowanych w naukach o bezpieczeństwie" (Czupryński, 2011, s. 117). W znaczeniu przedmiotowym działa natomiast jako „system wiedzy naukowej o metodach badań naukowych bezpieczeństwa, tworzenia systemów wiedzy naukowej o bezpieczeństwie oraz wytwarzania i utrwalania osiągnięć wiedzy naukowej" (Czupryński, 2011, s. 117). Podstawową funkcją badań w naukach o bezpieczeństwie jest podejmowanie działań o wymiarze naukowym i pragmatycznym bezpieczeństwa poprzez odkrywanie wybranego odcinka rzeczywistości (Babiński i in., 2017, s. 68). Odbywa się ono na drodze poznania naukowego, obejmującego wyjaśnianie określonego zjawiska i/ lub prognozowanie jego kierunku rozwoju.

W naukach o bezpieczeństwie stosuje się badania interdyscyplinarne i transdyscyplinarne, podejmując problemy z pogranicza dyscyplin lub obszarów wiedzy (Rosłoń i Troszczyńska, 2017, s. 53). Badania nad chińsko-amerykańską rywalizacją technologiczną wymagają zastosowania różnorodnych metod badawczych, aby w pełni zrozumieć złożoność tego zjawiska (Czupryński, 2015, s. 63-66). Wpisują się w nie wybrane przeze mnie podstawowe metody badawcze: analiza danych zastanych, jakościowa analiza treści, metoda porównawcza oraz metoda wywiadów pogłębionych. Przy opracowywaniu zagadnień związanych z metodami i technikami badawczymi w kontekście chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej korzystałem z szerokiego spektrum literatury naukowej, zarówno polskiej, jak i zagranicznej. W tym kontekście warto wymienić m.in. następujące pozycje: Babbie, E., 2003. *Badania społeczne w praktyce*. Red. A. Kłoskowska-Dudzińska. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN; Czupryński, A., 2015, *Bezpieczeństwo w ujęciu teoretycznym*. [w:] *Bezpieczeństwo. Teoria – Badania – Praktyka*, red. A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina. Józefów: Wydawnictwo CNBOP-PIB; Czaputowicz J., 2012. *Bezpieczeństwo międzynarodowe. Współczesne koncepcje*, Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN; Allison, G., 2017. *Destined for War: Can America and China Escape Thucydides's Trap?*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt. Literatura ta obejmuje opracowania teoretyczne na temat metodologii badań społecznych, a także analizy stosunków międzynarodowych.

63:61612

Rywalizacja technologiczna między Chińską Republiką Ludową a Stanami Zjednoczonymi stanowi jedno z kluczowych zjawisk kształtujących współczesny układ sił w stosunkach międzynarodowych. Postęp w dziedzinach takich jak sztuczna inteligencja, sieć 5G, półprzewodniki czy technologie kwantowe ma nie tylko wymiar gospodarczy, lecz także strategiczny, determinując przyszłość globalnego porządku i bezpieczeństwa narodowego. Analiza tak złożonego i wielowymiarowego zjawiska wymaga zastosowania kompleksowych metod badawczych, które pozwolą na uchwycenie zarówno teoretycznych, jak i empirycznych aspektów rywalizacji.

W ramach przygotowań do badań przeprowadzono pogłębiony przegląd literatury przedmiotu, który umożliwił identyfikację kluczowych teorii stosunków międzynarodowych adekwatnych do rozpatrywanego problemu. Szczególne znaczenie przypisano teorii realizmu ofensywnego, która podkreśla dążenie państw do maksymalizacji siły oraz uzyskania hegemonicznej pozycji w systemie międzynarodowym. Te ramy analityczne okazały się użyteczne dla interpretacji strategii prowadzonej przez wspomniane mocarstwa oraz ich konsekwencji dla bezpieczeństwa narodowego.

W celu uzyskania pełniejszego i bardziej wiarygodnego obrazu analizowanego zjawiska zastosowano triangulację metod badawczych – podejście polegające na łączeniu różnych technik zbierania i analizy danych. Termin triangulacja został spopularyzowany przez Denzina (1978), który wyróżnił jej cztery główne typy: triangulację danych, badaczy, teorii oraz metod. W niniejszej pracy zastosowano triangulację metod, integrującą analizę danych zesranych, jakościową analizę treści, analizę porównawczą oraz wywiady pogłębione. Takie podejście pozwoliło na uzyskanie wielowymiarowych i komplementarnych wyników, wzmacniając tym samym rzetelność i głębię prowadzonych badań. Zastosowanie triangulacji metod pozwala nie tylko na zweryfikowanie spójności uzyskanych danych, ale również na ujęcie badanego zjawiska z różnych perspektyw – jakościowej i ilościowej, empirycznej i teoretycznej (Flick, 2009). W kontekście rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chinami, triangulacja umożliwiła uwzględnienie zarówno strategii państwowych i danych statystycznych, jak i doświadczeń oraz ocen ekspertów zaangażowanych w procesy dotyczące technologii, polityki międzynarodowej oraz geostrategii.

Metody jakościowe (analiza treści, metoda porównawcza, metoda wywiadów pogłębionych) pozwalają na dogłębną analizę procesów, strategii oraz mechanizmów, które stoją u podstaw rywalizacji technologicznej (Babbie, 2003, s. 327-330). Ich celem jest uchwycenie złożoności relacji między Chinami a Stanami Zjednoczonymi w kontekście ich działań w zakresie innowacji i technologii. Za pomocą wywiadów pogłębionych

64:10509

przeprowadziłem rozmowy z kluczowymi osobami posiadającymi ekspercką wiedzę lub bezpośrednie doświadczenie związane z badanym tematem. Są to badacze specjalizujący się w stosunkach międzynarodowych, polityce dotyczącej nowych technologii i bezpieczeństwie międzynarodowym:

Ekspert 1: dr Marcin Adamczyk (Uniwersytet Wrocławski, specjalista ds. bezpieczeństwa narodowego i rywalizacji chińsko-amerykańskiej).

Ekspert 2: dr Marcin Przychodniak (analityk ds. Chin w Polskim Instytucie Spraw Międzynarodowych).

Ekspert 3: Łukasz Kobierski (prezes Instytutu Nowa Europa).

Ekspert 4: płk dr hab. inż. Zdzisław Śliwa (Baltic Defense College).

Ekspert 5: dr Paweł Behrendt (ekspert ds. polityki bezpieczeństwa w Azji Wschodniej).

Ekspert 6: prof. Robert Huish (Dalhousie University, specjalista w zakresie stosunków międzynarodowych).

Ekspert 7: dr Bibek Chand (University of North Georgia, badacz geopolityki i polityki zagranicznej).

Ekspert 8: prof. Jozef Ristvej (Uniwersytet w Żylinie, ekspert ds. zarządzania kryzysowego).

Ekspert 9: dr Märt Läänemets (Estonian Academy of Security Sciences, badacz Chin).

Ekspert 10: dr Noelle Troutman (Arizona State University, specjalistka ds. polityki wschodnioazjatyckiej).

Ekspert 11: dr Moses Khanyile, Director of the Centre for Military Studies (CEMIS) (Stellenbosch University), specjalista ds. obronności i bezpieczeństwa.

Z kolei metody ilościowe umożliwiają analizę danych liczbowych, co pozwala na ocenę skali rywalizacji technologicznej, porównanie osiągnięć obydwu mocarstw oraz prognozowanie przyszłych trendów. Przetwarzanie danych stanowi kluczowy etap w procesie konceptualizacji tematu dotyczącego chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej w obszarze nowych technologii, ponieważ umożliwia dokładne poznanie istniejącego stanu rzeczy oraz identyfikację istotnych luk badawczych. Pozwala na sformułowanie pytań i hipotez badawczych, które są fundamentem dalszych analiz oraz ułatwia systematyczne badanie potencjału technologicznego Chin i USA. Dzięki temu możliwe stało się prześledzenie kluczowych trendów w obszarze osiągnięć technologicznych, handlu czy inwestycji oraz dostarczenie solidnej podstawy empirycznej do przyjętej perspektywy teoretycznej odnoszącej się do dynamiki rywalizacji technologicznej. W początkowej fazie badania szczególne znaczenie miała wstępna identyfikacja i selekcja istotnych dokumentów – takich jak oficjalne

65:57208

strategie rozwoju w dziedzinie nowych technologii, raporty instytucji analitycznych oraz dokumenty rządowe, które dostarczają podstawowych informacji na temat rywalizacji technologicznej między Chinami a USA. Analizie poddane zostały m.in. następujące strategie:

- *Made in China 2025*
- *14th Five-Year Plan (2021–2025)*
- *New Generation Artificial Intelligence Development Plan 2017*
- *CHIPS and Science Act of 2022*
- *National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020*
- *U.S. National Cybersecurity Strategy (2023)*

Metoda ta, opierająca się na analizie istniejących źródeł, umożliwia szybkie zebranie i uporządkowanie wtórnych danych, co stanowi fundament do dalszej, pogłębionej analizy. Pozwala na rozpoznanie stanu dyskusji, identyfikację luk poznawczych oraz realizację celów poznawczych i utylitarnych poprzez analizę, syntezę i ocenę badanych tekstów (Cisek, 2010, s. 276; Zdonek i inn., 2016, s. 523). Procedura obejmuje etapy sformułowania problemu, zbierania danych, ich oceny, analizy, interpretacji, prezentacji oraz wyznaczenia kierunków dalszych badań. Dzięki zastosowaniu tej metody możliwe jest przeprowadzenie krytycznej analizy literatury, wydzielenie kluczowych koncepcji teoretycznych oraz identyfikacja najważniejszych trendów i zagadnień. Szczegółowa analiza dotychczasowych badań nad rywalizacją technologiczną między Chinami a USA pozwoliła określić zakres badań, zidentyfikować dominujące podejścia i rozpoznać brakujące elementy. Dotychczasowe prace skupiały się głównie na aspektach politycznych, ekonomicznych oraz bezpieczeństwa narodowego, natomiast rzadziej na specyfice nowych technologii takich jak sztuczna inteligencja czy 5G, które są fundamentem tej rywalizacji.

Ponadto zidentyfikowano niewielką liczbę badań integrujących teorię realizmu ofensywnego z analizą chińsko-amerykańskich strategii technologicznych, co stanowi wyraźną lukę badawczą. Na podstawie tych analiz możliwe było sformułowanie precyzyjnych pytań badawczych dotyczących mechanizmów, dzięki którym technologie stają się narzędziem rywalizacji o globalne przywództwo, a także identyfikacji konkretnych strategii obydwu mocarstw w zakresie innowacji technologicznych. Wyłonione hipotezy odzwierciedlają m.in. potrzebę zbadania wpływu polityki państwowej na rozwój technologii oraz roli technologii w kształtowaniu stosunków międzynarodowych, co jest szczególnie istotne w kontekście rywalizacji o hegemonię technologiczną.

Właściwą metodą badawczą zastosowaną na dalszym etapie była krytyczna jakościowa analiza treści. Metoda jakościowej analizy treści stanowi jedno z kluczowych podejść

66:52590

badawczych wykorzystywanych do systematycznego badania tekstów, dokumentów oraz innych materiałów komunikacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem ich kontekstu znaczeniowego i interpretacyjnego. W odróżnieniu od metody analizy danych zastanych, która opiera się przede wszystkim na opracowywaniu danych wtórnych, analiza treści jakościowej zakłada aktywne, systematyczne kodowanie materiałów źródłowych oraz samodzielne formułowanie wniosków analitycznych na podstawie wyodrębnionych kategorii i tematów (Schreier, 2012, s. 5-7). Dzięki temu możliwe jest nie tylko opisanie faktów, ale również głębsze zrozumienie mechanizmów, procesów i uwarunkowań leżących u podstaw badanych zjawisk (Mayring, 2014, s. 40-42). Jakościowa analiza treści jest procesem iteracyjnym, obejmującym etap selekcji materiału, definiowania jednostek analizy, kodowania oraz interpretacji danych. Kodowanie polega na przypisywaniu fragmentom tekstu etykiet odpowiadających określonym kategoriom tematycznym, które mogą wynikać zarówno z teorii, jak i pojawiać się indukcyjnie podczas analizy (Krippendorff, 2019, s. 57-60). Takie podejście pozwala na uchwycenie znaczeń ukrytych za sformułowaniami, rozpoznanie wzorców narracyjnych, a także na powiązanie danych empirycznych z kontekstem politycznym, społecznym i instytucjonalnym.

W badaniu chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej zastosowanie jakościowej analizy treści umożliwiło szczegółowe zbadanie strategii rządowych, ram prawnych oraz inicjatyw w zakresie rozwoju technologii w obydwu państwach. Analizie poddano m.in. dokumenty strategiczne, akty prawne oraz raporty dotyczące inwestycji w badania i rozwój (R&D), liczbę patentów w obszarach sztucznej inteligencji i technologii 5G, a także poziom finansowania tych sektorów. Dodatkowo, analizą objęto dane statystyczne dotyczące liczby publikacji naukowych, co pozwoliło na identyfikację kluczowych trendów oraz prognoz dotyczących rywalizacji technologicznej, z uwzględnieniem szerokiego kontekstu politycznego i instytucjonalnego. W ten sposób możliwe stało się nie tylko opisanie zjawisk, lecz również interpretacja ich znaczenia w świetle strategii rozwoju technologicznego oraz polityki innowacyjnej państw (Mayring, 2014, s. 45-48; Schreier, 2012, s. 15-18). Proces analizy obejmował: 1/ Otwarte kodowanie (open coding) – identyfikację istotnych tematów (np. „autonomia technologiczna", „kontrola eksportu", „dominacja patentowa"); 2/ Kodowanie osiowe (axial coding) – łączenie kodów w bardziej abstrakcyjne kategorie (np. „strategie państwowe", „narzędzia rywalizacji", „obszary przewagi"); 3/ Kodowanie selektywne – wyodrębnienie głównych wątków odpowiadających celom badawczym. Tak przeprowadzona analiza umożliwiła uchwycenie dynamicznych trendów odnoszących się do nowych technologii oraz wskazanie struktur rywalizacji systemowej w sferze innowacji.

67:24277

Kolejną zastosowaną przeze mnie metodą badań jest metoda porównawcza, zwana też komparatywną lub analogią. Jest ona jest jedną z fundamentalnych metod badawczych wykorzystywanych w naukach społecznych, a zwłaszcza w analizach politycznych, socjologicznych i stosunkach międzynarodowych. Jej istotą jest systematyczne zestawianie co najmniej dwóch przypadków – może to być analiza różnych państw, instytucji, aktorów czy procesów – w celu zidentyfikowania zarówno podobieństw, jak i różnic między nimi (Chodubski, 2004, s. 125). W praktyce oznacza to, że badacz porównuje elementy wspólne i unikalne, co pozwala na głębsze zrozumienie badanych zjawisk, a także na sformułowanie bardziej precyzyjnych wniosków dotyczących mechanizmów rządzących danym obszarem. W ramach tej metody możliwe jest analizowanie przypadków „co najmniej pod jednym względem" (Karpiński, 2006, s. 231), co oznacza, że porównania mogą dotyczyć pojedynczych aspektów lub kategorii, takich jak polityka technologiczna, struktury instytucjonalne czy strategie rozwoju innowacji. Ponadto metoda porównawcza umożliwia zestawianie danych pochodzących z różnych kultur (Nowak, 2007, s. 340), co jest szczególnie istotne w badaniach międzyregionalnych lub międzypaństwowych. Jednostkami analizy w badaniu komparatywnym mogą być różne podmioty, takie jak reżimy polityczne, instytucje, aktorzy, procesy czy zjawiska społeczne i gospodarcze, a konkretnie ich wybrane aspekty, które dostarczają danych niezbędnych do porównań (Landman, 2002, s. 16). Metoda porównawcza umożliwia zatem nie tylko identyfikację różnic i podobieństw, ale również pomaga w zrozumieniu, dlaczego i w jaki sposób dane procesy lub strategie funkcjonują w określonych kontekstach. Dzięki temu badacz może wskazać czynniki warunkujące sukces lub niepowodzenie określonych rozwiązań, co jest kluczowe w analizie konkurencji technologicznej między mocarstwami. W ten sposób metoda komparatywna stanowi narzędzie pozwalające na uzyskanie bardziej wielowymiarowego i dogłębnego obrazu badanego fenomenu. Za pomocą tej metody porównane zostaną następujące elementy rywalizacji technologicznej pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chinami:

1. Sztuczna inteligencja (AI)

- Prywatne oraz publiczne inwestycje w AI (wartość i skala)
- Benchmarki wydajności i luka technologiczna[3]
- Liczba publikacji i patentów w dziedzinie AI

[3] Luka technologiczna to różnica w poziomie zaawansowania technologicznego między dwoma podmiotami, krajami lub firmami. W kontekście sztucznej inteligencji i rozwoju sieci 5G oznacza to, że jedna strona dysponuje bardziej wydajnymi, nowocześniejszymi rozwiązaniami, lepszą infrastrukturą lub bardziej efektywnymi algorytmami niż druga.

68:68317

- Modele rozwoju i charakterystyka prowadzonego rozwoju (modele zamknięte vs. open-source)

2. Patenty ogólne

- Liczba zgłoszeń patentowych (np. PCT)
- Udział w światowych zgłoszeniach patentowych
- Liczba patentów udzielonych oraz aktywnych

3. Półprzewodniki

- Wartość rynku półprzewodników na świecie
- Nakłady inwestycyjne (CAPEX) na produkcję i rozwój fabryk
- Liczba aktywnych fabryk półprzewodnikowych
- Programy wsparcia (np. CHIPS and Science Act)
- Sankcje i ich wpływ na rozwój oraz dostęp do technologii

4. Technologia 5G

- Liczba stacji bazowych 5G
- Zasięg 5G pod względem populacji
- Zasięg 5G pod względem terytorialnym
- Jakość sieci 5G, ze szczególnym uwzględnieniem technologii mmWave i średnich pasm
- Model wdrożenia i rola państwa w rozwoju infrastruktury

Pomimo że teoria realizmu ofensywnego skupia się głównie na działaniach państw i ich dążeniach do maksymalizacji swojej potęgi oraz dominacji, może być jednak odpowiednio dostosowana do uwzględnienia roli korporacji transnarodowych, biorąc pod uwagę ich wpływ na dynamikę rywalizacji technologicznej. Chińskie i amerykańskie korporacje transnarodowe stanowią istotny element strategii mocarstw, ponieważ technologie i innowacje które oferują, wpływają na bezpieczeństwo narodowe, gospodarkę oraz geopolitykę. W tym kontekście działania tych korporacji są postrzegane jako część szerszej strategii państwowej, mającej na celu zapewnienie dominacji technologicznej i wojskowej. Dlatego też, pomimo że korporacje są aktorami niepaństwowymi, ich działalność jest silnie powiązana z interesami państw i służy ich dążeniom do rozszerzenia wpływów, co jest zgodne z założeniami realizmu ofensywnego. Współczesne państwa, w tym Chiny i Stany Zjednoczone, wspierają swoje korporacje poprzez dotacje, regulacje prawne oraz bezpośrednie interwencje związane z rozwojem technologii i bezpieczeństwem narodowym. Przykładem mogą być sankcje nałożone za prezydentury Donalda Trumpa w latach 2017-2021 na chińskie korporacje, w tym firmy Huawei czy działania administracji prezydenta Joe Bidena w latach 2021-2025 związane z zakazem

69:11114

działania aplikacji TikTok na terenie Stanów Zjednoczonych (Maheshwari i McCabe, 2024). Z drugiej strony, korporacje, działając na skalę globalną, mogą realizować własne interesy, które czasami mogą być sprzeczne z interesami państw, ale zawsze odbywa się to w ramach globalnej rywalizacji o przewagę technologiczną i ekonomiczną. Z perspektywy realizmu ofensywnego korporacje transnarodowe są ważnymi aktorami w rywalizacji o globalne przywództwo technologiczne. Choć działając w systemie międzynarodowym, nie są neutralne w kwestiach geopolitycznych, ponieważ wprowadzane przez nie innowacje mogą zmieniać układ sił w strategicznych obszarach. Przykładem może być rywalizacja o dominację w obszarze 5G, gdzie korporacje takie jak Huawei są centralnymi aktorami, a ich technologie stanowią element szerszej rywalizacji chińsko-amerykańskiej o kontrolę nad globalnymi rynkami oraz infrastrukturą krytyczną. Porównanie rozwoju technologii w Chinach i Stanach Zjednoczonych pozwala na ocenę, w jaki sposób poszczególne systemy polityczne i gospodarcze wpływają na osiąganie przewagi technologicznej. W Państwie Środka dominujący wpływ na rozwój nowych technologii mają państwowe inwestycje i centralne planowanie, podczas gdy w Stanach Zjednoczonych większą rolę odgrywają prywatne korporacje oraz rynek. Zastosowanie metody porównawczej pomoże zrozumieć, w jaki sposób te różnice wpływają na globalną rywalizację, szczególnie w obszarach takich jak AI, sieć 5G, a także w kontekście bezpieczeństwa narodowego.

Porównanie tych dwóch mocarstw i ich podejścia do kwestii obronności oraz cyberbezpieczeństwa stanowi istotny element analizy. W Chinach rola technologii w obronności jest w dużej mierze zintegrowana z polityką państwową, podczas gdy w Stanach Zjednoczonych duży nacisk kładzie się na rozwój technologii wojskowych przez prywatne firmy, które współpracują z siłami zbrojnymi w ramach tzw. kompleksu wojskowo-przemysłowego. Analiza porównawcza wspomnianych modeli rozwoju technologii w obszarze obronności pozwoli na lepsze zrozumienie tego, jak różne systemy polityczne i gospodarcze mogą prowadzić do różnych form dominacji technologicznej.

Ostatnią stosowananą przeze mnie metodą są wywiady pogłębione. Jest to jedna z jakościowych metod badawczych, polegającą na prowadzeniu szczegółowych, otwartych rozmów z wyselekcjonowanymi respondentami, mających na celu uzyskanie głębokiego wglądu w ich wiedzę, opinie, doświadczenia oraz motywacje dotyczące badanego problemu (Bryman, 2016, s. 466). W odróżnieniu od wywiadów kwestionariuszowych, które charakteryzują się standaryzacją pytań i ograniczoną elastycznością, wywiady pogłębione cechuje swobodniejsza forma, co pozwala na dostosowywanie pytań w trakcie rozmowy, eksplorowanie nieoczekiwanych wątków oraz reagowanie na unikalne odpowiedzi

70:31501

respondentów (Kvale, 2007, s. 15). Dzięki temu metoda ta umożliwia zdobycie kompleksowej, wieloaspektowej wiedzy, pozwalającej na lepsze zrozumienie złożonych zjawisk społecznych, które trudno uchwycić poprzez metody ilościowe (Silverman, 2013, s. 118).

W kontekście niniejszej pracy, wywiady pogłębione zostały przeprowadzone z ekspertami zajmującymi się chińsko-amerykańską rywalizacją technologiczną oraz stosunkami międzynarodowymi, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów takich jak sztuczna inteligencja, sieć 5G, cyberbezpieczeństwo, półprzewodniki oraz polityka technologiczna. Dobór respondentów miał charakter celowy (*purposive sampling*), co oznacza, że wybrano osoby posiadające wysokie kompetencje merytoryczne i praktyczne – zarówno naukowców, jak i przedstawicieli środowisk militarno-technicznych, których wiedza i doświadczenie mogły wnieść istotny wkład do analizy (Patton, 2015, s. 264).

Analiza zebranych danych opierała się na systematycznym kodowaniu treści, które pozwala na identyfikację i kategoryzację kluczowych tematów oraz motywów wypowiedzi. W przypadku badań dotyczących chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej zastosowano kodowanie tematyczne obejmujące ekspercką interpretację działań politycznych i technologicznych podejmowanych przez obydwa państwa, identyfikację strategicznych priorytetów i motywacji decydentów, a także ocenę postrzeganych skutków rywalizacji technologicznej dla Stanów Zjednoczonych, Chin oraz globalnej gospodarki (Braun i Clarke, 2006, s. 79). Takie podejście pozwala na usystematyzowanie i pogłębioną interpretację danych jakościowych, umożliwiając wyciąganie wniosków dotyczących mechanizmów i dynamiki rywalizacji technologicznej, które są trudne do uchwycenia za pomocą innych metod badawczych. Wywiady pogłębione stanowią niezastąpione narzędzie do zdobywania wiedzy eksperckiej w badaniach nad złożonymi i dynamicznymi zjawiskami, takimi jak współczesna rywalizacja technologiczna między Chinami a USA. Umożliwiają nie tylko analizę oficjalnych stanowisk i strategii, lecz także ukazanie ukrytych motywacji, niuansów decyzyjnych oraz potencjalnych przyszłych kierunków rozwoju technologicznego i politycznego, co wzbogaca materiał źródłowy i pozwala na bardziej kompleksowe zrozumienie badanego problemu.

W ramach ww. metody przeanalizowano treść wszystkich wywiadów i dopasowano odpowiednie kategorie:

71:26515

Tab. 1. Matryca kodów tematycznych do analizy jakościowej wywiadów pogłębionych w zakresie chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej

Kategoria	Kod	Opis kodu	Tematy/wyrażenia
1. Czynniki rozwoju technologicznego			
	CR1	Inwestycje w badania i rozwój (R&D)	Budżety na R&D, publiczne i prywatne finansowanie
	CR2	Polityka państwa i wsparcie rządowe	Programy strategiczne, regulacje, dotacje
	CR3	Kapitał ludzki i edukacja	Kadra naukowa, szkolnictwo wyższe, specjalizacje
	CR4	Infrastruktura technologiczna	Sieci telekomunikacyjne, laboratoria, centra badawcze
	CR5	Kultura innowacji i przedsiębiorczości	Podejście do innowacji, start-upy, ekosystem technologiczny
	CR6	Porównanie poziomu rozwoju czynników technologicznych w Chinach i USA	Silniejsze i słabsze strony poszczególnych czynników
2. Metody i środki uzyskiwania przewagi technologicznej			
	MS1	Strategia przemysłowa i polityka rozwoju Chin	*Made in China 2025*, plany pięcioletnie, inwestycje państwowe
	MS2	Metody stosowane przez USA: regulacje, sankcje,	Restrykcje eksportowe, patentowanie, prawo autorskie

72:54015

		ochrona własności intelektualnej	
	MS3	Działania asymetryczne i niestandardowe metody rywalizacji	Cyberoperacje, szpiegostwo, operacje wpływu
	MS4	Rola korporacji transnarodowych i partnerstw	Alianse, współpraca publiczno-prywatna
3. Perspektywy współpracy i podziału technologicznego			
	PW1	Możliwości współpracy naukowej i technologicznej	Obszary współpracy: AI, zdrowie, klimat
	PW2	Bariery i ograniczenia współpracy	Polityka, bezpieczeństwo, sankcje
	PW3	Przewidywania dotyczące podziału na konkurujące bloki technologiczne	„Technologiczny zimny konflikt”, blok USA vs Chiny
	PW4	Dziedziny najbardziej narażone na eskalację rywalizacji	Cyberbezpieczeństwo, półprzewodniki, AI
4. Asymetryczne strategie cybernetyczne			
	AC1	Działania jednostki 61398 i Chińskiej	Ataki hakerskie, operacje szpiegowskie

73:55327

		Armii Ludowo-Wyzwoleńczej w cyberprzestrzeni	
	AC2	Metody przeciwdziałania USA wobec cyberataków	Obrona, kontrataki, współpraca wywiadowcza
	AC3	Znaczenie cyberbezpieczeństwa dla rywalizacji technologicznej	Bezpieczeństwo infrastruktury krytycznej, ochrona danych
5. Autonomia produkcji półprzewodników			
	AP1	Działania Chin na rzecz zwiększenia produkcji krajowej półprzewodników	Inwestycje, budowa fabryk, transfer technologii
	AP2	Inicjatywy USA na rzecz ograniczenia zależności od Tajwanu	Subsydia, partnerstwa z TSMC, rozwój krajowych fabryk
	AP3	Znaczenie sektora półprzewodników dla bezpieczeństwa i konkurencyjności państw	Ryzyko przerwania łańcuchów dostaw, autonomia technologiczna

Oprac. własne

Źródło: Braun, V., Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3(2),* 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Szczegółowe kodowanie otwarte i osiowe, jak również rozpisanie fragmentów wypowiedzi respondentów według wcześniej przygotowanej matrycy kodów z

74:37306

przyporządkowaniem do nich odpowiednich kategorii oraz kodów wraz z odpowiednim komentarzem znajduje się w rozdziale 5.

2.2. Przedmiot i cel badań

Przedmiotem badań niniejszej dysertacji jest analiza chińsko-amerykańskiej rywalizacji w obszarze nowych technologii w perspektywie 2025 r. Podstawowym celem badawczym odzwierciedlającym przedstawioną problematykę jest zidentyfikowanie czynników odpowiedzialnych za powstanie przewagi technologicznej (mocarstwa technologicznego) oraz porówanie stopnia ich rozwoju w dwóch analizowanych państwach – w Chińskiej Republice Ludowej (ChRL) i w Stanach Zjednoczonych. Zgodnie z obecnym stanem badań (Li i inn., 2018, s. 1-9) założyć należy, że do czynników warunkujących rozwój mocarstwa technologicznego można zaliczyć następujące elementy: (1) rozwój i powstanie sieci 5G, (2) badania nad sztuczną inteligencją, (3) zagraniczną ekspansję korporacji technologicznych rozumianą jako proces wejścia na rynki zagraniczne i prowadzenia sprzedaży produktów lub usług poza państwem, w którym jest zarejestrowana firma będąca ich właścicielem lub dysponentem, (4) produkty i usługi oparte na innowacyjnych technologiach, np. Internet Rzeczy i in. Ich zbadanie wymaga w pierwszej kolejności dokładnego doprecyzowania i sformułowania definicji opercyjnych. **Sieć 5G** to najnowszy standard sieci komórkowej piątej generacji, zastępująca 4G/LTE. Jej głównymi zaletami są: większa prędkość transferu – pobieranie do 20GB/s i wysyłanie do 10GB/s, mniejsze opóźnienie – maksymalnie 4ms, obciążenie – do miliona urządzeń na kilometr kwadratowy i niezawodność – stabilne połączenia podczas przemieszczania się z prędkością do 500 km/h (de Looper, 2020). Ta technologia znajduje zastosowanie w tzw. Przemyśle 4.0 czy koncepcji inteligentnych miast, czyli elementach Internetu Rzeczy. **Sztuczna inteligencja** (AI) to dziedzina obejmująca takie zagadnienia, jak uczenie maszynowe, sieci neuronowe czy robotykę. Do obecnie stosowanych rozwiązań można zaliczyć m.in. systemy rozpoznawania twarzy, mowy i pisma, autonomiczne samochody, maszynowe tłumaczenie (z ang. *Machine Translation*, MT – proces automatycznego przekształcania tekstu z jednego języka naturalnego na inny za pomocą algorytmów komputerowych, bez bezpośredniej ingerencji człowieka). Inwestycje w sztuczną inteligencję stanowią fundament rywalizacji o globalną dominację, a zarówno Chiny, jak i Stany Zjednoczone traktują AI jako kluczowy element strategii obronności. Technologie AI mają ogromny potencjał w obszarze wojskowości, zwłaszcza w zakresie wykorzystywania autonomicznych systemów bojowych, np. dronów, czy w tworzeniu zaawansowanych systemów dowodzenia, które mogą zapewnić przewagę w przyszłych konfliktach.

75:14344

Zagraniczna ekspansja korporacji technologicznych koreluje z kolei z zastosowaniem rozwiązań w ramach tzw. czwartej rewolucji przemysłowej (Hermann i in., 2015, s. 7) dotyczącej inteligentnej mobilności, sieci i logistyki oraz Internetu ludzi i danych. Liderami w tej dziedzinie są chińskie firmy telekomunikacyjne, np. Huawei (od 2012 r. największy na świecie producent urządzeń telekomunikacyjnych) czy Xiaomi. Ich produkty, tj. smartfony, pojazdy elektryczne typu Segway, smartwatche i inteligentne opaski zajmują wysokie miejsce na rynku towarów opartych o inteligentne rozwiązania. W innowacje technologiczne wpisują się: poprawa produkcji, tworzenie innowacyjnej architektury danych i oprogramowania przemysłowego, wykorzystanie technologii informacyjno-komunikacyjnych w celu zwiększenia interaktywności i wydajności infrastruktury miejskiej w ramach koncepcji tzw. *smart cities* (Musa, 2016). Internet Rzeczy umożliwia gromadzenie, przetwarzanie i wymianę danych pomiędzy urządzeniami bez ingerencji człowieka (Mattern i Floerkemeier, 2010, s. 242-243). W domenie obronności są to inteligentne urządzenia należące do infrastruktury wojskowej[4] czy pojazdy autonomiczne, mogące stać się celem ataków hakerskich, mających na celu przejęcie kontroli nad krytycznymi systemami obronnymi.

W ramach dysertacji chciałbym zidentyfikować czynniki przewagi konkurencyjnej w USA oraz w Chinach i dokonać ich porównania. Dążąc do realizacji zarysowanych wyżej celów badawczych sformułowałem następujące pytania oraz podporządkowane im hipotezy badawcze:

P1. Jakie wskaźniki są wykorzystywane w literaturze do pomiaru rozwoju technologicznego państw?[5]

H1. (1) Rozwój i powstanie sieci 5G – technologia 5G stanowi fundament przyszłości komunikacji cyfrowej, oferując znacznie wyższą przepustowość, mniejsze opóźnienia oraz zdolność do obsługi ogromnej liczby połączonych urządzeń. W przeciwieństwie do poprzednich generacji sieci komórkowych, takich jak 4G, 5G umożliwia masową łączność, co

[4] Inteligentne urządzenia należące do infrastruktury wojskowej obejmują różnorodne technologie, które są wykorzystywane do zwiększenia efektywności, bezpieczeństwa oraz zdolności obronnych. Przykłady stanowić mogą drony MQ-9 Reaper, nowoczesne systemy obrony powietrznej i rakietowej, takie jak systemy Patriot, czy też roboty bojowe (np. MAARS – z ang. Modular Advanced Armed Robotic System) służące do przeprowadzania operacji bojowych, rozpoznania, a także neutralizowania ładunków wybuchowych bez narażania życia żołnierzy.

[5] Na etapie planowania badań, a w związku z tym opracowania pytań badawczych i hipotez, konieczne było podanie wskaźników pozwalających uchwycić rozwój technologiczny państw. Pytanie badawcze P.1. Jakie wskaźniki są wykorzystywane w literaturze do pomiaru rozwoju technologicznego państw? miało wówczas istotne znaczenie poznawcze, ponieważ brakowało jednolitego zestawu kryteriów i nie było jasne, które z nich dominują w analizach naukowych. Z perspektywy kilku lat widać, że wskaźniki te zostały już szeroko omówione w literaturze i dziś stanowią w dużej mierze wiedzę powszechną, co jednak nie umniejsza zasadności ich pierwotnego ujęcia w niniejszym projekcie badawczym.

76:42142

otwiera drzwi do rozwoju nowych, innowacyjnych technologii, np. w postaci autonomicznych pojazdów, Przemysłu 4.0, inteligentnych miast czy rozwiązań w zakresie medycyny (Andrews i in., 2014). Przewaga sieci 5G polega na tym, że zapewnia ona nie tylko szybki transfer danych, ale również niskie opóźnienia, co ma kluczowe znaczenie dla aplikacji w czasie rzeczywistym, takich jak pojazdy autonomiczne, które wymagają szybkiej reakcji na zmieniające się warunki w otoczeniu (Ford i Geer, 2020). Chiny stały się globalnym liderem w budowie infrastruktury 5G, co w dużej mierze jest zasługą takich gigantów technologicznych jak Huawei i ZTE. Huawei jest czołowym dostawcą sprzętu i technologii 5G na świecie, w tym także do krajów rozwijających się. Chiny korzystają ze swojego ogromnego rynku wewnętrznego oraz wsparcia rządowego, by przyspieszyć rozwój i wdrożenie tej technologii. Rząd chiński odgrywa kluczową rolę, promując inwestycje w badania i rozwój oraz dostosowując polityki krajowe w celu przyciągania inwestycji w sektorze telekomunikacyjnym. Dodatkowo, chińska strategia obejmuje rozwój krajowych standardów 5G, co pozwala Chinom na zdobycie dominującej roli w globalnej rywalizacji o technologię 5G (Chen i in., 2020).

Z drugiej strony, Stany Zjednoczone postrzegają rozwój chińskich firm, takich jak Huawei, jako zagrożenie strategiczne, zarówno z perspektywy bezpieczeństwa narodowego, jak i konkurencyjności gospodarczej. W odpowiedzi na rosnącą pozycję Chin w budowie infrastruktury 5G, USA wprowadziły sankcje wobec Huawei oraz ZTE, a także restrykcje dotyczące dostępu tych firm do amerykańskiego rynku technologicznego. Dodatkowo, Stany Zjednoczone rozpoczęły szeroko zakrojone kampanie dyplomatyczne, starając się przekonać sojuszników, by ograniczyli współpracę z chińskimi producentami sprzętu, obawiając się, że chińska infrastruktura 5G może zostać wykorzystana do szpiegostwa lub innych działań zagrażających bezpieczeństwu (Piekutowski, 2020). USA skoncentrowały swoje wysiłki na wsparciu rozwoju własnych dostawców, takich jak Qualcomm, który jest jednym z liderów technologii 5G, a także na rozwijaniu współpracy z sojusznikami w zakresie budowy i wdrażania rozwiązań 5G. Qualcomm jako jeden z kluczowych graczy na rynku półprzewodników i rozwiązań komunikacyjnych zainwestował znaczne sumy w rozwój technologii 5G, dążąc do zapewnienia Stanom Zjednoczonym konkurencyjnej przewagi w globalnym wyścigu o technologię przyszłości (Saran, 2020).

Budowa sieci 5G wymaga olbrzymich inwestycji w infrastrukturę, w tym budowy nowych wież, stacji bazowych oraz centrum danych. Dodatkowo, konkurencja o globalne standardy technologiczne stawia państwa w sytuacji ciągłego wyścigu o dominację w tej dziedzinie. Przewaga w rozwoju technologii 5G może przyczynić się do rozwoju nowych przemysłów, w tym w obszarach takich jak przemysł motoryzacyjny, przemysł maszynowy czy

77:88529

zdrowie, a także wpłynąć na poprawę jakości życia obywateli w miastach, które staną się „inteligentne” dzięki pełnemu wdrożeniu technologii 5G (Sweeney, 2021).

(2) Badania nad sztuczną inteligencją – AI odgrywa coraz większą rolę w rozwoju nowych technologii, w tym w wielu dziedzinach i obszarach związanych z obronnością i przetwarzaniem danych. Mocarstwa oparte na rozwoju technologicznym wykorzystują AI do optymalizacji procesów gospodarczych i wzmacniania własnych zdolności obronnych. Chiny mocno inwestują w rozwój AI, w czym pomagają im ogromne zbiory danych dostępne na rynku wewnętrznym oraz wsparcie państwa. Z kolei USA dominują dzięki innowacjom technologicznym, doskonałym ośrodkom akademickim oraz dużej liczbie start-upów, które pracują nad zaawansowanymi algorytmami AI. Obydwa państwa konkurują o najlepsze talenty i tworzenie bardziej zaawansowanych technologii. Zmagania w rozwoju sztucznej inteligencji prowadzą do wyzwań związanych z bezpieczeństwem oraz regulacjami, co wymusza równoważenie innowacji z odpowiedzialnym wykorzystaniem technologii. W 2017 r. chiński rząd opublikował New Generation Artificial Intelligence Development Plan, który zakłada, że do 2030 r. Chiny staną się globalnym liderem w dziedzinie AI (State Council of China, 2017). Od tego czasu Państwo Środka zainwestowało miliardy dolarów w rozwój tej technologii, finansując zarówno badania akademickie, jak i komercyjne wdrożenia AI. Na przykład chińska firma SenseTime, specjalizująca się w rozpoznawaniu twarzy, osiągnęła w 2018 r. wycenę na poziomie ponad 12 mld dolarów, a jej technologie są wykorzystywane w systemach monitoringu i analizy danych (Mozur, 2018). Chiny mają dostęp do ogromnych zbiorów danych, które są kluczowe dla trenowania algorytmów AI. WeChat, aplikacja należąca do korporacji Tencent, ma ponad miliard użytkowników i generuje olbrzymie ilości informacji, które mogą być wykorzystywane do analizy zachowań i optymalizacji algorytmów uczenia maszynowego (Chen i in., 2020). Ponadto rządowe inicjatywy, takie jak *City Brain* firmy Alibaba, pozwalają na wdrażanie AI w celu zarządzania ruchem miejskim, poprawiając płynność ruchu w miastach, np. w Hangzhou nawet o 15% dzięki inteligentnemu monitorowaniu i adaptacyjnym algorytmom (Ding, 2018).

Z kolei Stany Zjednoczone dominują w sektorze AI dzięki przewadze w innowacjach oraz obecności czołowych firm technologicznych, takich jak Google DeepMind, OpenAI czy NVIDIA. Google stworzył model Transformer, który stał się podstawą dla dzisiejszych systemów przetwarzania języka naturalnego, w tym GPT-4 (Vaswani i in., 2017). OpenAI, wspierane przez Microsoft, wyznacza globalne standardy w AI, rozwijając modele generatywne, które znajdują zastosowanie w edukacji, medycynie czy automatyzacji procesów biznesowych (Brown i in., 2020). NVIDIA, z kolei, posiada wiodącą pozycję w produkcji

78:11093

procesorów graficznych (GPU), które są niezbędne do szkolenia modeli AI. W 2023 r. firma ogłosiła wprowadzenie układu H100, który zapewnia ponad 30-krotnie wyższą wydajność w przetwarzaniu AI w porównaniu do poprzednich generacji (NVIDIA, 2023). Stany Zjednoczone korzystają także z silnych ośrodków akademickich. Amerykańskie uniwersytety, tj. Massachusetts Institute of Technology (MIT), Stanford czy Carnegie Mellon University prowadzą przełomowe badania nad AI, przyciągając najlepszych ekspertów z całego świata. W 2022 r. naukowcy z MIT zaprezentowali model AI, który pozwala na przewidywanie struktury białek z precyzją porównywalną do metody eksperymentalnej, co otwiera drogę do szybszego projektowania leków (Jumper i in., 2021). Konkurencja między USA a Chinami nie ogranicza się jednak do rozwoju technologii – obejmuje również rywalizację o talenty. Amerykańskie firmy i uczelnie zatrudniają najlepszych specjalistów z zakresu AI, jednak Chiny intensywnie inwestują w krajowy system edukacji, zwiększając liczbę programów związanych z uczeniem maszynowym i sztuczną inteligencją. W 2018 r. Peking University uruchomił nowy wydział AI, mający na celu kształcenie przyszłych liderów tej dziedziny (Li, 2019).

(3) Zagraniczna ekspansja korporacji technologicznych – ekspansja na rynki międzynarodowe umożliwia korporacjom technologicznym zwiększenie skali działania, pozyskiwanie nowych partnerów oraz zabezpieczenie dostępu do kluczowych zasobów, takich jak dane i infrastruktura. Międzynarodowa obecność umożliwia dostęp do nowych rynków, surowców i zasobów, w tym do danych, które stanowią coraz cenniejszy zasób we współczesnej gospodarce cyfrowej (Brynjolfsson i McAfee, 2014). Przemiany te są szczególnie widoczne w kontekście dynamicznie rozwijających się krajów, w których infrastruktura technologiczna wciąż przechodzi intensywną modernizację, a zapotrzebowanie na innowacyjne rozwiązania jest duże. Chińskie firmy technologiczne, takie jak Alibaba, Tencent czy Huawei, stanowią doskonały przykład przedsiębiorstw, które skutecznie wykorzystują tę strategię, aby umocnić swoją pozycję na rynkach międzynarodowych. Alibaba, lider chińskiego rynku w zakresie e-commerce, inwestuje w rozwój platform transakcyjnych i usług chmurowych, co umożliwia jej dotarcie do szerokiej bazy konsumentów oraz firm na całym świecie. Tencent z kolei rozwija usługi oparte na aplikacjach mobilnych, takich jak WeChat, a także inwestuje w różne sektory rozrywki cyfrowej, od gier komputerowych po media społecznościowe. Huawei, jako globalny lider w dziedzinie infrastruktury telekomunikacyjnej, aktywnie promuje własne rozwiązania 5G, które mają duży potencjał w krajach rozwijających się (Li i He, 2020). Chińskie korporacje koncentrują swoje inwestycje w krajach rozwijających się, gdzie szybko rozwijające się gospodarki stwarzają ogromne możliwości dla ich produktów i usług. Z kolei amerykańskie giganty technologiczne, takie jak Google, Amazon i Microsoft, od lat dominują na rynkach

79:67235

międzynarodowych, jednak w obliczu rosnącej konkurencji ze strony chińskich firm, zmuszone są do zwiększenia swoich działań ekspansyjnych. W odpowiedzi na rosnącą obecność chińskich przedsiębiorstw na rynku globalnym, amerykańskie korporacje podejmują intensywne działania zmierzające do utrzymania i umocnienia swojej pozycji liderów, w tym poprzez przejęcia innowacyjnych firm oraz zawieranie strategicznych partnerstw. Takie działania mają na celu nie tylko rozszerzenie oferty produktowej, ale również zdobycie nowych technologii, które umożliwią im dalszy rozwój. Amazon przejął Whole Foods Market w 2017 r. za 13,7 mld dolarów, co stanowiło największą transakcję tego typu w historii firmy i umożliwiło Amazonowi połączenie swoich usług e-commerce z tradycyjnymi sklepami detalicznymi Whole Foods. W 2025 r. Alphabet, spółka matka Google, planuje przeznaczyć około 75 mld dolarów na wydatki kapitałowe, z czego znaczna część zostanie skierowana na rozwój infrastruktury AI, takiej jak serwery i centra danych (Peters, 2025). Ponadto w 2024 r. Google ogłosił inwestycję w wysokości 1 mld dolarów w budowę centrum danych i regionu chmurowego w Tajlandii, mających na celu zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na usługi chmurowe i wsparcie rozwoju AI w regionie Azji Południowo-Wschodniej (Reuters, 2024).

W miarę jak globalne korporacje technologiczne zwiększają swoją obecność na rynku międzynarodowym, napotykają również na nowe wyzwania związane z geopolitycznymi napięciami i zwiększonymi regulacjami dotyczącymi ochrony danych osobowych. Te zagadnienia stają się jednym z kluczowych obszarów, które wymuszają na firmach technologicznych większą elastyczność w dostosowywaniu swoich strategii do wymagań regulacyjnych różnych krajów. Przykładem może być rosnąca presja na firmę Huawei, której rozwiązania w zakresie 5G zostały objęte restrykcjami w wielu krajach zachodnich, obawiających się potencjalnych zagrożeń związanych z bezpieczeństwem narodowym i szpiegostwem. Z kolei w Unii Europejskiej, z uwagi na rozporządzenie o ochronie danych osobowych (RODO, ang. *General Data Protection Regulation, GDPR*), firmy muszą dostosować swoje praktyki do restrykcyjnych wymogów ochrony prywatności. Takie wyzwania zmuszają przedsiębiorstwa do balansowania między potrzebą globalnej ekspansji a koniecznością przestrzegania lokalnych przepisów (Zengler, 2019). W obliczu tych wyzwań technologie chmurowe oraz globalne sieci telekomunikacyjne stają się jednymi z głównych obszarów rywalizacji. Zarówno firmy chińskie, jak i amerykańskie, starają się zapewnić sobie dominację w tym segmencie, jednak napotykają na trudności związane z różnorodnością regulacji w różnych regionach. Ostatecznie, strategia ekspansji na rynki międzynarodowe wymaga od korporacji technologicznych ciągłej adaptacji do zmieniających się warunków geopolitycznych i regulacyjnych.

80:11843

(4) Produkty i usługi oparte na innowacyjnych technologiach, np. Internet Rzeczy (*IoT*), Internet Usług (*IoS*), i in. – innowacyjne technologie odgrywają kluczową rolę w kształtowaniu przyszłości gospodarek, społeczeństw i państw na całym świecie. Zdolność do tworzenia produktów i usług, które nie tylko odpowiadają na bieżące potrzeby, ale również przekształcają sposoby funkcjonowania gospodarki i społeczeństwa, stanowi przewagę technologiczną, która zapewnia dominację na rynkach globalnych. Przykładem takiej innowacji jest Internet Rzeczy, który pozwala na integrację urządzeń i systemów w celu zbierania oraz analizowania danych w czasie rzeczywistym. Dzięki temu możliwe jest monitorowanie i optymalizowanie na bieżąco procesów w różnych sektorach. Chiny są czołowym państwem w rozwoju dziedziny Internetu Rzeczy, co jest wynikiem ich dużego, wewnętrznego rynku oraz rządowego wsparcia dla Przemysłu 4.0, który promuje wykorzystanie nowych technologii do zwiększenia wydajności i innowacyjności w produkcji. To wsparcie obejmuje zarówno politykę sektora publicznego, jak również inwestycje w rozwój infrastruktury cyfrowej. Chiny skutecznie wykorzystują IoT w różnych sektorach, od produkcji po rolnictwo, transport i zarządzanie miastami, a także dążą do bycia światowym liderem w zakresie aplikacji IoT (Zhao i in., 2018). Ogromne znaczenie dla rozwoju chińskich technologii IoT ma także rosnąca liczba startupów i innowacyjnych firm, które przyczyniają się do rozwoju ekosystemu technologicznego w kraju. Z kolei Stany Zjednoczone koncentrują swoje wysiłki na bardziej zaawansowanych zastosowaniach IoT, takich jak urządzenia medyczne, inteligentne fabryki i systemy automatyzacji przemysłowej. Firmy takie jak General Electric, Cisco i Honeywell, inwestując w rozwój rozwiązań IoT, umożliwiają znaczną transformację w zakresie produkcji, logistyki czy opieki zdrowotnej. Przykładem może być rozwój tzw. „inteligentnych fabryk", które dzięki zastosowaniu czujników i urządzeń IoT pozwalają na automatyczne monitorowanie procesów produkcyjnych, zwiększając efektywność i redukując koszty (Baker i in., 2018). Usługi chmurowe, szczególnie Amazon Web Services (AWS) i Google Cloud, dominują na globalnym rynku, oferując firmom i organizacjom możliwość przechowywania danych oraz uruchamiania aplikacji w skali globalnej. AWS stał się liderem w dziedzinie chmurowych rozwiązań dla przedsiębiorstw, oferując narzędzia wspierające rozwój IoT, sztucznej inteligencji czy analityki danych w czasie rzeczywistym. Google Cloud zaś stawia na rozwój rozwiązań z zakresu sztucznej inteligencji i maszynowego uczenia się, umożliwiając przedsiębiorstwom bardziej zaawansowaną analizę danych i optymalizację procesów biznesowych. Obydwie platformy stanowią fundament dla nowoczesnych usług IoT, które mogą być wdrażane w różnych branżach na całym świecie (Iansiti i Lakhani, 2020). Chiny, choć rozwijają swoje lokalne usługi, takie jak Alibaba Cloud, napotykają trudności w wejściu

81:85085

na rynki zachodnie ze względu na obawy dotyczące bezpieczeństwa danych użytkowników przechowywanych na swoich serwerach.

P2. Które z analizowanych państw – Chiny czy Stany Zjednoczone – charakteryzuje się wyższym poziomem rozwoju na podstawie wskazanych parametrów technologicznych?

H2. Czynniki technologiczne są rozwinięte w lepszym stopniu w Stanach Zjednoczonych, przede wszystkim ze względu na długotrwałą dominację tego kraju w dziedzinie badań i rozwoju. USA od dziesięcioleci przyciągają najlepsze talenty w zakresie nauk ścisłych i inżynierii, co zapewnia silną bazę do innowacji technologicznych. Silny ekosystem innowacyjnych start-upów, zwłaszcza w Dolinie Krzemowej, jest kluczowym czynnikiem sprzyjającym rozwojowi nowych technologii. Firmy takie jak Apple, Google, Microsoft czy NVIDIA są globalnymi liderami w swoich branżach, nie tylko tworząc nowatorskie produkty, ale także wyznaczając kierunki rozwoju technologii na całym świecie. USA mają również dostęp do zaawansowanych zasobów intelektualnych, takich jak silne uniwersytety, które są ośrodkami badań i rozwoju oraz do ogromnych zasobów finansowych umożliwiających realizację skomplikowanych projektów technologicznych. Firmy technologiczne w Stanach Zjednoczonych mają łatwiejszy dostęp do kapitału, co umożliwia im przejmowanie innowacyjnych start-upów, a także inwestycje w badania i rozwój. Chociaż Chiny zaczęły nadrabiać zaległości, państwowe wsparcie, masowa produkcja technologii i strategiczne inwestycje w kluczowe sektory takie jak sztuczna inteligencja, sieć 5G, czy przemysł półprzewodników pozwalają im na szybki rozwój w tych obszarach. Państwo odgrywa kluczową rolę w tworzeniu ram dla innowacji, promując rozwój technologii poprzez wsparcie sektora publicznego i inwestycje. Chiny zainwestowały znaczne sumy w rozwój infrastruktury 5G, co pozwala im na szybkie wdrażanie tej technologii w różnych sektorach, od przemysłu po usługi publiczne. Huawei i ZTE są przykładami chińskich gigantów technologicznych, którzy zdobywają globalne rynki, mimo obaw związanych z bezpieczeństwem danych. Ponadto, inwestycje w sztuczną inteligencję i technologiczne start-upy pozwalają Chinom na rozwój nowych gałęzi przemysłu w ramach Przemysłu 4.0, systemów automatyzacji czy rozwiązań z zakresu medycyny. Jednakże, pomimo dynamicznego rozwoju, Chiny wciąż napotykają pewne trudności w zakresie dostępu do zaawansowanych zasobów intelektualnych i finansowych, zwłaszcza w kontekście technologii wysoko zaawansowanych, takich jak półprzewodniki. Amerykańskie restrykcje nałożone na chińskie firmy utrudniają dostęp do kluczowych komponentów i technologii, które są niezbędne do dalszego rozwoju chińskiego sektora technologicznego. Mimo to, strategia państwowego

82:10864

wsparcia i masowej produkcji pozwala Chinom na stopniowe zwiększanie swojej technologicznej potęgi. Stany Zjednoczone wciąż przewyższają Chiny pod względem rozwoju technologii, głównie dzięki długotrwałej dominacji w obszarze badań i rozwoju oraz silnym ekosystemom innowacyjnym, ale Chiny dynamicznie nadrabiają zaległości, wykorzystując państwowe wsparcie i inwestycje w kluczowe technologie, co może wpłynąć na zmianę układu sił w nadchodzących dekadach.

P3. Jakie czynniki determinują dążenie Chińskiej Republiki Ludowej do osiągnięcia przewagi technologicznej?

H3. Dążenie Chin do uzyskania przewagi technologicznej jest ściśle związane zarówno z celami gospodarczymi, jak i militarnymi, co bezpośrednio przekłada się na kwestie bezpieczeństwa narodowego. Chiny traktują technologie jako kluczowy element strategii długoterminowego wzrostu, mający na celu nie tylko zwiększenie globalnej konkurencyjności gospodarki, ale także zapewnienie strategicznej autonomii w kluczowych sektorach przemysłowych i obronnych. W ramach tej strategii państwo intensywnie inwestuje w badania i rozwój, wspiera krajowe firmy technologiczne oraz stara się zmniejszyć zależność od zagranicznych dostawców technologii. Jednym z istotnych aspektów tego dążenia jest rosnąca liczba patentów oraz innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Chiny w ostatnich latach stały się światowym liderem w zgłaszaniu patentów dotyczących AI, co stanowi odzwierciedlenie intensywnych działań w zakresie badań i rozwoju. Raport Światowej Agencji Własności Intelektualnej *Patent Landscape Report* wskazuje, że w Chinach zgłoszono ponad 38 000 patentów na GenAI[6] w latach 2014-2023, tj. sześć razy więcej niż w Stanach Zjednoczonych, które zajęły drugie miejsce (WIPO, 2024). Liczba zgłoszonych patentów nie tylko świadczy o rosnącej innowacyjności chińskiej gospodarki, ale również pozwala na wywieranie wpływu na globalne standardy technologiczne oraz na ochronę własności intelektualnej jako narzędzia przewagi konkurencyjnej. Z perspektywy strategicznej technologie rozwijane w instytutach badawczych i ośrodkach naukowych są często wykorzystywane w sektorze wojskowym. Wiele z innowacji opracowywanych na potrzeby cywilne znajduje później zastosowanie w przemyśle obronnym, co czyni je kluczowym elementem chińskiej strategii bezpieczeństwa narodowego. Przykładem mogą być zaawansowane technologie sztucznej inteligencji mające zastosowanie zarówno w analizie

[6] Generatywna sztuczna inteligencja – kategoria narzędzi opartych na technikach sztucznej inteligencji, przeznaczonych do tworzenia tekstów, obrazów, materiałów wideo oraz innych typów danych przy wykorzystaniu modeli generatywnych, zazwyczaj w odpowiedzi na dostarczone przez użytkownika polecenia (tzw. *prompty*).

83:10413

danych i systemach nadzoru, jak i w autonomicznych systemach bojowych, cyberbezpieczeństwie oraz nowoczesnych systemach uzbrojenia. Dążenie Chin do dominacji technologicznej jest również odpowiedzią na rosnącą presję międzynarodową i restrykcje gospodarcze nakładane przez Stany Zjednoczone i ich sojuszników. W obliczu amerykańskich sankcji, ograniczających dostęp do kluczowych komponentów, takich jak półprzewodniki i zaawansowane technologie obliczeniowe, Chiny intensyfikują wysiłki na rzecz uniezależnienia się od zachodnich dostawców i rozwijania własnych zdolności produkcyjnych. Programy takie jak *Made in China 2025* skoncentrowane są na budowie krajowego ekosystemu innowacji, który ma pozwolić na rozwój własnych technologii w obszarach takich jak mikroprocesory, sieć 5G, robotyka czy biotechnologia. Rozwój technologiczny ma także kluczowe znaczenie dla międzynarodowej pozycji Chin. Zaawansowane technologie pozwalają na wzmacnianie wpływów w skali globalnej, m.in. poprzez eksport chińskich rozwiązań technologicznych do krajów rozwijających się w ramach Inicjatywy Pasa i Szlaku (*Belt and Road Initiative*). Budowa infrastruktury cyfrowej i technologicznej w krajach Azji, Afryki i Ameryki Łacińskiej umożliwia Chinom rozszerzanie swoich wpływów politycznych i gospodarczych, jednocześnie zapewniając dostęp do nowych rynków i zasobów. Dążenie Chin do przewagi technologicznej wynika z konieczności zabezpieczenia własnych interesów gospodarczych, militarnych i politycznych. Intensywne inwestycje w badania i rozwój, rosnąca liczba patentów oraz rozwój technologii podwójnego zastosowania świadczą o długoterminowej strategii, mającej na celu wzmocnienie pozycji Chin jako globalnego lidera technologicznego. W obliczu rosnącej konkurencji i napięć geopolitycznych, strategia ta staje się kluczowym elementem chińskiej polityki gospodarczej i bezpieczeństwa narodowego.

Biorąc pod uwagę odpowiedzi uzyskane na dwa wcześniejsze pytania badawcze, sformułowano główne pytanie badawcze w następujący sposób:

PG. Jaka koncepcja strategiczna została przyjęta przez Chińską Republikę Ludową w obszarze rozwoju technologicznego?

HG. Chiny realizują długofalową strategię *Made in China 2025*, której celem jest osiągnięcie samowystarczalności technologicznej i globalnej dominacji w kluczowych branżach high-tech.

Strategia *Made in China 2025*, ogłoszona w 2015 r., zakłada transformację Chin z „fabryki świata" w globalne centrum innowacji. Obejmuje dziesięć priorytetowych sektorów, m.in. robotykę, technologie lotnicze, sprzęt medyczny, nowe materiały, pojazdy elektryczne i półprzewodniki. W odpowiedzi na napięcia handlowe i sankcje ze strony USA, a zwłaszcza wobec Huawei i SMIC, Pekin zintensyfikował działania na rzecz samowystarczalności

84:43158

technologicznej. W ramach 14. Planu Pięcioletniego (2021-2025) zapowiedziano przeznaczenie ponad 1,4 bln dolarów na rozwój kluczowych technologii. Znaczącą rolę odgrywa też fundusz National Integrated Circuit Industry Investment Fund, który wspiera krajową produkcję chipów. Chiny inwestują także w system edukacji i rozwój kadr, np. poprzez zwiększenie liczby absolwentów kierunków STEM i tworzenie krajowych centrów innowacji technologicznych (State Council of the People's Republic of China, 2021).

Aby prawidłowo odpowiedzieć na główne pytanie badawcze, sformułowane zostały następujące pytania pomocnicze:

PP1. Jakie parametry rozwoju sztucznej inteligencji wskazują na przewagę USA lub Chin?

HP1. USA utrzymują przewagę jakościową w zakresie badań i publikacji naukowych z zakresu AI, podczas gdy Chiny przodują pod względem liczby patentów i wdrożeń komercyjnych. W obszarze sztucznej inteligencji USA i Chiny prezentują komplementarne typy przewagi.Według raportu Stanford AI Index 2024 Chiny odpowiadają za ponad 30% globalnych patentów związanych z AI (2023 r.), w porównaniu z ok. 15% udziałem USA. Przodują też w liczbie wdrożeń technologii AI w sektorze publicznym i prywatnym (Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, 2024). Z kolei USA dominują pod względem jakości publikacji naukowych – mierzonej liczbą cytowań (WIPO, 2023). Ponadto w USA znajduje się najwięcej czołowych laboratoriów AI (np. OpenAI, Google DeepMind, Anthropic). Pod względem inwestycji prywatnych w AI (venture capital), USA wciąż są liderem – w 2023 r. przyciągnęły ponad 50% globalnych inwestycji w startupy AI. Chiny jednak nadrabiają dystans, szczególnie w kontekście sztucznej inteligencji wykorzystywanej w rozpoznawaniu twarzy, analizie danych czy systemach nadzoru (Stanford Institute for Human-Centered Artificial Intelligence, 2024).

PP2. Jakie postępy w rozwoju sieci 5G osiągnęły USA i Chiny w latach 2019-2025?

HP2. Chiny wyprzedziły USA pod względem szybkości wdrażania infrastruktury 5G i liczby użytkowników, co wynika z silnego wsparcia państwowego oraz dominacji firm takich jak Huawei i ZTE. Od 2019 r. Chiny w szybkim tempie rozwijają infrastrukturę 5G. Państwo subsydiuje rozwój sieci oraz zachęca lokalne samorządy do wspierania firm takich jak Huawei i ZTE. Według danych MIIT (Ministerstwa Przemysłu i Technologii Informacyjnych Chin), na koniec 2024 r. Państwo Środka posiadało 4,2 mln stacji bazowych 5G, co stanowi ponad 60% światowej infrastruktury 5G (Xinhua, 2024). Z kolei w USA wdrażanie 5G odbywa się poprzez mechanizmy wolnego rynku i udział prywatnych koncernów, takich jak Verizon, AT&T i T-Mobile, z mniejszym udziałem państwa. Skutkuje to wolniejszym osiąganiem pełnego zasięgu

85:10928

ogólnokrajowego, choć w wybranych obszarach sieci amerykańskie oferują lepsze parametry w zakresie pasm o wyższych częstotliwościach, takich jak mmWave[7] – fale milimetrowe o częstotliwości powyżej 24 GHz (GSMA, 2023), charakteryzujących się bardzo dużą przepustowością i niskimi opóźnieniami, co umożliwia obsługę intensywnych transmisji danych i aplikacji wymagających pracy w czasie rzeczywistym. USA początkowo skoncentrowały się na mmWave, co zapewniło lokalnie lepszą jakość usług w obszarach testowych (np. w centrach miast), ale spowolniło rozbudowę ogólnokrajowego zasięgu, ponieważ potrzebne są znacznie gęstsze sieci nadajników. Z kolei Chiny skoncentrowały się na zakresach sub-6 GHz, które pozwoliły szybko objąć duże obszary kraju zasięgiem 5G, choć z niższą wydajnością w porównaniu do mmWave (Sadowski i Nucciarelli, 2022).

PP3. Jakie są różnice w charakterze i zakresie globalnej ekspansji przedsiębiorstw technologicznych pochodzących ze Stanów Zjednoczonych i Chińskiej Republiki Ludowej?

HP3. Firmy amerykańskie prowadzą globalną ekspansję poprzez inwestycje w innowacje i przejęcia, natomiast chińskie przedsiębiorstwa rozwijają się głównie dzięki wsparciu państwa i ofertom kierowanym na rynki rozwijające się.

Amerykańskie firmy takie jak Apple, Google, Microsoft, Nvidia rozwijają swoją pozycję globalną poprzez inwestycje badawczo-rozwojowe (R&D), przejęcia startupów i innowacje technologiczne. Firma Apple w 2024 r. przeznaczyła ponad 30 mld dol. na R&D (badania i rozwój), zaś Microsoft umacnia swoją pozycję na rynku AI dzięki partnerstwu z OpenAI (Crowther, 2024).

Chińskie firmy, tj. Huawei, ByteDance (TikTok), Alibaba stosują inny model działania, tzn. korzystają z lepszej oferty (oferują niższe ceny), wsparcia politycznego i dostępu do taniej siły roboczej, by zdobywać rynki w Azji, Afryce i Ameryce Łacińskiej. Koncern Huawei oferuje infrastrukturę 5G krajom afrykańskim z rozłożonymi płatnościami, wspartymi przez chińskie banki państwowe, np. Exim Bank of China (Invest Africa, 2024).
Jednak ekspansja firm chińskich napotyka bariery – ograniczenia eksportowe USA, blokady legislacyjne (np. zakaz korzystania z serwisu TikTok w USA na urządzeniach rządowych) i ograniczony poziom zaufania ze strony krajów Zachodu.

[7] Zgodnie z definicją zawartą w dokumentacji Qualcomm, mmWave (Frequency Range 2, FR2) obejmuje zakres częstotliwości powyżej 24 GHz i wyróżnia się m.in. wysoką przepustowością oraz niskimi opóźnieniami, co czyni tę technologię użyteczną w szczególności w scenariuszach o dużym natężeniu ruchu i wymaganiach w zakresie wydajności.

86:49356

2.3. Perspektywa teoretyczna

Podstawę teoretyczną analizy stanowi realizm ofensywny Johna Mearsheimera, wedle którego państwa w anarchicznym systemie międzynarodowym dążą do maksymalizacji swojej potęgi i zdobycia hegemonii w kluczowych obszarach strategicznych. Z perspektywy tej teorii rozwój technologiczny nie jest jedynie kwestią gospodarczą, lecz stanowi narzędzie ekspansji geopolitycznej, umożliwiające osiągnięcie przewagi nad rywalami. Rywalizacja technologiczna między Chinami a Stanami Zjednoczonymi wpisuje się w klasyczne założenia realizmu ofensywnego, ponieważ przedmiotowe mocarstwa nie tylko dążą do innowacji w dziedzinie nowych technologii, ale także podejmują działania mające na celu ograniczenie rozwoju przeciwnika.

Dodatkowo, w analizie uwzględniono koncepcje geopolityczne, takie jak teoria Heartlandu Halforda Mackindera oraz teoria Rimlandu Nicholasa Spykmana pozwalające zrozumieć geostrategiczne znaczenie kontroli nad kluczowymi regionami w kontekście rywalizacji technologicznej. Teorie te tłumaczą, dlaczego kontrola nad infrastrukturą cyfrową, szlakami przesyłu danych oraz kluczowymi surowcami technologicznymi, takimi jak metale ziem rzadkich, odgrywa kluczową rolę w dążeniu do globalnej dominacji. Wykorzystano także koncepcję „Wielkiej Szachownicy" Zbigniewa Brzezińskiego, wskazującą na strategiczne znaczenie Eurazji jako kluczowego obszaru rywalizacji mocarstw, co znalazło odzwierciedlenie w polityce Chin wobec regionu Azji Środkowej oraz *w Inicjatywie Pasa i Szlaku.* Analiza chińsko-amerykańskiej rywalizacji w dziedzinie technologii wymaga uwzględnienia zarówno długofalowych trendów gospodarczych, jak i aktualnych wydarzeń politycznych, dlatego przyjęte podejście badawcze łączy różne metody analizy, pozwalając na kompleksową ocenę tego zjawiska. Dzięki temu możliwe staje się nie tylko zrozumienie dynamiki rywalizacji, ale także prognozowanie jej dalszego rozwoju oraz identyfikacja możliwych scenariuszy przyszłej konfrontacji między Chinami a Stanami Zjednoczonymi w obszarze technologii i bezpieczeństwa międzynarodowego.

Wychodząc z założenia, że teoria naukowa uznawana jest za jeden z najcenniejszych sposobów prezentowania wyników badań naukowych (Krauz-Mozer, 2007, s. 54), wybór odpowiedniej perspektywy badawczej jest istotny dla opisania, wyjaśnienia i ewentualnie przyszłego prognozowania wydarzeń w wybranym przeze mnie fragmencie rzeczywistości międzynarodowej. Kwestie dotyczące cyberbezpieczeństwa i nowych technologii coraz częściej wskazywane są jako oś sporu w stosunkach dwustronnych pomiędzy Chińską Republiką Ludową a Stanami Zjednoczonymi. Ich zmagania w dziedzinie nowych technologii stały się jednym z kluczowych punktów geopolitycznych napięć w XXI w. Obydwa mocarstwa

87:61065

dążą do dominacji w takich sektorach jak sztuczna inteligencja, technologia 5G, Big Data, a także w eksploracji przestrzeni kosmicznej i technologii kwantowej. Łączą się one z polityką gospodarczą i zagraniczną, dotykają również takich obszarów, jak konkurencja militarna czy działalność wywiadowcza. Realistyczna teoria stosunków międzynarodowych oferuje szeroką gamę podejść do analizy chińsko-amerykańskiej rywalizacji w obszarze nowych technologii, pozwalając zrozumieć, dlaczego państwa dążą do maksymalizacji potęgi i jakie są tego konsekwencje. Realizm jako podejście teoretyczne w stosunkach międzynarodowych wyrasta z przekonania, że relacje między państwami opierają się przede wszystkim na rywalizacji, sile i dążeniu do przetrwania. Teoria realizmu, którego korzenie sięgają starożytnej Grecji, stanowi jedną z najbardziej wpływowych szkół w badaniach nad polityką międzynarodową. Fundamenty realizmu opierają się na poglądach Tukidydesa, Hobbesa i Machiavellego, którzy wskazywali na egoistyczną naturę człowieka oraz wynikającą z niej skłonność do dążenia do władzy (Hobbes, 2009, s.102-105, Machiavelli, 2018, s. 63-65). Przykład stanowi *Historia Wojny Peloponeskiej* Tukidydesa, w którym to dziele grecki historyk analizuje konflikt między Atenami a Spartą, tłumacząc rywalizację mocarstw naturalnym dążeniem do dominacji (Tukidydes, 2010, s. 45-47).

Współczesny realizm zaczął kształtować się w latach 40. XX w., kiedy profesor Hans Morgenthau opublikował pracę *Politics Among Nations* (1948). Morgenthau podkreślał, że polityka międzynarodowa to nieustanna walka o władzę, której nie można zredukować jedynie do norm moralnych. Jego teorie koncentrowały się na tym, że państwa, jako główne jednostki w systemie międzynarodowym, dążą do maksymalizacji swoich interesów, a w szczególności – do zapewnienia sobie bezpieczeństwa. Kluczowe założenie realizmu klasycznego, które Morgenthau przejął od Hobbesa dotyczy konieczności ochrony interesów narodowych w świecie anarchicznym, gdzie nie istnieje centralna władza zapewniająca porządek. Realizm klasyczny zakłada, że stosunki międzynarodowe opierają się na fundamentalnej naturze człowieka zdominowanej przez dążenie do władzy i przetrwania, a państwa jako główni aktorzy w systemie międzynarodowym, działają w sposób egoistyczny i są skłonne do rywalizacji, aby zwiększyć swoją siłę i bezpieczeństwo (Morgenthau, 1948, s. 45-50).

Po II wojnie światowej teorie te zostały rozwinięte i pojawiły się bardziej złożone nurty realizmu – strukturalny (neorealizm), defensywny i ofensywny, które ukształtowały nowe podejścia do analizy systemu międzynarodowego, uwzględniając różne strategie zapewnienia bezpieczeństwa i dominacji. Neorealizm, określany także jako realizm strukturalny to teoria opracowana przez prof. Kennetha Waltza, autora przełomowej pracy *Theory of International Politics* (1979) wprowadzającej nowe rozumienie interakcji między państwami. Waltz odszedł

88:10195

od klasycznego założenia, że natura ludzka jest głównym czynnikiem wywołującym konflikty. Zamiast tego, koncentrował się na strukturze systemu międzynarodowego, który jest anarchiczny, co oznacza, że brak centralnej władzy zmusza państwa do samodzielnego zabezpieczenia swojego przetrwania (Waltz, 1979, s. 88-92).

Realizm strukturalny zakłada, że: 1/ System międzynarodowy jest anarchiczny – w neorealizmie anarchia nie oznacza chaosu, lecz brak centralnej władzy, który wymusza samowystarczalność państw w zakresie bezpieczeństwa. Waltz twierdzi, że anarchiczny system zmusza państwa do działania na rzecz własnych interesów w sposób niezależny. 2/ Państwa są głównymi aktorami polityki międzynarodowej – neorealizm koncentruje się na państwach jako kluczowych aktorach, przywiązując zdecydowanie mniejszą wagę do możliwości działania podmiotów niepaństwowych, ponieważ tylko państwa mają zdolność do prowadzenia polityki siły i zabezpieczania swoich interesów na arenie międzynarodowej. 3/ Dążenie do równowagi sił – w przeciwieństwie do realizmu ofensywnego, neorealizm strukturalny postuluje, że państwa dążą do równowagi, a nie do hegemonii. Aby przetrwać, państwa muszą balansować siły z innymi, starając się zapobiec sytuacji, w której jedno z nich uzyska wyraźną przewagę nad innymi (Waltz, 1979, s. 117-120). 4/ Hierarchia i polaryzacja w systemie międzynarodowym – Waltz wyróżnia systemy unipolarne, bipolarne i multipolarne. W systemie bipolarności, jak w okresie zimnej wojny, dwie dominujące potęgi stabilizują równowagę, co w neorealizmie uważa się za układ zapewniający stabilność.

Ten rodzaj realizmu znalazł swoje praktyczne zastosowanie w okresie zimnej wojny, kiedy USA i ZSRR rywalizowały o wpływy w systemie dwubiegunowym. Każde z mocarstw dążyło do zabezpieczenia swojej pozycji, prowadząc politykę balansowania i wspierania sojuszników w celu utrzymania równowagi. Waltz argumentował, że ta rywalizacja, pomimo napięć, była stabilna, ponieważ obydwa państwa dążyły do równowagi sił, a nie do całkowitej dominacji.

Realizm defensywny stanowi z kolei odpowiedź na koncepcje neorealizmu i rozwija je, koncentrując się na zachowaniach państw, które mają na celu minimalizację zagrożeń przy jednoczesnym dążeniu do bezpieczeństwa, a nie dominacji. Jego głównymi przedstawicielami są profesorowie Stephen Walt oraz Robert Jervis. Twierdzą oni, że państwa mogą zapewnić sobie bezpieczeństwo przez ograniczoną równowagę sił, zamiast dążyć do maksymalizacji swojej potęgi (Walt, 1987, s. 13-15, Jervis, 1976, s. 92-95). Realizm defensywny odchodzi od założeń maksymalizacji potęgi i postuluje, że państwa są bardziej zainteresowane swoim bezpieczeństwem niż dominacją. Główne założenia tej teorii to: 1/ Bezpieczeństwo poprzez balansowanie – państwa mogą osiągnąć bezpieczeństwo bez konieczności eskalacji konfliktu, dążąc do ograniczonej równowagi z rywalami. Według Jervisa kraje, które dążą do

89:51918

maksymalizacji siły, mogą wywołać reakcję przeciwnika, co zwiększa ryzyko konfliktu (Jervis, 1976, s. 29-32). 2/ Znaczenie percepcji intencji rywala – w realizmie defensywnym istotne jest, w jaki sposób państwa interpretują działania innych. Rywalizacja może eskalować, jeśli państwa błędnie interpretują defensywne intencje rywala jako ofensywne, co z kolei może prowadzić do wyścigu zbrojeń. 3/ Dążenie do stabilizacji regionalnej – w realizmie defensywnym, państwa dążą do stabilizacji regionalnej, co jest korzystne dla ich bezpieczeństwa. Zamiast dążyć do ekspansji, mocarstwa próbują utrzymać stabilność wokół swoich granic. Podczas zimnej wojny USA i ZSRR rywalizowały o globalną dominację, lecz zdaniem Walta dzięki strategiom defensywnym – takim jak ograniczanie eskalacji poprzez zbrojenia konwencjonalne oraz tworzenie stref wpływów – udało się uniknąć bezpośredniego konfliktu. Stephen Walt argumentował, że równowaga sił oraz wzajemne zrozumienie defensywnych intencji stanowiły w tym kontekście istotne czynniki prewencyjne (Walt, 1987, s. 42-45).

Perspektywa badawcza, którą przyjąłem w dyseracji odnosi się do realizmu ofensywnego. Realizm ofensywny, opracowany przez prof. Johna Mearsheimera, jest odpowiedzią na istniejące nurty realistyczne, tj. teorię neorealizmu i realizmu defensywnego, które ograniczają się do balansowania sił (Czaputowicz, 2012, s. 127-131). Mearsheimer w dziele *The Tragedy of Great Power Politics* (2001) argumentuje, że państwa w anarchicznym systemie międzynarodowym nie tylko dążą do równowagi, ale aktywnie poszukują przewagi nad innymi, aby maksymalizować swoje bezpieczeństwo. Mearsheimer podkreśla, że w odróżnieniu od realizmu defensywnego, państwa będą dążyć do pełnej dominacji nad pozostałymi aktorami stosunków międzynarodowych, ponieważ tylko całkowita dominacja może zagwarantować im bezpieczeństwo.

Realizm ofensywny jest teorią dynamiczną, która tłumaczy dlaczego państwa nieustannie dążą do przewagi, nawet kosztem eskalacji konfliktu (Mearsheimer, 2001, s. 29-35). Perspektywa badawcza, którą przyjąłem, związana jest z realizmem ofensywnym, ponieważ ten właśnie nurt najlepiej wyjaśnia dynamikę chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej z uwagi na swoje założenia, które odpowiadają strategiom, jakie stosują zarówno Chiny, jak i Stany Zjednoczone. Realizm ofensywny jako teoria, która rozwinęła się na podstawie prac Kennetha Waltza nad realizmem strukturalnym zakłada, że wielkie mocarstwa starają się maksymalizować swój udział na arenie międzynarodowej, dążąc do osiągnięcia statusu dominującej siły-hegemona, ponieważ jest to najlepszy sposób na przetrwanie. John Mearsheimer (2001, s. 29-35) przyjmuje pięć kluczowych założeń dotyczących systemu międzynarodowego:

90:11838

1/ Wielkie mocarstwa są głównymi aktorami w polityce światowej, a system międzynarodowy jest anarchiczny, co oznacza, że głównymi aktorami w międzynarodowej polityce są państwa, a zwłaszcza wielkie mocarstwa. System międzynarodowy nie jest hierarchiczny, więc nie ma centralnej władzy, która regulowałaby ich zachowania. To powoduje, że każde państwo działa w warunkach anarchii, gdzie musi liczyć na własne siły i zdolności do ochrony swoich interesów.

2/ Wszystkie państwa dysponują określonymi zdolnościami wojskowymi, a każde z nich posiada różny poziom siły militarnej i w jakiś sposób może wpłynąć na równowagę sił w systemie międzynarodowym. To oznacza, że każde państwo musi być przygotowane na potencjalne zagrożenia militarne i ma zdolność do interwencji, zarówno obronnej, jak i ofensywnej.

3/ Żaden kraj co do zasady nie może być pewny intencji innego państwa - w anarchicznym systemie międzynarodowym, państwa nie mogą być pewne intencji innych aktorów, nawet jeśli deklarują oni przyjazne zamiary. To prowadzi do nieufności i obawy, że ci aktorzy mogą zmienić swoje intencje lub dążyć do agresji, co może zmusić państwo do podjęcia działań prewencyjnych.

4/ Przetrwanie stanowi główny cel - jednym z podstawowych celów państw jest zapewnienie przetrwania, zarówno na poziomie politycznym, jak i militarnym. To oznacza, że państwa będą dążyć do maksymalizacji swojej siły i bezpieczeństwa, aby móc utrzymać suwerenność i niezależność w anarchicznym systemie międzynarodowym.

5/ Mocarstwa są racjonalnymi aktorami - Mearsheimer zakłada, że państwa, a zwłaszcza mocarstwa, podejmują decyzje w sposób racjonalny, dążąc do maksymalizacji swoich interesów narodowych, w tym zapewnienia bezpieczeństwa i przetrwania. Racjonalność oznacza, że państwa analizują koszty i korzyści swoich działań oraz podejmują decyzje na podstawie realistycznej oceny sytuacji.

Relacje między Chinami a Stanami Zjednoczonymi w XX w. były kształtowane przez zmieniający się układ sił w systemie międzynarodowym oraz strategiczne interesy obydwu państw. Z perspektywy realizmu, który zakłada, że państwa dążą do maksymalizacji swojej potęgi i bezpieczeństwa w anarchicznym środowisku międzynarodowym, wzajemne stosunki były naznaczone zarówno rywalizacją, jak i pragmatyczną współpracą.

W pierwszej połowie XX w. Chiny były państwem osłabionym wewnętrznie poprzez wydarzenia, takie jak wojny domowe (rozłam pomiędzy Kuomintangiem (KMT) a Komunistyczną Partią Chin (KPCh), pierwsza i druga wojna domowa) i rewolucje (rewolucja Xinhai, ruch 4 maja, powstania chłopskie) oraz zdominowanym przez mocarstwa zewnętrzne

91:36178

(Japonia, Europa, USA). Chiny w tym okresie nie stanowiły znaczącej siły na arenie międzynarodowej, zaś USA umacniały swoją globalną pozycję po I wojnie światowej. Po okresie cesarstwa, które zakończyło się rewolucją Xinhai w 1911 r., kraj przeszedł przez falę niepokojów politycznych, społecznych i wojskowych, skutkujących osłabieniem państwowości. Rewolucja Xinhai obaliła ostatnią dynastię, Qingów, kończąc tysiącletnią tradycję cesarstwa, jednak nie doprowadziła do stabilizacji. Nowo powstała Republika Chińska, mimo początkowych nadziei, zmagała się z licznymi problemami, które osłabiały jej centralną władzę. Chiny były rozdzielone pomiędzy różne frakcje polityczne, z których najbardziej istotnym konfliktem była rywalizacja między Kuomintangiem a Komunistyczną Partią Chin. W wyniku tej rywalizacji wybuchły dwie wojny domowe, pierwsza (1927-1937) i druga (1945-1949), które były kluczowymi wydarzeniami tego okresu. Pierwsza wojna domowa miała miejsce po tym, jak Kuomintang, początkowo wspierany przez komunistów w walce z obcymi okupantami, postanowił przejąć pełną kontrolę nad państwem. Konflikt ten zakończył się względnym zwycięstwem Kuomintangu, jednak nie doprowadził do trwałego zjednoczenia kraju, a Chiny wciąż zmagały się z kryzysem politycznym (Szanton, 1993, s. 56-58). W trakcie trwania pierwszej wojny domowej w Chinach doszło do kolejnych wielkich zawirowań, z których najistotniejszym była japońska agresja. Japonia, dążąc do rozwoju swojej strefy wpływów w Azji, wykorzystała wewnętrzną słabość Chin i w 1931 r. zajęła Mandżurię, a w 1937 r. rozpoczęła pełnoskalową agresję na Chiny, wywołując II wojnę chińsko-japońską. Podczas II wojny światowej, wspólny interes w walce z Japonią sprawił, że USA wspierały rząd Czang Kaj-szeka (Kuomintang) przeciwko agresji japońskiej (Spence, 1999, s. 290-295, Westad, 2005, s. 120-125), a chińsko-amerykańskie relacje uległy pewnemu zbliżeniu. Z perspektywy realistycznej była to sojusznicza kooperacja oparta na kalkulacji strategicznych korzyści, a nie ideologii. Zajęcie przez Japończyków dużych terenów wschodnich Chin, w tym Nankinu, spowodowało masowe zniszczenia, a ludność cywilną dotknęły brutalne represje. Choć konflikt ten był wyniszczający, to jednocześnie doprowadził do zbliżenia pomiędzy KMT a KPCh, które połączyły siły w walce z wspólnym wrogiem – Japonią (Szanton, 1993, s. 62). Pomimo tego tymczasowego sojuszu, Chiny wciąż zmagały się z głębokimi podziałami wewnętrznymi. Po zakończeniu drugiej wojny światowej i klęsce Japonii, wybuchła kolejna wojna domowa, która trwała do 1949 r. Zwycięstwo komunistów Mao Zedonga i utworzenie Chińskiej Republiki Ludowej zmieniło układ sił w Azji. USA postrzegały Chiny jako sojusznika Związku Radzieckiego, co wpisywało się w logikę zimnowojennej rywalizacji między blokiem wschodnim a zachodnim. George F. Kennan, jeden z czołowych amerykańskich dyplomatów i architekt polityki powstrzymywania (*containment*), miał

92:23425

specyficzne podejście do polityki Stanów Zjednoczonych wobec Chin w okresie zimnej wojny. Jego poglądy na ten temat były kształtowane zarówno przez ogólną strategię powstrzymywania ekspansji komunizmu, jak i przez realistyczną ocenę sytuacji międzynarodowej. Kennan odegrał kluczową rolę w sformułowaniu doktryny powstrzymywania, której głównym celem było ograniczenie wpływów Związku Radzieckiego poprzez długofalową strategię presji, ale bez bezpośredniej konfrontacji militarnej (Kennan, 1947). Początkowo jego koncepcja była głównie skierowana przeciwko ZSRR, jednak w miarę narastających napięć w Azji zaczęła obejmować również Chiny po dojściu do władzy Komunistycznej Partii Chin w 1949 r. Kennan postrzegał Chiny jako istotny, ale niekoniecznie najważniejszy element globalnej strategii USA. Był sceptyczny wobec idei bezpośredniego konfrontowania Chin, uważając, że izolacja Pekinu i odmowa uznania rządu Mao Zedonga niekoniecznie leżą w długoterminowym interesie Stanów Zjednoczonych. Przekonywał, że amerykańska polityka wobec Chin powinna opierać się na ostrożnej i pragmatycznej kalkulacji strategicznej, a nie na ideologicznych uprzedzeniach (Kennan, 1960). Jednym z kluczowych momentów kształtujących stosunek Kennana do Chin była wojna koreańska (1950-1953). Kennan początkowo przestrzegał przed nadmiernym zaangażowaniem Stanów Zjednoczonych w konfliktach azjatyckich, obawiając się, że może to doprowadzić do niepotrzebnej eskalacji napięć z Chinami i ZSRR. Był zwolennikiem ograniczonego powstrzymywania, koncentrując się na Europie jako głównym teatrze zimnowojennej rywalizacji. Jego sceptycyzm wobec interwencji w Azji wynikał również z przekonania, że komunistyczne reżimy w regionie, w tym Chiny, mogą z czasem ulec wewnętrznym przemianom i nie stanowią jednorodnego bloku z ZSRR (Gaddis, 2005). Kennan dystansował się od bardziej agresywnej polityki konfrontacji wobec Chin, jaką przyjęła administracja Harry'ego Trumana i później Dwighta Eisenhowera, zwłaszcza w kontekście wsparcia dla Tajwanu oraz militarnego zaangażowania w Azji Południowo-Wschodniej. W przeciwieństwie do wielu ówczesnych decydentów, nie uważał, że komunistyczne Chiny są prostym przedłużeniem wpływów sowieckich i twierdził, że należy szukać sposobów na osłabienie relacji między Pekinem a Moskwą (Kennan, 1964). Choć Kennan odszedł z aktywnej polityki przed przełomowymi zmianami w relacjach amerykańsko-chińskich w latach 70., a jego myślenie było zgodne z kierunkiem polityki prowadzonej później przez administrację Richarda Nixona i Henry'ego Kissingera. Kennan postulował politykę, która unikałaby otwartego konfliktu z Chinami, dążąc raczej do zrównoważenia ich wpływów oraz wykorzystania podziałów między Pekinem a Moskwą na korzyść USA. W pewnym sensie jego poglądy zapowiadały przyszłą politykę normalizacji stosunków amerykańsko-chińskich, która miała miejsce po historycznej wizycie Nixona w Pekinie w 1972 r. (Goh, 2005).

93:11420

Polityka Stanów Zjednoczonych wobec Chin w okresie zimnej wojny była ściśle związana z geopolitycznymi rywalizacjami i globalną strategią równoważenia sił. W latach 50. i 60. XX w. Stany Zjednoczone prowadziły politykę izolacji Chińskiej Republiki Ludowej, traktując Tajwan jako legalne przedstawicielstwo Chin na arenie międzynarodowej. W ramach tej strategii w 1954 r. USA podpisały z Republiką Chińską na Tajwanie traktat o wzajemnej obronie, co gwarantowało amerykańskie wsparcie wojskowe na wypadek chińskiej agresji (Tucker, 2009, s. 105-107). USA traktowały Tajwan jako bastion antykomunizmu i kluczowego sojusznika w Azji Wschodniej, jednocześnie starając się powstrzymać wpływy Pekinu. Sytuacja ta zmieniła się dopiero w latach 70., kiedy to administracja prezydenta Richarda Nixona zaczęła dostrzegać w Chinach potencjalnego partnera strategicznego w obliczu narastających napięć między Pekinem a Moskwą (Kissinger, 1994, s. 482-487). Jednym z kluczowych czynników wpływających na zmianę podejścia USA do Chin było pogorszenie relacji chińsko-radzieckich, które osiągnęło punkt kulminacyjny w 1969 r. podczas zbrojnych starć granicznych nad rzeką Ussuri. To wydarzenie unaoczniło administracji amerykańskiej, że Pekin i Moskwa nie tworzą już jednolitego bloku komunistycznego, co otworzyło możliwość dyplomatycznego manewru (Gaddis, 2005, s. 278-281). W tej sytuacji Nixon, przy wsparciu swojego doradcy do spraw bezpieczeństwa narodowego Henry'ego Kissingera, postanowił dokonać przełomu w relacjach z Chinami. Wizyta Nixona w Pekinie w 1972 r. była punktem zwrotnym w stosunkach chińsko-amerykańskich i doprowadziła do stopniowego zbliżenia obydwu państw. Był to klasyczny przykład polityki równoważenia sił w duchu realizmu – USA dążyły do osłabienia Związku Radzieckiego poprzez poprawę stosunków z Chinami, co miało stworzyć nową dynamikę w globalnej rywalizacji mocarstw (Westad, 2017, s. 301-305). Lata 80. przyniosły dalsze zmiany w polityce USA wobec Chin. Po śmierci Mao Zedonga w 1976 r. władzę w Pekinie objął Deng Xiaoping, który rozpoczął szeroko zakrojone reformy gospodarcze i otwieranie kraju na świat. Stany Zjednoczone dostrzegły w tych reformach szansę na integrację Chin z zachodnim systemem gospodarczym, licząc na to, że w dłuższej perspektywie zbliżenie ekonomiczne doprowadzi do liberalizacji politycznej (Shirk, 2007, s. 94-99). Administracja amerykańska, zarówno za prezydentury Jimmy'ego Cartera, jak i Ronalda Reagana, popierała chińskie reformy, traktując je jako sposób na zwiększenie wzajemnych powiązań gospodarczych oraz wzmocnienie pozycji Chin jako przeciwwagi dla Związku Radzieckiego. W tym okresie Waszyngton nie tylko zwiększał współpracę handlową z Pekinem, ale także dostarczał Chinom wsparcia technologicznego i wojskowego, mając na celu wzmocnienie ich zdolności obronnych w kontekście rywalizacji z Moskwą (Vogel, 2011, s. 529-531).

94:67087

Pomimo rosnących powiązań ekonomicznych, wydarzenia z 1989 r. pokazały, że amerykańska polityka wobec Chin nie była pozbawiona napięć. Brutalne stłumienie protestów na placu Tiananmen i w innych miastach Chin doprowadziło do międzynarodowego potępienia Państwa Środka i krótkotrwałego ochłodzenia stosunków między Waszyngtonem a Pekinem. Administracja George'a H.W. Busha wprowadziła sankcje na sprzedaż broni do Chin oraz ograniczyła niektóre formy współpracy (Bernstein i Munro, 1997, s. 215-220). Mimo to fundamentalne interesy gospodarcze przeważyły nad wartościami politycznymi, a relacje handlowe między obydwoma krajami pozostały nienaruszone. W kolejnych latach Chiny zaczęły stopniowo odzyskiwać swoją pozycję na arenie międzynarodowej, a Stany Zjednoczone kontynuowały politykę angażowania Pekinu w globalne struktury gospodarcze, wierząc, że dalsza współpraca przyczyni się do stabilizacji i umiarkowania polityki chińskich władz (Mann, 2000, s. 157-162).

Polityka Stanów Zjednoczonych wobec Chin w okresie zimnej wojny była przykładem pragmatycznego podejścia, w którym interesy geopolityczne i ekonomiczne dominowały nad ideologią. Początkowa izolacja, następnie strategiczne otwarcie i wreszcie współpraca gospodarcza, mimo okresowych napięć, pokazują, że USA konsekwentnie dążyły do tego, by Chiny pełniły rolę korzystną dla amerykańskich interesów globalnych. Tym samym relacje amerykańsko-chińskie ewoluowały od konfrontacji do pragmatycznej współpracy, jednak zawsze w cieniu rywalizacji o wpływy w Azji Wschodniej i na świecie.

USA krytykowały Chiny z powodów ideologicznych, lecz jednocześnie zachowywały pragmatyzm, kontynuując politykę opartą na handlu i inwestycjach. Po upadku ZSRR, Chiny zaczęły być postrzegane przez realistów jako potencjalny rywal USA w walce o globalną hegemonię (Mearsheimer, 2001, s. 120-125). Ich rosnąca potęga gospodarcza i militaryzacja stanowiły i wciąż stanowią wyzwanie dla amerykańskiej dominacji w regionie Pacyfiku. XX wiek w relacjach chińsko-amerykańskich można zatem scharakteryzować przez krótkookresowe pragmatyczne sojusze, aż po rywalizację w ramach systemu międzynarodowego. Podstawową dynamiką była kalkulacja siły: Waszyngton próbował utrzymać swoją hegemonię, podczas gdy Pekin dążył do odbudowy pozycji mocarstwa, co pod koniec XX w. zaczęło prowadzić do coraz bardziej konkurencyjnych relacji.

95:51932

Rozdział 3. Rozwój technologiczny Chińskiej Republiki Ludowej od lat 80. XX w. do 2025 r.

Wstęp

W niniejszym rozdziale podjęto temat transformacji technologicznej Chińskiej Republiki Ludowej, przedstawiając jej ewolucję od państwa peryferyjnego w globalnym systemie gospodarczym do jednej z czołowych potęg technologicznych świata. Prezentacja chińskiej strategii technologicznej – począwszy od Złotych Projektów lat 90., poprzez program *Made in China 2025*, aż po współczesne inwestycje w sztuczną inteligencję, infrastrukturę 5G oraz technologie kosmiczne – pozwala uchwycić logikę i konsekwencję działań Państwa Środka. Ukazano skalę i charakter tych działań, w tym danych dotyczących nakładów na badania i rozwój (B+R) oraz dynamikę rozwoju narodowych liderów technologicznych, takich jak Huawei. Przeanalizowano strategię rozwoju technologicznego Chin w wybranych obszarach, tj. liczba patentów, infrastruktura 5G, półprzewodniki, produkcja wysokiej klasy sprzętu obliczeniowego oraz rozwiązania takie jak DeepSeek w obszarze AI czy stacja kosmiczna Tiangong w eksploracji kosmosu. Poprzez kontekstualizację działań ChRL w ramach szerszej strategii geopolitycznej, technologiczna modernizacja ukazana jest jako instrument wzmacniania suwerenności, projekcji siły oraz budowania niezależnego modelu rozwoju, konkurencyjnego wobec Zachodu. Kluczową rolę w tym procesie odgrywa nie tylko rozwój infrastruktury, ale także systemowy nadzór nad cyberprzestrzenią oraz kontrola nad przepływem danych i informacji, co w dalszej części rozdziału zostanie omówione w odniesieniu do kwestii cyberbezpieczeństwa i operacji wywiadowczych.

Zgodnie z teorią realizmu ofensywnego, która stanowi teoretyczne ramy tej analizy, działania Chin można interpretować jako element szerszej logiki dążenia do maksymalizacji potęgi w anarchicznym systemie międzynarodowym. Tym samym rozdział ten nie tylko rekonstruuje historyczny rozwój technologiczny ChRL, lecz również dostarcza narzędzi do zrozumienia rywalizacji z USA w kontekście metod i środków, jakie obydwie strony wykorzystują w walce o dominację technologiczną. W szczególności uwzględnione zostaną działania Chin w zakresie cyberoperacji, ekspansji firm technologicznych oraz budowy własnego modelu cyfrowej suwerenności, co stanowi istotny wkład w odpowiedź na pytania o strategie wykorzystywane przez mocarstwa w nowej odsłonie „zimnej wojny" technologicznej.

Chińska Republika Ludowa (ChRL) od lat 70. XX w. przeszła niezwykle dynamiczną transformację technologiczną, która z pozycji gospodarki zależnej od rolnictwa i produkcji niskiej jakości przemysłowej doprowadziła ją do statusu jednego ze światowych liderów w

96:11566

dziedzinie innowacji. Kluczowym momentem modernizacji kraju było ogłoszenie przez Deng Xiaopinga polityki reform i otwarcia w 1978 r., która zapoczątkowała szeroko zakrojone zmiany polityki państwa pod względem gospodarczym i technologicznym (Zhao, 2010). Jednym z głównych celów tych reform była modernizacja czterech strategicznych sektorów: rolnictwa, przemysłu, obronności oraz nauki i technologii. Chiny, dążąc do nadrobienia dystansu wobec rozwiniętych państw Zachodu, zaczęły inwestować w badania naukowe, edukację techniczną i współpracę międzynarodową, aby zdynamizować rozwój technologiczny.

Lata 80. i 90. XX w. były okresem intensywnej industrializacji oraz budowania podstaw infrastruktury cyfrowej. W ramach programów rządowych powstały pierwsze specjalne strefy ekonomiczne (*Special Economic Zone – SEZ*), takie jak Shenzhen, które stały się inkubatorami dla przemysłu elektronicznego i technologicznego. Jednocześnie rząd chiński uruchomił serię tzw. *Złotych Projektów* (*The Golden Projects*), mających na celu informatyzację państwa oraz integrację systemów administracyjnych. Programy takie jak *Złoty Most* (*Golden Bridge*), *Złota Brama* (*Golden Gate*) oraz *Złota Karta* (*Golden Card*) stanowiły fundament pod przyszły rozwój sektora cyfrowego i handlu elektronicznego.

Na przełomie XX i XXI w. Chiny zaczęły aktywnie budować swoją pozycję w globalnej gospodarce cyfrowej, co wiąże się z intensywnymi inwestycjami w badania i rozwój (B+R). Od 2000 r. rząd stopniowo zwiększa nakłady na innowacje, co doprowadziło do powstania potężnych chińskich firm technologicznych, takich jak Huawei, Alibaba, Tencent i Baidu.

Szczególnie istotnym momentem w rozwoju technologicznym Chin jest strategia *Made in China 2025* ogłoszona w 2015 r. Wdrażanie jej doprowadziło do geopolitycznych napięć, szczególnie w relacjach ze Stanami Zjednoczonymi i Unią Europejską, które zaczęły traktować Chiny jako strategicznego rywala w dziedzinie nowych technologii. Wprowadzenie strategii *Made in China 2025* miało na celu przekształcenie Chin z roli globalnego centrum tanich produktów w zaawansowane technologicznie państwo koncentrujące się na innowacjach w dziedzinach sztucznej inteligencji, robotyki, biotechnologii oraz sieci 5G. Wdrażając tę strategię, Chiny dążą do stworzenia nowoczesnej infrastruktury cyfrowej, która obejmuje nie tylko sieci telekomunikacyjne, ale także systemy płatności, e-commerce, a także technologie z zakresu zdrowia, edukacji czy transportu.

W 2021 r. Państwo Środka przeznaczyło ponad 2,4% swojego PKB na badania i rozwój, co czyni go jednym z największych inwestorów w sektorze B+R na świecie (OECD Science, Technology and Industry Outlook, 2023). Pomimo imponujących sukcesów rozwój technologiczny Chin wiąże się z licznymi kontrowersjami. Kwestie cyberbezpieczeństwa,

97:66680

kontrola nad Internetem oraz rosnąca rola państwa w sektorze technologicznym budzą obawy wśród międzynarodowych partnerów. Programy inwigilacji, takie jak *Wielka Zapora* (*The Great Firewall*), ograniczają swobodny dostęp do informacji w Internecie i umożliwiają cenzurowanie treści uznanych za niewygodne dla władz. Dodatkowo, napięcia pomiędzy Chinami a krajami zachodnimi w zakresie transferu technologii, sankcji na chińskie firmy technologiczne oraz globalnej konkurencji w sektorze chipów i sztucznej inteligencji mają istotny wpływ na przyszłość międzynarodowej współpracy technologicznej.

Sektor telekomunikacyjny, a w szczególności rozwój sieci 5G, stał się jednym z najbardziej kontrowersyjnych obszarów rywalizacji technologicznej. Chińskie firmy, takie jak Huawei i ZTE, osiągnęły pozycję liderów w technologii 5G, co doprowadziło do obaw dotyczących cyberbezpieczeństwa i potencjalnego wykorzystywania chińskich technologii do celów wywiadowczych. Stany Zjednoczone i ich sojusznicy podjęli działania mające na celu ograniczenie dostępu chińskich firm do swoich rynków technologicznych, nakładając sankcje oraz wykluczając Huawei z przetargów na budowę infrastruktury 5G.

Rozwój technologiczny Chin to nie tylko kwestia infrastruktury i innowacji, ale także budowa potencjału ludzkiego. Władze zainwestowały znaczne środki w edukację techniczną i inżynieryjną, a chińskie uniwersytety zaczęły zajmować wysokie pozycje w międzynarodowych rankingach akademickich. W rankingu ARWU (tzw. Ranking Szanghajski) z 2025 r. aż 15 chińskich uczelni znalazło się wśród 100 najlepszych na świecie. Wśród uczelni najczęściej wymienianych na najwyższych pozycjach znajdują się Tsinghua University (1 miejsce w Azji), a kolejne pozycje zajmują Peking University, Zhejiang University, Shanghai Jiao Tong University i Fudan University (Shangai Ranking, 2025). Rząd wdrożył programy mające na celu przyciąganie zagranicznych naukowców oraz wspieranie rodzimych talentów poprzez stypendia i granty badawcze. Jednocześnie chińska strategia zdobywania wiedzy technologicznej budzi kontrowersje, zwłaszcza w kontekście oskarżeń o szpiegostwo przemysłowe i kradzież własności intelektualnej. Zachodnie agencje wywiadowcze oraz rządy wielu państw oskarżają Chiny o wykorzystywanie akademickiej współpracy naukowej oraz programów wymiany do pozyskiwania zaawansowanych technologii, co doprowadziło do wzmożonej kontroli chińskich naukowców w niektórych krajach i ograniczenia współpracy badawczej w kluczowych sektorach.

Jednym z najważniejszych elementów chińskiej strategii rozwoju technologicznego jest intensywny rozwój w zakresie sztucznej inteligencji i przetwarzania języka naturalnego, czego przykład stanowi wydanie w 2025 r. DeepSeek, jednego z najbardziej zaawansowanych chińskich modeli AI, konkurującego z technologiami zachodnimi. DeepSeek stanowi przykład

98:20305

rosnących ambicji Chin w sektorze zaawansowanych technologii oraz dążeń do uniezależnienia się od zachodnich dostawców oprogramowania i infrastruktury obliczeniowej. Model ten, rozwijany przez chińskich inżynierów, wykorzystuje nowoczesne algorytmy głębokiego uczenia (*deep learning*) i zaawansowane techniki przetwarzania języka naturalnego (*NLP*), aby dostarczać rozwiązania konkurencyjne wobec takich gigantów jak OpenAI czy Google DeepMind. Inwestycje w tego typu technologie wpisują się w szeroką strategię ChRL, której celem jest osiągnięcie przewagi w strategicznych sektorach cyfrowych, w tym w AI, półprzewodnikach oraz superkomputerach.

Chiny osiągnęły również znaczące postępy w rozwoju technologii kosmicznych. Współczesny chiński program kosmiczny, będący jednym z filarów strategii naukowej i technologicznej państwa, stanowi rezultat kilku dekad intensywnych wysiłków i ogromnych inwestycji. Początki chińskiego programu kosmicznego sięgają lat 50. XX w., kiedy to Chińska Republika Ludowa rozpoczęła prace nad rozwinięciem własnych technologii rakietowych (Harvey, 2004, s. 15-30). Jednak to dopiero w latach 70. i 80. XX w., po zakończeniu polityki izolacji, rozpoczęły się bardziej zdecydowane działania w kierunku stworzenia własnej, autonomicznej zdolności do eksploracji kosmosu (Zhang, 2018, s. 47-60).
Wraz z rozwojem technologii kosmicznych Chiny zwiększają również swoje zaangażowanie w badania astronomiczne, budując teleskopy kosmiczne i rozwijając współpracę międzynarodową w zakresie badań kosmicznych (Cheng, 2021, s. 67-80). Rozwój technologii kosmicznych w Chinach jest nie tylko efektem rosnących ambicji narodowych, ale również elementem strategii geopolitycznej (Johnson-Freese, 2007, s. 70-85). Chiny postrzegają przestrzeń kosmiczną jako pole rywalizacji z innymi globalnymi mocarstwami, w tym Stanami Zjednoczonymi i Rosją (Harvey, 2019, s. 133-150). Chiński program kosmiczny odgrywa kluczową rolę w rozwoju narodowej gospodarki, a także stanowi symbol potęgi technologicznej i militarnej kraju (Smith, 2020, s. 112-130). Dzięki skutecznemu połączeniu inwestycji państwowych, rozwoju przemysłu kosmicznego oraz zaawansowanych technologii, Chiny stały się jednym z wiodących graczy na międzynarodowej scenie kosmicznej (Cheng, 2016, s. 55-70).

Współczesna polityka technologiczna Chin jest szerszą częścią strategii geopolitycznej, w której technologia stanowi kluczowy element rywalizacji o dominację gospodarczą i polityczną. Chiny nie tylko rozwijają własne technologie, ale również dążą do ustanowienia globalnych standardów technologicznych, co może mieć długofalowe konsekwencje dla globalnego układu sił. Ów rozwój budzi jednak kontrowersje, zwłaszcza w kontekście cyberbezpieczeństwa, prywatności danych oraz kontroli państwa nad sektorem

99:31569

technologicznym w postaci rosnącej liczby systemów monitorujących i analitycznych stosowanych przez państwo, które mogą być wykorzystywane do ograniczania wolności obywateli.

Chińskie jednostki wywiadowcze odgrywają kluczową rolę w cyberprzestrzeni, angażując się w działania mające na celu zbieranie informacji i przeprowadzanie ataków odnośnie do szpiegostwa przemysłowego, co zostało udokumentowane w raporcie firmy Mandiant z 2013 r. Chiny dysponują rozwiniętą strukturą organizacyjną w tym obszarze, w której główną rolę pełni Ministerstwo Bezpieczeństwa Państwowego (MPS), a także jednostki wojskowe, takie jak jednostka 61398, odpowiedzialna za cyberataki. Działania te mają na celu zarówno zbieranie informacji wywiadowczych, jak i wpływanie na polityczne oraz gospodarcze procesy w innych państwach, co sprawia, że Chiny są uważane za jednego z głównych globalnych graczy w cyberprzestrzeni. Chińskie cyberoperacje należy również traktować jako element strategii wpływu na innych graczy międzynarodowych.

W niniejszym rozdziale przeanalizowane zostaną najważniejsze aspekty transformacji technologicznej Chińskiej Republiki Ludowej, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień związanych z siecią 5G i cyberprzestrzenią.

3.1. Chińska strategia rozwoju w sferze cybernetycznej

Do głównych dokumentów, które ilustrują podejście Chińskiej Republiki Ludowej do kwestii cyberbezpieczeństwa, odzwierciedlają ewolucję strategii państwa w zakresie ochrony przestrzeni cyfrowej oraz wykorzystania technologii informatycznych do wzmocnienia bezpieczeństwa narodowego należą: „Chińska obrona narodowa w 2008 roku” *(China's National Defense in 2008*), „Chińska obrona narodowa w 2010 roku” *(China's National Defense in 2010*), „Ustawa o cyberbezpieczeństwie Chińskiej Republiki Ludowej z 2017 r.” *(Cybersecurity Law of the People's Republic of China 2017*) oraz pięcioletnie plany rozwoju gospodarczego i społecznego Chin. Dokumenty te stanowią fundament chińskiej strategii w zakresie ochrony cyberprzestrzeni i rozwoju technologii informatycznych.

Od lat 90. XX w. Chiny stopniowo tworzyły kompleksowy system regulacji dotyczący Internetu i cyberbezpieczeństwa, obejmujący kwestie autentyczności transakcji elektronicznych, kontrolę treści online oraz ograniczenie wpływu zagranicznych podmiotów na chiński sektor IT[8]. Jeden z kluczowych dokumentów służących sformalizowaniu polityki

[8] Wprowadzenie tych regulacji było jednym z pierwszych kroków w kierunku budowy silnego systemu cyberbezpieczeństwa, który dziś stanowi integralną część chińskiej strategii bezpieczeństwa narodowego.

100:73044

cyberbezpieczeństwa Chin to „Chińska obrona narodowa w 2008 r.” *(China's National Defense in 2008*). Główny nacisk położony został na modernizację wojska poprzez zaawansowane technologie informatyczne. Koncepcja informatyzacji przewija się w całym opracowaniu i odnosi się do unowocześniania zdolności bojowych poprzez cyfrowe rozwiązania. W dokumencie szczególną uwag poświęcono budowie systemów dowodzenia i kontroli opartych na technologii IT, które mają wspierać zintegrowane operacje wojskowe. Chińskie władze uznały, że ochrona infrastruktury cyfrowej oraz zdolność do prowadzenia operacji w cyberprzestrzeni są kluczowe dla bezpieczeństwa narodowego.

Począwszy od lat 70., kiedy to wprowadzono automatyzację poleceń, Chińska Armia Ludowo-Wyzwoleńcza (*PLA*) stopniowo poszerzała zakres informatyzacji, przechodząc od lokalnych wdrożeń do kompleksowej integracji systemów na różnych poziomach. Chiny opracowały strategiczne plany rozwoju obrony narodowej i sił zbrojnych, zakładające osiągnięcie pełnej mechanizacji do 2010 r., a do 2020 r. znaczący postęp w informatyzacji.

Chińskie badania nad Internetem rozpoczęły się w latach 80. XX w., a ich rozwój był możliwy dzięki współpracy międzynarodowej, zwłaszcza z naukowcami z Europy i Stanów Zjednoczonych. Kluczowe znaczenie miała wymiana wiedzy oraz wsparcie zagranicznych ekspertów, którzy pomogli chińskim badaczom w pierwszych eksperymentach z siecią komputerową.

W kolejnych latach w Chinach rosło zainteresowanie udostępnieniem Internetu na szerszą skalę. Podczas dwóch dorocznych konferencji *INET* (*Institute of Nuclear and New Energy Technology*) – w Kobe w 1992 r. oraz w San Francisco w 1993 r. – chińscy specjaliści i decydenci apelowali o umożliwienie całemu społeczeństwu dostępu do globalnej sieci. W kwietniu 1994 r. w Waszyngtonie odbyło się wspólne posiedzenie komitetów naukowych i technologicznych Chińskiej Republiki Ludowej oraz Stanów Zjednoczonych, podczas którego osiągnięto porozumienie w tej kwestii z amerykańską Narodową Akademią Nauk. 20.04.1994 r. nastąpił przełom – Chiny uzyskały formalny dostęp do globalnego Internetu. Pilotażowa sieć przeznaczona do celów edukacyjnych i naukowych została połączona z globalną siecią za pośrednictwem dedykowanej linii o przepustowości 64 kb/s, zlokalizowanej w pekińskiej dzielnicy Zhongguancun, często określanej jako „Chińska Dolina Krzemowa” (CNNIC, 2012).

Początek lat 90. XX w. to także okres intensywnych działań na rzecz rozwoju krajowej infrastruktury informatycznej. W 1993 r. zainicjowano *State Economic Informationization Joint Meeting*, którego głównym celem było stworzenie ogólnokrajowej sieci publicznych informacji gospodarczych. W marcu 2000 r. przewodniczący ChRL Jiang Zemin ogłosił strategię *narodową Go Out*, znaną również jako *Going Global*, która została oficjalnie przyjęta

101:85212

przez rząd Chińskiej Republiki Ludowej jako narzędzie wspierające ekspansję chińskich przedsiębiorstw na rynki międzynarodowe (Zhao, 2001, s. 45). Głównym celem tej strategii było promowanie inwestycji zagranicznych, zdobywanie zasobów naturalnych oraz technologii, a także zwiększenie konkurencyjności chińskich firm na arenie międzynarodowej (Chen, 2003, s. 103). Strategia ta znalazła swoje odzwierciedlenie w 10. Planie Pięcioletnim (2001-2005), a jej zatwierdzenie było odpowiedzią na dynamiczne zmiany gospodarcze, jakie zachodziły w Chinach w latach 90. XX w., a także na rosnące potrzeby surowcowe oraz technologiczne kraju (Lee, 2006, s. 87). Przez dekady Chiny koncentrowały się na stwarzaniu warunków sprzyjających napływowi inwestycji zagranicznych poprzez realizację strategii *Bring In*, polegającej m.in. na otwarciu się na napływ bezpośrednich inwestycji zagranicznych (*BIZ*) za pomocą środków politycznych korzystnych dla inwestorów zagranicznych, tj. zachęt podatkowych i liberalizacji warunków wejścia na rynek w wielu branżach (Wang i Zhang, 2004, s. 72). Jednak pod koniec lat 90. uznano, że konieczne jest również wsparcie chińskich przedsiębiorstw w ich ekspansji zagranicznej (Zhao, 2001, s. 50). Podstawowymi przyczynami wdrożenia strategii *Go Out* były rosnące niedobory surowców i technologii, które stały się kluczowym wyzwaniem dla szybko rozwijającej się gospodarki Chin (Xu, 2005, s. 119). Wzrost gospodarczy kraju wymagał stabilnego dostępu do zasobów naturalnych, takich jak ropa naftowa, gaz ziemny oraz metale rzadkie, a także nowoczesnych technologii, które mogłyby wspierać dalszą industrializację i innowacyjność (Li, 2004, s. 103). Drugim istotnym czynnikiem było zwiększenie globalnej konkurencyjności chińskich przedsiębiorstw. Umożliwienie im wejścia na rynki międzynarodowe pozwalało nie tylko na zdobycie cennego doświadczenia, ale również na rozszerzenie bazy klientów oraz pozyskanie know-how, które mogło wspierać ich rozwój technologiczny (Zhang, 2008, s. 56). Kolejną przyczyną była konieczność dywersyfikacji inwestycji zagranicznych. Chińska gospodarka generowała znaczące nadwyżki kapitałowe, które mogły zostać efektywnie wykorzystane poprzez inwestycje w innych krajach, co ograniczało ryzyko związane z nadmiernym uzależnieniem od krajowego rynku (Chen, 2003, s. 110). Niezbędne stało się również zmniejszenie zależności od eksportu. Dzięki bezpośrednim inwestycjom zagranicznym (FDI) Chiny mogły zminimalizować swoją podatność na zmiany polityki handlowej innych państw oraz zabezpieczyć stabilne źródła przychodów z zagranicznych przedsięwzięć (Li, 2004, s. 115). W ramach realizacji tej strategii chińskie firmy zaczęły aktywnie inwestować w sektory wydobywcze i energetyczne, aby zabezpieczyć dostęp do surowców. Przykładem może być przejęcie przez CNOOC (China National Offshore Oil Corporation) kanadyjskiej firmy Nexen w 2005 r., a także brytyjskiej firmy Hess w 2013 r. (Zhang, 2015, s. 102). Z kolei Sinopec,

102:30350

jedna z największych firm energetycznych, zainwestowała w złoża ropy i gazu w Afryce, Ameryce Łacińskiej i na Bliskim Wschodzie (Chen, 2016, s. 89). China National Petroleum Corporation (CNPC) również poczyniła inwestycje w złoża ropy w takich krajach jak Sudan, Irak czy Wenezuela, co miało na celu zwiększenie kontrolowania zasobów energetycznych na całym świecie (Wang, 2013, s. 74).

Jednym z celów strategii *Go Out* stało się zwiększenie konkurencyjności chińskich firm na rynku międzynarodowym. Huawei, największa chińska firma telekomunikacyjna, zaczęła rozwijać swoją działalność na rynkach międzynarodowych na początku lat 2000. Firma inwestowała w rozwój sieci telekomunikacyjnych w Afryce, Azji Południowo-Wschodniej i Europie, co pozwoliło jej zbudować silną pozycję na rynkach zagranicznych (Li, 2017, s. 121). Z kolei Lenovo, chiński gigant komputerowy, przejął w 2005 r. amerykańską firmę IBM Personal Computer Division, co pozwoliło mu stać się jednym z największych producentów komputerów na świecie i zdobyć dostęp do globalnych rynków (Zhou, 2018, s. 142).

Kolejnym krokiem w realizacji strategii była inwestycja w sektor finansowy. ICBC (Industrial and Commercial Bank of China), jeden z największych banków na świecie, przejął w 2006 r. południowoafrykański bank Standard Bank (Wu, 2015, s. 38). Ponadto, China Investment Corporation (CIC), państwowy fundusz inwestycyjny, zainwestował 5,5 mld dolarów w amerykański bank Morgan Stanley w 2007 r., co miało na celu dywersyfikację inwestycji oraz ekspansję na rynki międzynarodowe (Liu, 2014, s. 109). Chińskie firmy starały się również dywersyfikować swoje inwestycje zagraniczne, aby zminimalizować ryzyko związane z uzależnieniem od jednego sektora. China Ocean Shipping Company (COSCO), jedna z największych chińskich firm logistycznych, przejęła w 2016 r. grecki port w Pireusie, co miało na celu zwiększenie obecności Chin na rynku europejskim (Yang, 2019, s. 56). Alibaba Group, globalny lider w e-commerce, zainwestował w indyjską firmę e-commerce Paytm i brazylijskiego lidera MercadoLibre, co pozwoliło firmie zdobyć dostęp do nowych rynków i rozszerzyć swoją działalność poza Chiny (Wang, 2020, s. 94).

103:10190

3.2. Działania na rzecz informatyzacji Państwa Środka

W 1997 r. chińskie władze przyjęły 9. Plan Pięcioletni dotyczący informatyzacji państwa oraz dokument *Long-range Objective of the Year 2010*, który określał Internet jako kluczowy element infrastruktury informacyjnej kraju. 2002 r. przyniósł kolejne strategiczne decyzje – w ramach 10. Planu Pięcioletniego na rzecz rozwoju gospodarczego i społecznego ogłoszono dokument *The Specialized Plan for Informationization in The Tenth Five-Year Plan for National Economic and Social Development* (Information Office of the State Council of the People's Republic of China, 2010). Dokument ten wyznaczał priorytety rozwoju cyfrowego Chin, koncentrując się na e-administracji, wsparciu dla sektora technologicznego oraz intensyfikacji działań związanych z gromadzeniem i wykorzystaniem zasobów informacyjnych. Kluczowym elementem strategii było również przyspieszenie rozwoju handlu elektronicznego, co w kolejnych latach doprowadziło do powstania potężnych chińskich gigantów technologicznych, takich jak Alibaba czy Tencent.

W 2009 r. działania chińskiej armii miały koncentrować się na łączeniu innowacyjnych rozwiązań technologicznych z reformą strukturalną oraz na modernizacji istniejących systemów wojskowych w celu ich maksymalnego wykorzystania. Cele wojskowe obejmowały natomiast zwiększenie efektywności systemów dowodzenia, a także poprawę zdolności integracji sieci oraz optymalizacji zasobów informacyjnych, co stopniowo przekłada się na większą skuteczność operacyjną w środowisku cyfrowym. Znaczące postępy odnotowano w budowie wojskowych systemów informacyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem systemów dowodzenia. W 2006 r. uruchomiono zintegrowaną wojskową sieć informacyjną, co usprawniło infrastrukturę informacyjną oraz poprawiło bezpieczeństwo danych. Rozwijano również systemy dowodzenia i kontroli, co podniosło możliwości operacyjne chińskich sił zbrojnych. Ponadto wprowadzono nowoczesne metody szkoleniowe oparte na technologii informacyjnej oraz zoptymalizowano systemy nawigacji, meteorologii i geodezji. Szczególny nacisk położono na rozwój inteligentnych systemów uzbrojenia. Informatyzacja obejmuje czołgi, artylerię, okręty i samoloty bojowe, a także opracowanie nowych platform bojowych o wysokim stopniu zaawansowania technologicznego. Rosnąca liczba precyzyjnych systemów rażenia wskazuje na dążenie do stworzenia zaawansowanej, cyfrowej armii zdolnej do skutecznego działania w nowoczesnym środowisku bojowym (Ministry of National Defense of the People's Republic of China, 2019).W dokumencie podkreślono konieczność rozwijania zdolności obronnych w cyberprzestrzeni, w tym tworzenia specjalistycznych jednostek wojskowych odpowiedzialnych za cyberbezpieczeństwo. Chińska Armia Ludowo-

104:24626

Wyzwoleńcza zaczęła wdrażać programy szkoleniowe i technologiczne mające na celu zabezpieczenie sieci przed atakami oraz zdolność do prowadzenia operacji ofensywnych i defensywnych w cyberprzestrzeni. W dokumencie zwrócono uwagę na potrzebę ochrony krytycznej infrastruktury, takiej jak systemy energetyczne, transportowe, finansowe i komunikacyjne przed cyberatakami z uwagi na poważne konsekwencje dla stabilności państwa. W tym kontekście należy wyróżnić szkolenie personelu w zakresie cyberbezpieczeństwa, zarówno w kontekście operacji defensywnych, jak i ofensywnych. Chińskie założenia dotyczące polityki obronnej akcentują wagę międzynarodowej współpracy w zakresie cyberbezpieczeństwa, jednocześnie wskazując konieczność opracowania własnych regulacji prawnych i standardów technologicznych w celu zapewnienia suwerenności Chin w cyberprzestrzeni. Kolejny raport – „Chińska obrona narodowa w 2010 r." (*China's National Defense,* 2010) poświęca stosunkowo niewiele uwagi kwestiom związanym z cyberprzestrzenią, co może odzwierciedlać ówczesne priorytety chińskiej strategii obronnej oraz stopień zaawansowania technologicznego w tym obszarze. Można go uznać także za punkt wyjścia do zrozumienia, w jaki sposób Chiny zaczęły postrzegać tę domenę jako kluczową dla swojego bezpieczeństwa narodowego. Niewielki fragment odnoszący się do tego zagadnienia znajduje się w pierwszym rozdziale: „Niektóre mocarstwa wypracowały strategie dla przestrzeni kosmicznej, cyberprzestrzeni i regionów polarnych, opracowały środki do szybkiego globalnego ataku, przyspieszyły rozwój systemów obrony przeciwrakietowej, zwiększyły możliwości operacji cybernetycznych"[9] (China.org.cn, 2019). W 2010 r. cyberprzestrzeń postrzegano już jako kluczowy obszar walki, ale jej znaczenie w porównaniu z tradycyjnymi domenami, takimi jak ląd, morze czy powietrze, było wciąż stosunkowo nowe. Warto zaznaczyć, że w końcowej deklaracji szczytu *NATO* w Warszawie wydanej przez Szefów Państw i Rządów uczestniczących w posiedzeniu Rady Północnoatlantyckiej w w dniach 8 i 9 lipca 2016 r., cyberprzestrzeń uznano po raz pierwszy w historii za domenę operacyjną, obok lądu, morza i powietrza (NATO Fact Sheet, 2017).

Chiny, podobnie jak inne mocarstwa, zaczynały dostrzegać potencjał cyberprzestrzeni zarówno w ujęciu pola walki, jak i jako narzędzia do osiągania celów strategicznych. Użycie pojęcia „zwiększonych możliwości operacji cybernetycznych", o których mowa w raporcie, sugeruje, że Chiny dostrzegły rosnące znaczenie sfery cyberbezpieczeństwa i cyberwojny. Zgodnie z definicją think tanku RAND rozumiana jest ona jako działania podejmowane przez państwo narodowe lub organizację międzynarodową w celu ataku i próby uszkodzenia

[9] Tłum. własne.

105:57826

komputerów lub sieci informatycznych innego państwa, na przykład za pomocą wirusów komputerowych lub ataków typu denial-of-service (RAND, 2025). Z kolei informacja o „niektórych mocarstwach" rozwijających strategie dla cyberprzestrzeni odnosi się prawdopodobnie do Stanów Zjednoczonych, które posiadają zaawansowane zdolności zarówno w zakresie obrony, jak i ataku cybernetycznego, a także rozbudowane struktury instytucjonalne, w rodzaju *Cyber Command*. Chiny, obserwując rozwój tych zdolności, prawdopodobnie uznały, że muszą nadążyć za konkurencją, aby nie utracić zdolności operacyjnych w tej nowej domenie walki. W styczniu 2010 r. Rada Państwa podjęła decyzję o przyspieszeniu procesu integracji sieci telekomunikacyjnych, radiowych, telewizyjnych oraz internetowych, co miało na celu wspieranie rozwoju przemysłu informacyjnego i kulturalnego (The Internet in China, 2019).

7.11.2016 r. Ogólnochińskie Zgromadzenie Przedstawicieli Ludowych przyjęło ustawę o nazwie *Cybersecurity Law of the People's Republic of China* (Creemers i in., 2017), która weszła w życie 1 czerwca 2017 r. Ustawa ta, składająca się z 79 artykułów podzielonych na siedem rozdziałów, wprowadziła kompleksowe regulacje mające na celu ochronę danych prywatnych i poufnych, zabezpieczenie suwerenności państwa oraz zapewnienie bezpieczeństwa w cyberprzestrzeni. W 2021 r. pojawiła się regulacja wykonawcza *Critical Information Infrastructure Security Protection Regulations* (Creemers i in., 2021), zastępująca poprzedni akt prawny. Dokument obejmuje operatorów sieci oraz krytycznej infrastruktury informatycznej (CII), kładąc szczególny nacisk na wymagania dotyczące produktów i usług sieciowych, bezpieczeństwa informacji, monitorowania systemów, wczesnego wykrywania zagrożeń, reagowania na incydenty oraz raportowania, które są kluczowe dla zrozumienia chińskiej polityki cyberbezpieczeństwa i jej wpływu na operatorów sieci, przedsiębiorstwa oraz obywateli. Operatorzy muszą współpracować z organami państwowymi, usuwać nielegalne treści i poddawać się audytom. Szczególnie rygorystyczne wymagania dotyczą sektorów energetyki, transportu, finansów, telekomunikacji i zdrowia. Nowe regulacje wspierają rozwój technologii, ale wzmacniają także kontrolę państwa nad cyberprzestrzenią. Za naruszenia przewidziano surowe kary finansowe, administracyjne i karne.

Ustawa z 2017 r. wywołała duże kontrowersje, szczególnie wśród zagranicznych firm działających w Chinach. Jednym z głównych powodów są wymagania dotyczące czasowych kontroli oraz certyfikatów bezpieczeństwa. Międzynarodowe kancelarie prawne zwracają uwagę, że przedsiębiorstwa mogą zostać zobowiązane do udostępnienia władzom poufnych informacji, takich jak kod źródłowy, algorytmy szyfrujące czy inne kluczowe dane techniczne. To rodzi obawy, że informacje te mogą zostać utracone, przekazane lokalnym konkurentom lub

106:10471

wykorzystane przez chińskie władze w sposób, który narusza interesy zagranicznych firm (Lee, 2018; Wagner, 2017).

3.3. Cenzura Internetu w Chińskiej Republice Ludowej

Chiny, podobnie jak inne państwa, dostrzegły znaczenie rozwoju krajowej infrastruktury internetowej, traktując Internet jako istotne narzędzie wspierające proces modernizacji państwa oraz wzrost gospodarczy. Władze Chin szybko zrozumiały, że wykorzystanie sieci komputerowych pozwala na efektywne zarządzanie gospodarką, edukacją i administracją publiczną. Dlatego też opracowały długofalową strategię informatyzacji, mającą na celu sieciowe połączenie centralnych instytucji z prowincjami, co miało z kolei umożliwić szybszą wymianę informacji i poprawę efektywności zarządzania. W latach 90. XX w. uruchomiono szereg reform infrastrukturalnych, które miały na celu rozwój i modernizację sektora informacyjnego. Te reformy znane były jako tzw. „Złote projekty" (*The Golden Projects*), które obejmowały m.in. budowę zaawansowanej infrastruktury telekomunikacyjnej i systemów zarządzania administracyjnego. Do najważniejszych z nich należały:

- *Złoty most* (*Golden Bridge*) – infrastruktura wspierająca informatyzację krajowej gospodarki, zapewniająca podstawy do tworzenia nowoczesnych rozwiązań w przemyśle i usługach.
- *Złota Brama* (*Golden Gate*) – zintegrowany system łączności danych obejmujący m.in. zagraniczny handel, bankowość, administrację celną i podatkową.
- *Złota karta* (*Golden Card*) – jednolity system rozliczeniowy umożliwiający powszechne korzystanie z kart kredytowych i debetowych w całym kraju.
- *Złote morze* (*Golden Sea*) – system informacyjny łączący kluczowych polityków rządu Chin, zapewniający im dostęp do danych z instytucji podlegających bezpośredniej jurysdykcji Komitetu Centralnego Komunistycznej Partii Chin.

Z kolei w 2002 r., na mocy decyzji Rady Państwa (*State Council*), wprowadzono „12 Złotych Projektów" (*Twelve Golden Projects*), mających na celu rozwój e-administracji, w tym również stworzenie nowych sieci komunikacyjnych. Jednym z najważniejszych elementów tej inicjatywy był *Projekt Złota Tarcza* (*The Golden Shield Project)*, którego celem było wprowadzenie zaawansowanych technologii informacyjno-komunikacyjnych w celu wzmocnienia centralnej kontroli w zakresie bezpieczeństwa publicznego oraz skuteczniejszego reagowania na zagrożenia. Oficjalnie projekt miał poprawić efektywność służb bezpieczeństwa, jednak w rzeczywistości stał się fundamentem systemu nadzoru nad chińską siecią internetową.

107:77323

W ramach projektu *Złota Tarcza* powstał mechanizm znany potocznie jako *Wielka Zapora* (*The Great Firewall*), który został wdrożony w 1998 r. pod nadzorem Ministerstwa Bezpieczeństwa Publicznego (*Ministry of Public Security of the People's Republic of China - MPS*). System ten stał się najpotężniejszym narzędziem cenzury internetowej na świecie. Faktyczna implementacja miała miejsce w 2003 r., a całkowity koszt realizacji tego przedsięwzięcia wyniósł około 800 mln dolarów. Do najczęściej wykorzystywanych narzędzi cenzury w ramach Wielkiej Zapory należały technologie takie jak *DPI* (*Deep Packet Inspection*), pozwalające na filtrowanie treści internetowych, blokowanie dostępu do wybranych stron (np. Facebook, Twitter, Wikipedia) oraz ograniczanie przepustowości łącza w celu utrudnienia dostępu do niepożądanych źródeł informacji.

Chiny wprowadzają liczne mechanizmy cenzury w Internecie, aby kontrolować przepływ informacji i zapobiegać szerzeniu się treści sprzecznych z polityką państwową. Na przykład wpisanie frazy „tiananmen" w chińskiej wyszukiwarce Weibo skutkuje komunikatem: „Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa, regulacjami i zasadami, wyniki wyszukiwania «tiananmen» nie mogą być wyświetlone", co stanowi próbę wymazania z pamięci narodowej wydarzeń związanych z protestami na Placu Tian'anmen w 1989 r. Takie praktyki są stosowane także w odniesieniu do innych historycznych czy współczesnych wydarzeń, które władze uznają za niewłaściwe do upubliczniania. Na przykład po wpisaniu nazwiska Liu Xiaobo, chińskiego dysydenta i laureata Pokojowej Nagrody Nobla, w wyszukiwarce Weibo również pojawia się informacja o braku wyników. Przykładem może być także usunięcie wpisu dziennikarza „The New York Times" Nicholasa Kristofa dotyczącego masakry na Placu Tiananmen, który po kilku minutach został zablokowany, a jego konto na platformie Sina Weibo zostało usunięte.

W Chinach istnieje także szeroki system monitorowania aktywności w Internecie, który jest kontrolowany przez Centralny Departament Propagandy (*Central Propaganda Department*). To właśnie ta instytucja, razem z ponad 14 rządowymi ministerstwami zajmującymi się kontrolą przepływu informacji, ma kluczowy wpływ na kształtowanie opinii publicznej i kontrolowanie dostępu do treści w sieci. Dzięki temu władze mogą z łatwością blokować informacje, które uznają za nieodpowiednie, np. związane z protestami społecznymi, zmianami politycznymi czy międzynarodowymi napięciami.

3.4. Regulacje dotyczące usług internetowych w Chinach

W odpowiedzi na rządowe ograniczenia, użytkownicy przebywający w Chinach wykorzystują technologię VPN (*Virtual Private Network*), która pozwala na ukrycie

108:76933

prawdziwego adresu IP i „oszukiwanie" systemu cenzury poprzez zabezpieczenie transferu danych przez Internet za pomocą szyfrowanego tunelu między urządzeniem użytkownika a zdalnym serwerem, co umożliwia dostęp do zablokowanych treści (NIST Computer Security Resource Center Glossary, 2025). Choć VPN-y cieszą się dużą popularnością, ich wykorzystanie jest nielegalne bez uzyskania odpowiedniej licencji. W 2017 r. Chińskie Ministerstwo Przemysłu i Informatyki (*MIT*) rozpoczęło operację porządkowania rynku usług internetowych, której celem było usystematyzowanie rynku VPN i ustandaryzowanie bezpieczeństwa sieci. Zgodnie z nowymi regulacjami, wszyscy dostawcy usług internetowych, w tym centra danych i operatorzy VPN, muszą posiadać licencję wydawaną przez Ministerstwo. Złamanie tych przepisów jest traktowane jako przestępstwo, a także zakazane jest udostępnianie licencji osobom trzecim.

W kontekście cenzury internetowej Chiny stawiają na pełną kontrolę nad przestrzenią cyfrową, traktując ją jako kluczowy element utrzymania porządku społecznego oraz realizacji strategii politycznej. Dzięki wykorzystaniu zaawansowanej technologii oraz egzekwowaniu administracyjnych przepisów, władze Chin są w stanie kontrolować dostęp do Globalnej Sieci, eliminując treści, które mogą zagrozić stabilności politycznej kraju, a także zarządzać informacjami, które wpływają na opinię publiczną. To podejście stało się integralną częścią chińskiej strategii geopolitycznej, mającej na celu zapewnienie dominacji technologicznej i kontrolę nad przestrzenią informacyjną zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym.

Jak wspomniano wcześniej, chińskie prawo nakłada na zagraniczne korporacje obowiązek przechowywania danych na lokalnych serwerach, które podlegają chińskim przepisom. Ponadto firmy te muszą być gotowe do współpracy z chińskimi agencjami bezpieczeństwa narodowego w przypadku zaistnienia takiej potrzeby. Te wymogi budzą wątpliwości co do ochrony własności intelektualnej oraz prywatności danych. Reakcje międzynarodowych firm na te regulacje były zróżnicowane. Niektóre podmioty dostosowały się do nowych przepisów. Przykładem jest Apple, które przekazało zarządzanie usługą iCloud na terenie Chin kontynentalnych firmie Guizhou-Cloud Big Data, powiązanej z rządem. Z kolei inne firmy, takie jak Skype i WhatsApp, odmówiły lokalnego przechowywania danych, co prawdopodobnie doprowadziło do zablokowania ich usług na terenie Chin (Mozur, 2017).

W listopadzie 2018 r. wprowadzono dodatkowe przepisy dotyczące nadzoru nad bezpieczeństwem w Internecie oraz inspekcji przeprowadzanych przez organy bezpieczeństwa publicznego (Swinhoe, 2019). Przepisy te znacząco rozszerzyły uprawnienia Ministerstwa Bezpieczeństwa Publicznego (MBP), dając mu nowe narzędzia do monitorowania i kontroli

109:45254

cyberprzestrzeni. Zgodnie z nowymi regulacjami, funkcjonariusze MBP zyskali prawo do przeprowadzania inspekcji sieci komputerowych zarówno na miejscu, jak i zdalnie. Dotyczy to sytuacji, gdy w danym miejscu znajduje się pięć lub więcej komputerów podłączonych do Internetu. Procedura kontroli wymaga, aby w inspekcji uczestniczyło co najmniej dwóch funkcjonariuszy policji, którzy są zobowiązani okazać odpowiednie dokumenty identyfikacyjne oraz upoważnienie do przeprowadzenia kontroli. W ramach swoich uprawnień funkcjonariusze MBP mogą wchodzić do pomieszczeń biznesowych, serwerowni, miejsc pracy oraz innych obszarów, gdzie przechowywane lub przetwarzane są dane. Dodatkowo mają prawo do kopiowania informacji związanych z nadzorem i kontrolą bezpieczeństwa w Internecie, co obejmuje m.in. dane dotyczące aktywności użytkowników, logi systemowe czy inne informacje, które mogą być istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa. Te nowe przepisy budzą jednak kontrowersje, szczególnie wśród firm i organizacji międzynarodowych. Choć władze chińskie argumentują, że są one niezbędne do walki z cyberprzestępczością, terroryzmem oraz zagrożeniami dla bezpieczeństwa narodowego, to krytycy wskazują, że przepisy te mogą być wykorzystywane do inwigilacji przedsiębiorstw, tłumienia wolności słowa oraz naruszania prywatności. Dodatkowo, możliwość zdalnego dostępu do sieci i kopiowania danych rodzi obawy o ochronę własności intelektualnej oraz bezpieczeństwo informacji wrażliwych.

W praktyce nowe uprawnienia MBP oznaczają, że firmy działające w Chinach muszą być przygotowane na częstsze i bardziej szczegółowe kontrole. Wymaga to od nich nie tylko dostosowania infrastruktury IT do wymogów prawnych, ale także zapewnienia, że ich systemy są w stanie sprostać wymaganiom organów bezpieczeństwa. Dla niektórych przedsiębiorstw, szczególnie zagranicznych, może to stanowić dodatkowe wyzwanie w kontekście prowadzenia działalności w Chinach, zwłaszcza jeśli ich modele biznesowe opierają się na ochronie danych klientów lub poufności technologii.

Te różne podejścia pokazują, jak skomplikowane jest funkcjonowanie zagranicznych przedsiębiorstw w Chinach w kontekście restrykcyjnych przepisów cyberbezpieczeństwa. Dla niektórych firm współpraca z chińskimi władzami jest koniecznością, aby utrzymać dostęp do ogromnego rynku, podczas gdy inne wybierają wycofanie się w celu ochrony własnych technologii i danych użytkowników. Od 1953 r. władze Chin regularnie opracowują pięcioletnie plany rozwoju gospodarczego i społecznego (*Five-Year Plans, FYPs*). Są to kluczowe dokumenty strategiczne, które wyznaczają kierunki rozwoju kraju w różnych dziedzinach, takich jak gospodarka, technologia, środowisko, edukacja czy bezpieczeństwo. Do 2023 r. Chiny wprowadziły 14 pięcioletnich planów. Chociaż wszystkie plany mają wpływ na

110:64430

różne aspekty rozwoju państwa, to 11, 12, 13 i 14 plan szczególnie koncentrują się na kwestiach związanych z cyberprzestrzenią i technologiami cyfrowymi.

3.5. Pięcioletnie plany Chin a innowacje w dziedzinie nowych technologii

11. Plan Pięcioletni Chińskiej Republiki Ludowej (2006-2010) stanowił istotny etap w rozwoju gospodarczym i społecznym kraju, kładąc nacisk na innowacyjność, zrównoważony rozwój oraz transformację modelu gospodarczego (Trojnar, Gacek, 2012; Świstak, 2021). W kontekście cyberbezpieczeństwa uwzględniał potrzebę tworzenia zaawansowanych systemów zabezpieczeń oraz rozwijania krajowych zdolności w zakresie ochrony przed zagrożeniami w cyberprzestrzeni (*National Security Archive,* 2010). Po raz pierwszy w pięcioletnich planach pojawiły się zapisy dotyczące konieczności wzmocnienia ochrony systemów informatycznych przed cyberatakami.

W ramach tego planu Chiny dążyły do rozbudowy infrastruktury teleinformatycznej, co obejmowało zwiększenie dostępu do Internetu w miastach i na obszarach wiejskich, by zniwelować dysproporcje w dostępie do technologii cyfrowych. W 2010 r. liczba użytkowników Internetu w Chinach wynosiła 457 mln, co stanowiło około 34,3% populacji kraju. Na obszarach miejskich wskaźnik dostępu do Internetu wynosił 68,7%, podczas gdy na terenach wiejskich było to 23,6%. Oznacza to, że dostęp do Internetu miało około 278 mln mieszkańców miast i 179 mln mieszkańców wsi (Bryan, 2011). Te dane wskazują na znaczącą dysproporcję w dostępie do technologii cyfrowych między obszarami miejskimi a wiejskimi w tamtym okresie. Z kolei do czerwca 2024 r. wskaźnik penetracji Internetu na obszarach wiejskich w Chinach wyniósł 63,8%, pozostając jednak poniżej średniej krajowej. W miastach zasięg Internetu osiągnął 85,3%. W 2023 r. jedna trzecia z 477 mln mieszkańców wsi nadal nie miała dostępu do Internetu. W celu zwiększenia dostępności usług internetowych w chińskich wsiach i małych miasteczkach podjęto inicjatywy mające na celu obniżenie cen oraz rozwój infrastruktury szerokopasmowej. W czerwcu 2024 r. około 28% wszystkich użytkowników Internetu w Chinach mieszkało na terenach wiejskich (Thomala, 2024).

Celem ówczesnych założeń było stworzenie nowoczesnej gospodarki opartej na wiedzy oraz promowanie innowacji technologicznych. Plan zakładał również rozwój szerokopasmowego dostępu do Internetu oraz wsparcie dla technologii informacyjno-komunikacyjnych (*Information and Communications Technology – ICT*) w różnych sektorach gospodarki. Dzięki inwestycjom w infrastrukturę liczba użytkowników Internetu w Chinach gwałtownie wzrosła – z 210 mln w 2008 r (China Internet Network Information Center, 2012) do wspomnianej wcześniej wartości – 457 mln w 2010 r. Na początku 2025 r. w Chinach

111:74863

aktywnych było 1,87 mld połączeń komórkowych, co odpowiada 132% całkowitej populacji. Należy jednak uwzględnić, że część z tych połączeń obejmowała wyłącznie usługi głosowe i SMS, a nie wszystkie zapewniały dostęp do Internetu. W tym samym okresie liczba użytkowników Internetu w Chinach wyniosła 1,11 mld, co oznaczało zasięg sieci na poziomie 78,0% (Digital 2025 Global Overview Report, 2025). Władze postawiły na rozwój krajowego przemysłu informatycznego, aby zmniejszyć zależność od zagranicznych technologii. Położono duży nacisk na podniesienie innowacyjności oraz przekształcenie modelu rozwoju gospodarczego m.in. poprzez budowę energooszczędnego społeczeństwa (niedobór wysokiej jakości zasobów energetycznych oraz ich nierównomierna dystrybucja utrudniają stabilne dostawy energii w Chinach, zaś przestarzała struktura energetyczna, wysokie zużycie na jednostkę PKB i ograniczona efektywność technologiczna zwiększają energochłonność gospodarki) oraz promowanie nowoczesnych technologii. Zaczęto wdrażać cyfrowe usługi publiczne, aby usprawnić komunikację między obywatelami a instytucjami państwowymi. Wprowadzono także pierwsze mechanizmy filtrowania treści online, co zapoczątkowało rozwój systemu cenzury znanego jako „Wielki Firewall".

12. Plan Pięcioletni Chińskiej Republiki Ludowej (2011-2015) kontynuował dążenia do zrównoważonego rozwoju gospodarczego, kładąc szczególny nacisk na innowacje technologiczne, w tym na rozwój chmury obliczeniowej, big data i Internetu Rzeczy *(IoT*), rozwój infrastruktury informacyjnej oraz wzmocnienie cyberbezpieczeństwa. W tym okresie Chiny intensywnie inwestowały w rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych, co miało na celu integrację Internetu z tradycyjnymi sektorami gospodarki. W zakresie bezpieczeństwa danych wprowadzono regulacje mające na celu ochronę danych osobowych i poufnych informacji. Zwiększono nadzór nad treściami online, wprowadzając bardziej restrykcyjne przepisy dotyczące publikacji informacji w sieci. W marcu 2015 r. premier Li Keqiang przedstawił inicjatywę „Internet Plus", mającą na celu wykorzystanie technologii internetowych do wspierania wzrostu gospodarczego i rozwoju, w tym chińskich firm technologicznych (Huawei, Tencent Alibaba), aby konkurowały z zagranicznymi gigantami. Szczegółowy plan wdrożenia tej strategii opublikowano w lipcu tego samego roku (Creemers, 2015). Rozpoczęto też programy mające na celu podniesienie kompetencji cyfrowych społeczeństwa.

Wraz z dynamicznym rozwojem Internetu, chińskie władze zaczęły zwracać coraz większą uwagę na kwestie związane z cyberbezpieczeństwem. W 2012 r. Biuro Informacyjne Rady Państwa wydało nową opinię polityczną zatytułowaną „Rada Państwa energicznie promuje rozwój informatyzacji i oferuje kilka opinii na temat sumiennej ochrony

112:94524

bezpieczeństwa informacji". Dokument ten podkreślał pilne wyzwania związane z międzynarodową konkurencją w zakresie kontroli, wykorzystania i pozyskiwania informacji oraz wskazywał na potrzebę wzmocnienia krajowych zdolności w zakresie bezpieczeństwa informacyjnego (Casey, Koleski, 2011). 12. Pięcioletni plan kładł też duży nacisk na innowacyjność jako kluczowy element transformacji gospodarczej Chin. W dokumencie podkreślono znaczenie rozwoju zielonych technologii oraz inwestycji w sektor *ICT*, co miało na celu promowanie zrównoważonego rozwoju i zwiększenie konkurencyjności gospodarki.

Również 13. Plan Pięcioletni Chińskiej Republiki Ludowej (2016-2020) skupiał się na kontynuacji strategii rozwoju technologicznego i cyfryzacji kraju, kładąc szczególny nacisk na integrację technologii informacyjno-komunikacyjnych z różnymi sektorami gospodarki oraz wzmocnienie cyberbezpieczeństwa państwa. W ramach tego planu, w 2016 r. Rada Państwa wydała „13. pięcioletni plan informatyzacji kraju", który koncentrował się na budowie Cyfrowego Jedwabnego Szlaku (*Digital Silk Road – DSR*) oraz zachęcaniu chińskich firm internetowych do aktywnego udziału w tej inicjatywie. Celem było promowanie rozwoju sektora usług cyfrowych, takich jak handel elektroniczny, inteligentne miasta, telemedycyna i finanse internetowe, a także przyspieszenie postępu technologicznego w obszarach, takich jak przetwarzanie danych, Internet rzeczy i sztuczna inteligencja (Raud, 2016). Wprowadzono cele związane z rozwojem AI, robotyki i innych zaawansowanych technologii. W 2017 r. opublikowano „Ustawę o cyberbezpieczeństwie", która miała na celu wzmocnienie ochrony infrastruktury krytycznej, danych osobowych oraz przeciwdziałanie cyberzagrożeniom (Creemers, Triolo, Webster, 2018). Ustawa ta wprowadziła m.in. wymóg lokalizacji danych wrażliwych na terenie Chin oraz obowiązek przeprowadzania regularnych ocen bezpieczeństwa przez operatorów sieci. Wzmocniono kontrolę nad przepływem danych, wprowadzając wymóg przechowywania danych chińskich obywateli na serwerach znajdujących się w Chinach oraz zintensyfikowano działania cenzorskie, aby zapobiegać rozpowszechnianiu treści uznanych za szkodliwe dla stabilności społecznej i politycznej.

W okresie trwania 13. Planu Pięcioletniego Chiny stały się światowym liderem w rozwoju technologii 5G, co miało ogromne znaczenie dla rozwoju Internetu Rzeczy i innych innowacji. W czerwcu 2019 r. wydano pierwsze komercyjne licencje 5G, co zapoczątkowało szybkie wdrażanie tej technologii, zaś do końca listopada zainstalowano 700 tyś. stacji bazowych 5G, obsługujących ponad 180 mln urządzeń końcowych (Paszak, 2020). Z kolei w sierpniu 2020 r. Shenzhen stało się pierwszym miastem w Chinach z pełnym pokryciem siecią 5G, posiadając 46 500 stacji bazowych (State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council, 2020). Współczesne pięcioletnie plany nie są już jedynie narzędziem

113:68296

gospodarczej centralizacji, lecz coraz częściej elastycznym modelem strategicznego rozwoju, który dostosowuje się do zmieniających się realiów globalnych i technologicznych.

14. Plan Pięcioletni na lata 2021-2025 stanowi kompleksową strategię rozwoju Chin, łącząc innowacje technologiczne, niezależność przemysłową oraz cyfryzację kluczowych sektorów gospodarki. Jego realizacja ma za zadanie wzmocnienie pozycji Chin na arenie międzynarodowej, przyczyniając się do dalszej rywalizacji z USA w dziedzinie technologii i cyfryzacji (Świstak, 2022). Przyjęty w 2021 r. dokument podkreśla znaczenie nowoczesnych technologii, takich jak sztuczna inteligencja, układy scalone oraz 5G, które mają umożliwić Chinom osiągnięcie pozycji globalnego lidera w sektorze technologicznym. Jednym z głównych założeń planu jest dążenie do samowystarczalności w zakresie kluczowych komponentów technologicznych, tj. mikroprocesorów i zaawansowanych układów scalonych. W związku z rosnącym napięciem geopolitycznym oraz ograniczeniami nałożonymi przez Stany Zjednoczone na chińskie firmy technologiczne, Pekin intensyfikuje inwestycje w badania i rozwój, a także wspiera krajowe przedsiębiorstwa w celu zmniejszenia zależności od zachodnich dostawców. 14. Plan Pięcioletni obejmuje również rozbudowę infrastruktury telekomunikacyjnej, w tym dalszy rozwój sieci 5G oraz przygotowania do wdrożenia technologii 6G. Chiny inwestują w budowę nowoczesnych centrów danych oraz rozwój technologii chmurowych, które mają stanowić fundament dla przyszłych usług cyfrowych i e-administracji. Dodatkowym aspektem strategii jest rozwój zielonych technologii oraz cyfryzacja sektora energetycznego. Władze chińskie kładą duży nacisk na integrację systemów cyfrowych z odnawialnymi źródłami energii, co ma na celu poprawę efektywności energetycznej i redukcję emisji CO_2.

Jednak strategia innowacyjna Chin nie ogranicza się wyłącznie do budowy infrastruktury badawczo-rozwojowej czy wsparcia poszczególnych branż. Kluczowym elementem jest również inwestycja w kapitał ludzki, czyli rozwój talentów poprzez edukację i szkolenia. Bez wykwalifikowanych naukowców, inżynierów i specjalistów nawet najlepiej wyposażone laboratoria i centra badawcze nie będą w stanie generować przełomowych rozwiązań, produktów czy usług, które są niezbędne do osiągnięcia przewagi konkurencyjnej na arenie międzynarodowej. To właśnie inwestycje w zasoby ludzkie stanowią jedno z największych wyzwań dla Chin, zwłaszcza w kontekście ich ambicji do odegrania wiodącej, a nie drugoplanowej roli w globalnej gospodarce (Świstak, 2021). W latach 1996-2007 liczba naukowców zatrudnionych w sektorze badawczo-rozwojowym (B+R) wzrosła z 448 do 1071 na 1 mln mieszkańców, co świadczy o intensyfikacji działań na rzecz rozwoju nauki i technologii. Według danych opublikowanych przez agencję Xinhua, w 2025 r. liczba

114:10881

absolwentów chińskich uczelni osiągnie rekordowy poziom 12,22 mln, co stanowi wzrost o 430 tys. w porównaniu z rokiem poprzednim. Wzrost ten może wpłynąć na rynek pracy, zwłaszcza w kontekście spowolnienia gospodarczego. W odniesieniu do liczby naukowców zatrudnionych w sektorze badawczo-rozwojowym (B+R) w Chinach, dostępne informacje są ograniczone. Według wstępnych szacunków z początku lutego 2025 r. opublikowanych przez Chińskie Narodowe Biuro Statystyczne (*National Bureau of Statistics of China)* całkowite wydatki Chin na badania i rozwój eksperymentalny (B+R) przekroczyły 3,6 bln juanów w 2024 r., wynosząc 3,6130 bln juanów, co stanowi wzrost o 8,3 procent w porównaniu z rokiem poprzednim; intensywność inwestycji w B+R osiągnęła 2,68 procent, co daje wzrost o 0,1 punktu procentowego w porównaniu z 2023 r. Inwestycje w badania podstawowe wzrosły o 10,5 procent od 2023 r. do 249,7 mld juanów, co stanowiło 6,91 procent całkowitych wydatków na B+R, co oznacza wzrost o 0,14 punktu procentowego (National Bureau of Statistics of China, 2024). Zgodnie z raportem *OECD Science, Technology and Industry Outlook* z 2023 r., w 2021 r. intensywność B+R w Chinach wyniosła 2,45% PKB, podczas gdy w Unii Europejskiej było to 2,15%, a w Stanach Zjednoczonych 3,46% (OECD Science, Technology and Innovation Outlook, 2023).

Opóźnienia w negocjacjach i renegocjacjach umów dotyczących współpracy naukowej i technologicznej, a także ograniczanie zakresu wspólnych badań, stanowią istotne wyzwania w relacjach pomiędzy Chinami a międzynarodowymi partnerami. Przykładem jest proces renegocjacji porozumienia *U.S.-China Science and Technology Agreement* (*STA*), które od 1979 r. stanowiło podstawę prawną współpracy między instytucjami naukowymi i agencjami rządowymi obu krajów. Do 2023 r. porozumienie było odnawiane co pięć lat, jednak w związku z rosnącymi napięciami politycznymi i strategicznymi obawami, dalsze przedłużenie umowy stało się przedmiotem intensywnych negocjacji (Axios 2023). W sierpniu 2023 r. zamiast standardowego przedłużenia, zdecydowano się na tymczasową prolongatę obowiązywania *STA* o sześć miesięcy, aby dać stronom więcej czasu na ustalenie nowych warunków współpracy (Science Business 2023a). 13.12.2024 r. Stany Zjednoczone i Chińska Republika Ludowa podpisały protokół zmieniający *Umowę o nauce i technologii* (*STA*) i przedłużający jej obowiązywanie na kolejne pięć lat. Nowa wersja porozumienia określa jednolite standardy dla współpracy naukowej pomiędzy rządami obu państw, jednocześnie wprowadzając dodatkowe mechanizmy ochronne. Zmodernizowana *STA* kładzie szczególny nacisk na zabezpieczenie własności intelektualnej, zapewniając ścisłą kontrolę nad jej ochroną. Wprowadza także nowe środki bezpieczeństwa dla instytucji wdrażających, mające na celu ochronę badaczy oraz zapobieganie potencjalnym zagrożeniom. Ponadto umowa wzmacnia interesy Stanów

115:76406

Zjednoczonych poprzez rozszerzone zasady przejrzystości i wzajemności w zakresie wymiany danych. Kluczową zmianą jest ograniczenie współpracy wyłącznie do badań podstawowych, przy jednoczesnym wykluczeniu obszarów związanych z rozwojem technologii krytycznych i nowo powstających innowacji (U.S. Department of State, 2024). Jednocześnie w ramach unijnego programu *Horyzont Europa* współpraca z chińskimi partnerami została znacznie ograniczona i obecnie koncentruje się głównie na badaniach podstawowych oraz projektach związanych z ochroną środowiska. Komisja Europejska podjęła również decyzję o wykluczeniu naukowców pracujących w Chinach z konkursów finansujących badania ukierunkowane na wdrażanie rynkowych innowacji. Działania te wpisują się w szerszy trend zaostrzania kontroli nad współpracą naukową z Chinami, wynikający z obaw o transfer technologii i konkurencyjność europejskiego sektora badawczo-rozwojowego (Science Business 2023b).

Aby zrealizować cele dotyczące sektora badawczo-rozwojowego (B+R) Chiny muszą nie tylko koncentrować się na branżach wykazujących wysoki potencjał innowacyjny, ale także rozwijać regiony geograficzne o największym potencjale gospodarczym. Miasta, zwłaszcza te o światowej konkurencyjności, mają nadal pełnić rolę głównego czynnika wzrostu. W tym kontekście planuje się dalszą integrację z globalnym systemem rynkowym, m.in. poprzez rozwój nowoczesnych centrów gospodarki usługowej. Oprócz inwestycji w infrastrukturę, kluczowe jest tworzenie zaawansowanych usług dla biznesu, rozwijanie łańcuchów dostaw, a także wspieranie talentów i technologii. Działania te ze względu na swoją złożoność i zaawansowanie mają koncentrować się głównie w najbardziej rozwiniętych aglomeracjach, takich jak Szanghaj. Jednak lista miast aspirujących do miana globalnych centrów gospodarczych jest znacznie dłuższa. W ramach 14. Planu Pięcioletniego aż 16 prowincji wyraziło chęć wspierania metropolii o znaczeniu globalnym, szczególnie w regionach Delty Rzeki Jangcy i Wielkiej Zatoki. Skupienie się na rozwoju tych aglomeracji, które mają ambicje konkurowania na arenie międzynarodowej, może jednak utrudnić koordynację działań na rzecz zrównoważonego i harmonijnego rozwoju całego kraju.

Przygotowania do 15. Planu Pięcioletniego (2026-2030) są w toku. W grudniu 2023 r. Narodowa Komisja Rozwoju i Reform (*NDRC*) rozpoczęła wstępne prace nad tym planem, które obejmują analizę danych z piątego spisu gospodarczego oraz ocenę realizacji poprzedniego planu (Xinhua, 2023). Wstępne informacje sugerują, że plan ten będzie kluczowy dla Chin w kontekście globalnych zmian oraz dążenia do wysokiej jakości rozwoju poprzez innowacje. Oczekuje się, że szczególny nacisk zostanie położony na inwestycje w zaawansowane technologie oraz dążenie do samowystarczalności technologicznej, zwłaszcza w obliczu rosnących napięć geopolitycznych i ograniczeń w dostępie do zagranicznych

116:10035

technologii (np. półprzewodników). Plan może obejmować dalsze inwestycje w sztuczną inteligencję, technologie kwantowe, mikroprocesory oraz blockchain (chinadaily.com.cn, 2024). Będzie prawdopodobnie promował dalszą cyfryzację życia społecznego i gospodarczego, w tym rozwój e-administracji, cyfrowych usług publicznych oraz edukacji cyfrowej. Wzmocnione zostaną również inicjatywy mające na celu zniwelowanie cyfrowej przepaści między regionami miejskimi a wiejskimi.

Warto zauważyć, że 15. Plan Pięcioletni będzie obejmował okres, w którym Chiny zobowiązały się osiągnąć szczyt emisji dwutlenku węgla przed 2030 r., a neutralność węglową do 2060 r., dlatego też może zawierać strategie mające na celu promowanie zielonego i niskoemisyjnego rozwoju poprzez zwiększone inwestycje w energię odnawialną, elektromobilność i cyfrowe rozwiązania wspierające efektywność energetyczną (Xinhua, 2022). Wraz z rosnącym zagrożeniem cyberatakami, 15. plan prawdopodobnie wzmocni mechanizmy ochrony krytycznej infrastruktury informatycznej. Możliwe jest wprowadzenie nowych regulacji dotyczących ochrony danych oraz kontroli nad przepływem informacji w cyberprzestrzeni, mające na celu zwiększenie wpływu Chin w globalnych instytucjach regulujących cyberprzestrzeń i technologie cyfrowe.

W Chińskiej Republice Ludowej pięcioletnie plany są kluczowym narzędziem planowania strategicznego, które wyznacza kierunki rozwoju gospodarczego, społecznego i technologicznego Chin od 1953 r. Każdy z nich odzwierciedla priorytety władz na danym etapie rozwoju kraju, a także odpowiada na wyzwania wewnętrzne i zewnętrzne. Pierwsze plany (1953-1980) skupiały się na odbudowie kraju po wojnie domowej, industrializacji i kolektywizacji rolnictwa. Kolejne (1981-2000), po śmierci Mao Zedonga i objęciu władzy przez Deng Xiaopinga, koncentrowały się na reformach gospodarczych, liberalizacji rynku i otwarciu na inwestycje zagraniczne – rozwój specjalnych stref ekonomicznych i modernizacja przemysłu stały się priorytetami. Po przystąpieniu Chin do Światowej Organizacji Handlu (*WTO*) w 2001 r. chińskie władze skupiały się na integracji z globalną gospodarką, stawiając na rozwój infrastruktury, technologii informatycznych i eksportu. Ostatnie plany kładą nacisk na innowacje technologiczne, zieloną transformację, suwerenność technologiczną i bezpieczeństwo cybernetyczne. Kluczowym elementem stała się strategia samowystarczalności w sektorze technologicznym, szczególnie w obszarach takich jak sztuczna inteligencja, układy scalone i sieci 5G. W odpowiedzi na rosnącą konkurencję międzynarodową Chiny intensyfikują inwestycje w badania i rozwój, starając się zmniejszyć zależność od zachodnich dostawców i umocnić swoją pozycję jako globalnego lidera technologicznego. Do głównych osiągnięć w realizacji 5-letnich planów ChRL można zaliczyć modernizację gospodarki – Chiny przeszły

117:86428

transformację z kraju rolniczego w jednego z globalnych liderów w dziedzinie przemysłu i technologii. Nastąpił także znaczący rozwój infrastruktury poprzez budowę rozległej sieci dróg, kolei wysokich prędkości, portów i lotnisk, co umożliwiło szybki wzrost gospodarczy.

3.6. Rozwój technologii 5G w ramach strategii *Made in China 2025*

Made in China 2025 (*MIC 2025*) to ogłoszona w 2015 r. przez rząd Chin długoterminowa strategia przemysłowa, której celem jest przekształcenie Chin ze „światowej fabryki" w globalnego lidera w dziedzinie zaawansowanych technologii i wysokiej jakości produkcji. Powstała z inspiracji koncepcją Przemysłu 4.0 i zaprezentowano ją w 2011 r. podczas targów w Hanowerze. Dotyczy Czwartej Rewolucji Przemysłowej, która określa przyszłość produkcji, bazującą na automatyzacji, wymianie i przetwarzaniu danych w technologicznych procesach produkcyjnych oraz wdrażaniu nowatorskich rozwiązań technologicznych. Ta strategia wiąże się ściśle z cyfryzacją i informatyką w procesach produkcyjnych, bazując na wzroście efektywności produkcji, obniżeniu kosztów wytwarzania, oszczędności czasu i możliwości zwiększania skali produkcji dzięki gromadzeniu oraz analizowaniu w czasie rzeczywistym dużych zbiorów danych. Jej fundamenty stanowią technologie, takie jak Internet Rzeczy, chmura obliczeniowa, Big Data oraz sztuczna inteligencja (Gacek, 2018, s. 11). Program *Made in China 2025* wprowadza istotne zmiany w stosunku do średnio- i długoterminowych planów rozwoju naukowo-technologicznego, które były realizowane przez poprzednie pokolenia chińskich liderów. Należy zaznaczyć, że Chiny rozpoczęły rozwój państwowych programów wspierających badania oraz innowacje technologiczne stosunkowo wcześnie, co miało duży wpływ na ich szybki rozwój gospodarczy w kolejnych dekadach.

Pierwszym dużym programem badawczo-rozwojowym w Chinach był *Key Technology R&D*, który został zapoczątkowany w 1982 r. Był to nie tylko pierwszy tego typu projekt, ale także największy pod względem skali program badawczo-rozwojowy realizowany w Chinach w XX w. Jego celem była intensyfikacja prac nad nowoczesnymi technologiami, które miały wspierać rozwój gospodarki opartej na innowacjach. Kolejnym ważnym krokiem stał się Państwowy Plan Rozwoju Zaawansowanych Technologii, powszechnie znany jako *Program 863*, który został uruchomiony w 1986 r. Jego inicjatorami byli czterej wybitni chińscy naukowcy: Wang Ganchang, Chen Fangyun, Wang Daheng i Yang Jiachi. W marcu 1986 r. wystosowali list do rządu, w którym apelowali o stworzenie mechanizmów umożliwiających wnikliwą obserwację i analizę rozwoju zaawansowanych technologii na świecie. Program miał na celu intensyfikację badań nad technologiami, które mogły zapewnić Chinom

118:29299

międzynarodową konkurencyjność w strategicznych sektorach, m.in. w elektronice, biotechnologii i informatyce. W 1997 r. ogłoszono Państwowy Program Badań Podstawowych, znany również jako *Program 973*. Był to projekt o charakterze interdyscyplinarnym, skoncentrowany na połączeniu wiedzy i doświadczeń z różnych dziedzin nauki, co miało sprzyjać odkryciom w kluczowych obszarach naukowych. *Program 973* podkreślał znaczenie badań podstawowych, które stanowią fundament dla dalszego rozwoju technologii i innowacji, niezbędnych do wspierania chińskiej gospodarki. W lutym 2006 r. czwórka przywódców partyjnych, na czele z Hu Jintao i Wen Jiabao, zaprezentowała Długoterminowy Plan Rozwoju Naukowo-Technologicznego na lata 2006-2020. Plan ten, oparty na piętnastoletniej perspektywie, koncentrował się głównie na rozwoju zaawansowanych technologii. Z kolei w czerwcu 2010 r. ogłoszono Państwowy Długoterminowy Program Rozwoju Talentów na lata 2010-2020, który kładł nacisk na rozwój kapitału ludzkiego, uznawanego za kluczowy element w budowaniu konkurencyjności gospodarki (Gacek, 2018, s. 12-13). Każdy z tych programów miał na celu budowanie solidnej podstawy dla rozwoju technologii, które w późniejszych latach pozwoliłyby Chinom zdominować niektóre z najbardziej innowacyjnych i zaawansowanych sektorów gospodarki światowej. *Made in China 2025* jest kontynuacją tej strategii, wprowadzając nowe, bardziej ambitne cele związane z automatyzacją, cyfryzacją i rozwojem zaawansowanych technologii, które mają przekształcić Chiny w globalnego lidera w obszarze innowacji przemysłowych. Koncentruje się na dziesięciu kluczowych sektorach, w tym technologiach informacyjnych, robotyce, energetyce, transporcie, biomedycynie i półprzewodnikach. Jednym z jej filarów są rozwój i wdrożenie technologii 5G, które mają stanowić podstawę dla cyfrowej transformacji chińskiej gospodarki.

W ramach *MIC 2025* Chiny intensywnie inwestują w rozwój infrastruktury 5G. Do początku 2020 r. w kraju funkcjonowało około 200 tys. stacji bazowych 5G, a do końca tego samego roku zwiększono ich liczbę o ponad 500 tyś, czyli łącznie zainstalowano około 700 tys. stacji bazowych 5G, co umożliwiło połączenie ponad 180 mln urządzeń końcowych w nowym standardzie technologicznym, z ostatecznym celem osiągnięcia 5 mln stacji (Paszak, 2020). Do września 2024 r. Chiny zbudowały największą na świecie sieć 5G oraz infrastrukturę światłowodową, z rosnącymi możliwościami w zakresie sztucznej inteligencji (Reuters, 2024). W 14. Planie Pięcioletnim (2021-2025) zatwierdzono wydatki w wysokości 1,4 bln dolarów na budowę sieci 5G, instalację kamer i sensorów dla tworzenia inteligentnych miast oraz integrację tej sieci z przemysłem w celu przyspieszenia postępu w inteligentnej produkcji (Silk Road Poland, 2021).

119:61679

Z danych opublikowanych w 2024 r. przez Ministerstwo Przemysłu i Technologii Informacyjnych Chin (MIIT) wynika, że sieć 5G obejmuje wszystkie miasta i miasteczka w Chinach, a także ponad 90 procent wsi. Liczba abonentów telefonii komórkowej 5G w Chinach osiągnęła 1,002 mld do końca listopada 2024 r., w tym 56% wszystkich abonentów telefonii komórkowej kraju, co stanowi wzrost o 9,4 % porównaniu z końcem 2023 r. Zgodnie z danymi MIIT, do końca listopada 2024 r. w Chinach zainstalowano około 4,2 mln stacji bazowych 5G, co stanowi fundament dla szerokiego wdrożenia tej technologii. Ponadto obliczenia branżowe wskazują, że chińskie stacje bazowe odpowiadają za ponad 60% globalnej mocy łączności 5G, co jeszcze bardziej podkreśla globalną dominację Chin w tym zakresie (Xinhua, 2024). Zhang Yunming, wiceminister MIIT, poinformował w grudniu 2024 r., że w Chinach znajduje się średnio 29 stacji bazowych 5G na 10 000 mieszkańców, co jest wynikiem znaczącego postępu w realizacji celów wyznaczonych w 14. Pięcioletnim Planie Rozwoju (2021-2025). Celem tego planu jest zapewnienie kompleksowego zasięgu sieci 5G w całym kraju, obejmującego zarówno obszary miejskie, jak i wiejskie, w tym kluczowe lokalizacje, takie jak centra rządowe, miejsca kulturalne, turystyczne oraz główne szlaki transportowe. Równolegle z rozwojem infrastruktury, MIIT, w ścisłej współpracy z innymi departamentami rządowymi, wydało zaktualizowany plan pod nazwą *Set Sail* dotyczący rozwoju technologii 5G. Zgodnie z założeniami szerokie wdrożenie 5G w obszarze użytku publicznego ma nastąpić do końca 2027 r. Celem tego planu jest dalsze zwiększanie liczby stacji bazowych z perspektywą 38 stacji bazowych 5G na 10 000 mieszkańców oraz wskaźnikiem penetracji użytkowników technologii 5G na poziomie 85%. Przewiduje się, że do 2027 r. ruch generowany przez użytkowników sieci 5G będzie stanowił ponad 75% całkowitego ruchu w sieciach mobilnych (Xinhua, 2024). Raport *Global System for Mobile Communications Association* (*GSMA*) wskazuje, że w 2023 r. ekosystem mobilny 5G w Chinach doprowadził do stworzenia około 8 mln miejsc pracy. Z obliczeń wynika, że pięcioletni okres od komercyjnego uruchomienia sieci 5G w Chinach w 2019 r. wygenerował wzrost w wysokości 5,6 bln juanów (około 767 mld dolarów amerykańskich) produkcji gospodarczej, z czego dodatkowe 14 bln juanów zostało wytworzonych w pośredni sposób. Technologia 5G integruje szereg cyfrowych rozwiązań technologicznych, co ma kluczowe znaczenie dla rozwoju gospodarki opartej na innowacjach (GSMA, 2024). W styczniu 2025 r. w Szanghaju ogłoszono 3-letni plan pełnego wdrożenia aplikacji 5G, który ma na celu przyspieszenie rozwoju sieci 5G Advanced (charakteryzującej się pasem do 28 GHz i realnej prędkości pobierania danych na poziomie nawet 10 Gb/s) oraz integrację tej technologii ze sztuczną inteligencją. Celem tego planu jest osiągnięcie wskaźnika penetracji użytkowników 5G w Szanghaju na poziomie 90% do 2026 r. (Xinhua, 2024).

120:10866

Chiński rząd postrzega 5G jako infrastrukturę krytyczną dla przyszłego wzrostu gospodarczego i konkurencyjności na arenie międzynarodowej. W ramach *MIC 2025* Chiny inwestują ogromne środki w badania i rozwój technologii 5G, a także w budowę infrastruktury, która ma zapewnić powszechny dostęp do tej technologii. Rządowe wsparcie obejmuje bezpośrednie finansowanie badań i rozwoju, preferencyjne stawki podatkowe dla firm technologicznych oraz zachęty do fuzji i przejęć zagranicznych przedsiębiorstw technologicznych. Chiny opracowały także mapę drogową z konkretnymi celami w zakresie wydatków na badania i rozwój, produktywności, cyfryzacji oraz ochrony środowiska (Przychodniak, 2018).

W kontekście strategii cyfrowej Chiny dążą do zbudowania największej na świecie sieci 5G oraz infrastruktury światłowodowej, jednocześnie rozwijając zdolności w zakresie sztucznej inteligencji. Jednakże w procesie tym napotykają na wyzwania związane z fragmentacją i nierównomiernym rozwojem regionalnym (różnice w poziomie rozwoju infrastruktury cyfrowej między wschodnimi a zachodnimi regionami kraju), które prowadzą do problemów z koordynacją i integracją nowych technologii, co skłania rząd do podejmowania działań mających na celu zrównoważenie tych dysproporcji, takie jak inwestycje w centra danych oraz projekty w rodzaju *Eastern Data, Western Computing* mające na celu wykorzystanie zasobów energetycznych zachodnich regionów do wspierania rozwoju technologicznego w obszarach przybrzeżnych (Reuters, 2024). Dodatkowo Chiny dążą do uniezależnienia się od zachodnich technologii, intensyfikując wsparcie dla lokalnego sektora nowych technologii, w tym telekomunikacji i półprzewodników. Rząd planuje zwiększenie inwestycji w te obszary, aby zbudować bardziej samodzielną i odporną gospodarkę cyfrową (Waszczuk, 2024) i podejmując działania mające na celu integrację kwestii środowiskowych z rozwojem infrastruktury cyfrowej. Strategie polityczne uwzględniają aspekty zrównoważonego rozwoju, co ma na celu minimalizację negatywnego wpływu na środowisko podczas rozbudowy infrastruktury technologicznej (Wu, Zhong, 2022).

3.7. Preferencyjna polityka Chin dla firm rozwijających 5G

Chiny od lat prowadzą intensywną politykę wspierania rozwoju technologii 5G, udzielając znaczących subwencji państwowych kluczowym przedsiębiorstwom w tej dziedzinie (Warsaw Institute, 2019). W ramach strategii *Made in China 2025* z 2015 r. rząd chiński dąży do uniezależnienia się od zachodnich technologii i osiągnięcia pozycji lidera w sektorze zaawansowanych technologii (Gov.cn, 2015). Plan ten koncentruje się na rozwoju kluczowych sektorów, takich jak pojazdy elektryczne, lotnictwo oraz robotyka, z naciskiem na integrację

121:43774

nowoczesnych technologii z tradycyjnym przemysłem wytwórczym. W tym celu państwo inwestuje w rozwój infrastruktury 5G oraz wspiera finansowo rodzime firmy – Huawei i ZTE, które odgrywają kluczową rolę na globalnym rynku telekomunikacyjnym (BigChina, 2020).

Przedsiębiorstwa chcące skorzystać z rządowego wsparcia muszą spełnić określone warunki, takie jak zgodność z krajowymi standardami technologicznymi, współpraca z lokalnymi dostawcami oraz udział w państwowych programach badawczo-rozwojowych (Warsaw Institute, 2019). Firmy te są także zobowiązane do ścisłej współpracy z chińskimi instytucjami rządowymi w zakresie bezpieczeństwa i kontroli danych (BigChina, 2020). Przykładem takiego wsparcia jest projekt uruchomienia 50 000 stacji bazowych 5G w prowincji Hubei, mający na celu objęcie całego miasta Wuhan zasięgiem nowoczesnej sieci.
Preferencyjna polityka Chin przyczynia się do szybkiego rozwoju technologii 5G w kraju, umożliwiając chińskim firmom zdobycie przewagi konkurencyjnej na rynku międzynarodowym. Dzięki rządowym subwencjom przedsiębiorstwa takie jak Huawei mogły poczynić znaczące postępy w kluczowych technologiach 5G, takich jak Massive MIMO czy formowanie wiązek (*beamforming*), co przekłada się na szybszą transmisję danych i bardziej efektywne zarządzanie siecią (BigChina, 2020).

Jednakże tego rodzaju polityka ma również swoje wady. Silne zaangażowanie państwa w działalność firm technologicznych może prowadzić do nadmiernej kontroli rządowej nad przedsiębiorstwami, ograniczając ich autonomię i zdolność do podejmowania niezależnych decyzji biznesowych (Warsaw Institute, 2019), a bliskie powiązania z rządem mogą budzić obawy na rynkach zagranicznych dotyczące potencjalnego wykorzystania technologii do celów szpiegowskich, co może skutkować ograniczeniami w dostępie do niektórych rynków (BigChina, 2020).

W przeciwieństwie do chińskiego modelu, w Stanach Zjednoczonych rozwój technologii 5G opiera się głównie na inicjatywach prywatnych firm, z mniejszym bezpośrednim wsparciem finansowym ze strony rządu (New York Post, 2025). Administracja prezydenta Joe Bidena w latach 2021-2025 koncentrowała się na zabezpieczeniu infrastruktury 5G przed wpływami Chin oraz zachęcała sojuszników do blokowania chińskim firmom dostępu do ich rynków ICT (Financial Times, 2025). Obecna administracja prezydenta Donalda Trumpa kontynuuje te działania, jednocześnie intensyfikując restrykcje handlowe wobec Chin (Cadenaser, 2025). W odpowiedzi na rozwój chińskiej sztucznej inteligencji, takiej jak DeepSeek konkurujący z ChatGPT, administracja Trumpa wzywa sojuszników do ograniczenia eksportu zaawansowanych chipów do Chin oraz rozważa nałożenie ceł na państwa nakładające podatki cyfrowe na amerykańskie firmy technologiczne (New York Post, 2025). Działania te

122:88478

mają na celu ochronę amerykańskich interesów gospodarczych i bezpieczeństwa narodowego, choć mogą prowadzić do napięć handlowych z innymi krajami oraz potencjalnych retorsji ze strony Chin (Financial Times, 2025).

Podsumowując, strategia *Made in China 2025* kładzie silny nacisk na rozwój technologii 5G jako fundamentu cyfrowej transformacji kraju. Dzięki znacznemu wsparciu rządowemu i jasno określonym celom Chiny dążą do osiągnięcia pozycji lidera w dziedzinie zaawansowanych technologii na arenie międzynarodowej, zwłaszcza w kontekście globalnej rywalizacji technologicznej z USA.

3.8. Analiza narodowej strategii Chińskiej Republiki Ludowej: *China Standards 2035*

Strategia *China Standards 2035* została zainicjowana w marcu 2018 r. jako projekt badawczy prowadzony przez Chińską Akademię Inżynierii oraz Państwowy Komitet ds. Standaryzacji (SAC). Jej celem jest opracowanie krajowej strategii standaryzacji, która pozwoli Chinom na odgrywanie kluczowej roli w kształtowaniu międzynarodowych norm technologicznych do 2035 r. (Zhou, 2019, s. 14). Strategia ta koncentruje się na nowoczesnych technologiach, takich jak 5G, Internet Rzeczy *(IoT*) oraz sztuczna inteligencja (AI), dążąc do integracji tych technologii z różnymi sektorami gospodarki, w tym Przemysłem 4.0, inteligentnymi miastami, transportem i opieką zdrowotną (Li, 2020, s. 98).

Chiny postrzegają standaryzację jako narzędzie do wzmocnienia swojej pozycji na globalnym rynku technologicznym. Poprzez aktywny udział w międzynarodowych organizacjach normalizacyjnych, takich jak Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (*ISO*) czy Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna (*IEC*), dążą do promowania własnych standardów jako norm międzynarodowych (Wang, 2021, s. 56). Strategia „China Standards 2035" ma na celu nie tylko ustanowienie krajowych standardów, ale także ich globalne wdrożenie, co może przynieść korzyści chińskim przedsiębiorstwom poprzez redukcję opłat licencyjnych i zwiększenie efektywności w łańcuchu dostaw. Ponadto standaryzacja jest postrzegana jako sposób na zwiększenie innowacyjności oraz konkurencyjności chińskich firm na arenie międzynarodowej (Chen, 2022, s. 77).

Stany Zjednoczone, dostrzegając rosnącą rolę Chin w międzynarodowej standaryzacji, podjęły działania mające na celu wzmocnienie własnej pozycji w tym obszarze. W 2019 r. Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii (NIST) opublikował raport *US Leadership in AI: A Plan for Federal Engagement in Developing Technical Standards and Related Tools*, który rekomenduje aktywny udział USA w tworzeniu standardów dla nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja (Johnson, 2020, s. 34). Celem jest zapewnienie, że

123:82246

amerykańskie wartości i zasady, takie jak prywatność i bezpieczeństwo danych, będą uwzględniane w międzynarodowych normach. Ponadto USA współpracują z sojusznikami i partnerami, aby przeciwdziałać potencjalnie dyskryminacyjnym standardom promowanym przez inne państwa, w tym Chiny (Smith, 2021, s. 89).

Strategia *China Standards 2035* może przynieść szereg korzyści, takich jak wzmocnienie pozycji Chin na rynku globalnym poprzez ustanowienie ich standardów jako norm międzynarodowych, co może zwiększyć konkurencyjność chińskich produktów i usług. Może także prowadzić do redukcji zależności od zagranicznych technologii, zmniejszając potrzebę licencjonowania obcych rozwiązań i obniżając koszty dla chińskich przedsiębiorstw. Dzięki jasnym i spójnym standardom może także stymulować rozwój nowych technologii i produktów. Z drugiej strony, istnieją również poważne wyzwania związane z tą strategią. Możliwa fragmentacja rynków wynikająca z odmiennych standardów chińskich zwiększa ryzyko podziału rynków i utrudnień w handlu międzynarodowym. Agresywna promocja własnych standardów może prowadzić do napięć geopolitycznych, zwłaszcza z USA, które dążą do utrzymania swojej dominacji technologicznej. Poza tym inne państwa mogą być niechętne do przyjmowania chińskich standardów, jeśli będą je postrzegać jako narzędzie wpływów geopolitycznych (Zhang, 2023, s. 102).

China Standards 2035 odgrywa także kluczową rolę w zakresie cyberbezpieczeństwa. Chiny, dążąc do ustanowienia własnych standardów technologicznych uzyskają większy wpływ na kontrolowanie systemów kryptograficznych, protokołów komunikacyjnych oraz standardy w zakresie ochrony danych. Wprowadzenie chińskich norm w tych obszarach może wpłynąć na sposób zabezpieczania infrastruktur krytycznych oraz danych osobowych na całym świecie (Feng, 2023, s. 88). Z jednej strony prawdopodobnie doprowadzi to do zwiększenia bezpieczeństwa i spójności systemów cyfrowych w Chinach, lecz równocześnie będzie budzić obawy dotyczące potencjalnej ingerencji państwowej i dostępu do informacji przez chiński rząd w jeszcze większym stopniu niż dotychczas. Dla krajów zachodnich, szczególnie USA i państw Unii Europejskiej, jednym z kluczowych wyzwań jest przeciwdziałanie ryzyku uzależnienia ich systemów informatycznych od chińskich standardów i technologii, co stwarza zagrożenie dla ich suwerenności cyfrowej (Huang, 2023, s. 112).

Pierwszą fazę projektu *China Standards 2035* zakończono w styczniu 2020 r., a raport z badań został przedłożony Radzie Państwa (Liu, 2020, s. 45). W 2025 r. trwa druga faza, której celem jest opracowanie krajowej strategii standaryzacji. W październiku 2021 r. opublikowano „Krajowy Plan Rozwoju Standaryzacji", który wyznacza cele i kierunki działań w zakresie standaryzacji na najbliższe lata (Yang, 2022, s. 67). Chiny kontynuują aktywny udział w

124:11417

międzynarodowych organizacjach normalizacyjnych, dążąc do zwiększenia swojego wpływu na kształtowanie globalnych standardów technologicznych (Fang, 2023, s. 78).

3.9. Inicjatywa Clean Network

Rozwój technologii 5G stał się kluczowym punktem napięć geopolitycznych, zwłaszcza w kontekście oskarżeń dotyczących potencjalnego cyberszpiegostwa (Smith, 2020). Głównym przedmiotem kontrowersji jest wykorzystywanie przez firmy, takie jak Huawei i ZTE, sprzętu telekomunikacyjnego, który zawierać może tzw. *backdoor* (tylna furtka) umożliwiające nadzór ze strony rządu Chińskiej Republiki Ludowej (Johnson, 2019). Dodatkowo, chińskie przepisy, takie jak Ustawa o Cyberbezpieczeństwie (2017) oraz Ustawa o Kontrwywiadzie (2014), nakładają na firmy i obywateli obowiązek współpracy z państwowymi służbami wywiadowczymi, co zwiększa obawy dotyczące bezpieczeństwa narodowego w wielu krajach (Zhang, 2021). Państwa należące do sojuszu wywiadowczego Five Eyes (Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Kanada, Australia i Nowa Zelandia) jednogłośnie uznały sprzęt Huawei za poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa narodowego (Taylor, 2020). Niektóre z nich wprowadziły całkowite zakazy wykorzystywania sprzętu tej firmy w budowie sieci 5G (Peterson, 2020).

Tab. 2. Kraje i regiony stosujące restrykcje lub współpracę z Huawei w zakresie infrastruktury sieci 5G

Państwa, które zakazały korzystania na swoim terytorium z chińskiego sprzętu w odniesieniu do sieci 5G:	
Kraj	**Opis**
Stany Zjednoczone	Wprowadziły surowe restrykcje wobec Huawei i ZTE, blokując dostęp tych firm do amerykańskiego rynku oraz wpływając na decyzje sojuszników dotyczące stosowania chińskiego sprzętu (Smith, 2020).
Australia	Zablokowała Huawei i ZTE w ramach swojej infrastruktury sieci 5G, powołując się na obawy dotyczące ingerencji Chin w infrastrukturę krytyczną (Brown, 2021).
Wielka Brytania	Zdecydowała się na całkowite wycofanie chińskiego sprzętu z sieci 5G do 2027 r. (Miller, 2020).
Szwecja	Zakazała chińskiego sprzętu w budowie sieci 5G ze względów bezpieczeństwa (Anderson, 2020).

125:11333

Indie	Nałożyły ograniczenia na chińskie firmy telekomunikacyjne w kontekście napięć granicznych z Chinami (Singh, 2021).
Kanada	W 2022 r. oficjalnie dołączyła do państw wykluczających Huawei i ZTE ze swojej infrastruktury telekomunikacyjnej (White, 2022).
Niemcy	Podpisały umowę z krajowymi operatorami telekomunikacyjnymi, której celem jest eliminacja chińskich dostawców usług 5G z rynku. Pierwsze komponenty pochodzące z Chin zostaną wycofane w 2026 r., a cały proces ma zostać zakończony do końca 2029 r. (Reuters, 2024).

Państwa, które współpracują z przedsiębiorstwem Huawei odnośnie do kontraktów na dostawę sieci 5G:

Kraj/Region	Opis
Rosja	Otworzyła się na chińskie technologie 5G i podpisała strategiczne umowy z Huawei (Petrov, 2020).
Bliski Wschód (Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie)	Chiny są kluczowym dostawcą infrastruktury 5G w regionie (Al-Mansoori, 2021).
Afryka	Huawei i ZTE dominują w rozwoju infrastruktury telekomunikacyjnej na kontynencie (Kanu, 2020).
Filipiny	Huawei zapewnia sprzęt dla wielu lokalnych operatorów (Nguyen, 2021).
Pakistan	Korzysta z rozwiązań Huawei do rozwoju infrastruktury sieci 5G (Telecom Review, 2025).
Brazylia	Początkowo rozważała zakaz dla Huawei, ale ostatecznie zezwoliła chińskim firmom na udział w budowie sieci 5G (Oliveira, 2020).

Opracowanie własne

Źródło: Euronews, 2024; ChannelE2E, 2023; Statista, b.d.; Reuters, 2024; Cullen International, 2024; Xinhua, 2024; Huawei, 2024; Inter-American Dialogue, b.d.; WorldAtlas, 2020; CEPA, 2023

W odpowiedzi na rosnące obawy związane z chińskim sprzętem 5G rząd Stanów Zjednoczonych uruchomił inicjatywę *The Clean Network*, której celem było wyeliminowanie wpływu chińskich firm telekomunikacyjnych na infrastrukturę cyfrową sojuszników USA (Davis, 2020). Program ten ma na celu utworzenie „sojuszu demokracji i firm" opierających się na „wartościach demokratycznych" oraz ochronę danych użytkowników przed

126:41436

potencjalnymi zagrożeniami ze strony chińskich dostawców (Harrison, 2020). W grudniu 2020 r. Stany Zjednoczone ogłosiły, że zasady inicjatywy *The Clean Network* zostały publicznie poparte przez ponad 60 państw, odpowiadających za ponad dwie trzecie światowego PKB, oraz 200 firm telekomunikacyjnych (Baker, 2020). W skład tego sojuszu demokracji weszło 27 z 30 członków *NATO*, 26 z 27 krajów Unii Europejskiej, 31 z 37 państw należących do OECD oraz 11 z 12 krajów Trójmorza (US Department of State, 2020). Do inicjatywy przystąpiły również Japonia, Izrael, Australia, Korea Południowa, Singapur, Tajwan, Kanada, Nowa Zelandia, Wietnam i Indie (Thompson, 2020).

Huawei i ZTE, wspierane przez rząd Chin, w ciągu ostatnich lat stały się liderami w dostarczaniu sprzętu telekomunikacyjnego (Li, 2021). Huawei zdobyło przewagę nad konkurentami, takimi jak Ericsson i Nokia, nie tylko dzięki agresywnej strategii cenowej, ale także poprzez inwestycje, wspierane przez chiński rząd i państwowe instytucje finansowe (Wang, 2020). Dzięki temu firma mogła oferować swoje rozwiązania telekomunikacyjne po konkurencyjnych cenach, co czyniło jej produkty bardziej atrakcyjnymi dla operatorów na całym świecie (Liu, 2020). W efekcie Huawei stało się kluczowym graczem na globalnym rynku infrastruktury 5G, zdobywając kontrakty w Europie, Azji, Afryce i Ameryce Łacińskiej (Zhao, 2021).

Jednak oprócz sukcesu technologicznego i rynkowego, Huawei wielokrotnie znajdowało się w centrum kontrowersji związanych z cyberbezpieczeństwem oraz oskarżeniami o nieuczciwe praktyki biznesowe (Stewart, 2020). Zarzuty o kradzież własności intelektualnej pojawiały się już od początku ekspansji firmy na rynki zagraniczne (Zhang, 2020). Przykładem może być sytuacja z 2003 r., kiedy to Huawei zostało oskarżone przez amerykańskie przedsiębiorstwo informatyczne Cisco o kopiowanie kodu źródłowego ich oprogramowania do routerów sieciowych (Wang, 2004). Sprawa zakończyła się ugodą, ale podobne oskarżenia pojawiały się także w kolejnych latach (Miller, 2005).

W 2014 r. firma T-Mobile oskarżyła chińskiego giganta o kradzież technologii związanej z testowaniem smartfonów – jeden z pracowników Huawei miał bezprawnie pozyskać informacje dotyczące robota testowego „Tappy", który był wykorzystywany w amerykańskim laboratorium (Martin, 2014). W innym przypadku, amerykańskie władze oskarżyły Huawei o stworzenie wewnętrznego systemu motywacyjnego, który premiował pracowników za zdobywanie poufnych informacji od konkurencyjnych firm technologicznych (Williams, 2019). Program ten miał funkcjonować w ramach chińskiego oddziału firmy i oferować nagrody finansowe dla osób, które przekazywały dane o kluczowych technologiach i innowacjach rozwijanych przez zagraniczne przedsiębiorstwa (Thompson, 2020). Według

127:11458

dokumentów sądowych pracownicy byli zachęcani do aktywnego poszukiwania informacji poprzez różne metody, w tym kontaktowanie się z pracownikami konkurencji, analizowanie publicznie dostępnych, lecz technicznie skomplikowanych materiałów, a w niektórych przypadkach nawet podejmowanie prób infiltracji systemów informatycznych innych firm (Anderson, 2020). System ten miał stanowić część szerszej strategii Huawei polegającej na dynamicznym pozyskiwaniu nowoczesnych rozwiązań technologicznych, co pozwoliło firmie na szybki rozwój i zdobycie pozycji lidera na rynku telekomunikacyjnym (Liu, 2020). Sprawa ta stała się jednym z argumentów wykorzystywanych przez rządy państw zachodnich do uzasadnienia wprowadzenia ograniczeń wobec chińskiego giganta technologicznego (White, 2020).

3.10. Działalność chińskich jednostek wywiadowczych w cyberprzestrzeni

Jednostka 61398 Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej (występująca również pod nazwami: *APT1, Comment Crew, Comment Panda, GIF89a, Byzantine Candorto*) to jedna z najbardziej znanych formacji zajmujących się cyberoperacjami w Chinach. Uważana za kluczowy element strategii Pekinu w zakresie cyberbezpieczeństwa i wojny informacyjnej od lat stanowi przedmiot zainteresowania zachodnich agencji wywiadowczych, a zwłaszcza Stanów Zjednoczonych. Jednostka 61398 jest częścią Głównego Zarządu Rozpoznania (GZR) Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej, odpowiedzialnego za operacje wywiadowcze i cybernetyczne (Mandiant, 2013). Jej siedziba znajduje się w Szanghaju, w dzielnicy Pudong. Oficjalnie Chiny nie przyznają się do prowadzenia ofensywnych operacji cybernetycznych, jednak analiza przeprowadzona przez zachodnie firmy zajmujące się cyberbezpieczeństwem, takie jak Mandiant (obecnie FireEye), dostarczyła licznych dowodów łączących jednostkę 61398 z cyberatakami wymierzonymi w amerykańskie instytucje rządowe i korporacje (FireEye, 2014). Formacja ta zajmuje się szerokim spektrum cyberoperacji, od szpiegostwa przemysłowego po operacje dezinformacyjne. Jej główne metody działania obejmują ataki phishingowe polegające na podszywaniu się przez cyberprzestępcę pod zaufaną osobę lub instytucję w celu wyłudzenia poufnych informacji, takich jak dane logowania, dane osobowe czy informacje dotyczące karty kredytowej. Tego typu działania mogą również służyć do infekowania urządzeń szkodliwym oprogramowaniem lub w celu manipulowania ofiarą w taki sposób, aby skłonić ją do określonych działań (CrowdStrike, 2016). Metoda phishingu opiera się na technikach inżynierii społecznej. Jednostka wykorzystuje również malware i exploit kits, tj. instalowanie złośliwego oprogramowania, które umożliwia infiltrację sieci komputerowych. Zaś w celu destabilizacji infrastruktury krytycznej przeprowadza ataki typu DDoS (z ang.

128:10532

Distributed Denial of Service, rozproszona odmowa usługi). Jest to forma cyberzagrożenia, której celem jest zakłócenie lub całkowite uniemożliwienie funkcjonowania systemu komputerowego bądź usługi sieciowej (Symantec, 2017). Tego typu ataki realizuje się poprzez jednoczesne wykorzystanie wielu urządzeń, często kontrolowanych w sposób zdalny (tzw. komputery zombie), w celu zajęcia wszystkich dostępnych zasobów systemowych, co prowadzić może do przerwy w działaniu bądź zawieszenia systemu. Istnienie grupy APT1 zostało po raz pierwszy szczegółowo opisane na początku 2013 r. w raporcie opracowanym przez firmę Mandiant (obecnie znaną jako FireEye), specjalizującą się w kwestiach związanych z bezpieczeństwem teleinformatycznym, a także w artykule opublikowanym w „The New York Times" (Mandiant, 2013). Analiza przeprowadzona przez specjalistów Mandiant obejmowała badanie 141 powiązanych incydentów włamań komputerowych, które miały miejsce od 2004 r. Na podstawie zgromadzonych dowodów analitycy byli w stanie zidentyfikować prawdopodobne położenie odpowiedzialnej grupy cyberprzestępczej, zawężając ją do wąskiego obszaru w Szanghaju, w którym mieści się dwunastopiętrowy, strzeżony wieżowiec. Budynek ten stanowi siedzibę jednostki wojskowej 61398, której oficjalne przeznaczenie pozostaje tajne (FireEye, 2014). Niemniej jednak, w wyniku dalszych dochodzeń odkryto, że jednostka ta była odpowiedzialna za prowadzenie m.in. rekrutacji wśród absolwentów kierunków informatycznych na uniwersytetach Zhejiang i Jiaotong (China Digital Times, 2013). Z kolei raport NCIX (Evanina, 2011) wskazuje na liczne przypadki kradzieży tajemnic handlowych w USA przez osoby powiązane z Chinami. Przykłady obejmują m.in. pracowników firm Valspar, DuPont i Forda, którzy wykradali technologie farb, OLED czy dokumentację motoryzacyjną, aby wykorzystać je w Państwie Środka. Sprawa profesora Hao Zhanga, skazanego za szpiegostwo gospodarcze w związku z próbą przeniesienia do Chin technologii filtrów radiowych FBAR, stanowi jeden z najbardziej znanych przypadków tego rodzaju naruszeń. Równolegle Chiny oskarżały USA o cyberataki i ingerencję w sprawy wewnętrzne, co pokazuje skalę rywalizacji obydwu państw o dominację w cyberprzestrzeni.

W odpowiedzi na krytykę dotyczącą ograniczania wolności słowa w Internecie przez Chiny, USA w 2010 r. opublikowały raport zatytułowany *Internet Freedom and Double Standards* (Wolność w Internecie i podwójne standardy). Raport ten był odpowiedzią na słowa Hillary Clinton, ówczesnej sekretarz stanu USA, która krytykowała Chiny za ich politykę cenzurowania Internetu. W dokumencie podkreślono, że Stany Zjednoczone prowadzą tzw. cybernetyczną wojnę, której celem jest promowanie demokracji i wolnego dostępu do Internetu na całym świecie. W ramach tej strategii cyberprzestrzeń stała się przestrzenią, w której USA prowadzą ideologiczną walkę z państwami postrzeganymi jako niedemokratyczne. Takie

129:43366

działania należy traktować jako element amerykańskiej polityki zagranicznej, której celem jest promowanie wartości demokratycznych poprzez wykorzystanie nowoczesnych technologii. W raporcie wskazano na fakt, że w dobie Internetu polityka międzynarodowa wykracza już poza tradycyjne przestrzenie geograficzne, takie jak ląd czy powietrze, a także przestrzeń kosmiczną, i rozszerza się na cyberprzestrzeń. W tej koncepcji suwerenność narodowa nie ogranicza się jedynie do terytoriów fizycznych, ale obejmuje także granice informacji, a sama sieć staje się równie istotnym polem do walki o dominację międzynarodową, jak tradycyjne strefy geograficzne. W raporcie zwrócono też uwagę na szczególną rolę Stanów Zjednoczonych jako „miejsca narodzin" Internetu i jego aplikacji sieciowych. Jako mocarstwo, które w dużej mierze zdominowało rozwój globalnej infrastruktury internetowej, USA postrzegają cyberprzestrzeń jako jedno z najważniejszych narzędzi w realizacji swojej polityki zagranicznej. „Internetowa dyplomacja" stała się dla Stanów Zjednoczonych szczególnie istotnym elementem w dążeniu do realizacji swoich celów na arenie międzynarodowej, uznając cyberprzestrzeń za „pole bitwy", na którym realizowane są działania mające na celu promowanie amerykańskich wartości i interesów. W kontekście tego podejścia Stany Zjednoczone postrzegają cyberprzestrzeń jako najbardziej korzystne i użyteczne miejsce do prowadzenia rywalizacji z państwami, które są uznawane za mniej demokratyczne, jak np. Chiny czy Iran (Gerz, 2010).

Zewnętrzni analitycy, na podstawie zgromadzonych materiałów dotyczących grupy APT1, wysunęli przypuszczenie, że jednostka 61398 mogła być zaangażowana w działalność związaną z cyberprzestępczością już od co najmniej 2011 r. Przekonanie o powiązaniu grupy APT1 z tą jednostką wojskową zostało później potwierdzone przez specjalistów z innych firm zajmujących się bezpieczeństwem, takich jak CrowdStrike, którzy wskazali na możliwe związki APT1 z innymi jednostkami Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej operującymi w cyberprzestrzeni (Mandiant, 2013; CrowdStrike, 2014). W 2013 r. firma Mandiant opublikowała raport łączący jednostkę 61398 z wieloletnimi atakami na amerykańskie firmy z sektorów obronnego, technologicznego i energetycznego. W ramach prowadzonej operacji wykradziono setki terabajtów danych, w tym informacje na temat zaawansowanych technologii wojskowych. Operacja ShadyRAT (*Shady Remote Access Tool*) dotycząca działalności grup APT (*Advanced Persistent Threat*) uznawana jest za jedną z największych operacji cybernetycznych, jakie miały miejsce w pierwszej dekadzie XXI w. ShadyRAT, której początek datuje się na 2006 r., charakteryzowała się wykorzystaniem złośliwego oprogramowania typu RAT (*Remote Access Tool*), które umożliwiało atakującym uzyskanie zdalnego dostępu do systemów komputerowych ofiar i prowadzenie długotrwałych operacji wykradania informacji. Pomimo braku jednoznacznych dowodów analitycy bezpieczeństwa

130:64327

cybernetycznego powszechnie łączą tę działalność z chińskimi grupami hakerskimi, a w szczególności z jednostką wojskową 61398 Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej (ChALW), której przypisuje się realizację szeregu cyberataków o charakterze szpiegowskim. Operacja ShadyRAT została opisana w 2011 r. przez Dmitrija Alperovitcha, wiceprezesa ds. badań nad zagrożeniami w firmie McAfee, zajmującej się cyberbezpieczeństwem, i miała na celu infiltrację sieci komputerowych organizacji na całym świecie, w tym rządów, przedsiębiorstw, organizacji międzynarodowych, a także instytucji badawczych i uniwersytetów. Celem ataków było pozyskiwanie informacji wrażliwych o charakterze politycznym, wojskowym, gospodarczym i naukowym, które mogły być wykorzystywane do celów wywiadowczych oraz strategicznych przez władze Chińskiej Republiki Ludowej. W przeciągu kilku lat trwania operacji złośliwe oprogramowanie ShadyRAT było stosowane do uzyskania nieautoryzowanego dostępu do setek sieci komputerowych, co pozwalało atakującym na wykradanie danych z organizacji o globalnym zasięgu (Alperovitch, 2011). Zgodnie z raportami firmy Mandiant oraz późniejszymi analizami operacja wykazywała charakterystyczne cechy, które wskazywały na zaawansowaną, zorganizowaną i dobrze skoordynowaną działalność, typową dla działań prowadzących przez jednostki wojskowe lub rządowe (Mandiant, 2011). Przypuszcza się, że jednostka 61398 była bezpośrednio zaangażowana w realizację operacji ShadyRAT, co potwierdzałoby wcześniejsze analizy związane z innymi operacjami cyberprzestępczymi tej grupy. Złośliwe oprogramowanie wykorzystywane w ramach ShadyRAT było w stanie infekować różne platformy systemowe i przeprowadzać długoterminową infiltrację sieci, co wskazuje na zastosowanie strategii APT, mającej na celu utrzymanie trwałego dostępu do zaatakowanych systemów, umożliwiając atakującym zbieranie informacji przez długi czas bez wykrycia. Można zatem domniemywać, że działania jednostki 61398 w kontekście operacji ShadyRAT były częścią szerszej strategii cyberwywiadu Chin, której celem stało się pozyskiwanie strategicznych zasobów z różnych dziedzin, w tym nowych technologii, badań naukowych oraz analiz politycznych. Operacja ShadyRAT stanowiła zatem nie tylko przykład zaawansowanego cyberataku, ale także element większej kampanii cyberwywiadowczej, realizowanej przez jednostki wojskowe i służby wywiadowcze, które wykorzystują narzędzia cyfrowe do osiągania celów państwowych. Pomimo licznych prób zidentyfikowania bezpośrednich sprawców oraz ich powiązań z chińskim rządem władze Chin konsekwentnie zaprzeczały jakimkolwiek oskarżeniom o prowadzenie działań szpiegowskich w cyberprzestrzeni.

Akcja ShadyRAT składała się z dwóch operacji – Night Dragon i Aurora. Operacja Night Dragon była jednym z cyberataków o charakterze szpiegowskim, który rozpoczął się w połowie

131:75989

2006 r. Zidentyfikowano, że ataki w ramach Operacji Night Dragon dotknęły co najmniej 71 organizacji na całym świecie, obejmując m.in. kontrahentów wojskowych, przedsiębiorstwa międzynarodowe, Organizację Narodów Zjednoczonych oraz Międzynarodowy Komitet Olimpijski. Atak nie opierał się na pojedynczym elemencie ani określonej rodzinie złośliwego oprogramowania, lecz wykorzystywał wieloskładnikowe metody infiltracji. Pierwszy etap polegał na uzyskaniu początkowego dostępu do sieci ofiar, określanego jako „wyważenie drzwi wejściowych". W tym celu stosowano techniki spear-phishingu oraz wstrzykiwania kodu SQL do publicznych serwerów internetowych. Po uzyskaniu dostępu atakujący implementowali powszechnie dostępne narzędzia hakerskie na zainfekowanych serwerach, co umożliwiało im prowadzenie dalszej eksploracji wewnętrznej sieci ofiary. Następnie przeprowadzano penetrację sieci wewnętrznej, wykorzystując standardowe techniki, takie jak pozyskiwanie danych kont Active Directory oraz łamanie haseł użytkowników. Po uzyskaniu dostępu do systemów ofiary wdrażano trojany zdalnego dostępu (RAT), które umożliwiały długoterminową kontrolę nad zainfekowanymi urządzeniami. Ze względu na powiązania ataku z państwowym wsparciem hakerzy mieli do dyspozycji znaczne zasoby sprzętowe, programistyczne oraz logistyczne (Mandiant, 2011). Operacja Aurora stanowiła natomiast serię cyberataków przeprowadzonych przez grupy APT, w tym grupę Elderwood Group z siedzibą w Pekinie, powiązaną z Armią Ludowo-Wyzwoleńczą Chin. Po raz pierwszy informacje na temat tej operacji zostały upublicznione 12.01.2010 r. przez firmę Google, która stała się jedną z ofiar ataku. W oświadczeniu opublikowanym na swoim blogu Google ujawniło, że ataki rozpoczęły się w połowie 2009 r. i trwały do grudnia 2009 r. Były wymierzone w liczne organizacje, spośród których publicznie potwierdzono naruszenia w firmach takich jak Adobe Systems, Akamai Technologies, Juniper Networks oraz Rackspace. Według doniesień medialnych celem operacji stały się również m.in. Yahoo, Symantec, Northrop Grumman, Morgan Stanley oraz Dow Chemical. W następstwie ataku Google zapowiedziało, że planuje wprowadzenie w Chinach nieocenzurowanej wersji swojej wyszukiwarki, pozostając jednocześnie w zgodzie z obowiązującymi regulacjami prawnymi. Jednocześnie firma zaznaczyła, że jeśli realizacja tego założenia okaże się niemożliwa, rozważy całkowite wycofanie się z chińskiego rynku i zamknięcie swoich biur w tym kraju. Oficjalne źródła chińskie sugerowały natomiast, że stanowisko Google stanowiło element strategii politycznej opracowanej przez rząd Stanów Zjednoczonych (Google, 2010).

Terminem Operacja Aurora posłużył się Dmitrij Alperovitch, a analizy przeprowadzone przez McAfee Labs wykazały, że nazwa ta pochodziła z jednej ze ścieżek plików znajdujących się na komputerach atakujących. Pliki te były powiązane z dwoma binarnymi komponentami

132:12442

złośliwego oprogramowania użytego w ataku. George Kurtz, dyrektor ds. technologii w McAfee, wskazał, że „Aurora" mogła stanowić wewnętrzną nazwę nadaną operacji przez samych atakujących. Zgodnie z ustaleniami McAfee głównym celem ataku było uzyskanie dostępu do repozytoriów kodu źródłowego w zaatakowanych przedsiębiorstwach z branży high-tech, bezpieczeństwa i obronności, a także ich potencjalna modyfikacja. Alperovitch zwrócił uwagę, że repozytoria te pozostawały niewystarczająco zabezpieczone, pomimo ich kluczowego znaczenia dla firm. Podkreślił również, że zawarte w nich dane były znacznie cenniejsze niż informacje finansowe czy dane osobowe, które zazwyczaj podlegają szczególnej ochronie (Alperovitch, 2010).

W 2014 r. Departament Stanu Stanów Zjednoczonych wydał akt oskarżenia przeciwko pięciu obywatelom Chin, zarzucając im szpiegostwo komputerowe i wskazując na ich powiązania z jednostką 61398. W odpowiedzi władze Chińskiej Ludowej Republiki podważyły wiarygodność tych oskarżeń, zaprzeczając wszelkim związkom z cyberprzestępczością oraz działalnością szpiegowską. W tym samym roku odkryto publikacje naukowe dotyczące bezpieczeństwa komputerowego, które zostały podpisane przez pracowników jednostki 61398 we ścisłej współpracy z naukowcami z uniwersytetu Jiaotong. Stanowią one kolejny dowód na istnienie związku wspomnianej jednostki z działalnością cybernetyczną, w tym potencjalnie z włamywaniem się do systemów komputerowych na całym świecie. Jednostka 61398 była wielokrotnie łączona z cyberatakami na kluczowe amerykańskie firmy i instytucje rządowe, przypisuje się jej m.in. przeprowadzenie cyberataków na firmy amerykańskie, takie jak Westinghouse Electric w celu wykradania informacji dotyczących technologii jądrowych i energetycznych (U.S. Department of Justice, 2014). W latach 2010-2014 jednostka miała pozyskać dane dotyczące konstrukcji samolotów bojowych, takich jak F-35 i F-22, co miało pomóc w rozwoju chińskich myśliwców piątej generacji (Pentagon, 2015). Według niektórych źródeł grupa ta przeprowadzała również cyberataki na amerykańskie banki i instytucje finansowe dla potrzeb destabilizacji rynków oraz uzyskania dostępu do wrażliwych informacji ekonomicznych (NSA, 2016). Oprócz grupy APT1 istnieją inne jednostki realizujące cybernetyczne operacje Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej. Jedną z nich jest APT2 (jednostka 61486). Chociaż informacje na temat działalności tej jednostki są mniej dostępne, wiadomo, że jest zaangażowana w operacje cyberszpiegowskie, koncentrując się na kradzieży danych z sektorów technologicznych i wojskowych (Kaspersky Lab, 2018). Jej działania obejmowały zaawansowane techniki infiltracji sieci oraz unikania wykrycia. Z kolei APT3, znana również jako Buckeye, to chińska grupa cyberszpiegowska, która zyskała rozgłos dzięki wykorzystaniu narzędzi hakerskich przed ich publicznym ujawnieniem przez grupę Shadow

133:74790

Brokers. Grupa ta jest odpowiedzialna za liczne ataki na organizacje w różnych sektorach, w tym na przemysł lotniczy, obronny i technologiczny. APT3 stosuje zaawansowane techniki, takie jak wykorzystanie luk typu zero-day, aby uzyskać nieautoryzowany dostęp do systemów. Badania nad działalnością chińskich grup cybernetycznych wskazują, że niektóre z nich stanowią poważne zagrożenie zarówno dla procesów demokratycznych, jak i dla globalnego bezpieczeństwa (FireEye, 2018). Z kolei inna grupa – APT40 jest jedną z najbardziej aktywnych chińskich grup hakerskich, specjalizującą się w infiltracji instytucji związanych z badaniami morskimi, infrastrukturą krytyczną i obronnością w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Europie, na Bliskich Wschodzie i na Morzu Południowochińskim. Grupa ta prowadzi długoterminowe operacje szpiegowskie mające na celu kradzież danych związanych z technologiami wojskowymi i strategicznymi. 19.07.2021 r. Departament Sprawiedliwości Stanów Zjednoczonych (*DOJ*) opublikował akt oskarżenia przeciwko czterem członkom grupy APT40, zarzucając im prowadzenie nielegalnej działalności polegającej na eksploatacji sieci komputerowych. Operacje te miały być realizowane za pośrednictwem firmy przykrywkowej Hainan Xiandun Technology Development Company (U.S. Department of Justice, 2025). W marcu 2024 r. rząd Nowej Zelandii, wraz z agencją wywiadu, tj. Government Communications Security Bureau (*GCSB*), oficjalnie oskarżył rząd Chińskiej Republiki Ludowej o działania cybernetyczne prowadzone przez APT40, które miały skutkować naruszeniem zabezpieczeń sieci parlamentarnej Nowej Zelandii w 2021 r. (Corlett, 2024). Natomiast w lipcu 2024 r. Australia, Stany Zjednoczone, Wielka Brytania, Kanada, Nowa Zelandia, Niemcy, Korea Południowa i Japonia wydały wspólne ostrzeżenie dotyczące zagrożeń związanych z działalnością grupy APT40, podkreślając jej rolę w cyberoperacjach wymierzonych w infrastrukturę krytyczną oraz instytucje rządowe (Woollacott, 2024).

Operacje przeprowadzane przez chińskie gruby cybernetyczne obejmują również instytucje akademickie, sektor zdrowotny czy firmy biotechnologiczne. Grupa Hafnium wykorzystała luki w systemach informatycznych, takie jak podatności w Microsoft Exchange Server, do przeprowadzania szeroko zakrojonych kampanii cybernetycznych. Microsoft oficjalnie przypisał grupie Hafnium odpowiedzialność za naruszenie danych we wspomnianym oprogramowaniu w 2021 r., wskazując, że była to operacja sponsorowana przez państwo i prowadzona z terytorium Chińskiej Republiki Ludowej. Według analizy Microsoftu grupa ta posiada swoją siedzibę w Chinach, jednak do przeprowadzania cyberataków wykorzystuje głównie wirtualne serwery prywatne (VPS) zlokalizowane w Stanach Zjednoczonych. Celem ataków Hafnium były instytucje badawcze zajmujące się chorobami zakaźnymi, kancelarie prawne, uczelnie wyższe, podmioty realizujące zamówienia obronne, ośrodki analityczne oraz

134:13764

organizacje pozarządowe (Microsoft Threat Intelligence, 2021). W lipcu 2021 r. brytyjski minister spraw zagranicznych Dominic Raab oświadczył, że atak został przeprowadzony przez „chińskie grupy wspierane przez państwo" i powiązane z Ministerstwem Bezpieczeństwa Państwowego (MSS) Chin (UK Parliament, House of Commons, 2021). Rząd Chińskiej Republiki Ludowej stanowczo zaprzeczył tym oskarżeniom, odrzucając odpowiedzialność za incydent. Microsoft po raz pierwszy ujawnił działalność Hafnium 2.03.2021 r., przypisując grupie tę nazwę i opisując ją jako „wysoko wykwalifikowaną i wyrafinowaną" pod względem zdolności cybernetycznych (Burt, 2021). Ponadto Hafnium wykazuje ścisłe powiązania operacyjne z grupą APT40, co sugeruje ich potencjalną współpracę w zakresie działań cybernetycznych sponsorowanych przez państwo (Arun KL, 2025).

Z kolei pod koniec 2024 r. przedstawiciele rządu Stanów Zjednoczonych ogłosili, że hakerzy powiązani z grupą Salt Typhoon uzyskali nieautoryzowany dostęp do systemów komputerowych dziewięciu amerykańskich przedsiębiorstw telekomunikacyjnych. Wśród dotkniętych incydentem podmiotów znalazły się Verizon, AT&T, T-Mobile, Spectrum, Lumen, Consolidated Communications oraz Windstream. Celem cyberataku były kluczowe elementy amerykańskich sieci szerokopasmowych, w szczególności infrastruktura sieciowa obejmująca routery produkowane przez Cisco, które pełnią strategiczną rolę w globalnym przesyle danych (Ahmed, 2025). W październiku 2024 r. amerykańscy urzędnicy ujawnili, że grupa Salt Typhoon naruszyła systemy dostawców usług internetowych (ISP) wykorzystywane do realizacji żądań wynikających z Communications Assistance for Law Enforcement Act. Mechanizm ten jest stosowany przez organy ścigania i agencje wywiadowcze USA w celu przeprowadzania sądowo autoryzowanych działań inwigilacyjnych. Hakerzy byli w stanie uzyskać dostęp do metadanych połączeń i wiadomości tekstowych użytkowników, w tym znaczników czasowych, adresów IP źródłowych i docelowych oraz numerów telefonów ponad miliona osób. Zdecydowana większość poszkodowanych znajdowała się w obszarze metropolitalnym Waszyngtonu. W niektórych przypadkach napastnicy uzyskali dostęp do nagrań audio rozmów telefonicznych osób o wysokim statusie publicznym (Krouse, Volz i in., 2024). Z dostępnych informacji wynika, że wśród potencjalnych celów ataku znajdowali się członkowie sztabu kampanii prezydenckiej Kamali Harris na 2024 r., a także osoby posiadające powiązania z Donaldem Trumpem oraz JD Vance'em (Barrett, Swan, Haberman, 2024). Pierwsze oficjalne doniesienia o poważnym cyberataku na amerykańskie systemy telekomunikacyjne pojawiły się we wrześniu 2024 r. Śledztwo wykazało, że kampania cybernetyczna mogła trwać od jednego do dwóch lat przed jej wykryciem, a jej skutki dotknęły nie tylko Stany Zjednoczone, ale także kilkadziesiąt innych państw, w tym w Europie i regionie

135:99592

Indo-Pacyfiku. Według amerykańskich analityków operacja ta miała charakter strategicznego programu szpiegowskiego, realizowanego w imieniu rządu Chin, którego głównym celem było pozyskiwanie informacji na temat kluczowych urzędników państwowych oraz wrażliwej własności intelektualnej podmiotów korporacyjnych (Voltz, 2024).

Chińskie grupy APT, takie jak APT30/Naikon, Spamouflage czy APT31/Zirconium, prowadzą cyberataki wymierzone w instytucje rządowe, sektor technologiczny i politykę zagraniczną, stosując cyberszpiegostwo, dezinformację i wykradanie danych. Ich działania obejmują kampanie phishingowe, propagandę w mediach społecznościowych oraz zaawansowane narzędzia malware (Cohen, Itkin, 2021). Stanowią one poważne zagrożenie dla globalnego bezpieczeństwa, wpływając długofalowo na instytucje państwowe i przedsiębiorstwa.

3.11. Chińska podatność na zagraniczne wpływy w obszarze półprzewodników

Państwo Środka jest wciąż zależne od zagranicznych technologii w niektórych kluczowych obszarach, zwłaszcza mikroprocesorów. W październiku 2022 r. administracja prezydenta Joe Bidena wprowadziła szeroko zakrojone sankcje wymierzone w chiński sektor półprzewodników. Decyzja ta zapadła na krótko przed premierą ChatGPT i miała na celu ograniczenie eksportu zaawansowanego sprzętu technologicznego z kluczowych państw, w tym Stanów Zjednoczonych, Holandii oraz Japonii (Bureau of Industry and Security, U.S. Department of Commerce, 2022, s. 1-4). Restrykcje objęły urządzenia niezbędne do produkcji nowoczesnych mikroprocesorów, zwłaszcza tych w technologii poniżej 10 nanometrów, które odgrywają istotną rolę w rozwoju sztucznej inteligencji oraz innych przełomowych technologii. Ograniczenia te wynikają jednak nie tylko z obaw o rozwój sztucznej inteligencji. Zaawansowane półprzewodniki są bowiem nieodzownym elementem systemów wojskowych, w tym nowoczesnych systemów uzbrojenia oraz superkomputerów eksaskalowych, zdolnych do przetwarzania tryliona operacji na sekundę. Znajdują także zastosowanie w aplikacjach służących do nadzoru oraz mogą być wykorzystywane w systemach broni masowego rażenia. W związku z tym nałożone sankcje, oprócz wymiaru ekonomicznego, mają istotne znaczenie strategiczne i są bezpośrednio związane z kwestiami bezpieczeństwa narodowego Stanów Zjednoczonych (Benson, 2023). Głównym celem amerykańskiej polityki jest ograniczenie zdolności produkcyjnych Chin w zakresie wiodących technologii półprzewodnikowych. Niemniej jednak, pomimo podjętych działań, największy chiński producent półprzewodników SMIC osiągnął zdolność do masowej produkcji układów w technologii 7 nm, a do 2025 r. planuje wprowadzenie procesorów 5 nm. Kluczowym elementem chińskiej strategii w tym

136:90943

zakresie jest nawiązanie współpracy między Huawei a SMIC, co umożliwiło rozpoczęcie produkcji czipów przeznaczonych zarówno dla sektora smartfonów, jak i dla zastosowań związanych ze sztuczną inteligencją. Chiny rozwijają także własne superkomputery eksaskalowe, co wywołało dalsze działania ze strony amerykańskiej administracji poprzez ograniczenie eksportu kluczowych technologii, w tym zaawansowanych maszyn EUV (*Extreme Ultraviolet Lithography*) niezbędnych do produkcji mikroprocesorów poniżej 10 nm. Jednakże starsze generacje maszyn, takie jak DUV (*Deep Ultraviolet Lithography*), wciąż pozostają dostępne na chińskim rynku. Skutkiem tego jest rosnąca przewaga Pekinu w produkcji mikroprocesorów starszej generacji oraz nieoczekiwane postępy w rozwoju bardziej zaawansowanych technologii, takich jak 7 nm czy nawet 5 nm (Shilov, 2022). Chińskie przedsiębiorstwa skutecznie omijają nałożone przez Departament Handlu USA ograniczenia, wykorzystując luki prawne oraz tworząc tzw. spółki-wydmuszki (*shell companies*), które pozwalają na pozyskiwanie kluczowych technologii niezbędnych do produkcji zaawansowanych mikroprocesorów. Przykładem tego zjawiska jest procesor Ascend 910B, wyprodukowany przez Huawei na bazie czipów dostarczonych wcześniej przez tajwańskie TSMC (Wu, Olcott, 2025). Chiny dążą również do utrzymania współpracy z holenderskim gigantem ASML, który specjalizuje się w produkcji maszyn litograficznych. ASML, jedyny producent maszyn do litografii EUV (*Extreme Ultraviolet*), nie może sprzedawać ich do Chin z powodu ograniczeń eksportowych nałożonych przez USA (Grimes, Du, 2024). Większość projektowania i produkcji zaawansowanych chipów odbywa się z wykorzystaniem technologii firm amerykańskich, tj. NVIDIA, Intel, AMD oraz Qualcomm. Amerykańskie przesiębiorstwa dominują również w zakresie oprogramowania do projektowania układów scalonych (*EDA – Electronic Design Automation*), kontrolowanego przez Cadence, Synopsys i Siemens EDA (Yang, 2022). Chiny są największym na świecie importerem półprzewodników – w 2023 r. import ten wyniósł ponad 300 mld dolarów, a główne źródła dostaw to Tajwan (TSMC), Korea Południowa (Samsung, SK Hynix) oraz Stany Zjednoczone (Qualcomm, Intel). Huawei, jeden z chińskich liderów technologicznych, stracił dostęp do chipów od TSMC i Qualcomm, co zmusiło go do poszukiwania alternatywnych rozwiązań. Jednakże starsze generacje maszyn, takie jak DUV, nadal mogą być sprzedawane na tamtejszy rynek, co Chiny skrzętnie wykorzystują. Według danych Ośrodka Studiów Wschodnich, Chiny w 2023 r. sprowadziły z Holandii o 1850% maszyn litograficznych więcej w stosunku do 2022 r., co świadczy o skuteczności chińskiej strategii nadrabiania technologicznych ograniczeń wynikających z sankcji. Dzięki szerokiemu dostępowi do maszyn DUV Chiny są w stanie produkować procesory o wymiarze 7,5 nm, a nawet 3 nm. Należy jednak zauważyć, że im niższa litografia

137:30603

uzyskiwana przy pomocy starszych technologii, tym bardziej spada jakość produkcji i rosną jej koszty. Wpływa to negatywnie na konkurencyjność chińskiego sektora mikroprocesorowego względem firm amerykańskich, tajwańskich i południowokoreańskich. Pomimo restrykcji przychody ASML ze sprzedaży maszyn do Chin wyniosły 10 mld dolarów w 2024 r., co stanowi równowartość łącznych przychodów z tego rynku w latach 2018-2022 (Brokking, 2024). Oznacza to, że chińskie zapotrzebowanie na urządzenia litograficzne pozostaje na rekordowym poziomie, pomimo wysiłków Waszyngtonu mających na celu ograniczenie ekspansji technologicznej Pekinu i równocześnie pokazuje, że globalny rynek półprzewodników charakteryzuje się dużą elastycznością i zdolnością do adaptacji wobec barier regulacyjnych, co utrudnia skuteczne egzekwowanie sankcji.

3.12. Zielona transformacja Chin i jej ograniczenia

Szybka industrializacja doprowadziła do poważnych problemów ekologicznych, takich jak zanieczyszczenie powietrza, wody i gleby. W ramach ostatnich pięcioletnich planów Państwo Środka dąży do równoważenia wzrostu gospodarczego z ekologicznymi i społecznymi wyzwaniami. Zwiększono wysiłki na rzecz neutralności węglowej, rozwijając odnawialne źródła energii oraz zielone technologie. W 2023 r. Chiny zainstalowały ponad 300 GW nowych mocy w Odnawialne Źródła Energii (OZE), co stanowiło około 60% globalnego przyrostu w tym sektorze. Łączna zainstalowana moc z OZE w Chinach wyniosła na koniec 2023 r. niemal 1,5 TW, po raz pierwszy przewyższając moc z energetyki cieplnej. Z kolei 2024 r. sektor czystej energii przyczynił się do 10% chińskiego PKB, z łączną wartością sprzedaży i inwestycji wynoszącą 13,6 bln juanów. Znaczącą rolę odegrały tu energia słoneczna, pojazdy elektryczne oraz baterie, przy czym same pojazdy elektryczne i baterie stanowiły 39% wartości tego sektora. W 2024 r. Chiny jako największy emitent dwutlenku węgla na świecie osiągnęły redukcję intensywności jego emisji o 3,4% dzięki rekordowemu wzrostowi zdolności w zakresie energii odnawialnej. Jednakże było to poniżej zakładanego celu wynoszącego 3,9% na ten rok. Intensywność emisji CO_2, czyli ilość dwutlenku węgla produkowanego na jednostkę wzrostu gospodarczego, spadła o 8% w latach 2020-2024, co stawia pod znakiem zapytania osiągnięcie celu 18% redukcji w okresie 2021-2025. Pomimo znaczących inwestycji w OZE państwo nadal boryka się z wyzwaniami związanymi z uzależnieniem od paliw kopalnych, zwłaszcza węgla, co wskazuje na potrzebę dalszych działań w kierunku dekarbonizacji sektora energetycznego. Pełną niezależność od węgla planuje osiągnąć do 2060 r., jednak realizacja tego celu wymaga kontynuacji i intensyfikacji wysiłków na rzecz zielonej transformacji. Szczególne znaczenie mają tutaj intensywne inwestycje w technologie odnawialne, takie jak

138:86283

fotowoltaika i energia wiatrowa. Niemniej jednak ograniczenia technologiczne, w tym niewystarczające zdolności magazynowania energii oraz ograniczona efektywność sieci przesyłowych, utrudniają pełne wykorzystanie potencjału odnawialnych źródeł energii (Zhao i Li, 2022). Państwo Środka dominuje na globalnym rynku produkcji technologii odnawialnych, jednak jednocześnie zależne jest od importu niektórych kluczowych surowców, takich jak lit, nikiel i kobalt, wykorzystywanych w produkcji baterii do magazynowania energii (Xu i in., 2023). Niestabilność rynków surowcowych oraz napięcia geopolityczne, zwłaszcza w kontekście relacji z Zachodem, mogą utrudniać długoterminowe plany zielonej transformacji.

Dane z marca 2025 r. wskazują, że Chiny produkują ponad 60% samochodów elektrycznych na świecie oraz 80% baterii, które je napędzają, co jest wynikiem konsekwentnie realizowanej polityki wspierania elektromobilności oraz transformacji sektora transportowego w kierunku niskoemisyjnych rozwiązań (Shepherd, 2025). W ostatnich latach kraj ten znacząco zwiększył skalę produkcji pojazdów elektrycznych (EV), jak również rozwój infrastruktury ładowania, co przyczyniło się do stworzenia ekosystemu sprzyjającego masowej adopcji tych pojazdów. Zgodnie z danymi opublikowanymi przez China Association of Automobile Manufacturers (CAAM, 2023), w 2023 r. Chiny wyprodukowały ponad 6 mln samochodów elektrycznych, co stanowiło około 60% całkowitej globalnej produkcji. W tym samym okresie odnotowano wzrost sprzedaży pojazdów elektrycznych w Chinach o 55% w porównaniu do roku poprzedniego (CAAM, 2023). Jednym z kluczowych czynników przyspieszonej elektryfikacji transportu w Chinach jest silne wsparcie ze strony rządu, obejmujące szeroki wachlarz instrumentów politycznych, w tym subsydia oraz ulgi podatkowe, które istotnie obniżają koszt zakupu pojazdów elektrycznych (Zhang i in., 2024). Ponadto realizowane przez władze programy wspierające rozwój infrastruktury ładowania, zarówno w obszarach zurbanizowanych, jak i wzdłuż kluczowych korytarzy transportowych, przyczyniają się do ułatwienia codziennego użytkowania EV. W efekcie tych działań, według raportu International Energy Agency (IEA, 2023) w 2023 r. liczba publicznych stacji ładowania w Chinach przekroczyła 3,5 mln, co stanowi ponad połowę globalnej infrastruktury ładowania. Dynamika rozwoju sektora elektromobilności w Państwie Środka wynika również z aktywności rodzimych producentów pojazdów elektrycznych. Firmy takie jak BYD, NIO, XPeng czy Geely zdobyły pozycję liderów w skali międzynarodowej, napędzając innowacyjność oraz konkurencyjność chińskiej branży motoryzacyjnej (McKinsey & Company, 2024). Warto również podkreślić kluczową rolę Chin w globalnym łańcuchu dostaw akumulatorów do pojazdów elektrycznych. Firmy takie jak Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL) dominują na rynku baterii litowo-jonowych, co przyczynia się do redukcji kosztów

139:45171

produkcji oraz zwiększenia dostępności pojazdów elektrycznych dla szerszego grona konsumentów (BloombergNEF, 2024). Chiny nie ograniczają elektryfikacji transportu wyłącznie do sektora prywatnych pojazdów osobowych, lecz konsekwentnie inwestują w rozwój niskoemisyjnych środków transportu publicznego. W obliczu rosnących wyzwań związanych z jakością powietrza w miastach oraz zapotrzebowaniem na efektywne systemy transportowe władze lokalne wdrażają nowoczesne i ekologiczne rozwiązania (Wu, 2024). Jednym z najbardziej rozwiniętych obszarów jest segment elektrycznych autobusów miejskich, gdzie Chiny pozostają liderem na skalę globalną. Według International Council on Clean Transportation (ICCT, 2023), w 2023 r. na chińskich drogach funkcjonowało ponad 600 000 elektrycznych autobusów, co stanowi ponad 95% światowej floty tego typu pojazdów. Elektryczne autobusy są szeroko wykorzystywane zarówno w obszarach metropolitalnych, jak i na trasach międzymiastowych. Ich popularność wynika nie tylko z korzyści ekologicznych, lecz także z niskich kosztów eksploatacji, ograniczenia hałasu oraz efektywności energetycznej w porównaniu do konwencjonalnych autobusów spalinowych (IEA, 2023). Jednym z najbardziej zaawansowanych miast pod względem elektryfikacji transportu publicznego jest Shenzhen, gdzie cała flota autobusów miejskich składa się wyłącznie z pojazdów elektrycznych. Miasto to stanowi wzorzec dla innych metropolii w zakresie wdrażania nowoczesnych rozwiązań, w tym szybkich stacji ładowania oraz zaawansowanych systemów zarządzania flotą, co zapewnia optymalne wykorzystanie pojazdów (Chen, 2023). Rozwój ekologicznego transportu obejmuje także segment kolei miejskiej oraz podmiejskiej. Wiele chińskich miast, takich jak Pekin, Szanghaj czy Chengdu, inwestuje w niskoemisyjne systemy metra, które stanowią efektywną alternatywę dla transportu drogowego, przyczyniając się do redukcji emisji oraz zmniejszenia zatłoczenia ulic (IEA, 2024). Ponadto Chiny pozostają liderem w dziedzinie kolei dużych prędkości, która stanowi jeden z najczystszych środków transportu międzymiastowego, wykorzystując energię elektryczną, coraz częściej pochodzącą z odnawialnych źródeł (World Bank, 2024).

3.13. Globalne wpływy infrastrukturalne Chin w ramach inicjatywy *Jeden Pas, Jedna Droga*

Odnosząc się do rozwoju Chin podkreśla się znaczenie urbanizacji, modernizacji infrastruktury oraz wzmacniania międzynarodowej pozycji państwa poprzez inicjatywy takie jak *Jeden Pas, Jedna Droga* (*Belt and Road Initative, BRI*), której celem jest reaktywacja dawnego Jedwabnego Szlaku w postaci rozbudowy sieci infrastruktury łączącej Chiny z krajami Azji Środkowej, Bliskiego Wschodu, Afryki i Europy (Ambasada Chińskiej Republiki

140:10080

Ludowej w Polsce, 2024). Inicjatywa została przedstawiona jako strategiczny projekt ekonomiczny przez przewodniczącego ChRL Xi Jinpinga w 2013 r. (Summers, 2016). Jednym z kluczowych korytarzy jest połączenie między Chinami a Europą Zachodnią, które przebiega przez Rosję, Białoruś i Polskę. W Polsce głównymi terminalami kolejowymi są Warszawa, Łódź oraz Małaszewicze. Z kolei w Chinach transport towarowy realizowany jest z terminali takich jak Chongqing, Chengdu oraz Xi'an, które pełnią rolę punktów przeładunkowych, skąd towary są następnie kierowane do innych krajów Europy. Połączenie kolejowe między Chengdu a Łodzią jest jednym z kluczowych przykładów szybkich tras towarowych. Zostało uruchomione w 2013 r. i stanowi ważny element w transporcie towarów między Chinami a Europą Środkową i Wschodnią. Długość trasy wynosi około10 000 km, a czas transportu towarów to średnio 12-15 dni, co stanowi znaczne skrócenie czasu w porównaniu do transportu morskiego (który może trwać nawet do 45 dni). Istotnym punktem przeładunkowym oraz miejscem kontroli celno-granicznej jest terminal przeładunkowy w Małaszewiczach. W 2024 r. ruch przez Małaszewicze osiągnął rekordowe poziomy. W pierwszym półroczu przez ten węzeł przetransportowano 193 490 TEU, co stanowi wzrost o 77% w porównaniu do analogicznego okresu roku poprzedniego, kiedy przewieziono 109 086 TEU. Porównując z wynikami z pierwszego półrocza 2022 r., kiedy przez Małaszewicze przeszło 165 772 TEU, obecny wynik wykazuje wyraźny wzrost. Przewozy znacząco przewyższają te z 2021 r., kiedy skutki pandemii COVID-19 oraz zatory na trasach kolejowych prowadziły do poważnych opóźnień w transporcie. W zakresie masy przewiezionych towarów Małaszewicze również odnotowały znaczące osiągnięcia. W pierwszej połowie 2024 r. przez ten węzeł przetransportowano około 1,2 mln ton ładunków, co stanowi najwyższy wynik od czterech lat. Jest to wynik nieznacznie wyższy niż w latach 2021 i 2022, ale prawie dwukrotnie większy niż w pierwszym półroczu 2023 r. (Kaźmierczak, 2024). Z danych opublikowanych przez China Railway Container Transport wynika, że przewozy kontenerów z Chin do Europy w okresie styczeń-wrzesień 2024 r. osiągnęły łączny poziom 1,57 mln TEU. Powyższe dane uwzględniają również przewozy z Chin do Rosji, które od początku rosyjskiej inwazji na Ukrainę wykazują wyraźny wzrost (Kobryński, 2025). Połączenie przez Polskę umożliwia łatwy dostęp do rynków Europy Środkowo-Wschodniej, Niemiec oraz innych krajów Unii Europejskiej. Innym znaczącym połączeniem kolejowym jest trasa między Xi'an (Chiny) a Duisburgiem (Niemcy). Ta linia, uruchomiona w 2011 r., stanowi jedno z głównych połączeń kolejowych między Chinami a Europą Zachodnią. Trasa liczy około 11 000 km i jest jednym z najbardziej znanych przykładów efektywnego transportu towarów w ramach *Pasa i Szlaku*. Podobnie jak trasa Chengdu-Łódź, czas transportu wynosi około 12-15 dni. Duisburg jest jednym z głównych

141:12681

europejskich centrów logistycznych, co sprawia, że stanowi kluczowy punkt przesiadkowy dla towarów z Azji do Europy. Istotną częścią szlaku transportowego jest także modernizacja infrastruktury kolejowej i drogowej w Azji Środkowej, zwłaszcza w Kazachstanie, Uzbekistanie i innych krajach regionu. Współpraca z innymi krajami w tym regionie, takimi jak Turkmenistan, Kirgistan czy Tadżykistan, również ma znaczenie dla realizacji strategii *Pasa i Szlaku*. Inwestują one w modernizację swoich infrastrukturalnych zasobów, aby ułatwić przepływ towarów w kierunku Europy i Chin, co tworzy sprawniejszy system logistyczny, skracając czas dostawy towarów i redukując koszty transportu.

W 2024 r. chińska inicjatywa *Jeden Pas, Jedna Droga* osiągnęła wartość około 92,4 mld dolarów amerykańskich. Zgodnie z wstępnymi danymi, Chiny zainwestowały te środki w różnorodne projekty w 149 krajach biorących w niej udział. Najważniejsze realizowane projekty to m.in. Chińsko-Pakistański Korytarz Gospodarczy (CPEC), który stanowi kluczową część chińskiej strategii. Projekt ten, łączący port Gwadar w Pakistanie z chińskim regionem Xinjiang, obejmuje szeroki zakres inwestycji w infrastrukturę, w tym autostrady, linie kolejowe oraz projekty energetyczne. Całkowity koszt projektu przekracza 62 mld dolarów, co czyni go największą inwestycją Chin w ramach wspomnianej inicjatywy (Zhang, 2024). Innym istotnym projektem dotyczącym *BRI* jest East Coast Rail Link (ECRL**)** w Malezji. Projekt ten ma na celu połączenie wschodniego i zachodniego wybrzeża Półwyspu Malajskiego, szczególnie w kontekście regionu Azji Południowo-Wschodniej (Li i Wang, 2024). Kolej standardowa Mombasa-Nairobi (SGR) w Kenii, zbudowana w ramach *BRI*, to linia kolejowa łącząca miasto portowe Mombasa z Nairobi, której celem jest usprawnienie transportu towarów i pasażerów, co przyczynić się ma do rozwoju gospodarczego Kenii oraz poprawy efektywności transportowej w regionie (Khan, 2024). W 2024 r. port Pireus w Grecji, zarządzany przez firmę COSCO Shipping Ports, stał się kluczowym węzłem handlowym między Europą a Azją. Port ten jest częścią szerszej chińskiej strategii umacniania swojej pozycji na rynku europejskim (Zhao, 2024). Kolejnym strategicznym projektem realizowanym przez Chiny jest Projekt Jamał LNG w Rosji, który koncentruje się na rozwoju obiektów produkcji skroplonego gazu ziemnego w rosyjskiej Arktyce. Inwestycje te mają na celu zapewnienie stabilności dostaw energetycznych do Chin i innych krajów (Chen, 2024). Ponadto w ramach *BRI* realizowany jest projekt Bramy Khorgos w Kazachstanie, który jest jednym z najważniejszych węzłów logistycznych łączących Chiny i Europę, usprawniając wymianę towarową pomiędzy tymi regionami (Li, 2024). W 2024 r. Chiny uruchomiły także mega-port Chancay w Peru. Terminal ten, usytuowany około 60 kilometrów na północ od Limy, ma na celu zwiększenie wymiany handlowej między Ameryką Południową a regionem Azji i Pacyfiku. Projekt, który jest częścią

142:10983

Inicjatywy Pasa i Szlaku, został opracowany przez COSCO Shipping Ports oraz peruwiańskie przedsiębiorstwo Volcan, a jego całkowita wartość wynosi około 3,5 mld dolarów. Oczekuje się, że port Chancay przyczyni się do wzrostu gospodarczego regionu, mimo że lokalni mieszkańcy wyrazili obawy dotyczące jego wpływu na środowisko i brak lokalnych możliwości zatrudnienia (Gao i Wu, 2024). Chińska strategia w 2024 r. obejmowała także dalsze inwestycje na kontynencie afrykańskim. Chiny zainwestowały znaczne środki w budowę i modernizację ponad 10 000 kilometrów linii kolejowych, 100 000 kilometrów autostrad oraz wielu mostów i portów. Wśród najistotniejszych projektów znajdują się Standard Gauge Railway w Kenii oraz Mambilla Hydroelectric Plant w Nigerii, które są częścią chińskiego dążenia do wspierania infrastruktury transportowej i energetycznej w Afryce (Yang, 2024). Chińska obecność w Afryce obejmowała także rozwój projektów związanych z zielonym rozwojem, takich jak budowa elektrowni wodnej Kariba w Zimbabwe oraz budowa infrastruktury cyfrowej, w tym sieci łączności szkieletowej (tj. podstawowej struktury infrastrukturalnej, która zapewnia kluczowe połączenia komunikacyjne, energetyczne, cyfrowe lub transportowe w danym regionie lub kraju) o długości 150 tys. kilometrów w celu poprawy łączności cyfrowej na całym kontynencie (Huang i Zhang, 2024). Istotnym elementem *BRI* jest także gazociąg Chiny – Azja Środkowa, który umożliwia transport gazu ziemnego z Turkmenistanu do Szanghaju, wspierając dywersyfikację źródeł energii Państwa Środka oraz wzmacniając jego bezpieczeństwo energetyczne. Gazociąg, składający się z do tej pory z trzech nitek (czwarta, zwana „linią D" miała zostać ukończona do 2014 r.), transportuje miliardy metrów sześciennych gazu rocznie, a plany rozbudowy zakładają dalsze zwiększenie jego przepustowości (Overland, 2016).

W odpowiedzi na rozwój chińskiej inicjatywy *BRI* Stany Zjednoczone, jako główny promotor, we współpracy z pozostałymi państwami G7, uruchomiły w 2021 r. inicjatywę *Build Back Better World* (G7 Research Group, 2021), której celem było mobilizowanie inwestycji w infrastrukturę w krajach rozwijających się. Do 2024 r. USA zainwestowały w jej ramach około 60 mld dolarów, co stanowiło część ogólnego celu G7, zakładającego mobilizację 600 mld dolarów do 2027 r. (The White House, 2024). Ta inwestycja miała na celu zarówno równoważenie wpływów Chin, jak i wspieranie zrównoważonego rozwoju, szczególnie w obszarze energii odnawialnej, infrastruktury cyfrowej i sieci transportowych. Jeden z najważniejszych projektów realizowanych przez Stany Zjednoczone to inicjatywa Power Africa, która ma na celu podwojenie dostępu do energii elektrycznej w Afryce Subsaharyjskiej (The White House, 2015) . Program ten, uruchomiony w 2013 r., otrzymał wsparcie finansowe w wysokości ponad 7 mld dolarów z funduszy rządowych, przy czym dodatkowe 54 mld

143:11833

dolarów pochodziły ze zobowiązań sektora prywatnego. Inwestycje amerykańskie koncentrują się na rozwoju odnawialnych źródeł energii, poprawie efektywności energetycznej oraz rozbudowie infrastruktury energetycznej na całym kontynencie afrykańskim (Smith, 2024). Jednym z kluczowych projektów infrastrukturalnych w Stanach Zjednoczonych jest budowa Gordie Howe International Bridge, który połączy Detroit w stanie Michigan z Windsor w Ontario w Kanadzie. Most, którego szacunkowy koszt wynosi 4,5 mld dolarów, po ukończeniu będzie najdłuższym mostem wantowym w Ameryce Północnej i znacząco usprawni transgraniczne podróże oraz handel (Jackson, 2024). Inny godny uwagi projekt to Southeast Connector w rejonie Dallas-Fort Worth, który ma na celu usprawnienie transportu poprzez poszerzenie kluczowych autostrad, aby zredukować korki i usprawnić przepływ towarów (Adams i Robinson, 2024).

Z perspektywy rywalizacji międzynarodowej inwestycje Chin w strategiczne projekty infrastrukturalne na całym świecie stanowią element długofalowej strategii mającej na celu wzmocnienie pozycji Chin na globalnej arenie gospodarczej. Chińska *Inicjatywa Pasa i Szlaku* stanowi odpowiedź na rosnące wpływy Stanów Zjednoczonych i innych światowych aktorów, którzy wciąż posiadają istotne zasoby finansowe i technologiczne. Rywalizacja ta, szczególnie w kontekście Afryki i Azji, gdzie obie strony inwestują w rozwój infrastruktury, pozostaje jednym z kluczowych elementów globalnej dynamiki geopolitycznej (Zhou i Chen, 2024). Warto również zauważyć, że Chiny poprzez kontrolowanie strategicznych węzłów handlowych, takich jak porty w Grecji, umacniają swoją pozycję w międzynarodowym handlu morskim. Jednak niektóre państwa, które skorzystały z chińskich kredytów na realizację projektów infrastrukturalnych, borykają się z problemami finansowymi, co prowadzi do obaw o ich zadłużenie wobec Chin. Przykładem jest Panama, która po rozmowach z USA zdecydowała się wycofać z inicjatywy *Pasa i Szlaku* (Money, 2025). W tym kontekście istotny element stanowi wojna handlowa pomiędzy Chinami a Stanami Zjednoczonymi, zapoczątkowana w 2018 r. i będąca jednym z kluczowych wydarzeń na globalnych rynkach finansowych w przeciągu ostatnich lat. W wyniku narastających napięć związanych z nierównowagą handlową, praktykami gospodarczymi Chin oraz zarzutami o kradzież własności intelektualnej, obydwa państwa podjęły szereg działań odwetowych, nakładając wzajemnie cła na swoje towary. Konflikt ten wywołał poważne konsekwencje dla globalnych łańcuchów dostaw, jak również dla stosunków gospodarczych i politycznych między mocarstwami. Choć pewne oznaki deeskalacji były widoczne po podpisaniu porozumienia handlowego w 2020 r., w 2025 r. wojna handlowa została wznowiona, a rywalizacja o dominację gospodarczą na świecie stała się jeszcze bardziej intensywna.

144:84172

W pierwszych dwóch miesiącach 2025 r. prezydent USA Donald Trump zdecydował się na nałożenie dodatkowych 10% ceł na chińskie towary, uzasadniając tę decyzję brakiem wystarczających działań ze strony Pekinu w celu zatrzymania nielegalnego przepływu fentanylu, substancji niebezpiecznej dla zdrowia publicznego (The White House, 2025). Tym samym Stany Zjednoczone zachowują ciągłość polityki handlowej wobec Chin, zapoczątkowanej w czasie prezydentury Donalda Trumpa i kontynuowanej przez administrację Joe Bidena, uznając działania Pekinu za niekorzystne dla własnej gospodarki. Z jednej strony Chiny starają się wykorzystać zasoby finansowe do umocnienia swojej pozycji na świecie, koncentrując się na zabezpieczeniu sojuszników poprzez inwestycje w rozwój infrastruktury, zwłaszcza w regionach strategicznych. *Inicjatywa Pasa i Szlaku* jako centralny element chińskiej polityki zagranicznej, umożliwia Pekinowi nawiązywanie nowych relacji gospodarczych z krajami rozwijającymi się, które zyskują dostęp do infrastruktury i kapitału, ale równocześnie stają się zależne od chińskich inwestycji (Lawder, Ljunggren, Madry, 2025). Z kolei, w odpowiedzi na działania Chin, Stany Zjednoczone pod rządami Donalda Trumpa podjęły decyzję o ograniczeniu wsparcia dla swoich tradycyjnych sojuszników w ramach klasycznych mechanizmów pomocy rozwojowej. Agencja Stanów Zjednoczonych ds. Rozwoju Międzynarodowego (USAID), która przez dekady odgrywała kluczową rolę we wspieraniu infrastruktury i rozwoju gospodarczego w krajach rozwijających się, staje się mniej istotnym narzędziem polityki amerykańskiej w porównaniu do wcześniejszych lat (Knickmeyer, Lee, Sherman, 2025).

3.14. Rozwój chińskiego programu kosmicznego od lat 50. XX w.

Chiński program kosmiczny został zapoczątkowany w 1956 r., początkowo przy wsparciu ZSRR. Jednakże po rozłamie radziecko-chińskim w 1960 r., Chiny były zmuszone kontynuować rozwój swojego programu kosmicznego niezależnie, co miało fundamentalne znaczenie dla późniejszych postępów w tej dziedzinie. W 1956 r., Qian Xuesen, naukowiec deportowany z USA po oskarżeniu o komunistyczne powiązania w okresie mccartyzmu, stał się jednym z głównych twórców chińskiego programu balistycznego i kosmicznego. Po powrocie do Chin objął stanowisko dyrektora programu kosmicznego, co oznaczało początek chińskiego rozwoju technologii rakietowych i astronautycznych. W ramach realizacji projektu 581, uruchomionego 1.03.1956 r., Chiny zaplanowały pierwszą misję umieszczenia satelity na orbicie do 1959 r. Początkowo współpraca z ZSRR miała na celu technologiczne wsparcie tego przedsięwzięcia, jednak po zerwaniu stosunków między obydwoma państwami w 1960 r., Chiny kontynuowały projekt samodzielnie (Zhang, 2006). Na skutek tego rozłamu Chiny

145:67502

zaczęły rozwijać własne technologie rakietowe, które miały stanowić fundament dla dalszego rozwoju programów kosmicznych, takich jak testy rakiety balistycznej DF-2, które stały się podstawą do budowy rakiety nośnej Chang Zheng (CZ – Długi Marsz). Pierwsze lata chińskiego programu kosmicznego były pełne trudności, w tym nieudanych prób wystrzelenia pocisku balistycznego Dongfeng 2 w 1962 r. Dopiero w 1964 r., po udanych testach pocisku DF-2A, Chiny zrealizowały swój pierwszy test jądrowy, co stanowiło punkt zwrotny w ich ambicjach wojskowych i kosmicznych. Z technologii rakietowej opracowanej w ramach programu Dongfeng wywodzą się wspomniane wyżej rakiety nośne Chang Zheng, które odegrały kluczową rolę w dalszym rozwoju chińskiego programu kosmicznego (Li, 2010). Rakieta Chang Zheng 1, wyniesiona w 1970 r., stała się podstawą dla rozwoju chińskiego przemysłu kosmicznego i była używana do wystrzelenia satelitów, zarówno chińskich, jak i zagranicznych, w ramach umów komercyjnych z krajami takimi jak Japonia, Belgia, i Niemcy. W 1970 r. Chiny wystrzeliły na orbitę swojego pierwszego satelitę – Dong Fang Hong 1 – za pomocą rakiety nośnej Chang Zheng-1. To wydarzenie umocniło status Chin jako piątego mocarstwa kosmicznego, obok ZSRR, Stanów Zjednoczonych, Francji i Japonii. Z kolei rozwój rakiet nośnych Chang Zheng umożliwił Chinom prowadzenie misji komercyjnych (Wu, 2012). Był to także okres, w którym Chiny stopniowo uniezależniały się od zewnętrznych dostawców technologii, stając się jednym z ważniejszych graczy w przestrzeni kosmicznej. W 1992 r. Chiny rozpoczęły realizację programu 921-1, który stał się fundamentem chińskich załogowych lotów kosmicznych. Program ten, mimo początkowych wątpliwości co do zasadności inwestowania w kosmiczne technologie, w 2003 r. zaowocował pierwszym lotem załogowym. Shenzhou 5, z astronautą Yang Liweiem na pokładzie, wyniósł Chiny do grona trzech państw, które z powodzeniem wysłały człowieka w przestrzeń kosmiczną, obok USA i Rosji (Zhao, 2004). Misja ta była jednak tylko pierwszym etapem chińskiego programu załogowych lotów kosmicznych. Kolejne misje, takie jak Shenzhou 6 (2005) i Shenzhou 7 (2008), były coraz bardziej zaawansowane, a ich celem stała się poprawa zdolności Chin do przeprowadzania skomplikowanych operacji kosmicznych, w tym spacerów kosmicznych.

Wraz z realizacją programów Shenzhou Chiny rozpoczęły także rozwój stałej załogowej stacji kosmicznej w ramach projektu 921-2. W 2011 r. rozpoczęły się eksperymenty z modułami Tiangong, które stanowiły pierwszy krok w kierunku budowy chińskiej stacji kosmicznej. Po kilku latach testów i udanych misjach moduł główny chińskiej stacji kosmicznej Tiangong, Tianhe („Harmonia Niebios”), został wyniesiony na orbitę 29.04.2021 r., stanowiąc podstawę dla dalszej rozbudowy stacji (Jones, 2021). W kolejnych miesiącach zrealizowano szereg misji załogowych oraz bezzałogowych, mających na celu zarówno testowanie systemów

146:24787

stacji, jak i jej dalszą rozbudowę (Wu, 2022). W ramach tych działań dodano dwa moduły laboratoryjne: Wentian („Poszukiwanie Niebios"), wystrzelony 24.07.2022 r., oraz Mengtian („Marzenie o Niebiosach"), którego start odbył się 31.10.2022 r. (Zhao, 2022).

Stacja Tiangong planowana jako część długoterminowej strategii Chin w kosmosie, ma stanowić centralny element chińskiego programu załogowego, umożliwiając dalsze badania nad zdrowiem astronautów oraz eksperymenty technologiczne dotyczące długoterminowego pobytu w przestrzeni kosmicznej. Rozwój chińskiego programu kosmicznego nie ograniczał się jednak wyłącznie do załogowych lotów kosmicznych. Chiny zainwestowały także w bezzałogową eksplorację innych ciał niebieskich, w tym Księżyca i Marsa. Program Chang'e, który rozpoczął się w 2003 r., zakładał realizację kilku misji bezzałogowych sond, w tym wysłanie sondy Chang'e 1 w 2007 r. oraz Chang'e 2 w 2010 r., które miały na celu dokładne zbadanie powierzchni Księżyca. Jednym z najważniejszych osiągnięć w ramach programu Chang'e było lądowanie w 2013 r. lądownika Chang'e 3 z łazikiem Yutu. W 2019 r. z kolei misja Chang'e 4, która jako pierwsza w historii dotarła na niewidoczną z Ziemi stronę Księżyca, stanowiła kolejne przełomowe osiągnięcie chińskiej eksploracji kosmicznej (Zhou, 2019). Misje Chang'e miały również na celu dostarczenie próbek gruntu księżycowego na Ziemię, co stanowiło kolejny krok w kierunku zaawansowanej technologii eksploracji kosmosu. Chiny nie poprzestały jednak na wyłącznie księżycowych ambicjach. Program Marsjański, ogłoszony przez Chińską Agencję Kosmiczną (CNSA) w 2006 r., miał na celu głębszą eksplorację przestrzeni kosmicznej, a w szczególności Marsa. Program ten rozpoczął się od misji Yinghuo-1 w 2011 r., która jednak zakończyła się niepowodzeniem wskutek awarii. Mimo tej porażki Chiny nie zrezygnowały z planów eksploracji Marsa, a w 2021 r. misja Tianwen-1 zakończyła się sukcesem poprzez lądowanie na powierzchni Marsa łazika Zhurong (Liu, 2021). To wydarzenie oznaczało dla Chin triumf technologiczny i strategiczny, jako że stały się one pierwszym państwem, które wykonało całą misję eksploracyjną Marsa w ramach jednej, złożonej operacji. Tianwen-1 była dowodem na rosnącą zdolność Chin do prowadzenia złożonych i długoterminowych misji w przestrzeni kosmicznej.

Państwo Środka, w dążeniu do osiągnięcia pełnej niezależności w zakresie technologii kosmicznych, planuje dalszy rozwój swoich programów. Zaawansowane technologie rakietowe oraz stacja kosmiczna Tiangong stanowią kluczowy element strategii w zakresie kosmicznej rywalizacji, której celem jest zdobycie statusu globalnej potęgi kosmicznej do 2050 r. Ambicje Chin w tej dziedzinie, ukierunkowane na osiągnięcie przełomowych osiągnięć, obejmują również misje na Księżyc, Marsa oraz dalsze eksplorowanie głębokiego kosmosu, a ich realizacja ma na celu umocnienie pozycji Chin na arenie międzynarodowej (Wang, 2020). Na

147:75413

początku października 2024 r. przedstawiciele Chińskiej Akademii Nauk (CAS), Krajowej Administracji ds. Kosmosu (CNSA) oraz Biura Inżynierii Lotów Kosmicznych Chin (CMSEO) zaprezentowali „Krajowy średnio- i długoterminowy plan rozwoju nauki o kosmosie (2024-2050)". Dokument ten stanowi fundament do określania kluczowych celów i zadań w ramach przyszłych misji kosmicznych oraz badań naukowych, zarówno w perspektywie krótkoterminowej, jak i średnioterminowej. W kontekście ambitnych dążeń Chin do osiągnięcia statusu światowej potęgi kosmicznej do roku 2050, plan ten jest kolejnym etapem rozwoju ich programu kosmicznego, który rozpoczął się wiele lat temu. Od chwili powstania pierwszych misji kosmicznych Chiny nieprzerwanie rozwijają swoje zdolności w dziedzinie badań kosmicznych, jak również umacniają swoją obecność na arenie międzynarodowej (National Space Science Center, 2024). W ramach planu wyznaczyły szereg głównych celów w zakresie rozwoju nauk kosmicznych. Priorytetowe zadania obejmują m.in. systematyczne planowanie i wdrażanie krajowych misji naukowo-kosmicznych, koordynowanie i wzmacnianie podstawowych badań opartych na misjach, pozyskiwanie utalentowanych naukowców zajmujących się nauką o kosmosie, a także stałe osiąganie znaczących oryginalnych przełomów naukowych o dużym wpływie międzynarodowym. Kluczowe będzie również zapewnienie wysokiej jakości rozwoju w nauce o kosmosie, napędzanie innowacji w technologiach kosmicznych i promowanie modernizacji zastosowań kosmicznych, aby państwo mogło dołączyć do czołówki światowych potęg w tej dziedzinie. W dłuższej perspektywie Chiny zamierzają osiągnąć międzynarodowy wpływ poprzez systematyczne osiąganie wyników o znaczącej wartości naukowej. Dążenie do uzyskania statusu lidera w dziedzinie nauki o kosmosie jest centralnym celem planu, który ma zapewnić im miejsce w czołówce międzynarodowych liderów w tej dziedzinie. Dokument wskazuje na pięć kluczowych tematów badawczych, w ramach których Chiny planują uzyskać przełomowe osiągnięcia. Pierwsze z nich to badanie „Głębokiego Wszechświata", którego celem jest zgłębienie pochodzenia i ewolucji wszechświata oraz odkrycie fundamentalnych praw fizycznych rządzących kosmosem. Kolejnym tematem jest badanie „Zjawisk w przestrzeni i czasie", z naciskiem na detekcję fal grawitacyjnych oraz odkrywanie natury grawitacji i czasoprzestrzeni. Chiny stawiają także na badania związane z „Panoramą Słońce-Ziemia", które mają na celu poznanie procesów fizycznych zachodzących pomiędzy Ziemią, Słońcem i heliosferą. Badania nad „Planetami nadającymi się do zamieszkania" koncentrują się na poszukiwaniach egzoplanet i możliwości zamieszkania na planetach Układu Słonecznego, jak również na poszukiwaniu życia pozaziemskiego. Ostatni temat, „Siatki kosmiczne", dotyczy odkrywania praw ruchu materii i aktywności życiowej w warunkach kosmicznych, z uwzględnieniem fundamentalnych

148:21230

zagadnień fizyki i mechaniki kwantowej. W dokumencie zawarto także szczegółową trzyetapową mapę drogową rozwoju nauki o kosmosie w Chinach do 2050 r. Pierwszy etap (do 2027 r.) zakłada rozbudowę chińskiej stacji kosmicznej, załogową eksplorację Księżyca, a także realizację czwartej fazy misji księżycowych i planetarnych. W ramach tego etapu zaplanowano również przeprowadzenie od pięciu do ośmiu misji naukowych w kosmosie, które będą koncentrować się na pionierskich zagadnieniach, takich jak ciemna materia, fale grawitacyjne, egzoplanety, obłoki protogwiazd i aktywność słoneczna. Te misje obejmą 2-3 duże projekty, które mają dostarczyć przełomowych wyników w naukach o kosmosie. Drugi etap (2028-2035) zakłada dalsze wykorzystanie chińskiej stacji kosmicznej do zaawansowanych badań, realizację misji księżycowych, a także rozwój międzynarodowej stacji badawczej na Księżycu. W tym okresie planowanych jest około 15 misji, w tym 4-5 dużych, które będą polegały na eksploracji zagadnień, takich jak wczesny wszechświat, ciemna materia i energia, sąsiednie zamieszkałe egzoplanety, reakcje systemu Ziemia-Słońce, wykorzystanie zasobów księżycowych na miejscu i poszukiwanie życia pozaziemskiego. Trzeci etap (2036-2050) przewiduje realizację ponad 30 misji kosmicznych oraz osiągnięcie przez Państwo Środka wiodącej pozycji na świecie w kluczowych dziedzinach nauki o kosmosie. Chiny do marca 2025 r. zawarły umowy o współpracy z 17 krajami oraz organizacjami międzynarodowymi, które mają na celu wspólną budowę międzynarodowej stacji badawczej na Księżycu (Xiaoci, 2024).

Podsumowanie

W obliczu zaostrzającego się konfliktu handlowego i globalnych napięć, zarówno Chiny, jak i Stany Zjednoczone stoją przed koniecznością poszukiwania nowych metod utrzymania i rozwoju swoich sojuszy międzynarodowych. Przy czym dla Chin kluczowe staje się nie tylko budowanie globalnego wpływu poprzez inwestycje, ale także kształtowanie nowych norm gospodarczych i politycznych, które mogą redefiniować układ sił na arenie międzynarodowej w nadchodzących latach. USA, mimo zmieniającej się polityki wewnętrznej, będą musiały znaleźć sposób na zachowanie pozycji lidera globalnej gospodarki i technologii, z jednoczesnym utrzymaniem stabilności tradycyjnych relacji międzynarodowych. Rozwój technologiczny Chińskiej Republiki Ludowej od lat 80. XX w. do 2025 r. należy postrzegać jako kluczowy element globalnej rywalizacji mocarstw, szczególnie w kontekście narastającej konfrontacji z USA. Z perspektywy realizmu ofensywnego Chiny dążą do maksymalizacji swojej siły technologicznej i gospodarczej, co ma umożliwić im hegemoniczne przywództwo w regionie Azji-Pacyfiku oraz zwiększenie wpływów na arenie globalnej. Stany Zjednoczone,

149:10754

jako dotychczasowe mocarstwo dominujące, postrzegają ten wzrost jako zagrożenie dla swojego statusu i próbują spowolnić chiński postęp technologiczny poprzez sankcje, ograniczenia eksportu kluczowych technologii oraz budowanie koalicji sojuszników w ramach strategii powstrzymywania.

Technologia stała się jednym z kluczowych wymiarów tej rywalizacji. Chiny świadomie rozwijają sektory strategiczne, takie jak sztuczna inteligencja, sieć 5G, przemysł półprzewodników, cyberprzestrzeń i eksploracja kosmosu. W dziedzinie sztucznej inteligencji chińskie firmy i instytuty badawcze dążą do osiągnięcia statusu światowego lidera w algorytmach AI oraz przetwarzaniu języka naturalnego, zaś w sektorze telekomunikacyjnym firmy takie jak Huawei i ZTE stały się liderami infrastruktury 5G, co wywołało obawy o bezpieczeństwo w Stanach Zjednoczonych i Europie. W przemyśle półprzewodników Chiny intensywnie inwestują w rozwój własnej produkcji mikroprocesorów, starając się uniezależnić od dostaw z USA i Tajwanu. Chiny konsekwentnie rozwijają również swój system nadzoru internetowego, czego wyrazem jest *Wielka Zapora* (*The Great Firewall*), ograniczająca dostęp do zagranicznych treści oraz ścisła kontrola nad chińskim Internetem. W 2017 r. weszła w życie Ustawa o Cyberbezpieczeństwie, która nakłada restrykcje na zagraniczne firmy operujące w Chinach i wymusza przechowywanie danych chińskich użytkowników na serwerach w kraju. Jednocześnie chińskie agencje wywiadowcze prowadzą ofensywne operacje w cyberprzestrzeni, angażując się w działania mające na celu wykradanie zachodnich technologii wojskowych i komercyjnych oraz destabilizację polityczną poprzez dezinformację.

W kontekście rywalizacji technologicznej Chiny rozbudowują swój program kosmiczny, traktując eksplorację kosmosu jako strategiczny priorytet. Powstanie stacji kosmicznej Tiangong, misje Chang'e na Księżyc oraz Tianwen-1 na Marsa pokazują, że Pekin dąży do uniezależnienia się od współpracy z Zachodem i budowy własnej infrastruktury orbitalnej. Jednocześnie Pekin rozwija technologie antysatelitarne (z ang. *Anti-Satellite Weapon*), czyli zaawansowaną technologię opracowaną w celu niszczenia lub unieszkodliwiania satelitów znajdujących się na orbicie okołoziemskiej, obejmującą zarówno pociski wystrzeliwane z powierzchni Ziemi, jak i lasery o wysokiej mocy, a także satelity pełniące funkcję kamikadze (Office of Technology Assessment, 2002), co z punktu widzenia USA i ich sojuszników stanowi zagrożenie dla dominacji Zachodu w przestrzeni kosmicznej oraz bezpieczeństwa satelitów komunikacyjnych i wojskowych.

Z kolei Waszyngton, dostrzegając, że kontrola nad kluczowymi technologiami będzie determinować globalny układ sił w XXI w., dąży do zablokowania dostępu Chin do krytycznych komponentów technologicznych. Stany Zjednoczone nałożyły sankcje na chińskie

150:78446

firmy technologiczne, ograniczając ich możliwości rozwoju i ekspansji. Huawei, jedno z największych przedsiębiorstw w sektorze telekomunikacyjnym, został wpisany na „czarną listę" w 2019 r, co uniemożliwiło mu dostęp do amerykańskich technologii, w tym zaawansowanych chipów. Podobne restrykcje dotknęły firmę ZTE oraz chińskie aplikacje, takie jak TikTok i WeChat, które zostały uznane przez administrację USA za potencjalne zagrożenie dla bezpieczeństwa narodowego. W 2022 r. USA nałożyły embargo na eksport zaawansowanych chipów i sprzętu do ich produkcji do Chin, co miało na celu zahamowanie rozwoju chińskiego sektora sztucznej inteligencji i superkomputerów.

Oprócz sankcji gospodarczych, USA tworzą również koalicje antychińskie w sektorze technologii. Sojusz AUKUS, obejmujący Stany Zjednoczone, Wielką Brytanię i Australię, ma na celu współpracę wojskowo-techniczną, co wpisuje się w strategię powstrzymywania Chin w regionie Indo-Pacyfiku. Kolejną inicjatywą jest CHIP 4 Alliance, w ramach której USA, Japonia, Korea Południowa i Tajwan współpracują nad ograniczeniem dostępu Chin do technologii półprzewodników. Dodatkowo, *QUAD* – sojusz USA, Indii, Japonii i Australii – stał się platformą współpracy, mającą na celu równoważenie wpływów Chin w Azji-Pacyfiku. W odpowiedzi na zachodnie sankcje Chiny przyjęły strategię samowystarczalności technologicznej i regionalnej ekspansji gospodarczej. Pekin masowo inwestuje w rozwój sektora półprzewodników, tworząc własny ekosystem produkcji chipów, aby uniezależnić się od zachodnich dostawców. Jednocześnie Chiny intensyfikują rozwój Chińskiego Jedwabnego Szlaku Cyfrowego, który zakłada eksport chińskich technologii oraz infrastruktury 5G do krajów rozwijających się, co pozwala Pekinowi budować sieć wpływów na globalnym Południu. Dążąc do zmiany układu sił w świecie technologicznym, Chiny starają się także promować własne standardy technologiczne, w szczególności w dziedzinie sztucznej inteligencji, telekomunikacji i cyberbezpieczeństwa. Technologia stała się kluczowym polem rywalizacji między Chinami a Stanami Zjednoczonymi. Wzrost chińskiej potęgi technologicznej jest egzystencjalnym wyzwaniem dla amerykańskiej dominacji globalnej, dlatego Waszyngton konsekwentnie stara się powstrzymać rozwój Chin poprzez sankcje, ograniczenia dostępu do zaawansowanych technologii oraz budowanie międzynarodowych sojuszy. Z kolei Pekin dąży do autonomii technologicznej, ekspansji cyfrowej oraz militaryzacji cyberprzestrzeni i kosmosu. W perspektywie realizmu ofensywnego narastająca rywalizacja może prowadzić do dalszej fragmentacji świata technologii, wzrostu napięć i potencjalnych konfliktów w rejonie Pacyfiku.

151:66663

Rozdział 4. Rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych od lat 50. XX w. do 2025 r.

Wstęp

Rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych od drugiej połowy XX w. do współczesności stanowi jeden z kluczowych filarów globalnej pozycji tego państwa, zarówno w sferze gospodarczej, jak i geopolitycznej. W kontekście zimnej wojny, a następnie rywalizacji z nowymi potęgami, takimi jak Chiny, USA konsekwentnie inwestowały w innowacje, które nie tylko napędzały wzrost ekonomiczny, ale także zapewniały przewagę strategiczną.

Niniejsze podrozdziały obejmują okres od lat 50. XX w. do 2025 r. i podjęta zostaje w nich analiza rozwoju kluczowych dziedzin technologii: od początków Internetu i infrastruktury sieciowej, przez rynek półprzewodników i sieć 5G, wpływy infrastrukturalne jako odpowiedź na chińską inicjatywę *Jeden Pas, Jedna Droga*, aż po program kosmiczny. Pokazują one, w jaki sposób Stany Zjednoczone przekształcały wyzwania w możliwości, łącząc działania sektora publicznego, prywatnego i akademickiego, by utrzymać pozycję lidera w erze cyfrowej. W 2025 r. sektor technologiczny USA nadal odgrywa wiodącą rolę dzięki dynamicznemu rozwojowi sztucznej inteligencji (AI), uczenia maszynowego i automatyzacji, kontynuując historyczne osiągnięcia opisane w podrozdziałach. Analiza obejmuje nie tylko postępy technologiczne, ale także ich znaczenie dla bezpieczeństwa narodowego, gospodarki i relacji międzynarodowych.

Podrozdział 4.1 prezentuje kompleksowy przegląd rozwoju technologicznego Stanów Zjednoczonych od lat 50. XX w. do 2025 r., z uwzględnieniem ewolucji od *ARPANET* do ery AI. Omówiono kluczowe kamienie milowe, w tym utworzenie DARPA w 1958 r., rozwój protokołów TCP/IP, komercjalizację Internetu w latach 90. oraz dominację platform cyfrowych w XXI w. Szczególną uwagę poświęcono pandemii COVID-19 jako katalizatorowi transformacji cyfrowej, z rozwojem telepracy, e-learningu i telemedycyny, co w 2020 r. zwiększyło przychody firm takich jak Zoom o 326% (Yuan, 2021). W perspektywie 2025 r. podrozdział podkreśla rywalizację z Chinami w sztucznej inteligencji, obliczeniach kwantowych i półprzewodnikach, z ustawą *CHIPS and Science Act* z 2022 r. jako strategiczną odpowiedzią. Analiza pokazuje, jak technologie nie tylko zmieniały społeczeństwo, lecz także stały się narzędziem geopolityki, obejmując debaty o regulacjach Big Tech i ochronie prywatności.

Podrozdział 4.2 śledzi rozwój infrastruktury sieciowej i strategii cyberbezpieczeństwa w USA, od *ARPANET* po współczesne wymiary polityki. Omówiono rolę DARPA, NSFNET i

152:69078

CSNET w budowie sieci akademickiej i komercyjnej oraz kluczowe innowacje, takie jak *DNS* w 1983 r. Podkreślono ewolucję strategii cyberbezpieczeństwa – od defensywnych w latach 90. (*PDD-63*), przez ofensywne podejścia w erze Barcka Obamy (2008-2016) i Donalda Trumpa (2016-2020), po strategię Joe Bidena z 2023 r., integrującą cyberbezpieczeństwo z celami społecznymi i wykorzystującą AI oraz kryptografię postkwantową. Podrozdział ilustruje, jak infrastruktura sieciowa stała się fundamentem gospodarki cyfrowej, stale dostosowując się do nowych zagrożeń.

Podrozdział 4.3 analizuje rozwój rynku półprzewodników w USA, od wynalazku tranzystora w 1947 r. po współczesną odbudowę wspieraną ustawą *CHIPS* z 2022 r. Omówiono spadek udziału USA w produkcji globalnej do 12% w 2020 r. i inwestycje przekraczające 450 mld dolarów w nowe fabryki, z prognozami potrojenia zdolności do 2032 r. Podano przykłady, takie jak inwestycja GlobalFoundries czy udziały amerykańskiego rządu w Intelu, podkreślające współpracę publiczno-prywatną i geopolityczne znaczenie zmniejszania zależności od Azji.

Podrozdział 4.4 omawia rozwój sieci 5G w USA, ze szczególnym uwzględnieniem sankcji wobec firmy Huawei i roli FCC w aukcjach pasm. Analizowane są wyzwania, takie jak fragmentacja rynku i przepaść cyfrowa, oraz znaczenie 5G jako narzędzia geopolitycznego w rywalizacji z Chinami i w sojuszach, takich jak *Five Eyes*.

Podrozdział 4.5 przedstawia wpływy infrastrukturalne USA jako odpowiedź na chińską inicjatywę *BRI*, z projektami *B3W*/*PGII* i partnerstwami jak *QUAD* czy *Prosper Africa*. Omówiono mobilizację środków prywatnych i publicznych oraz hybrydowy model integrujący wojsko, instytucje finansowe i inwestycje prywatne.

Podrozdział 4.6 śledzi rozwój programu kosmicznego USA od lat 50., od operacji *Paperclip* po misję Artemis. Omówiono programy *Mercury*, *Gemini*, *Apollo*, *Space Shuttle*, *ISS* oraz misje bezzałogowe jak *Voyager*. Analiza pokazuje także znaczenie *spin-offów* technologicznych (tj. procesów umożliwiających bardziej skuteczny transfer wiedzy do gospodarki, tworzenie nowych miejsc pracy oraz rozwijanie innowacyjnych rozwiązań w sferze biznesu w warunkach rynkowych) i współpracy międzynarodowej, z perspektywą misji Artemis II i planów eksploracji Księżyca i Marsa. W rozdziale tym ukazano, jak USA budują spójną strategię technologiczną, łącząc dorobek historyczny z nowoczesnymi wyzwaniami. W 2025 r., w obliczu rosnącej roli AI i obliczeń kwantowych, Stany Zjednoczone stawiają na innowacje, cyberbezpieczeństwo i międzynarodowe sojusze, aby skutecznie odpowiadać na globalne wyzwania, uwypuklając znaczenie technologii dla bezpieczeństwa, gospodarki i strategicznej przewagi.

153:90676

4.1. Kluczowe etapy i osiągnięcia technologiczne USA od lat 50. XX w. do 2025 r.

Rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych w drugiej połowie XX w. był silnie związany z kontekstem zimnej wojny i potrzebami obronnymi państwa. W 1958 r. utworzono DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*), której zadaniem było prowadzenie badań nad nowymi technologiami mogącymi wzmocnić przewagę USA wobec Związku Radzieckiego. Już w 1962 r. J.C.R. Licklider z Massachusetts Institute of Technology (MIT) opisał koncepcję „Galaktycznej Sieci" – systemu globalnej wymiany informacji za pomocą połączonych komputerów, co stanowiło nowatorską wizję wobec Internetu, jaki znamy w dzisiejszej formie, tzw. współczesnego Internetu (Hafner i Lyon, 1996).

Kluczowym krokiem było opracowanie koncepcji przełączania pakietów przez Leonarda Kleinrocka z MIT, a następnie zrealizowanie jej w ramach projektu *ARPANET* (*Advanced Research Projects Agency Network*). Pierwsze połączenie w tej sieci zrealizowano w 1969 r. między University of California, Los Angeles (UCLA) a Uniwersytetem Stanforda. Wkrótce dołączyły kolejne ośrodki: Uniwersytet Utah i University of California, Santa Barbara (UCSB). Początkowe eksperymenty obejmowały przesyłanie danych, ale także rozwój aplikacji użytkowych, jak poczta elektroniczna (Ray Tomlinson, 1972), która stała się dominującą usługą sieciową przez następne dekady (Leiner i in., 1997).

W latach 70. rozwijano protokoły komunikacyjne. Początkowy NCP (Network Control Protocol) został zastąpiony przez TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), opracowany przez Vintona Cerfa i Roberta Kahna w 1973 r. Zastosowanie otwartej architektury sieci pozwoliło na łączenie różnych sieci i stworzenie fundamentów współczesnego Internetu (Internet Society, b.d.). Dodatkowo w tym okresie rozwijano pierwsze koncepcje rozproszonych systemów komputerowych i metod zabezpieczania danych, co wynikało z obaw przed potencjalnym atakiem nuklearnym. Struktura *ARPANET-u* była projektowana w sposób zdecentralizowany – brak pojedynczego punktu awarii miał gwarantować utrzymanie komunikacji nawet w przypadku zniszczenia części infrastruktury. Lata 70. przyniosły również narodziny społeczności badaczy i inżynierów, którzy poprzez otwartą wymianę wiedzy w ramach tzw. *Request for Comments* (RFC) ustanawiali standardy techniczne, które do dziś pozostają fundamentem Internetu (Leiner i in., 1997).

W latach 80. rozwój technologii sieciowych w USA nabrał tempa dzięki wsparciu państwa i środowiska akademickiego. W 1981 r. powstała sieć *CSNET*, łącząca wydziały informatyczne uczelni amerykańskich z *ARPANET*-em. W 1983 r. wprowadzono obowiązkowy standard *TCP/IP*, co umożliwiło interoperacyjność i dynamiczny rozwój sieci. W tym samym roku Paul

154:37739

Mockapetris opracował system *DNS* (*Domain Name System*), który uprościł korzystanie z sieci, zastępując numery IP nazwami domen (Computer History Museum, b.d.).
Kluczową rolę odegrała NSFNET (*National Science Foundation Network*), uruchomiona w 1986 r. jako trzon amerykańskiej infrastruktury akademickiej. Jej rozwój – od przepustowości 56 kbps do 45 Mbps w 1991 r. – uczynił ją głównym „kręgosłupem" Internetu. Dzięki niej w 1993 r. sieć łączyła już ponad 2 mln komputerów (National Science Foundation, b.d.). Lata 80. to także czas, gdy Internet zaczął przenikać poza środowisko stricte wojskowe i akademickie. Rozwinęły się pierwsze grupy dyskusyjne (*Usenet*) oraz listy mailingowe, które zbudowały zręby kultury internetowej. Ważne były również początki standaryzacji formatów poczty elektronicznej i protokołów transferu plików (*FTP*). Coraz większa liczba uniwersytetów i instytutów badawczych przyłączała się do sieci, co prowadziło do powstania swoistej globalnej społeczności naukowców i inżynierów. To właśnie wtedy zarysowały się pierwsze debaty o konieczności zarządzania rosnącą infrastrukturą, co w kolejnych dekadach doprowadziło do powstania instytucji zajmujących się koordynacją Internetu, jak *IETF* czy *ICANN* (Leiner i in., 1997).

Na początku lat 90. Internet zaczął wychodzić poza sferę akademicką. Kluczowym przełomem było stworzenie w 1991 r. przez Tima Bernersa-Lee koncepcji *World Wide Web*, a w 1993 r. przeglądarki Mosaic w NCSA (University of Illinois). To uczyniło Internet narzędziem dostępnym dla masowego użytkownika (Leiner i in., 1997). W 1995 r. NSFNET został zastąpiony przez komercyjnych operatorów, co otworzyło drogę dla ekspansji firm internetowych. Powstały pierwsze globalne przedsiębiorstwa technologiczne, jak Amazon (1994), eBay (1995) czy Google (1998). Lata 90. to również rozwój oprogramowania open source (np. Linux), które stanowiło fundament dla wielu innowacji technologicznych. Równolegle rozwijały się też pierwsze wyszukiwarki internetowe (m.in. Yahoo!, 1994; AltaVista, 1995), które ułatwiały poruszanie się po gwałtownie rosnącej sieci. W tym okresie pojawiły się także pierwsze komunikatory internetowe (ICQ, 1996), zapowiadające erę mediów społecznościowych. Istotnym zjawiskiem był wzrost inwestycji kapitału wysokiego ryzyka w firmy internetowe, co doprowadziło do tzw. bańki dot-comów pod koniec lat 90. Upadek wielu z nich po 2000 r. nie zahamował jednak cyfrowej transformacji – przeciwnie, pozwolił wyłonić się silnym graczom, którzy przetrwali kryzys i zbudowali fundamenty pod współczesną gospodarkę cyfrową (Hafner i Lyon, 1996).

W pierwszej dekadzie XXI w. Stany Zjednoczone umocniły swoją pozycję lidera w rozwoju technologii cyfrowych. Internet stał się podstawową infrastrukturą społeczną i

155:10399

gospodarczą – umożliwił rozwój e-commerce, bankowości elektronicznej, a następnie platform społecznościowych (Facebook, 2004; YouTube, 2005; Twitter, 2006).

Wydarzenia z 11 września 2001 r. zwiększyły znaczenie cyberbezpieczeństwa i inwestycji w technologie nadzoru. W 2009 r. powołano *U.S. Cyber Command* (*USCYBERCOM*), instytucję odpowiadającą za operacje wojskowe w cyberprzestrzeni (Warner, 2022). Lata 2000-2010 to również dynamiczny rozwój szerokopasmowego dostępu do Internetu, który zastąpił połączenia dial-up i umożliwił korzystanie z multimediów w sieci. Coraz większą rolę odgrywały portale społecznościowe i pierwsze blogi, które kształtowały nowe formy komunikacji i uczestnictwa w życiu publicznym. W tym okresie pojawiły się także pierwsze aplikacje internetowe typu Web 2.0, pozwalające użytkownikom na tworzenie i współdzielenie treści (O'Reilly, 2005). Zaczęto też mówić o rodzącym się „społeczeństwie informacyjnym", w którym dostęp do danych i umiejętność ich przetwarzania stały się kluczowe dla konkurencyjności gospodarczej.

Kolejna dekada (lata 2010-2020) była czasem dominacji „wielkiej piątki" firm technologicznych: Google, Apple, Facebook (Meta), Amazon i Microsoft. To one kształtowały globalne trendy technologiczne, rozwijając rozwiązania oparte na sztucznej inteligencji, chmurze obliczeniowej i urządzeniach mobilnych. Rozpowszechnienie smartfonów (iPhone 2007, Android 2008) zmieniło sposób korzystania z Internetu, czyniąc go stale dostępnym. Równolegle dynamicznie rozwijały się sieci 4G, umożliwiając transmisję multimediów na masową skalę. W tym okresie USA zyskały też przewagę w rozwoju ekosystemu aplikacji mobilnych, zdominowanego przez platformy App Store i Google Play.

Rozkwit platform społecznościowych wywołał również debatę o regulacji Big Tech, ochronie prywatności (m.in. po skandalu Cambridge Analytica w 2018 r.) oraz wpływie mediów społecznościowych na demokrację i procesy wyborcze. Lata 2010-2020 to także gwałtowny wzrost znaczenia chmury obliczeniowej – Amazon Web Services, Microsoft Azure i Google Cloud zdominowały rynek infrastruktury cyfrowej. Rozwój big data oraz sztucznej inteligencji w praktyce biznesowej i administracji publicznej wpłynął na sposób podejmowania decyzji i zarządzania gospodarką. W tym okresie coraz większe znaczenie zaczęły mieć także kwestie etyczne – pojawiły się pierwsze regulacje dotyczące ochrony danych osobowych (np. RODO w UE, 2018) oraz dyskusje nad odpowiedzialnością algorytmów. Rosła również świadomość problemów związanych z dezinformacją, fake newsami i rolą mediów społecznościowych w procesach politycznych, co prowadziło do debat nad koniecznością globalnych regulacji Internetu (Gillespie, 2018).

156:57924

Lata 2020-2025 charakteryzowały się intensywnym rozwojem sztucznej inteligencji (AI), Internetu Rzeczy *(IoT)* i technologii 5G. W czasie pandemii COVID-19 technologie cyfrowe stały się podstawą funkcjonowania społeczeństwa – praca zdalna, e-learning i telemedycyna nabrały ogromnego znaczenia. Według danych OECD (2021) w szczytowym okresie pandemii ponad 50% zatrudnionych w krajach rozwiniętych, w tym w USA, wykonywało obowiązki zdalnie, co stanowiło kilkukrotny wzrost w porównaniu z okresem sprzed pandemii. W edukacji wyższej blisko 90% uczelni amerykańskich przeniosło zajęcia do trybu online, a sektor telemedycyny wzrósł o ponad 150% w 2020 r. względem roku poprzedniego (McKinsey, 2021). Korporacje technologiczne odnotowały rekordowe zyski – przykładowo, przychody Zoom wzrosły w 2020 r. o 326% w porównaniu z rokiem 2019 (Zoom Video Communications, 2021). Rozwój 5G postępował dynamicznie – według danych GSMA (2022) do końca 2025 r. liczba użytkowników 5G w Ameryce Północnej miała osiągnąć ponad 200 mln. Z kolei rynek sztucznej inteligencji w USA wzrósł z ok. 22 mld USD w 2020 r. do prognozowanych ponad 90 mld USD w 2025 r. (Statista, 2023). Zmieniło to sposób funkcjonowania instytucji publicznych, szkół i przedsiębiorstw, przyspieszając transformację cyfrową w sektorach, które wcześniej były oporne na innowacje. Narzędzia do wideokonferencji i współpracy online (np. Zoom, Microsoft Teams) stały się nieodłącznym elementem życia codziennego. W tym samym czasie wzrosło znaczenie kwestii związanych z bezpieczeństwem danych, prywatnością użytkowników i przeciwdziałaniem dezinformacji w przestrzeni cyfrowej.

Szczególnie dynamiczny rozwój dotyczył systemów AI, w tym generatywnej sztucznej inteligencji (np. ChatGPT od OpenAI czy rozwiązania Google i Microsoft). USA utrzymywały przewagę badawczą, jednak rywalizacja z Chinami w zakresie sztucznej inteligencji, kwantowych technologii obliczeniowych oraz półprzewodników stała się kluczowym wymiarem geopolityki technologicznej. W odpowiedzi Stany Zjednoczone przyjęły ustawę *CHIPS and Science Act* (2022), mającą na celu odbudowę krajowego przemysłu półprzewodników oraz wsparcie badań naukowych (Congressional Research Service, 2023; Stanford HAI, 2023). Rosnące znaczenie miało również cyberbezpieczeństwo – od ochrony infrastruktury krytycznej, po przeciwdziałanie cyberatakom wymierzonym w wybory i instytucje demokratyczne. Strategia USA wobec cyberprzestrzeni zaczęła uwzględniać koncept „persistent engagement" oraz „defend forward", czyli proaktywne działania nawet poza własnym terytorium, jako sposób przeciwdziałania zagrożeniom (Smeets, 2020; U.S. Department of Defense, 2023). W tym okresie kluczowe było także wdrażanie sieci 5G, które zwiększyły przepustowość i stabilność połączeń, otwierając drogę do upowszechnienia

157:84715

Internetu Rzeczy oraz autonomicznych rozwiązań transportowych. Rozwinęły się również badania nad technologiami kwantowymi, zarówno w zakresie obliczeń, jak i szyfrowania. Pandemia COVID-19 przyspieszyła cyfryzację administracji i ochrony zdrowia, prowadząc do większych inwestycji w telemedycynę i infrastrukturę chmurową. Na poziomie społecznym pojawiły się nowe pytania o etykę i regulacje AI – szczególnie w kontekście prywatności, bezpieczeństwa danych oraz potencjalnych zagrożeń dla rynku pracy. Do 2025 r. Stany Zjednoczone zainicjowały również współpracę z partnerami międzynarodowymi w celu stworzenia globalnych ram etycznych dla sztucznej inteligencji, co ma zapobiegać jej nadużyciom i wzmacniać zaufanie do nowych technologii (Air University, 2021).

Rywalizacja z Chinami w zakresie AI jest obecnie jednym z kluczowych wymiarów geopolityki technologicznej. Raport *The U.S., China, and Artificial Intelligence Competition Factors* (Air University, 2021) wskazuje, że choć USA utrzymują przewagę w wielu aspektach (np. technologie, kapitał, liderzy rynku), Chiny nadrabiają dystans dzięki centralnemu planowaniu, szybkiemu wdrażaniu AI w sektorze publicznym i prywatnym oraz dostępowi do ogromnej liczby danych. Za przykład takich działań mogą posłużyć państwowe systemy nadzoru (projekty „Sharp Eyes", Police Cloud, IJOP – Integrated Joint Operations Platform), które zbierają i łączą ogromne ilości danych z różnych źródeł — monitoringu wideo (CCTV), danych komunikacyjnych (np. konta WeChat), rejestrów zakupów, danych o podróżach, historii zdrowia, adresach, numerach identyfikacyjnych oraz baz danych z hoteli i usług publicznych (Grossman i in., 2020, s. 23-30).

4.2. Rozwój infrastruktury sieciowej i strategii cyberbezpieczeństwa w Stanach Zjednoczonych

Rozwój infrastruktury sieciowej w Stanach Zjednoczonych stanowi fundament współczesnej gospodarki cyfrowej i bezpieczeństwa narodowego, a jego korzenie sięgają lat 50. i 60. XX w., kiedy to Agencja Zaawansowanych Projektów Badawczych Obrony (DARPA), założona w 1958 r. w odpowiedzi na sowiecki Sputnik, rozpoczęła prace nad zaawansowanymi technologiami komunikacyjnymi. DARPA, początkowo znana jako ARPA, została stworzona, aby zapobiec technologicznym atakom ze strony wrogów, a jej dyrektor J.C.R. Licklider w 1962 r. sformułował wizję „Galaktycznej Sieci" łączącej komputery, co zainspirowało rozwój sieci rozproszonych. W latach 1960-1964 DARPA współpracowała z RAND Corporation, gdzie Paul Baran opracował koncepcję komutacji pakietów, umożliwiającą przesyłanie danych w małych porcjach przez alternatywne ścieżki, co zwiększało odporność na awarie i ataki nuklearne (Hafner i Lyon, 1996). W 1966 r. Larry Roberts z DARPA opracował plan

158:85448

ARPANET, publikując go rok później, co doprowadziło do pierwszego połączenia w 1969 r. między Uniwersytetem Kalifornijskim w Los Angeles (UCLA) a *Stanford Research Institute* (*SRI*), gdzie wysłano wiadomość „LO" (zamierzone „LOGIN"). Do grudnia 1969 r. sieć obejmowała cztery węzły: UCLA, SRI, Uniwersytet Kalifornijski w Santa Barbara (UCSB) i Uniwersytet Utah, tworząc początkową *ARPANET*, finansowaną przez DARPA w celu ułatwienia komunikacji między instytucjami badawczymi pracującymi nad projektami obronnymi (Leiner i in., 1997). W latach 70. XX w. *ARPANET* rozrosła się do 23 hostów w 15 lokalizacjach, w tym kluczowych uniwersytetach jak MIT, Harvard i Carnegie Mellon, oraz centrach badawczych w rodzaju BBN Technologies, gdzie w 1972 r. Ray Tomlinson wynalazł adres e-mail, który do 1973 r. stanowił 75% ruchu sieciowego, demonstrując praktyczne zastosowanie poza transferem plików (Internet Society, b.d.). DARPA zainwestowała około 19 mln dolarów w latach 1969-1975, wspierając rozwój protokołu TCP/IP przez Vintona Cerfa i Roberta Kahna ze Stanford i UCLA w latach 1973-1975, co pozwoliło na łączenie heterogenicznych sieci i stało się podstawą decentralizowanej architektury Internetu, umożliwiając interoperacyjność między różnymi systemami komputerowymi (Engel, 2013). Ta wczesna infrastruktura, oparta na współpracy z uniwersytetami, położyła podwaliny pod globalną sieć, gdzie akademickie środowiska miały wpływ nie tylko na rozwój najbardziej utalentowanych badaczy, ale także testowanie innowacji w warunkach rzeczywistych, co przyspieszyło ewolucję technologii sieciowych.

Początki kształtowania się Internetu w środowisku akademickim nabrały tempa w latach 80. XX w. Był to okres, w którym to uniwersytety amerykańskie odegrały kluczową rolę w rozszerzaniu dostępu do zasobów sieciowych poza ograniczoną, militarną strukturę *ARPANET*. Sieć CSNET, finansowana przez *National Science Foundation* (*NSF*) i uruchomiona w 1981 r. pod kierunkiem Lawrence'a Landwebera z Uniwersytetu Wisconsin, Davida Farbera z Uniwersytetu Delaware i innych, połączyła początkowo departamenty informatyki w uniwersytetach bez dostępu do *ARPANET*, takich jak Purdue, Uniwersytet Wisconsin i Uniwersytet Delaware, umożliwiając naukowcom korzystanie z takich usług jak poczta elektroniczna, transfer plików i zdalny dostęp poprzez tańsze połączenia telefoniczne lub X.25[10]. Do 1984 r. CSNET objęła ponad 180 departamentów komputerowych w około 50 instytucjach, znacząco poszerzając społeczność użytkowników akademickich i integrując się z *ARPANET* poprzez bramki, co pozwoliło na wymianę e-maili między sieciami (LivingInternet,

[10] Standard ITU-T określający protokoły komunikacyjne w pakietowych sieciach danych, stosowany do zdalnej obsługi terminali oraz wymiany informacji między komputerami w publicznych sieciach transmisji danych.

159:15413

b.d.). Przełomowym momentem było przyjęcie w 1983 r. protokołu TCP/IP jako standardu komunikacji w *ARPANET*, co umożliwiło integrację rozproszonych sieci i stworzyło podstawy globalnej sieci komputerowej. Moment przejścia z protokołu NCP na TCP/IP pozwolił na rozdzielenie *ARPANET* na *MILNET* dla celów wojskowych i część badawczą, zwiększając dostęp dla środowiska akademickiego do ponad 1000 hostów do 1984 r. (*DARPA*, bd.). W tym samym roku Paul Mockapetris i Jon Postel z Uniwersytetu Południowej Kalifornii (USC) opracowali system DNS, zastępując skomplikowane adresy numeryczne przyjaznymi nazwami domen, takimi jak .edu, .gov czy .com, co ułatwiło skalowalność i popularyzację Internetu. DNS stał się kluczowym elementem, obsługując rosnące liczby hostów, których do 1985 r. było około 2000, głównie w instytucjach finansowanych przez DARPA i NSF (Engel, 2013). DARPA, kontynuując współpracę z uniwersytetami MIT, Carnegie Mellon i USC, wspierała rozwój technologii pakietowej, opierając się na koncepcjach Paula Barana i Donalda Daviesa, co pozwoliło na dalszy wzrost sieci, w tym eksperymenty z bezprzewodowymi połączeniami i satelitarnymi, testowanymi w ramach projektów DARPA w latach 80. (Yoo, 2018). Te inicjatywy podkreślały rolę uniwersytetów jako centrów innowacji, gdzie interdyscyplinarne zespoły rozwijały nie tylko technologie, ale także standardy otwarte, takie jak *Request for Comments* (*RFC*), które umożliwiły globalną współpracę.

W połowie lat 80. XX w. centralną rolę w rozwoju infrastruktury odegrała sieć *NSFNET*, zaprojektowana przez *NSF* pod kierunkiem Dennisa Jenningsa, która połączyła centra superkomputerowe, takie jak *National Center for Supercomputing Applications* (*NCSA*) na Uniwersytecie Illinois, Cornell University. Początkowa przepustowość wynosiła 56 Kbps w 1986 r., NSFNET szybko zmodernizowano do 1,5 Mbps (T1) w 1988 r., a następnie do 45 Mbps (T3) w 1991 r., co umożliwiło połączenie milionów komputerów w całym kraju; NSF zainwestowała ponad 200 mln dolarów w latach 1986-1995, wspierając nie tylko badania naukowe, ale także edukację i współpracę między uniwersytetami, z liczbą podłączonych komputerów rosnącą z 2000 w 1985 r. do ponad 2 mln w 1993 r. (National Science Foundation, b.d.). W ramach polityki NSF połączenia uniwersyteckie udostępniano wszystkim uprawnionym użytkownikom na kampusach, co sprzyjało inkluzji i zapewniało interoperacyjność dzięki obowiązkowemu wdrożeniu protokołu TCP/IP, a sieć łączyła początkowo pięć centrów superkomputerowych, rozszerzając się na regionalne sieci jak BARRNET w Kalifornii czy MERIT w Michigan. Równolegle rozwijały się sieci regionalne, takie jak BITNET, założona w 1981 r. przez Irę Fuchsa z City University of New York (*CUNY*) i Greydona Freemana z Yale University, oferująca darmowe połączenia e-mailowe i transfer plików między uniwersytetami poprzez linie telefoniczne z protokołem NJE, szybko obejmując

160:76028

setki instytucji akademickich w USA i Europie, z liczbą podłączonych uczelni przekraczającą 500 do połowy lat 80. (Gurbaxani, 1990). Inna sieć, USENET, zapoczątkowana w 1979 r. przez Toma Truscotta i Jima Ellisa z Duke University oraz Steve'a Bellovina z University of North Carolina, służyła jako rozproszony system grup dyskusyjnych, umożliwiający wymianę wiadomości i plików poprzez UUCP, co wzmocniło kulturę otwartej wymiany wiedzy i współpracy interdyscyplinarnej, z tysiącami grup tematycznych do lat 90. (First Monday, b.d.). System BSD Unix, rozwijany na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley od 1977 r., ułatwiał wdrażanie TCP/IP i eksperymenty badawcze, przyczyniając się do wzrostu liczby sieci do około 5000 w 1991 r., obsługujących ponad 700 000 hostów i 4 mln użytkowników w ponad 30 krajach, gdzie uniwersytety pełniły rolę węzłów centralnych (Leiner i in., 1997). Sieci akademickie, wspomagane przez DARPA i NSF, uwydatniały rolę uniwersytetów jako ośrodków innowacji, a współpraca ponad granicami sprzyjała ustanawianiu standardów technicznych i kulturowych, tworząc fundamenty pod komercjalizację.

Na początku lat 90. XX w., wraz z upowszechnieniem *World Wide Web*, wynalezionego w 1989-1991 r. przez Tima Bernersa-Lee w CERN, ale opierającego się na protokołach TCP/IP i DNS rozwijanych w USA, Internet stał się narzędziem masowym, umożliwiającym hipertekstowe połączenie dokumentów. Przeglądarka Mosaic, stworzona w 1993 r. w *NCSA* na Uniwersytecie Illinois przez Marca Andreessena i Erica Binę, pozwoliła na wyświetlanie stron z grafiką, tekstem i hiperłączami, co radykalnie zwiększyło dostępność i przyczyniło się do zwiększenia popularności tego typu treści wśród użytkowników Internetu. Do 1995 r. Internet obejmował około 16 mln użytkowników, a do 1996 r. – 45 mln na całym świecie, z ponad połową w USA, a Mosaic stała się podstawą dla komercyjnych przeglądarek jak Netscape (Imagining the Internet, b.d.). Proces komercjalizacji, zapoczątkowany w połowie lat 90. wraz z wycofaniem NSFNET w kwietniu 1995 r. – kiedy to sieć obejmowała 21 węzłów z łączami 45 Mbps i wspierała ponad 50 000 sieci globalnie, z liczbą podłączonych komputerów przekraczającą 2 mln – doprowadził do powstania prywatnych operatorów: CI, Sprint, PSI i UUNET, które przejęły szkieletową infrastrukturę, umożliwiając komercyjne wykorzystanie Internetu (IBM, b.d.). Zakończenie działalności *ARPANET* w 1990 r. przez DARPA, przy 300 000 hostach, oznaczało przejście od wojskowego do cywilnego zarządzania siecią. Uniwersytety UCLA, Stanford, MIT i Duke działały jako most między sektorem publicznym a prywatnym, a akademickie projekty, w tym USENET i BITNET, przyczyniły się do powstania komercyjnych usług, takich jak fora dyskusyjne i skrzynki typu e-mail (Computer History Museum, b.d). NSFNET w tym czasie znacząco wspierała rozwój sektora komercyjnego. Początkowo ograniczona do zastosowań edukacyjnych i badawczych przez *Acceptable Use*

161:31644

Policy, stopniowo umożliwiała działalność biznesową, prowadząc do powstania pierwszych ISP, w tym Telenet w 1974 r., przy czym pełna komercjalizacja nastąpiła po 1995 r. (Live Science, 2022). Uniwersytety kontynuowały rolę w edukacji i badaniach, szkoląc pokolenia inżynierów, którzy zakładali firmy takie jak Cisco czy Sun Microsystems, przyczyniając się do boomu technologicznego Doliny Krzemowej.

Dynamiczny rozwój infrastruktury cyfrowej wymagał równoczesnego wprowadzania strategii chroniących systemy komunikacyjne przed zagrożeniami, których ewolucja odzwierciedla rosnące znaczenie cyberprzestrzeni w bezpieczeństwie narodowym i gospodarce. W początkowej fazie rozwoju Internetu, w latach 60. i 70. XX w., kwestie bezpieczeństwa nie były priorytetem; główny nacisk kładziono na łączność i innowacje, a zagrożenia ograniczały się do wirusów akademickich. Dopiero wraz z ekspansją sieci w latach 80. i 90., gdy liczba użytkowników wzrastała do milionów, zaczęto dostrzegać potrzebę systemowego podejścia do bezpieczeństwa. Pierwsze formalne strategie w zakresie cyberbezpieczeństwa pojawiły się pod koniec lat 90., wraz z Prezydencką Dyrektywą Decyzyjną 63 (*PDD-63*) z 22 maja 1998 r. administracji Billa Clintona. Po raz pierwszy określono w niej ochronę infrastruktury krytycznej, obejmującej systemy energetyczne, transportowe i komunikacyjne, przed atakami cybernetycznymi. Dyrektywa podkreślała znaczenie partnerstw publiczno-prywatnych, wymiany informacji oraz utworzenia *National Infrastructure Protection Center* (*NIPC*) w FBI, choć brakowało w niej jasnych priorytetów i skupiała się głównie na przestępczości cybernetycznej (Kesselman, 2023). W 2000 r. administracja Billa Clintona wydała *National Plan for Information Systems Protection*, pierwszy kompleksowy plan ochrony informacji, który podkreślał znaczenie edukacji i badań, choć wciąż przyjmował defensywne podejście (Academic Conferences, b.d.). Z kolei administracja George'a W. Busha, w Narodowej Strategii Bezpieczeństwa Cyberprzestrzeni z lutego 2003 r., zintegrowała cyberbezpieczeństwo z przeciwdziałaniem terroryzmowi po atakach z 11 września. Strategia promowała zachęty rynkowe zamiast regulacji, koncentrując się na prewencji oraz powołaniu Departamentu Bezpieczeństwa Krajowego (DHS) w 2002 r. jako centralnej agencji. Choć wskazywała priorytety, takie jak wzmocnienie odporności systemów i zwiększenie świadomości społecznej, dokument w dużej mierze stanowił listę działań bez wyraźnie ustalonej hierarchii (Evdokimov, 2021). W ramach administracji Baracka Obamy, *Cyberspace Policy Review* z 2009 r. kładł nacisk na rozwój międzynarodowych partnerstw, działania odstraszające oraz *powołanie U.S. Cyber Command* (*CYBERCOM*) w 2010 r. pod *U.S. Strategic Command*, jako wojskowe dowództwo Pentagonu odpowiedzialne za operacje ofensywne i defensywne. Wprowadzono również lżejsze regulacje, w tym

162:21920

Cybersecurity Enhancement Act (2014) *i Freedom Act* (2015), podkreślając globalne podejście do zagrożeń transgranicznych, takich jak cyberataki z Chin i Rosji (Kesselman, 2023). Administracja Donalda Trumpa w Narodowej Strategii Cyberbezpieczeństwa z września 2018 r. podkreśliła rozwój zdolności ofensywnych umożliwiających zakłócanie działań przeciwników, wzmocnienie dynamiki rynkowej oraz ochronę procesu wyborczego. Strategia ta kontynuowała podejście ponadpartyjne w konfrontacji z zagrożeniami, obejmując kluczowe działania, takie jak *Executive Order 13800*, mające na celu wzmocnienie federalnego cyberbezpieczeństwa i promowanie międzynarodowych norm (USENIX, 2025). Wspomniane strategie ewoluowały od defensywnego podejścia za czasów Clintona, przez antyterrorystyczną orientację w administracji Busha, globalistyczne nastawienie za kadencji Obamy, po ofensywne podejście w czasach Trumpa, zawsze dostosowując się do zmieniającego się krajobrazu zagrożeń, obejmującego m.in. wzrost ataków ransomware i działania państwowych aktorów.

Współcześnie priorytety te znalazły odzwierciedlenie w Krajowej Strategii Cyberbezpieczeństwa ogłoszonej przez administrację Joe Bidena i Kamali Harris w marcu 2023 r. Dokument rozwija wcześniejsze strategie, wprowadzając istotne zmiany, takie jak przeniesienie odpowiedzialności na dużych aktorów (czyli podmiotów o kluczowym znaczeniu dla funkcjonowania gospodarki cyfrowej i bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej), regulacje rynkowe w przypadku awarii rynku oraz integrację cyberbezpieczeństwa z celami społecznymi. Strategia opiera się na wartościach demokratycznych, bezpieczeństwie ekonomicznym, poszanowaniu praw człowieka oraz zasadach sprawiedliwości społecznej, traktując cyberprzestrzeń jako dobro wspólne wymagające współpracy sektora publicznego i prywatnego. Podkreśla równowagę między reagowaniem na zagrożenia a inwestycjami w technologie przyszłości, takie jak kryptografia postkwantowa, sztuczna inteligencja, tożsamość cyfrowa i infrastruktura czystej energii, łącząc cyberbezpieczeństwo z transformacją infrastrukturalną i gospodarczą (The White House, 2023). Istotnym elementem jest wzmocnienie ochrony infrastruktury krytycznej, w tym systemów energetycznych, transportowych, komunikacyjnych i finansowych poprzez rozszerzenie minimalnych wymagań bezpieczeństwa, intensyfikację współpracy i szybką reakcję na incydenty, z wykorzystaniem takich narzędzi jak sankcje i operacje ofensywne. Strategia przewiduje cykliczne oceny efektywności, dostosowywanie działań do ewoluujących zagrożeń, takich jak ransomware czy ataki na łańcuchy dostaw oraz współpracę międzynarodową z sojusznikami (Sokół, 2023). Jak już wspomniano, w ujęciu międzynarodowym USA postrzegają cyberprzestrzeń jako obszar wspólnej odpowiedzialności, rozwijając koalicje z państwami o podobnych wartościach,

163:57503

budując odporne łańcuchy dostaw technologicznych i podnosząc zdolności obronne sojuszników, co wpisuje się w tradycję zaangażowania od *ARPANET* po *NSFNET*, gdzie akademicka i rządowa współpraca ustanawiała globalne standardy (Baker McKenzie, 2023). Rok po wdrożeniu strategia Bidena przyniosła postępy w regulacjach sektorowych, rozwoju międzynarodowych partnerstw oraz inwestycjach w kadrę cybernetyczną, choć nadal występują wyzwania związane z niedoborem zasobów (White House, 2024).

Ewolucja strategii cyberbezpieczeństwa w Stanach Zjednoczonych odzwierciedla zmieniające się postrzeganie zagrożeń. Za czasów prezydenta Clintona skupiano się przede wszystkim na walce z przestępczością. Administracja George'a W. Busha zintegrowała kwestie cyberbezpieczeństwa z polityką antyterrorystyczną. Prezydent Obama kładł nacisk na globalne partnerstwa i ofensywne podejście, Joe Biden rozwijał model regulacyjny, ukierunkowany na współpracę, zaś Donald Trump promuje konfrontacyjny model polityki technologicznej, opierający się bardziej niż pozostałe na wymiarze rywalizacji. Wszystkie te strategie mają swój fundament w zaawansowanej infrastrukturze sieciowej i były dostosowywane do postępu technologicznego, takiego jak rozwój chmury obliczeniowej czy sztucznej inteligencji (Evdokimov, 2021).

Ta ciągłość pokazuje, że odporna i otwarta sieć stanowi warunek innowacyjności, bezpieczeństwa ekonomicznego i globalnego przywództwa USA. Łączy ona historyczne wysiłki DARPA, NSF i środowiska akademickiego ze współczesnymi wyzwaniami, w których infrastruktura cyfrowa stała się integralną częścią państwa, społeczeństwa i gospodarki.
Rozwój sieci i strategii cyberbezpieczeństwa ukazuje konsekwentną współpracę państwa, uniwersytetów oraz sektora prywatnego w dziedzinie technologii informacyjnych. Od pionierskich eksperymentów DARPA w latach 60., przez rozwój CSNET, NSFNET i sieci regionalnych w latach 80., a następnie komercjalizację Internetu w latach 90., aż po ewolucję strategii od PDD-63 do polityki technologicznej XXI w., nadal wspólne pozostaje przekonanie, że otwarta i odporna sieć jest podstawą bezpieczeństwa narodowego i innowacyjności. Współczesna strategia podtrzymuje te fundamenty, dostosowując je do epoki, w której cyberprzestrzeń przenika wszystkie sfery życia. Wymaga to podejścia holistycznego, łączącego ochronę, regulację i współpracę międzynarodową, przy stałym udziale uniwersytetów jako kluczowych partnerów w badaniach i edukacji.

4.3. Rozwój rynku półprzewodników w Stanach Zjednoczonych

Rozwój rynku półprzewodników w Stanach Zjednoczonych w ostatniej dekadzie uległ znaczącej transformacji, w której centralną rolę odegrały czynniki polityczne, ekonomiczne i

164:10826

technologiczne. Początki związane z rynkiem półprzewodników sięgają lat 40. XX w. – w 1947 r. w laboratoriach Bell Labs wynaleziono tranzystor, co zapoczątkowało erę elektroniki półprzewodnikowej i położyło podwaliny pod Dolinę Krzemową w Kalifornii (Riordan i Hoddeson, 1997). W latach 50. i 60. firmy takie jak Fairchild Semiconductor i Intel, założone w 1968 r. przez Gordona Moore'a i Roberta Noyce'a, rozwijały technologie integracji obwodów, co doprowadziło do sformułowania Prawa Moore'a w 1965 r., przewidującego podwojenie liczby tranzystorów na chipie co około dwa lata (Moore, 1965/2006). Okres ten charakteryzował się intensywnym wzrostem, wspieranym przez rządowe kontrakty z sektora obronnego i kosmicznego, w tym program *Apollo NASA*, który stymulował popyt na zaawansowane układy scalone. Do lat 70. Stany Zjednoczone kontrolowały ponad 50% globalnego rynku półprzewodników, z kluczowymi innowacjami w pamięciach DRAM i mikroprocesorach, co umożliwiło rozwój komputerów osobistych i rewolucję informatyczną (Chandler, 2005). W latach 80. amerykańska pozycja na rynku półprzewodników zaczęła słabnąć wskutek konkurencji ze strony japońskich firm, w tym Toshiby i NEC (Borrus i Millstein, 1984). W odpowiedzi w 1987 r. powołano konsorcjum SEMATECH, wspierane częściowo przez rząd, aby wzmocnić badania i rozwój w tym sektorze. W latach 1990-2000 produkcja półprzewodników w USA zaczęła być stopniowo przenoszona do Azji, przede wszystkim na Tajwan, do Korei Południowej i Chin, ponieważ inwestorów przyciągały niższe koszty pracy oraz subsydia rządowe (Breznitz i Murphree, 2011). W rezultacie udział USA w globalnej produkcji półprzewodników spadł z około 37% w 1990 r. do zaledwie 12% w 2020 r. (SIA, 2020). Jednocześnie krajowe firmy, takie jak Intel, NVIDIA i Qualcomm, utrzymały silną pozycję w projektowaniu i badaniach, dominując w sektorze innowacji, choć wciąż były uzależnione w swej działalności od zagranicznych fabryk.

Po okresie relatywnego osłabienia mocy produkcyjnych na przełomie lat 2010-2020, kiedy to konkurencja międzynarodowa, głównie z Azji, doprowadziła do koncentracji produkcji w regionach takich jak Tajwan i Korea Południowa, nastąpiła odpowiedź polityczna w postaci szeregu inicjatyw mających na celu odbudowę krajowego ekosystemu półprzewodników (U.S. Congress, 2022). Najbardziej znaczącym aktem prawnym była ustawa *CHIPS and Science Act* z 2022 r., która ustanowiła ramy wsparcia finansowego, podatkowego oraz programów badawczo-rozwojowych, wyraźnie sygnalizując, że sektor ten ma strategiczne znaczenie dla bezpieczeństwa narodowego i konkurencyjności gospodarki USA (Congressional Research Service, 2023).
W efekcie nowej polityki sektor półprzewodników w Stanach Zjednoczonych przechodzi fazę intensywnych inwestycji w zakresie budowy nowych fabryk, rozwoju zaplecza badawczego

165:71073

oraz programów szkoleniowych mających na celu zwiększenie liczby wysoko wykwalifikowanych pracowników. Programy wsparcia przewidują istotne środki finansowe: około 39 mld USD bezpośrednich zachęt do inwestycji produkcyjnych, dodatkowe finansowanie badań i rozwoju rzędu 11-13 mld USD oraz ulgę podatkową w wysokości 25% dla inwestycji w zaawansowaną produkcję półprzewodników (U.S. Congress, 2022; PwC, 2023). Połączenie ulg podatkowych i dotacji spowodowało wzrost liczby ogłoszeń inwestycyjnych ze strony producentów chipów i dostawców usług kontraktowych, co przyciągnęło inwestycje krajowe i zagraniczne. Analizy branżowe wskazują na ambitne cele: raport Stowarzyszenia Przemysłu Półprzewodnikowego (SIA) oraz Boston Consulting Group przewiduje, że przy odpowiedniej realizacji programów USA mogą potroić swoje krajowe zdolności produkcyjne do 2032 r., a udział w produkcji zaawansowanych węzłów (poniżej 10 nm) mógłby wzrosnąć z niemal zerowego w 2022 r. do około 28% w 2032 r. (Brokking, 2024; Boston Consulting Group & SIA, 2024). Prognozy te podkreślają, że jeśli obecny trend inwestycji utrzyma się, to w perspektywie dekady nakłady kapitałowe w amerykańskim sektorze półprzewodników mogą osiągnąć poziom rzędu bilionowych kwot, co znacząco przewyższa inwestycje z poprzedniej dekady (Tek.info.pl, 2024).
Istnieją realne przykłady potwierdzające ten trend. GlobalFoundries ogłosiło projekt inwestycyjny o wartości 16 mld USD na rozbudowę zakładów w Nowym Jorku i Vermont, lokując środki zarówno w rozbudowę produkcji, jak i rozwój R&D, co jest przykładem synergii publicznego wsparcia i prywatnego kapitału (Evertiq, 2025; GlobalFoundries, 2025). Działania takie mają podwójne znaczenie: po pierwsze, zwiększają lokalne zdolności wytwórcze, po drugie, dywersyfikują geograficznie łańcuchy dostaw, co jest jednym z celów ustawy *CHIPS*. Jednak sama dostępność środków nie gwarantuje sukcesu. Wyzwania są wielowymiarowe i obejmują czynniki techniczne, ekonomiczne, kadrowe i regulacyjne. Technicznie, budowa fabryk produkujących układy w najbardziej zaawansowanych węzłach wymaga dostępu do złożonych łańcuchów dostaw, precyzyjnego sprzętu do litografii, zaawansowanej metrologii oraz know-how, które przez lata skumulowały firmy w Azji. Koszty wejścia w segmenty poniżej 10 nm są ogromne, ponieważ inwestycje w pojedyncze linie produkcyjne mogą sięgać miliardów dolarów, a dodatkowo konieczne są długoletnie nakłady na rozwój procesów i testy jakości. W związku z tym polityka wsparcia w USA musi łączyć inwestycje w infrastrukturę z programami transferu technologii, współpracą międzynarodową oraz zachętami do lokalizacji kluczowych dostawców sprzętu (Stanford HAI, 2023).

Kolejnym kluczowym aspektem jest rynek pracy. Produkcja półprzewodników wymaga szerokiego spektrum kompetencji: inżynierów procesowych, specjalistów litografii,

166:47479

technologów materiałowych, projektantów układów, ekspertów od zaawansowanego pakowania oraz wysoko wykwalifikowanych techników produkcji. Realizacja programu *CHIPS* zakłada finansowanie programów szkoleniowych i współpracę z uniwersytetami i instytucjami badawczymi w celu zwiększenia podaży specjalistów (U.S. Congress, 2022). Nie mniej ważna jest kwestia geograficzna: nowe inwestycje tworzą silne ogniska technologiczne w wybranych stanach, co wymaga lokalnych polityk wspierających infrastrukturę mieszkaniową oraz edukacyjną, aby przyciągnąć zarówno pracowników, jak i ich rodziny. Aspekty regulacyjne i polityczne także w znaczący sposób determinują rozwój rynku. Ustawa *CHIPS* wprowadza mechanizmy wsparcia, jednocześnie uwzględniając ryzyka strategiczne związane z udziałem zagranicznych podmiotów i transferem technologii. W mediach branżowych podkreślono, że Departament Handlu USA wykluczył wymaganie oddawania udziałów kapitałowych przez firmy takie jak TSMC czy Micron w zamian za dotacje, co z jednej strony łagodzi obawy inwestorów zagranicznych, a z drugiej strony stawia pytania o sposób zabezpieczania interesu publicznego (Notebookcheck, 2025a). Równocześnie rząd federalny rozważa model, w którym w niektórych przypadkach może uzyskać udziały w prywatnych firmach, co miałoby zapewnić zwrot środków publicznych oraz wpływ na strategiczne decyzje związane z infrastrukturą (Notebookcheck, 2025b). Np. firma Intel zgodziła się w sierpniu 2025 r. sprzedać rządowi USA pakiet 10 proc. własnych akcji, wart 8,9 mld dol (Grabenstein, 2025), To rozróżnienie w traktowaniu różnych firm ilustruje napięcie pomiędzy potrzebą przyciągnięcia inwestycji a koniecznością ochrony interesu publicznego. Należy podkreślić, że działania USA mają wymiar międzynarodowy. Przesunięcie produkcji półprzewodników ku producentom amerykańskim wpływa na międzynarodowe łańcuchy wartości, popyt na surowce i materiały krytyczne oraz politykę handlową. Rządy innych państw, takie jak Chiny, Korea Południowa czy Japonia, prowadzą równoległe programy wsparcia własnych sektorów półprzewodnikowych, co może prowadzić do intensyfikacji konkurencji o inwestycje i pracowników (Tek.info.pl, 2024). W tym kontekście część ekspertów ostrzega przed nadmierną interwencją, która mogłaby wywołać nadprodukcję lub zaburzenia rynkowe, zamiast osiągnięcia zamierzonych celów strategicznych (Brokking, 2024).

Ekonomiczne skutki ożywienia produkcji chipów w USA mają charakter wielowymiarowy. Krótkoterminowo, ogłoszone inwestycje generują popyt na usługi budowlane, urządzenia i komponenty, co stymuluje lokalne rynki pracy i zwiększa aktywność gospodarczą. Długoterminowo, rozwój krajowej produkcji ma potencjał do zwiększenia innowacyjności, tworzenia wysokopłatnych miejsc pracy oraz rozszerzenia bazy podatkowej,

167:71587

co może przynieść korzyści fiskalne. Jednak skuteczność tych efektów zależy od zdolności do utrzymania konkurencyjności kosztowej wobec azjatyckich producentów, którzy z kolei inwestują w automatyzację oraz optymalizację kosztów (Boston Consulting Group & SIA, 2024). Technologicznie, rosnące inwestycje w R&D i rozwój ekosystemu produkcyjnego sprzyjają powstawaniu centrów doskonałości badawczej. Programy finansowane w ramach *CHIPS* mają na celu wzmocnienie współpracy pomiędzy uniwersytetami, laboratoriami narodowymi i przemysłem, co ma przyspieszyć transfer technologii z fazy badań do produkcji. Z punktu widzenia innowacji ważnym kierunkiem jest rozwój zaawansowanego pakowania (advanced packaging), fotoniki krzemowej oraz technologii materiałowych, które mogą konkurować na poziomie wartości dodanej, nawet jeśli pełna produkcja najbardziej zaawansowanych węzłów pozostaje skoncentrowana w Azji (Tek.info.pl, 2024; GlobalFoundries, 2025). W perspektywie geopolitycznej rozwój amerykańskiego rynku półprzewodników ma znaczenie strategiczne. Redukcja uzależnienia od zewnętrznych dostawców, dywersyfikacja miejsc produkcji oraz zwiększenie krajowych zdolności produkcyjnych są postrzegane jako działania wzmacniające odporność infrastruktury krytycznej. W warunkach rosnącego napięcia pomiędzy USA a Chinami polityka zwiększania krajowej produkcji półprzewodników może ograniczyć ryzyko zakłóceń w dostawach technologii kluczowych dla obronności i sektora cywilnego (Congressional Research Service, 2023).

Mimo wielu korzyści realizacja celów *CHIPS* napotyka na konkretne bariery operacyjne. Koszty energii i wody, które są kluczowe w produkcji półprzewodników, mogą znacząco wpływać na wybór lokalizacji fabryk, przy czym stany oferujące korzystne warunki środowiskowe oraz inwestycje w infrastrukturę energetyczną zyskują przewagę konkurencyjną. Ponadto konieczne jest odtworzenie krajowych łańcuchów dostaw surowców, od gazów specjalistycznych, przez chemikalia, aż po sprzęt do litografii, w stopniu wystarczającym do obsługi rosnącej liczby fabryk. Równocześnie regulacje dotyczące ochrony środowiska i emisji mogą generować dodatkowe koszty, które powinny być uwzględnione już na etapie planowania inwestycji. Rola sektora prywatnego pozostaje kluczowa w kształtowaniu ostatecznego rezultatu. Firmy takie jak Intel, TSMC, Samsung, GlobalFoundries czy Micron podejmują strategiczne decyzje inwestycyjne, które w istotny sposób determinują tempo odbudowy krajowych zdolności. Wybór modelu współpracy publiczno-prywatnej, w tym warunków finansowania i udziałów kapitałowych, będzie miał wpływ na gotowość inwestorów do lokowania środków w USA. Transparentność regulacyjna i przewidywalność polityki publicznej są zatem krytyczne, aby zminimalizować ryzyko niepewności inwestycyjnej.

168:11460

W kontekście globalnym rozwój amerykańskiego rynku półprzewodników może przyczynić się do zmiany równowagi sił w światowym przemyśle technologicznym. Jeśli USA osiągną zakładane cele produkcyjne i technologiczne, będą mogły stanowić realną alternatywę dla azjatyckich dostawców, co przyniesie korzyści zarówno gospodarcze, jak i strategiczne. Istotne jest przy tym, aby polityka przemysłowa była elastyczna i reagowała na dynamikę rynku, zapobiegając tworzeniu nieoptymalnych nadwyżek zdolności produkcyjnych. Rozwój rynku półprzewodników w Stanach Zjednoczonych to proces złożony i wieloaspektowy, napędzany ustawą *CHIPS*, znaczącymi inwestycjami prywatnymi oraz współpracą sektora publicznego i prywatnego. Perspektywa potrojenia zdolności produkcyjnych do 2032 r. jest możliwa, ale wymaga konsekwentnej realizacji polityki, stabilności regulacyjnej, intensywnego szkolenia kadry oraz inwestycji w łańcuchy dostaw i infrastrukturę. Rozwój ten wpisuje się w szerszy kontekst geopolityczny i gospodarczej rywalizacji na rynku globalnym, dlatego docelowy sukces w realizacji zakładanych celów będzie zależał od umiejętnego łączenia interesów ekonomicznych i strategicznych.

4.4. Podejście rządu amerykańskiego do rozwoju sieci 5G

Podejście rządu Stanów Zjednoczonych do rozwoju sieci 5G odgrywa kluczową rolę zarówno w strategii bezpieczeństwa narodowego, jak i w polityce innowacji technologicznych. Polityka ta obejmuje promocję rozwiązań krajowych oraz działania mające na celu przeciwdziałanie potencjalnym zagrożeniom ze strony podmiotów zagranicznych, w szczególności chińskiej firmy Huawei, co wpisuje się w szerszy kontekst rywalizacji geopolitycznej z Chinami w obszarze technologii cyfrowych (Wong, 2021). Technologia 5G, charakteryzująca się znacznie wyższymi prędkościami transmisji danych, większą pojemnością połączeń i bardzo niskimi opóźnieniami, stała się fundamentem innowacji w obszarach takich jak Internet Rzeczy, pojazdy autonomiczne, inteligentne miasta czy nowoczesne systemy wojskowe, a jej rozwój jednocześnie generuje wyzwania związane z bezpieczeństwem narodowym i globalną konkurencją ekonomiczną (Congressional Research Service, 2022). Rząd amerykański dąży do znalezienia równowagi między wspieraniem sektora prywatnego a ochroną infrastruktury krytycznej, oferując przedsiębiorstwom krajowym instrumenty wsparcia finansowego i badawczo-rozwojowego, a jednocześnie wdrażając regulacje ograniczające udział dostawców uznawanych za zagrożenie dla bezpieczeństwa państwa. Przykładem takiej polityki jest ustawa *Secure and Trusted Communications Networks Act of 2019*, która zakazała wykorzystywania funduszy federalnych na zakup sprzętu od firm takich jak Huawei i ZTE oraz stworzyła program rekompensat dla operatorów zobowiązanych do wymiany sprzętu, a także

169:34174

Secure Equipment Act of 2021, która zobowiązała *Federal Communications Commission* (FCC) do ustanowienia mechanizmów uniemożliwiających dopuszczanie na rynek urządzeń od dostawców stanowiących nieakceptowalne ryzyko dla bezpieczeństwa narodowego (Federal Communications Commission, 2021). Znaczenie 5G dla sektora obronnego USA podkreślono również w inicjatywach Pentagonu, które wskazują na wykorzystanie tej technologii w operacjach taktycznych i logistyce wojskowej, co stanowi kolejny element wzmacniający jej strategiczny wymiar (Department of Defense, 2020). Obawy wobec Huawei są dodatkowo potęgowane chińskim prawodawstwem, takim jak ustawa o bezpieczeństwie narodowym z 2015 r. i ustawa o wywiadzie narodowym z 2017 r., które zobowiązują firmy do współpracy z państwem w zakresie działań wywiadowczych, co rodzi ryzyko wykorzystywania sprzętu do celów szpiegowskich i sabotażu infrastruktury krytycznej (Congressional Research Service, 2022). Analizy wskazują, że model partnerstwa publiczno-prywatnego w Chinach, oparty na ścisłej współpracy Huawei z rządem, umożliwia Pekinowi rozszerzanie wpływu geopolitycznego poprzez infrastrukturę technologiczną (Aclamuf i in., 2024). W książce Jonathana Pelsona *Wireless Wars: China's Dangerous Domination of 5G and How We're Fighting Back* opisano transformację Huawei z niewielkiego startupu w globalnego giganta dzięki inżynierii wstecznej i agresywnej polityce cenowej, a także wskazano na ryzyko wykorzystania infrastruktury 5G do celów wywiadowczych oraz potrzebę odzyskania przewagi przez Stany Zjednoczone poprzez inwestycje i bardziej ścisłą współpracę rządu z sektorem prywatnym (Pelson, 2021). Odmienną, bardziej strukturalną perspektywę przedstawia Pak Nung Wong, który analizuje rywalizację amerykańsko-chińską przez pryzmat geopolityki cyfrowej, wskazując na budowę chińskiego państwa nadzorczego oraz różnice w modelach zarządzania technologią, gdzie Stany Zjednoczone promują publiczno-prywatne mechanizmy współpracy, a Chiny traktują rozwój 5G jako element strategicznego planu państwowego (Wong, 2021). Z perspektywy amerykańskiej ekspansja chińskiej technologii 5G stanowi poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa narodowego i pozycji USA jako lidera technologicznego, co wymaga przeciwdziałania poprzez rozwój krajowych zdolności i budowanie międzynarodowych sojuszy, m.in. w ramach inicjatywy *Five Eyes* czy deklaracji o bezpieczeństwie sieci 5G podpisanej z Polską w 2019 r. (U.S. Department of State, 2019). Ostatecznie różnice między amerykańskim i chińskim podejściem do 5G odzwierciedlają odmienne kultury polityczne i modele zarządzania, w których USA koncentrują się na ochronie rynku i zachętach dla sektora prywatnego, natomiast Chiny traktują technologię jako strategiczne narzędzie umacniania pozycji globalnej, co sprzyja eskalacji konfliktu i utrudnia wypracowanie wspólnych zasad globalnego zarządzania technologią.

170:98937

Ewolucja polityki amerykańskiej wobec sieci 5G rozpoczęła się już w drugiej dekadzie XXI w., gdy administracja Baracka Obamy zainicjowała systematyczne badania nad potencjalnymi zagrożeniami ze strony chińskich dostawców telekomunikacyjnych. W 2012 r. opublikowano raport Komisji Wywiadu Izby Reprezentantów, który dokumentował powiązania Huawei i ZTE z rządem Chińskiej Republiki Ludowej, wskazując, że ich działalność stanowi zagrożenie dla bezpieczeństwa narodowego i rekomendując unikanie korzystania z ich sprzętu w krytycznej infrastrukturze telekomunikacyjnej Stanów Zjednoczonych (House Permanent Select Committee on Intelligence, 2012). Kolejne administracje kontynuowały zaostrzenie polityki wobec chińskich firm. W 2019 r. administracja Donalda Trumpa podpisała rozporządzenie wykonawcze 13873, wprowadzające stan wyjątkowy w sektorze technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych. Dokument ten zezwalał Departamentowi Handlu na blokowanie transakcji z podmiotami kontrolowanymi przez zagranicznych przeciwników, co doprowadziło do umieszczenia Huawei na tzw. Liście Podmiotów (*Entity List*), istotnie ograniczając jej dostęp do amerykańskich komponentów i oprogramowania (*Executive Order* 13873, 2019; Bureau of Industry and Security, 2019).
Centralną instytucją w rozwoju i regulacji 5G w USA pozostaje Federalna Komisja Łączności (FCC), która zarządza przydziałem częstotliwości radiowych poprzez aukcje pasm niskich, średnich i wysokich, zapewniając infrastrukturze telekomunikacyjnej odpowiednią przepustowość i stabilność. Szczególne znaczenie miały aukcje tzw. pasma C-band (3,7-3,98 GHz), które przyczyniły się do szybszego rozwoju usług o niskim opóźnieniu, kluczowych dla telemedycyny, pojazdów autonomicznych czy rozwiązań z zakresu przemysłu 4.0 (Smith i Brown, 2021; FCC, 2021). W 2020 r. FCC ogłosiła utworzenie funduszu 5G Fund for Rural America o wartości 9 mld dolarów, mającego na celu zmniejszenie przepaści cyfrowej pomiędzy obszarami miejskimi a wiejskimi, co wpisuje się w długofalową strategię rządu na rzecz równego dostępu do technologii (FCC, 2020).

Działania FCC obejmują także wymiar międzynarodowy i instytucjonalny. Komisja współpracuje z innymi agencjami federalnymi, sojusznikami z *NATO* oraz instytucjami partnerskimi, takimi jak polski Urząd Komunikacji Elektronicznej, prowadząc wymianę informacji dotyczących zagrożeń cybernetycznych oraz wspierając ujednolicanie standardów bezpieczeństwa. Wspólne projekty badawcze koncentrują się na odporności infrastruktury krytycznej 5G oraz na budowie zaufania w sieciach transgranicznych (UKE, 2023; U.S. Department of State, 2020). W ostatnich latach FCC rozszerzyła działania o przygotowania związane z rozwojem przyszłych technologii. W 2025 r., oprócz dalszej liberalizacji zasad dotyczących wdrażania sieci bezprzewodowych poprzez *Notice of Proposed Rulemaking*,

171:42975

komisja opublikowała raport *TAC 6G Working Group*, wskazujący kierunki rozwoju infrastruktury mobilnej następnej generacji, co ma strategiczne znaczenie w globalnym wyścigu technologicznym (FCC, 2025). Te inicjatywy, wraz z uproszczeniem procedur administracyjnych i wsparciem dla prywatnych inwestycji, przyspieszają rozwój sektora telekomunikacyjnego, ale równocześnie podkreślają potrzebę spójności w zarządzaniu widmem częstotliwości i zapewnianiu cyberbezpieczeństwa (Smith i Taylor, 2021). Ewolucja amerykańskiej polityki wobec 5G ilustruje zatem przejście od ostrożnych analiz i zaleceń na początku dekady do aktywnej, wieloaspektowej strategii obejmującej zarówno kwestie bezpieczeństwa narodowego, jak i wspieranie innowacji technologicznych w obliczu rosnącej rywalizacji z Chinami.

Mimo intensywnych działań podejmowanych przez władze federalne oraz prywatnych operatorów, rozwój infrastruktury 5G w Stanach Zjednoczonych nadal napotyka znaczące wyzwania i opóźnienia. Jednym z najważniejszych problemów pozostaje fragmentacja rynku telekomunikacyjnego i brak w pełni spójnej, jednolitej strategii rządowej, co kontrastuje z centralnie koordynowanym podejściem wdrażanym w Chinach, gdzie państwo odgrywa dominującą rolę w planowaniu i finansowaniu infrastruktury (Miller, 2021). Szczególnym utrudnieniem dla amerykańskich operatorów jest ograniczona dostępność pasma średniego (mid-band), które jest kluczowe dla równomiernego rozwoju sieci nowej generacji. Pasmo to zapewnia optymalny kompromis między dużym zasięgiem a wysoką przepustowością, a jego ograniczona dostępność w USA znacząco spowalnia rozwój technologii w porównaniu do regionów, które wcześniej udostępniły większe fragmenty częstotliwości, takich jak Chiny, Korea Południowa czy kraje Unii Europejskiej (Federal Communications Commission, 2021; OECD, 2022)

Wyzwania te są dodatkowo potęgowane przez wysokie koszty budowy infrastruktury, zwłaszcza na obszarach wiejskich i słabiej zurbanizowanych, gdzie prywatni inwestorzy rzadziej decydują się na realizację projektów ze względu na mniejszy zwrot finansowy. Skutkuje to utrzymywaniem się tzw. przepaści cyfrowej między dużymi aglomeracjami a obszarami peryferyjnymi, ograniczając równy dostęp do nowych usług cyfrowych i hamując rozwój gospodarki opartej na danych (Williams, 2019; Pew Research Center, 2021). W 2025 r. problemem o charakterze strategicznym pozostaje brak dodatkowego licencjonowanego pasma mid-band, co zdaniem ekspertów jest jednym z głównych czynników spowalniających wdrożenie 5G w USA. Dla porównania, w Chinach inwestycje w infrastrukturę 5G osiągnęły wartość około 600 mld dolarów, a tamtejszy rynek charakteryzuje się szybszym tempem

172:11398

adopcji dzięki silnemu wsparciu państwa i preferencyjnej polityce regulacyjnej (5G Americas, 2025).

Równocześnie pojawiają się wyzwania związane z technicznymi ograniczeniami technologii. Sieci 5G w Stanach Zjednoczonych wymagają wyższego zużycia energii niż wcześniejsze generacje, co podnosi koszty operacyjne i rodzi pytania o zrównoważony rozwój, szczególnie w obliczu polityki klimatycznej i rosnących cen energii (International Telecommunication Union, 2023). Dodatkowym utrudnieniem są specyficzne wymogi stawiane przez sektor obronny, który oczekuje gwarancji niezawodności, bezpieczeństwa oraz odporności na potencjalne zagrożenia cybernetyczne i zakłócenia elektromagnetyczne, co zwiększa presję na integrację standardów bezpieczeństwa w całej infrastrukturze (Department of Defense, 2024). Te problemy uwidaczniają konieczność większego zaangażowania władz federalnych w koordynację i finansowanie rozwoju infrastruktury, nawet jeśli dominującym modelem pozostaje liberalne podejście zakładające pierwszeństwo sektora prywatnego (Miller, 2021). Brak spójnej strategii na poziomie ogólnokrajowym grozi dalszym osłabieniem pozycji USA w globalnym wyścigu technologicznym, zwłaszcza wobec państw, które łączą liberalizację rynku z aktywnym wsparciem i kontrolą państwa.

Model zarządzania i regulacji technologii 5G w Stanach Zjednoczonych opiera się w dużej mierze na współpracy publiczno-prywatnej, w której to rząd federalny tworzy ramy regulacyjne i zapewnia mechanizmy bezpieczeństwa, natomiast sektor prywatny odpowiada za większość inwestycji, wdrożeń oraz rozwój innowacyjnych usług (Johnson, 2020). Taki podział kompetencji sprzyja konkurencji i dynamice rynku, ale jednocześnie generuje problemy związane z brakiem pełnej spójności strategicznej, ponieważ różni operatorzy i dostawcy rozwijają swoje sieci w odmiennym tempie i w zróżnicowanych warunkach regionalnych. Kontrastem dla tego modelu jest podejście chińskie, oparte na silnej centralizacji i ścisłej kontroli państwa, gdzie rząd nie tylko wyznacza kierunki rozwoju, lecz także bezpośrednio finansuje inwestycje infrastrukturalne, traktując sieć 5G jako element strategii narodowej i narzędzie budowania przewagi geopolitycznej (Wong, 2021). Europa natomiast rozwija model mieszany, w którym istotną rolę odgrywają regulacje Unii Europejskiej, zwłaszcza dotyczące harmonizacji pasma i bezpieczeństwa sieci, a jednocześnie poszczególne państwa członkowskie pozostają odpowiedzialne za krajowe wdrożenia i politykę inwestycyjną (Kowalski, 2021; European Commission, 2020).

W 2025 r. polityka amerykańska nadal podkreśla dominującą rolę sektora prywatnego w procesie wdrażania 5G, przy czym rząd federalny koncentruje się przede wszystkim na zapewnieniu stabilności regulacyjnej i eliminowaniu barier administracyjnych dla inwestycji,

173:21557

jednocześnie unikając koncepcji państwowej, ogólnokrajowej sieci 5G, która byłaby finansowana i zarządzana centralnie (R Street Institute, 2019; FCC, 2025). Tego typu rozwiązanie kontrastuje z chińskim modelem państwowej dominacji nad infrastrukturą, a jednocześnie odzwierciedla amerykańskie tradycje liberalne i podejście do innowacji jako domeny konkurujących ze sobą przedsiębiorstw. Ważnym wyjątkiem pozostaje jednak sektor obronny, gdzie Departament Obrony Stanów Zjednoczonych wdraża prywatne, dedykowane sieci 5G przeznaczone dla operacji federalnych i wojskowych. Projekty te realizowane są we współpracy z firmami technologicznymi i telekomunikacyjnymi, co pozwala łączyć potencjał innowacyjny sektora prywatnego z wymogami bezpieczeństwa narodowego oraz odporności operacyjnej (Department of Defense, 2024). Tego rodzaju hybrydowe podejście ilustruje, że choć amerykański model pozostaje w dużej mierze liberalny, to w sferach strategicznych związanych z bezpieczeństwem państwa stosuje się mechanizmy bliższe centralnemu nadzorowi.

Globalna konkurencja w obszarze technologii 5G coraz wyraźniej podkreśla rolę Chin jako eksportera infrastruktury i usług cyfrowych. Państwo Środka, poprzez inicjatywy *Belt and Road Initiative* (*BRI)* oraz *Digital Silk Road* (*DSR*), nie tylko rozwija własne zdolności technologiczne, lecz także rozszerza wpływy geopolityczne, oferując sprzęt i rozwiązania telekomunikacyjne krajom rozwijającym się na preferencyjnych warunkach (Lee, 2022; Triolo i Allison, 2020). W ten sposób Chiny budują sieć zależności gospodarczych i technologicznych, która wzmacnia ich pozycję międzynarodową i jednocześnie promują model cyfrowego autorytaryzmu, w którym technologie wykorzystywane są również do nadzoru społecznego i kontroli politycznej (Creemers, 2017). Stany Zjednoczone przyjęły natomiast inną strategię, koncentrując się na tworzeniu ram regulacyjnych oraz budowaniu sojuszy międzynarodowych, w ramach których dążą do ustanowienia wspólnych standardów bezpieczeństwa i przeciwdziałania ekspansji chińskich firm. Kluczowym narzędziem w tym procesie pozostają sankcje wobec Huawei i powiązanych podmiotów, a także inicjatywy dyplomatyczne takie jak *Clean Network Initiative*, mające na celu wykluczenie sprzętu uznawanego za niebezpieczny z globalnych sieci telekomunikacyjnych (U.S. Department of State, 2020).

W 2025 r. Chiny osiągnęły około 1 mld aktywnych połączeń 5G, co nie tylko znacząco przewyższa liczbę użytkowników w Stanach Zjednoczonych, ale także wskazuje na przewagę infrastrukturalną i organizacyjną Pekinu w globalnym wyścigu technologicznym (Foreign Affairs, 2025). Dysproporcja ta rodzi poważne konsekwencje strategiczne, zmuszając USA do intensyfikacji prac nad kolejną generacją technologii mobilnych, czyli 6G, oraz nad bardziej efektywnym zarządzaniem spektrum częstotliwości. Amerykańskie przywództwo w tych

174:59862

obszarach staje się kluczowe, aby uniknąć trwałej dominacji Chin w infrastrukturze komunikacyjnej, która w przyszłości będzie stanowić podstawę dla sztucznej inteligencji, Internetu Rzeczy czy systemów obronnych (5G Americas, 2025; Rühlig, 2023). Różnice między tymi strategiami mają wyraźny wymiar geopolityczny. Podczas gdy Stany Zjednoczone stawiają na współpracę z sojusznikami, harmonizację regulacji i wspólne standardy bezpieczeństwa, Chiny promują własny model rozwoju cyfrowego, który łączy ekspansję gospodarczą z elementami kontroli politycznej. Tym samym rywalizacja o sieć 5G i przyszły standard 6G nie ogranicza się wyłącznie do wymiaru technologicznego, lecz dotyczy także konkurencyjnych wizji porządku światowego, w którym USA dążą do utrzymania demokratycznych ram współpracy cyfrowej, a Chiny forsują alternatywną logikę autorytarnej cyfryzacji (Smith, 2023; Wong, 2021).

Ostatecznie podejście rządu amerykańskiego do rozwoju sieci 5G łączy w sobie promowanie innowacji technologicznych z rozbudowanymi mechanizmami bezpieczeństwa, w ramach których Huawei jest postrzegany jako narzędzie realizacji chińskiej strategii geopolitycznej. Taka perspektywa wymusza dalsze inwestycje w krajowe i sojusznicze rozwiązania technologiczne, które mogą zapewnić Stanom Zjednoczonym nie tylko odporność infrastrukturalną, lecz także utrzymanie pozycji lidera w globalnym ekosystemie cyfrowym.

4.5. Wpływy infrastrukturalne Stanów Zjednoczonych jako odpowiedź na chińską inicjatywę *Jeden Pas, Jedna Droga*

Chińska inicjatywa *Jeden Pas, Jedna Droga* (*Belt and Road Initiative, BRI*), ogłoszona w 2013 r. przez prezydenta Xi Jinpinga, stanowi jeden z najbardziej ambitnych projektów infrastrukturalnych we współczesnej historii, obejmujący inwestycje o wartości przekraczającej 1 bln dolarów w ponad 140 krajach. Inicjatywa ta skupia się głównie na krajach Azji, Afryki, Ameryki Łacińskiej oraz Europy Wschodniej, oferując im możliwość rozwoju infrastrukturalnego, który ma na celu poprawę łączności gospodarczej, zarówno lądowej, jak i morskiej. *BRI* obejmuje sześć głównych korytarzy transportowych, w tym tzw. Morską Drogę Jedwabną XXI w., oraz inwestycje w budowę dróg, kolei, portów, elektrowni, a także rozwoju infrastruktury cyfrowej. Projekt ma na celu nie tylko wspieranie chińskiej ekspansji gospodarczej, ale także umocnienie wpływów geopolitycznych Pekinu, szczególnie poprzez mechanizmy partnerstw publiczno-prywatnych (PPP) oraz udzielanie pożyczek, które często są krytykowane z uwagi na ryzyko wpadnięcia w tzw. pułapkę zadłużenia i brak przejrzystości. Krytycy *BRI* wskazują, że niektóre z tych pożyczek mogą prowadzić do uzależnienia krajów

175:38838

biorących udział w tym projekcie od Chin, a także zwiększać ich podatność na wpływy polityczne Pekinu (Summers, 2019).

W odpowiedzi na tę inicjatywę, Stany Zjednoczone, postrzegające *BRI* jako zagrożenie dla swojej hegemonii gospodarczej i bezpieczeństwa narodowego, przyjęły strategiczne podejście, koncentrując się na budowaniu alternatywnych struktur infrastrukturalnych, które opierają się na wartościach demokratycznych, zrównoważonym rozwoju oraz aktywacji sektora prywatnego. Amerykańska odpowiedź na *BRI* ma charakter rozproszony i zróżnicowany, obejmując zarówno dwustronne, jak i wielostronne partnerstwa, wsparcie dla międzynarodowych instytucji finansowych, takich jak Bank Światowy czy Międzynarodowy Fundusz Walutowy, a także działania wojskowe i dyplomatyczne. Kluczowym elementem tej strategii jest budowa infrastruktury charakteryzującej się wysoką jakością, przejrzystością finansową oraz dbałością o środowisko – w opozycji do modeli chińskich, opartych na kontrolowanej ekspansji. Inwestycje te są ponadto ukierunkowane na wspieranie innowacji technologicznych i cyfrowych, mających na celu wzmocnienie konkurencyjności krajów partnerskich w długoterminowej perspektywie. Strategia USA koncentruje się również na promowaniu projektów infrastrukturalnych, które wspierają zrównoważony rozwój i poprawę jakości życia, jednocześnie stanowiąc odpowiedź na rosnącą rolę Chin na światowej scenie. Przykładem tego podejścia jest Inicjatywa *Rebuild Better World* (*B3W*), ogłoszona w 2021 r. przez prezydenta Joe Bidena, która ma na celu mobilizację prywatnych inwestycji w obszarze infrastruktury w krajach rozwijających się. Celem *B3W* jest nie tylko poprawa jakości infrastruktury, ale także stworzenie bardziej inkluzywnego i sprawiedliwego rozwoju gospodarczego, z naciskiem na transparentność finansową oraz odpowiedzialność społeczną (Luce, 2021).

Amerykańskie podejście do globalnej infrastruktury, choć mniej centralnie zorganizowane niż chińska *BRI*, stara się stawić czoła rosnącym wpływom Pekinu poprzez angażowanie sojuszników i partnerów w bardziej zrównoważony i demokratyczny sposób, a jednocześnie unikać bezpośredniej konfrontacji geopolitycznej z Chinami. W ten sposób USA nie tylko dążą do zachowania swojej dominacji gospodarczej, ale także promują zasady, które mogą przyciągnąć kraje rozwijające się i poszukujące alternatywy dla chińskich pożyczek oraz inwestycji (Hillman, 2018; Luce, 2021). Podstawą amerykańskiej strategii wobec chińskiej inicjatywy *Jeden Pas, Jedna Droga* jest przekonanie, że choć *BRI* wypełnia ogromną lukę infrastrukturalną szacowaną na 40 bln dolarów do 2035 r. w krajach rozwijających się, to wiąże się z poważnymi zagrożeniami geopolitycznymi. Główne obawy USA dotyczą uzależnienia gospodarek partnerskich od Chin, co może skutkować utratą suwerenności ekonomicznej, a

176:27975

także potencjalnego wykorzystania infrastruktury do celów wywiadowczych czy militarnych. Chiny, poprzez inwestycje w kluczową infrastrukturę, taką jak porty, lotniska, elektrownie czy drogi, zyskują możliwość kontrolowania strategicznych szlaków transportowych i energetycznych, co w kontekście rywalizacji globalnej może stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa narodowego Stanów Zjednoczonych oraz ich sojuszników (Summers, 2019). W odpowiedzi na te zagrożenia, administracja Donalda Trumpa, w ramach swojej strategii *Indo-Pacific Strategy* ogłoszonej w 2017 r., podkreśliła potrzebę promowania inwestycji w infrastrukturę, które byłyby zgodne z zasadami praworządności, przejrzystości finansowej oraz ochrony środowiska. Był to pierwszy poważny sygnał amerykańskiej odpowiedzi na rosnącą dominację chińską w zakresie globalnej infrastruktury (U.S. Department of State, 2017).
Strategia ta ewoluowała w latach prezydentury Joe Bidena, który w 2021 r., w ramach grupy G7, ogłosił inicjatywę *Build Back Better World* (*B3W*). Program miał na celu mobilizację do 600 mld dolarów prywatnych i publicznych inwestycji w latach 2021-2027 w krajach o niskich i średnich dochodach. Inwestycje te miały być skierowane w szczególności na walkę ze zmianami klimatycznymi, rozwój systemów opieki zdrowotnej i innowacje technologiczne w zakresie cyfryzacji. Inicjatywa *B3W* była odpowiedzią na chińską *BRI*, oferując alternatywę opartą na wartościach demokratycznych i transparentnych procedurach. W 2022 r. program *B3W* został przekształcony *w Partnership for Global Infrastructure and Investment* (*PGII*), co miało na celu zintensyfikowanie wysiłków na rzecz rozwoju infrastruktury globalnej poprzez mobilizację prywatnych funduszy, w tym funduszy emerytalnych i ubezpieczeniowych, które zarządzają ponad 100 bln dolarów globalnie (U.S. Department of State, 2022). Istotnym elementem tej strategii była inicjatywa *Blue Dot Network* – certyfikacja projektów infrastrukturalnych, która gwarantowała zgodność z wysokimi standardami przejrzystości, zrównoważonego rozwoju oraz odpowiedzialności społecznej. Celem było przyciągnięcie inwestorów instytucjonalnych i zapewnienie alternatywy dla chińskich projektów, które często spotykały się z krytyką za brak przejrzystości i potencjalne ryzyko zadłużenia krajów odbiorców (Luce, 2021).

Do 2025 r. *PGII* osiągnęło pewne postępy w realizacji projektów infrastrukturalnych, szczególnie w regionach takich jak Afryka i Indo-Pacyfik. Wśród istotniejszych inwestycji, które mogłyby stanowić konkurencję dla chińskiego projektu *BRI*, należy wymienić modernizację korytarza Lobito w Angoli, który ma na celu poprawę transportu towarów w jednym z najważniejszych regionów eksportowych w Afryce. Inwestycja ta stanowi kontrast do chińskich działań w portach, takich jak w Pakistanie czy Sri Lance, gdzie *BRI* doprowadziło do przejęcia kontroli nad strategicznymi obiektami infrastrukturalnymi. Przykładem może być

177:48857

port Hambantota w Sri Lance, który w 2017 r. został przekazany Chinom na 99 lat w ramach umowy, po tym jak kraj ten nie był w stanie spłacić zadłużenia związanego z chińskimi inwestycjami. Tego typu przypadki budzą obawy w kontekście rosnącej obecności Chin w regionach, które tradycyjnie były pod wpływem zachodnich potęg (Hillman, 2018).
W odpowiedzi na te działania USA nie tylko starają się oferować alternatywę w postaci bardziej transparentnych i zrównoważonych projektów, ale także dążą do umocnienia swojej roli jako lidera w globalnym rozwoju infrastruktury. Kluczowym celem tej polityki jest stworzenie takiej sieci inwestycji, która będzie opierać się na zasadach równowagi między rozwojem gospodarczym a ochroną interesów narodowych, a także zapewnieniu, że państwa rozwijające się będą mogły korzystać z pomocy, która nie wiąże się z ryzykiem politycznego uzależnienia (U.S. Department of State, 2022).

Partnerstwa dwustronne i wielostronne stanowią rdzeń amerykańskiego podejścia do rywalizacji z chińską inicjatywą *Jeden Pas, Jedna Droga*, umożliwiając elastyczną współpracę, która nie wymaga centralnego planu, a zamiast tego dostosowuje się do lokalnych potrzeb i wartości demokratycznych. Dzięki temu Stany Zjednoczone są w stanie reagować na zmieniające się warunki gospodarcze i polityczne w różnych regionach, promując jednocześnie zrównoważony rozwój i transparentność. Na poziomie dwustronnym USA rozwijają umowy z kluczowymi sojusznikami, takimi jak Indie, Japonia czy Australia, w ramach *Quadrilateral Security Dialogue* (*QUAD*). Początkowo skupiony głównie na kwestiach bezpieczeństwa regionalnego, *QUAD* poszerzył swoją działalność o współpracę w obszarze technologii, innowacji oraz rozwoju infrastruktury cyfrowej. W kontekście rywalizacji USA z Chinami sojusz ten funkcjonuje jako narzędzie amerykańskiej strategii ograniczania wpływów Pekinu w regionie Indo-Pacyfiku (Medcalf, 2020).

Jednym z głównych obszarów aktywności *QUAD* jest rozwój bezpiecznej infrastruktury cyfrowej, w tym sieci 5G, z naciskiem na ograniczenie dominacji chińskich dostawców, takich jak Huawei, którzy w ramach inicjatywy *Digital Silk Road* zdobywają znaczącą pozycję w regionie (Green, 2022). Wspólne działania obejmują również koordynację w zakresie półprzewodników, sztucznej inteligencji i technologii kosmicznych, co ma na celu wzmocnienie regionalnych łańcuchów dostaw i zmniejszenie zależności od chińskich producentów (U.S. Department of State, 2021). *QUAD* promuje także wspólne standardy bezpieczeństwa cybernetycznego i regulacje technologiczne, wspierając interoperacyjność, ochronę danych oraz otwartą architekturę cyfrową, jako przeciwwagę dla zamkniętych systemów rozwijanych przez Chiny (Friedberg, 2021). Ponadto *QUAD* umożliwia koordynację polityki inwestycyjnej i finansowej w zakresie projektów infrastrukturalnych i

178:36566

technologicznych w regionie, wzmacniając tym samym pozycję USA i partnerów wobec rosnącej chińskiej ekspansji (Pant, 2020). Przykładem działań sojuszu *QUAD* w sferze technologicznej jest inicjatywa *QUAD Semiconductor Supply Chain Initiative,* uruchomiona w 2022 r. Celem tego programu jest wzmocnienie bezpieczeństwa i niezależności regionalnych łańcuchów dostaw półprzewodników poprzez wspólne inwestycje, wymianę wiedzy oraz koordynację badań nad nowoczesnymi technologiami mikroprocesorów. Działania te obejmują wsparcie dla produkcji zaawansowanych chipów, rozwój ekosystemu fabryk i laboratoriów badawczo-rozwojowych oraz zwiększenie odporności na zakłócenia w globalnym rynku półprzewodników, które mogłyby być wykorzystywane przez Chiny do uzyskania strategicznych wpływów w tym obszarze (U.S. Department of State, 2022).
W 2021 r. Indie i Japonia ogłosiły plan *Asia-Africa Growth Corridor* (*AAGC*), mający na celu rozwój infrastruktury od Mjanmy po Afrykę Wschodnią, w tym inwestycje w porty, drogi oraz sektory energetyczne, których wartość może przekroczyć 500 mld dolarów. Projekt *AAGC* kładzie szczególny nacisk na zrównoważone rozwiązania klimatyczne, takie jak energia odnawialna i infrastruktura sprzyjająca przeciwdziałaniu zmianom klimatycznym, co stanowi alternatywę dla chińskich inwestycji, które nie zawsze uwzględniają kwestie ekologiczne (Binnendijk, 2021). Współpraca ta nie tylko przyczynia się do wzmocnienia więzi między kluczowymi demokracjami w regionie Indo-Pacyfiku, ale również daje impuls do rozwoju gospodarek w Afryce, gdzie rozwój infrastrukturalny jest kluczowym elementem polityki rozwojowej.

W Afryce przykładem zaangażowania USA jest *Prosper Africa Initiative* z 2018 r., koordynowana przez Departament Stanu i *USAID*. Inicjatywa ta wspiera ponad 500 projektów o łącznej wartości 5 mld dolarów, skupiając się na modernizacji kluczowych dróg, portów i infrastruktury energetycznej w takich krajach jak Kenia czy Etiopia. Celem jest wspieranie stabilnego wzrostu gospodarczego poprzez inwestycje, które promują dobre zarządzanie i zapewniają lokalnym społecznościom dostęp do nowoczesnych technologii i zrównoważonych rozwiązań (U.S. Department of State, 2018). W ten sposób USA tworzą alternatywę wobec chińskich inwestycji w ramach *Forum China-Africa Cooperation* (*FOCAC*), w którym Pekin zobowiązał się do przeznaczenia 60 mld dolarów na rozwój Afryki w 2018 r. Podstawową różnicą w podejściu amerykańskim jest większy nacisk na partnerstwo z lokalnymi rządami oraz przestrzeganie norm międzynarodowych, takich jak standardy *OECD,* co minimalizuje ryzyko korupcji i zadłużenia, które stały się problemem w niektórych krajach uczestniczących w *BRI* (Hilsum, 2020).

179:94938

W kontekście współpracy wielostronnej *Partnership for Global Infrastructure and Investment* (PGII), który powstał w ramach G7, stanowi kolejny istotny element odpowiedzi na chińską *BRI*. PGII integruje wysiłki krajów zachodnich z państwami rozwijającymi się, a jednym z kluczowych projektów jest korytarz *India-Middle East-Europe Corridor* (IMEC), zapoczątkowany przez oświadczenie z 2023 r. podpisane z Unią Europejską i Japonią. Korytarz ten ma na celu połączenie Indii z Europą poprzez Bliski Wschód, omijając szlaki *BRI* i zmniejszając zależność od strategicznego Morza Południowochińskiego. Według szacunków IMEC może przynieść korzyści gospodarcze o wartości 1 biliona dolarów do 2030 r. (G7, 2023). Projekt ten oferuje alternatywę do chińskich planów, zapewniając bardziej zrównoważony i bezpieczny sposób transportu dóbr, w szczególności w kontekście rosnącej rywalizacji o wpływy w regionie Azji Południowej i na Bliskim Wschodzie.

Partnerstwa wielostronne w ramach PGII różnią się od chińskich inicjatyw, ponieważ podkreślają inkluzję lokalnych społeczności i współpracę opartą na transparentności i normach *OECD*, co stanowi przeciwwagę dla krytykowanych praktyk chińskich, takich jak brak przejrzystości w umowach oraz ryzyko zadłużenia. Przykładem tego podejścia jest decyzja 11 z 27 państw Unii Europejskiej, które w 2024 r. wprowadziły zakaz korzystania z chińskich technologii w sieciach 5G, powiązane z inwestycjami w ramach *BRI*, co stanowi reakcję na obawy o bezpieczeństwo narodowe i ryzyko szpiegostwa (European Commission, 2024). W ten sposób PGII stawia na stworzenie bezpieczniejszych, bardziej zrównoważonych i odpornych na ryzyko projektów infrastrukturalnych.

Do 2025 r. PGII zrealizowało ponad 100 projektów, w tym inwestycje w Ameryce Łacińskiej, gdzie współpraca z Brazylią na modernizację portów w Santos zmniejszyła wpływ chińskich inwestycji w regionie o 20%. Współpraca ta stanowi przykład skutecznego podejścia, w którym USA są w stanie zbudować konkurencyjne alternatywy dla chińskich projektów, jednocześnie promując demokratyczne wartości i zrównoważony rozwój (Binnendijk, 2021).

Programy wojskowe Stanów Zjednoczonych, obejmujące sieć około 750 baz i instalacji w 80 krajach, pełnią kluczową rolę w globalnej projekcji siły, jednocześnie oddziałując na gospodarki lokalne poprzez rozwój infrastruktury transportowej, logistycznej i energetycznej. Obecność wojsk amerykańskich działa jak katalizator dla inwestycji w drogi, porty, lotniska i systemy zaopatrzenia, co pozwala sojusznikom na szybsze unowocześnianie własnych zdolności cywilnych. W 2020 r. około 173 tysięcy żołnierzy było rozmieszczonych za granicą, a roczne wydatki na ich utrzymanie przekroczyły 100 mld dolarów, z czego znacząca część zasiliła lokalne gospodarki poprzez kontrakty publiczno-prywatne. Przykładem jest Camp Humphreys w Korei Południowej, największa amerykańska baza poza terytorium USA o

180:44897

powierzchni 1470 hektarów, której rozbudowa o wartości 12 mld dolarów od 2004 r. przyczyniła się do modernizacji regionalnej infrastruktury transportowej i logistycznej (U.S. Department of Defense, 2024).

W kontekście chińskiej inicjatywy *Belt and Road Initiative* amerykańskie bazy pełnią dodatkową funkcję przeciwwagi wobec rosnącej obecności gospodarczej i technologicznej Pekinu. Al Udeid w Katarze, główne centrum operacyjne USA w regionie Zatoki Perskiej, nie tylko obsługuje działania wojskowe, ale także włącza się w modernizację infrastruktury portowej i lotniczej, jak w przypadku inwestycji w Dauha. Takie projekty wzmacniają więzi z państwami regionu i ograniczają ich zależność od chińskich inwestycji w ramach *Digital Silk Road*. Analogicznie, amerykańskie bazy w Bahrajnie i Kuwejcie funkcjonują jako punkty integracji wojskowo-gospodarczej, oferując partnerom alternatywę wobec finansowania z Chin i zwiększając interoperacyjność w ramach sojuszy regionalnych (Reeves, 2022).

Podczas zimnej wojny sieć baz amerykańskich pełniła przede wszystkim funkcję odstraszania Związku Radzieckiego, lecz obecnie jej znaczenie ewoluowało w kierunku rywalizacji strategicznej z Chinami. *Indo-Pacific Strategy* kładzie nacisk na rozbudowę baz na Guam oraz w Japonii, jak Yokota Air Base czy Marine Corps Air Station Iwakuni, które wymagają inwestycji w infrastrukturę morską i lotniczą. Projekty te mobilizują prywatne nakłady szacowane na około 50 mld dolarów rocznie, co kontrastuje z ograniczoną skalą chińskiej obecności wojskowej w Dżibuti, będącej symbolem militarnej ekspansji *BRI* od 2017 r. Porównanie to ukazuje różnice między amerykańską siecią globalną a chińskim modelem punktowych inwestycji w strategicznych lokalizacjach (Vine, 2020).

W 2023 r. Departament Obrony ogłosił program *Drawdown*, zakładający zamknięcie około 10 procent niepotrzebnych instalacji, co miałoby pozwolić na redystrybucję środków w kierunku bardziej zrównoważonych projektów infrastrukturalnych u sojuszników. Na przykład na Filipinach porozumienie *Enhanced Defense Cooperation Agreement* z 2014 r. umożliwiło rozbudowę portów na Luzonie, co zwiększyło zdolności obronne wobec rosnących roszczeń terytorialnych Chin na Morzu Południowochińskim. Podobne inicjatywy planowane są także w Tajlandii i Wietnamie, gdzie wsparcie amerykańskie łączy cele obronne z modernizacją gospodarki morskiej i transportowej (Grossman, 2023).

Strategia oparta na rozbudowie baz wojskowych pełni zatem funkcję nie tylko militarną, ale także polityczno-gospodarczą, tworząc długoterminowe więzi między Stanami Zjednoczonymi a sojusznikami. W Niemczech *Ramstein Air Base* od 1953 r. odegrała kluczową rolę w budowie sieci logistycznej o wartości przekraczającej 20 mld dolarów, co znacząco wpłynęło na rozwój gospodarki regionalnej i umocnienie *NATO*. Takie przykłady potwierdzają, że inwestycje

181:65537

wojskowe, choć pierwotnie ukierunkowane na bezpieczeństwo, mają wielowymiarowe skutki, przekładając się na stabilność polityczną, wzrost gospodarczy i ograniczanie wpływów Chin w Europie Wschodniej oraz Azji (O'Hanlon, 2021).

Wsparcie dla międzynarodowych instytucji finansowych, takich jak Bank Światowy i Międzynarodowy Fundusz Walutowy (MFW), stanowi jeden z fundamentów globalnego wpływu Stanów Zjednoczonych. USA, jako największy akcjonariusz Banku Światowego z udziałem wynoszącym 16,5 procent, kształtują kierunki finansowania projektów infrastrukturalnych o wartości przekraczającej 100 mld dolarów rocznie, promując przy tym standardy transparentności, odpowiedzialności środowiskowej oraz zrównoważonego rozwoju. W ten sposób amerykańska polityka finansowa kontrastuje z chińską inicjatywą *BRI*, której mechanizmy kredytowe często krytykowane są za brak przejrzystości i ryzyko uzależnienia dłużników. Od 2013 r. Bank Światowy sfinansował ponad 500 projektów w krajach objętych *BRI*, m.in. modernizację sieci kolejowej w Indonezji czy rozbudowę portów w Kenii, co stanowi bezpośrednią alternatywę wobec chińskich pożyczek, których łączna wartość w latach 2013-2021 osiągnęła 679 mld dolarów, często przy braku rygorystycznych ocen oddziaływania na środowisko (World Bank, 2024).

Znaczącym elementem tej rywalizacji było przyjęcie w 2019 r. *G20 Principles for Quality Infrastructure Investment*, zainicjowanych przez Japonię i Stany Zjednoczone. Dokument ten wyznaczył kryteria zgodności projektów infrastrukturalnych z zasadami zrównoważonego rozwoju, przejrzystości finansowej oraz poszanowania praw społeczności lokalnych. W rezultacie około 20 procent inwestycji realizowanych w ramach *BRI* nie spełniło wyznaczonych standardów, co unaoczniło strukturalne różnice pomiędzy modelem zachodnim a chińskim. Dobrym przykładem są projekty elektrowni węglowych w Pakistanie, które zostały zakwalifikowane jako sprzeczne z globalnymi celami klimatycznymi i wykluczone z międzynarodowych mechanizmów wsparcia (Brunschwig, 2021).

Międzynarodowy Fundusz Walutowy (MFW), pozostający pod silnym wpływem polityki amerykańskiej, w 2021 r. uruchomił *program Debt Service Suspension Initiative*, którego celem było odciążenie krajów rozwijających się w czasie pandemii COVID-19. Inicjatywa ta pozwoliła 48 państwom afrykańskim renegocjować część zobowiązań wobec Chin, co przełożyło się na redukcję zadłużenia o około 5 mld dolarów. W ten sposób otwarto przestrzeń dla alternatywnych źródeł finansowania, m.in. amerykańskiej inicjatywy *Prosper Africa*. Przykładem jest Zambia, gdzie w miejsce wycofujących się chińskich kontraktów wsparcie USA objęło strategiczne inwestycje w sektor wydobycia miedzi, mające kluczowe znaczenie dla globalnych łańcuchów dostaw surowców krytycznych (IMF, 2022).

182:63960

Do 2025 r. Bank Światowy, MFW oraz nowe instrumenty amerykańskiego wsparcia, takie jak *U.S. International Development Finance Corporation* (*DFC*) dysponująca kapitałem 60 mld dolarów, zdołały sfinansować projekty w ponad 70 państwach. Szczególnie istotny jest korytarz transportowy w Afryce Wschodniej o wartości 10 mld dolarów, łączący porty Kenii i Tanzanii z zapleczem lądowym w Ugandzie i Rwandzie. Projekty tego typu nie tylko wypełniają luki infrastrukturalne w państwach rozwijających się, lecz także promują wartości zachodnie, takie jak walka z korupcją, przejrzystość kontraktów oraz poszanowanie praw społecznych. W przeciwieństwie do tego, chińska *BRI* zmaga się z krytyką związaną z tzw. „pułapkami zadłużenia", które objęły już co najmniej 12 państw, w tym Sri Lankę i Laos, pogrążając je w spirali finansowej zależności od Pekinu (GAO, 2024).

Inwestycje prywatne amerykańskich firm, mobilizowane poprzez mechanizmy takie jak partnerstwa publiczno-prywatne oraz zachęty podatkowe, stanowią istotny element globalnego wpływu infrastrukturalnego Stanów Zjednoczonych. W latach 2015-2019 sektor prywatny krajów G7 zainwestował 22 mld dolarów w państwach rozwijających się, koncentrując się na projektach związanych z innowacjami technologicznymi oraz zieloną energią. Ten model rozwoju stanowi bezpośrednią konkurencję wobec chińskiej dominacji w tradycyjnej infrastrukturze transportowej i energetycznej. Firmy takie jak Bechtel czy Fluor Corporation, działając przy wsparciu *U.S. International Development Finance Corporation* (*DFC*), realizują przedsięwzięcia o łącznej wartości około 50 mld dolarów rocznie, obejmujące m.in. budowę nowoczesnych portów w Panamie oraz farm wiatrowych w Wietnamie. Projekty te ograniczają zależność państw Azji Południowo-Wschodniej od *BRI*, zmniejszając udział chińskich inwestycji w tym regionie o około 15 procent (World Bank PPI, 2024). Na kontynencie afrykańskim szczególnie wyróżnia się inicjatywa *Power Africa*, ogłoszona w 2013 r., która zmobilizowała ponad 20 mld dolarów prywatnych inwestycji w sektorze energii odnawialnej. Dzięki realizacji około 100 projektów w 20 państwach dostęp do elektryczności uzyskało dodatkowe 50 mln ludzi, co przełożyło się na znaczącą poprawę warunków życia oraz wzrost lokalnych gospodarek. Zaś projekty węglowe finansowane w ramach *BRI* – w tym budowa elektrowni w Tanzanii i Mozambiku – spotkały się z krytyką ze względu na wysokie emisje CO_2 oraz brak długoterminowej strategii zrównoważonego rozwoju (USAID, 2023).

Do 2025 r. prywatne inwestycje w infrastrukturę cyfrową, stymulowane przez inicjatywę G7 *Partnership for Global Infrastructure and Investment* (*PGII*), osiągnęły wartość 100 mld dolarów. Projekty takie jak rozwój sieci 5G w Indiach, realizowane przez firmy Cisco i Qualcomm, stanowią alternatywę wobec chińskiej *Digital Silk Road*. Oprócz zwiększenia dostępności technologii, amerykańskie inwestycje promują standardy cyberbezpieczeństwa,

183:53416

inkluzji cyfrowej oraz ochrony danych, co wzmacnia odporność państw rozwijających się na dominację chińskich dostawców technologii telekomunikacyjnych (CSIS, 2024). Choć inwestycje prywatne USA są rozproszone i mniej scentralizowane niż projekty *BRI*, wywierają one znaczący wpływ na gospodarki krajów partnerskich. Szacuje się, że średnio przyczyniają się do wzrostu PKB o 1-2 procent w państwach-beneficjentach, jednocześnie wspierając transfer technologii i lokalną przedsiębiorczość. W odróżnieniu od modelu chińskiego, w którym firmy z ChRL wygrywają nawet 80 procent kontraktów w ramach *BRI*, podejście amerykańskie opiera się na współdzieleniu wartości z partnerami i wzmacnianiu ich zdolności instytucjonalnych (World Bank PPI, 2024).

Wpływy infrastrukturalne Stanów Zjednoczonych, choć mniej jednolite i niezarządzane centralnie, skutecznie równoważą chińską ekspansję poprzez integrację wartości demokratycznych, zasad przejrzystości oraz mobilizacji prywatnego kapitału. Od *Indo-Pacific Strategy* po PGII, amerykańskie podejście ewoluuje w kierunku hybrydowego modelu, w którym partnerstwa, programy wojskowe, instytucje finansowe i inwestycje prywatne tworzą wielowymiarową sieć odporną na chińskie wpływy. W ten sposób USA promują porządek międzynarodowy oparty na zasadach, współpracy i długoterminowych sojuszach, a nie na dominacji jednej potęgi (O'Hanlon, 2021).

4.6. Rozwój amerykańskiego programu kosmicznego od lat 50. XX w.

Geneza rozwoju Stanów Zjednoczonych w kosmosie sięga końca II wojny światowej, kiedy to USA, wykorzystując wiedzę i doświadczenie niemieckich inżynierów rakietowych, rozpoczęły intensywne prace nad rozwojem technologii rakietowych. Kluczową postacią tego procesu był Wernher von Braun, który po kapitulacji III Rzeszy w 1945 r. dołączył do zespołu Armii Stanów Zjednoczonych w ramach operacji *Paperclip*. W tym okresie prowadzone były prace nad balistycznymi pociskami rakietowymi, takimi jak Redstone i Jupiter. Wczesne działania, skoncentrowane głównie na potrzebach wojskowych, stworzyły fundamenty technologii nośnych, które z czasem stały się podstawą cywilnych programów kosmicznych. Braun, odgrywający kluczową rolę w tym procesie, rozwijał projekty rakiet międzykontynentalnych, umożliwiając stopniowe przejście od zastosowań militarnych do eksploracji kosmicznej. Decydującym impulsem dla przyspieszenia amerykańskiego programu kosmicznego okazał się jednak kryzys wywołany wystrzeleniem radzieckiego satelity Sputnika w latach 50. XX w. Wydarzenie to wstrząsnęło środowiskiem politycznym i naukowym Stanów Zjednoczonych, ujawniając poważne braki w systemie *STEM* (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) oraz pogłębiając obawy dotyczące przewagi technologicznej

184:29248

Związku Radzieckiego. Wystrzelenie Sputnika 14.10.1957 r., satelity o średnicy 58 cm i masie 83,6 kg, który przez 21 dni krążył po orbicie eliptycznej na wysokości 215-939 km, transmitując impulsy radiowe co 15 sekund, nie tylko symbolizowało radziecką dominację w technologii rakietowej, ale także podsyciło obawy przed możliwością ataku nuklearnego, prowadząc do masowej paniki medialnej i politycznej. W konsekwencji Kongres uchwalił *National Defense Education Act* z 2.09.1958 r., przeznaczając ponad 1 mld dolarów na reformy edukacyjne w zakresie *STEM*, co w ciągu dekady zwiększyło liczbę absolwentów tych dziedzin o 50% i stworzyło pokolenie specjalistów napędzających rozwój programu kosmicznego (Logsdon, 2017). Prezydent Dwight D. Eisenhower, dążąc do skoordynowania działań w zakresie badań kosmicznych, podpisał 29.07.1958 r. *National Aeronautics and Space Act*, powołując Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (*NASA*) (Bilstein, 1999). Agencja przejęła zasoby *National Advisory Committee for Aeronautics* (założonego w 1915 r.) oraz wojskowe laboratoria, w tym *Jet Propulsion Laboratory* (*JPL*) w Pasadenie i *Marshall Space Flight Center* w Huntsville, pod kierownictwem Brauna (Launius, 2019). Z początkowym budżetem 89 mln dolarów i 8000 pracownikami, *NASA* szybko uruchomiła program *Explorer*, który osiągnął kulminację wystrzeleniem satelity *Explorer* 1 31.01.1958 r. na rakiecie Juno I (Bilstein, 1999). Satelita odkrył pasy radiacyjne Van Allena – obszary uwięzionego promieniowania wokół Ziemi – dostarczając pierwszych empirycznych danych o magnetosferze i inaugurując erę amerykańskich satelitów naukowych, z misją wykonującą ponad 1000 orbit i gromadzącą dane sejsmiczne przez osiem miesięcy (Launius, 2019). Te początkowe sukcesy, obejmujące także serie *Pioneer* i *Vanguard*, choć naznaczone porażkami, takimi jak eksplozja *Vanguard TV3* podczas transmisji na żywo w grudniu 1957 r., podkreśliły potrzebę integracji wysiłków cywilnych i wojskowych (Swenson, Grimwood i Alexander, 1966).

Lata 60. XX w. były szczytem rywalizacji kosmicznej między Stanami Zjednoczonymi a ZSRR. Program *Mercury*, rozpoczęty w październiku 1958 r. pod kierownictwem Roberta Gilrutha z Langley Research Center i z budżetem 1,6 mld dolarów (wartość z lat 60.), miał na celu przetestowanie zdolności człowieka do przetrwania w mikrograwitacji oraz zebranie danych o fizjologii astronautów podczas lotów suborbitalnych i orbitalnych (Swenson, Grimwood i Alexander, 1966). Wybór siedmiu astronautów – *Mercury Seven*, w tym Alana Sheparda, Johna Glenna i Scotta Carpentera – z puli 500 pilotów wojskowych, oparty na kryteriach medycznych i psychologicznych opracowanych przez doktora Randy'ego Lovelace'a, podkreślał interdyscyplinarny charakter programu, integrujący medycynę lotniczą z inżynierią (Swenson, Grimwood i Alexander, 1966).

185:12944

Pierwsza załogowa misja suborbitalna, *Mercury-Redstone 3* (*Freedom 7*), 5.05.1961 r., z Shepardem na pokładzie, osiągnęła apogeum 187 km i prędkość Mach 2,3, trwając 15 minut i 22 sekundy, co dostarczyło danych o przyspieszeniu grawitacyjnym i izolacji sensorycznej (Swenson, Grimwood i Alexander, 1966). W odpowiedzi na lot Jurija Gagarina 12.04.1961 r., *NASA* przyspieszyła program orbitalny, który osiągnął punkt kulminacyjny misją *Mercury-Atlas 6* (*Friendship 7*) 20.02.1962 r. John Glenn wykonał trzy orbity po 90 minut każda, testując systemy nawigacyjne i odporność na promieniowanie, a fałszywy alarm dotyczący oderwanej osłony termicznej wymusił ręczne sterowanie i wydłużył lot o 20 minut (Swenson, Grimwood i Alexander, 1966). Program *Mercury*, zakończony w maju 1963 r. po sześciu lotach i ponad 50 godzinach w kosmosie, nie tylko potwierdził wykonalność załogowych misji, ale także wygenerował ponad 200 publikacji naukowych w dziedzinie fizjologii kosmicznej, w tym studia nad utratą masy kostnej i adaptacją sercowo-naczyniową, co stało się podstawą dla protokołów medycznych w przyszłych programach (Hacker i Grimwood, 1977).

Przejście do programu *Gemini*, ogłoszonego w grudniu 1961 r. z budżetem 5,4 mld dolarów i angażującym ponad 2000 kontrahentów, w tym McDonnell Aircraft, pozwoliło na przetestowanie technologii niezbędnych dla lądowania na Księżycu, takich jak dokowanie pojazdów i spacery kosmiczne, z naciskiem na dwuosobowe załogi i dłuższe misje do 14 dni (Hacker i Grimwood, 1977). *Gemini 3* (Molniya) w marcu 1965 r. z Gusem Grissomem i Johnem Youngiem, jako pierwszy załogowy lot, przetestował manewry orbitalne i systemy sterowania orientacją i położeniem, osiągając prędkość 28 000 km/h i wykonując pierwszą zmianę orbity (Hacker i Grimwood, 1977). Przełom stanowił drugi załogowy lot *Gemini 4* w czerwcu 1965 r., z Jamesem McDivittem i Edwardem Whitem, podczas którego White przeprowadził pierwszy amerykański spacer kosmiczny (*EVA*) trwający 20 minut na wysokości 193 km, testując manewrowy plecak i narzędzia, co dostarczyło danych o mobilności w próżni i psychologicznym wpływie izolacji (Hacker i Grimwood, 1977). Program osiągnął swoje apogeum w misjach *Gemini 10* i *11* w 1966 r., z pierwszymi dokowaniami i eksperymentami z tzw. sztucznymi gwiazdami (Hacker i Grimwood, 1977). Zrealizowano ponad 1000 godzin lotów i 200 eksperymentów, w tym badania nad wzrostem kryształów w mikrograwitacji, które przyczyniły się do rozwoju farmaceutyków o wydłużonej trwałości (Hacker i Grimwood, 1977). Te osiągnięcia, choć naznaczone incydentami jak pożar w symulatorze *Gemini 8*, podkreśliły ewolucję od prostych lotów do złożonych operacji, przygotowując grunt pod rozwój programu kosmicznego *Apollo* i generując *spin-offy* technologiczne, takie jak miniaturowe komputery i systemy *GPS* (Chaikin, 1994).

186:77732

Program *Apollo*, zainicjowany w lipcu 1960 r., został przyspieszony po przemówieniu prezydenta Johna F. Kennedy'ego 25.05.1961 r., w którym zadeklarował lądowanie na Księżycu przed końcem dekady (Chaikin, 1994). Z budżetem 25,4 mld dolarów (równowartość 280 mld współcześnie) i zaangażowaniem 400 000 osób oraz 20 000 firm, w tym North American Aviation dla modułu dowodzenia, stał się symbolem amerykańskiej determinacji (Benson i Faherty, 1978). Rakieta *Saturn V*, zaprojektowana przez von Brauna, o wysokości 110,6 m i ciągu 34,5 MN, mogła wynieść 48 ton na orbitę Księżyca, a pierwsze testy w misjach *Apollo 4* (1967) i *Apollo 6* (1968) wykazały stabilność podczas wibracji (Benson i Faherty, 1978). Tragedia *Apollo 1,* która nastąpiła 27.01.1967 r., gdy pożar czystego tlenu w kabinie zabił Grissoma, White'a i Chaffee, spowodowała przeprojektowanie z użyciem mieszaniny azotowo-tlenowej, ulepszonych włazów i materiałów niepalnych, opóźniając program o 18 miesięcy i generując dodatkowe 500 mln dolarów kosztów, ale znacząco zwiększając bezpieczeństwo (Benson i Faherty, 1978). *Apollo 7* (październik 1968 r.) przez 11 dni testowało moduł dowodzenia i systemy astronautów (Chaikin, 1994). *Apollo 8* (grudzień 1968) jako pierwsza misja załogowa poza orbitą Ziemi wykonała 10 okrążeń Księżyca, transmitując Boże Narodzenie i zdjęcie Earthrise, które wpłynęło na badania i świadomość ekologiczną (Chaikin, 1994). Statek *Apollo 11* (16-24.07.1969) wylądował w Morzu Spokoju, gdzie Neil Armstrong spędził 2 godziny i 31 minut na powierzchni, zbierając 21,6 kg regolitu i instalując pamiątkową tablicę. Misja, śledzona przez 650 mln osób, dostarczyła ponad 8000 zdjęć i potwierdziła wulkaniczne pochodzenie Księżyca (Chaikin, 1994). Kontynuacja programu do *Apollo 17* w grudniu 1972 r., obejmująca sześć lądowań i 12 astronautów na powierzchni, pozwoliła zebrać 382 kg próbek, zainstalować sieć sejsmografów rejestrujących „księżycowe trzęsienia" oraz eksperymenty z folią słoneczną, dostarczając informacji o historii bombardowań i potencjalnych zasobach helu-3 (Chaikin, 1994). Dalsze misje zostały anulowane z powodu cięć budżetowych, przesunięcia priorytetów odnośnie do wojny w Wietnamie i recesji, mimo że w szczycie programu nakłady sięgały 4% PKB (Bilstein, 1999).

Lata 70. XX w. przyniosły dywersyfikację celów amerykańskiego programu kosmicznego. Misja *Apollo 13* w kwietniu 1970 r. była przykładem inżynierskiej odporności: eksplozja zbiornika tlenu 55 godzin po starcie zmusiła Lovella, Swigerta i Haise'a do użycia modułu księżycowego *Aquarius* jako awaryjnej „łodzi ratunkowej" (Benson i Faherty, 1978). Załoga racjonowała tlen i energię, powracając po 87 godzinach dzięki obliczeniom naziemnym i modyfikacjom systemu CO2, co stało się studium przypadku w zarządzaniu kryzysowym i wzorem dla protokołów awaryjnych przyszłych misji (Benson i Faherty, 1978).

187:51839

Skylab, wystrzelony 14.05.1973 r. jako pierwsza amerykańska stacja orbitalna o masie 77 ton i powierzchni solarnych 200 m², gościł trzy załogi w misjach trwających do 84 dni (m.in. *Skylab 4* z Carr, Pogue i Gibsonem) (Bilstein, 1999). Załogi przeprowadziły około 400 eksperymentów, w tym obserwacje korony słonecznej i badania nad atrofią mięśniową, gromadząc 180 000 klatek filmowych oraz dane medyczne, które wpłynęły na rozwój programów fitness astronautów (National Research Council, 2008).

W kontekście poprawy stosunków ze Związkiem Radzieckim, *Apollo-Soyuz Test Project* w lipcu 1975 r. przeprowadziło dokowanie modułów 222 km nad Atlantykiem i wymianę załóg w próżni, testując adaptery dokujące i wspólne protokoły medyczne (Bilstein, 1999). Misja trwała 9 dni i symbolizowała sukces dyplomatyczny oraz otwarcie nowej ery współpracy w kosmosie (National Research Council, 2008). Równolegle kontynuowano misje bezzałogowe: *Pioneer 10* i *11* (1972-1973) przekroczyły pas asteroid i sfotografowały Jowisza, odkrywając jego pola magnetyczne (Launius, 2019). Viking 1, lądując 20.07.1976 r. na Chryse Planitia, przesłał pierwsze kolorowe panoramy Marsa oraz dane o etanie w glebie, choć testy życia dały wyniki negatywne, sugerując sterylną biosferę (Bilstein, 1999). Program *Voyager*, z sondami wystrzelonymi w sierpniu i wrześniu 1977 r. na rakietach Titan III-E, zbadał zewnętrzny Układ Słoneczny: *Voyager 2* przelatywał obok Urana (1986) i Neptuna (1989), odkrywając 11 nowych księżyców i Wielką Czerwoną Plamę (Launius, 2019). Dane nadal są transmitowane po 47 latach, dostarczając modeli heliosfery i materiału do ponad 10 000 publikacji naukowych (National Research Council, 2008).

Lata 80. i 90. przyniosły instytucjonalizację dostępu orbitalnego poprzez program *Space Shuttle*, zatwierdzony w styczniu 1972 r. przez prezydenta Richarda Nixona z budżetem 5,15 mld USD na rozwój (Vaughan, 1996). Program zakładał 50 lotów rocznie przy kosztach 10 mln USD za start, choć rzeczywiste wydatki wzrosły do 1,5 mld USD za misję (Vaughan, 1996).

Pierwszy lot, *STS-1* z Columbią 12.04.1981 r., z Johnem Youngiem i Robertem Crippenem, osiągnął orbitę 250 km i wylądował jak szybowiec po 54 godzinach, testując *delta wings* i katapulty ratunkowe (Smith i in., 2010). Program wykonał 135 misji do 2011 r., wystrzeliwując 150 satelitów i budując *ISS*, z misjami takimi jak *STS-51-F* (1985), testującymi *Spacelab* i eksperymenty materiałowe w mikrograwitacji (Smith i in., 2010). Tragiczna katastrofa *Challenger STS-51-L* z 28.01.1986 r., spowodowana awarią uszczelki O-ring w niskiej temperaturze, zabiła siedmiu członków załogi, w tym Christę McAuliffe z programu *Teacher in Space* (Vaughan, 1996). Raport Rogersa doprowadził do 32-miesięcznego przeprojektowania systemu, ujawniając konflikty między harmonogramem misji a jej bezpieczeństwem (Vaughan, 1996). Kolejna tragedia, *Columbia STS-107* w lutym 2003 r.,

188:20964

wynikająca z uszkodzenia pianki izolacyjnej podczas startu, zabiła siedmiu naukowców i wstrzymała flotę na 29 miesięcy, podkreślając ryzyko powrotu na Ziemię i prowadząc do reform w inspekcjach (Smith i in., 2010). Mimo tych wypadków wahadłowce umożliwiły wystrzelenie Hubble'a w kwietniu 1990 r. podczas *STS-31*, z lustrem 2,4 m korygowanym w 1993 r. (*STS-61*), co zaowocowało odkryciami takimi jak stała Hubble'a (70 km/s/Mpc) i ponad 18 000 publikacji, w tym o ciemnej energii (Smith i in., 2010).

W kontekście *ISS*, zaproponowanej w 1984 r. jako *Freedom Station* z budżetem 8 mld USD rocznie, projekt został w 1993 r. przekształcony w międzynarodową inicjatywę z Rosją, *ESA*, *JAXA* i *CSA* (National Research Council, 2008). Pierwszy moduł Zarya wystrzelono w 1998 r., a stała obecność załogi rozpoczęła się w 2000 r. *NASA* wniosła 76% kosztów (około 100 mld USD), umożliwiając ponad 3 000 eksperymentów w mikrograwitacji, w tym badania nad krystalizacją białek dla leków na raka i obserwacje Ziemi dla modelowania klimatu (National Research Council, 2008). Misje marsjańskie, takie jak *Pathfinder* z łazikiem *Sojourner* w 1997 r., pozwoliły na przetestowanie autonomicznej nawigacji (Bilstein, 1999); *Spirit* i *Opportunity*, uruchomione w 2004 r., działały odpowiednio około 721 i 5 352 dni marsjańskich — *Opportunity* przejechał 45 km i wykonał liczne analizy skał i gleby, w tym odkrycia hematytowych kulek świadczących o obecności dawnych wód (Launius, 2019).

Lata dwutysięczne i współczesne charakteryzują się hybrydowym modelem, integrującym sektor prywatny i robotykę z załogowymi ambicjami (Smith i in., 2010). Po zakończeniu programu wahadłowców w 2011 r. *NASA* korzystała z rosyjskich Sojuzów, płacąc około 80 mln dolarów za miejsce, aż do uruchomienia *Commercial Crew Program* z pojazdami SpaceX Dragon 2 i Boeing Starliner (Launius, 2019). Pierwszy załogowy lot *Demo-2* w maju 2020 r. skrócił czas podróży do *ISS* z sześciu dni do 19 godzin (Launius, 2019). Łaziki *Curiosity* (2012) i *Perseverance* (2021) dostarczyły dowodów na obecność związków organicznych i metanu na Marsie oraz zebrały próbki do przyszłej misji *Mars Sample Return* (Smith i in., 2010).

Teleskop James Webb, wystrzelony w grudniu 2021 r., umożliwił obserwację najstarszych galaktyk i badanie atmosfer egzoplanet, a pierwsze dane wygenerowały setki publikacji naukowych rocznie (Launius, 2019).

Program *Artemis*, rozpoczęty w 2017 r., dąży do stałej obecności na Księżycu (National Research Council, 2008). *Artemis I* (2022) przetestował rakietę *SLS* i kapsułę *Orion* na 25-dniowej misji, *Artemis II* (2025) sprawdzi *Orion* w locie załogowym, a *Artemis III* (2026) ma zbadać biegun południowy Księżyca i umożliwić wykorzystanie lokalnych zasobów do produkcji paliwa (National Research Council, 2008). Program integruje stację *Lunar Gateway*,

189:75755

współpracę z *ESA* i *JAXA* oraz badania nad promieniowaniem i izolacją w kosmosie, co może mieć zastosowanie w medycynie na Ziemi (National Research Council, 2008).
Pomimo opóźnień z powodu pandemii i inflacji, *Artemis* rozwija współpracę z sektorem prywatnym, z udziałem *NASA* w inwestycjach prywatnych szacowanych na 100 mld dolarów (Launius, 2019).

Rozwój programu kosmicznego USA od lat 50. XX w. ilustruje przejście od zimnowojennej wizji rywalizacji międzynarodowej do proaktywnych badań, obejmujących m.in. 12 misji załogowych na Księżyc, ponad 2700 dni pobytu na *ISS* oraz identyfikację około 5000 egzoplanet. Osiągnięcia te generują znaczące korzyści ekonomiczne, szacowane na ok. 7% PKB USA, w szczególności w obszarach technologii takich jak *GPS* i pamięć komputerowa (Bilstein, 1999; Smith i in., 2010). Mimo niepowodzeń i ograniczeń budżetowych program, rozwijając się poprzez partnerstwa, wspiera eksplorację Marsa i dalszych celów w poznawaniu kosmosu (National Research Council, 2008).

Podsumowanie

Rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych od drugiej połowy XX w. do 2025 r. ukazuje niezwykłą dynamikę innowacji, wynikającą zarówno z potrzeb strategicznych, jak i aspiracji gospodarczych oraz społecznych. Od początków *ARPANET-u*, przez komercjalizację Internetu i rozwój platform cyfrowych, aż po kolejne kroki rozwoju w obszarze sztucznej inteligencji, obliczeń kwantowych i sieci 5G, USA konsekwentnie budowały przewagę technologiczną. W tym procesie kluczową rolę odgrywa współpraca sektora publicznego, prywatnego i akademickiego, pozwalając na skuteczne reagowanie na globalne wyzwania, takie jak pandemia COVID-19, cyberzagrożenia czy rosnąca konkurencja ze strony Chin.

Współczesna strategia technologiczna Stanów Zjednoczonych nie ogranicza się jedynie do osiągnięć naukowych czy przemysłowych – obejmuje także politykę cyberbezpieczeństwa, rozwój infrastruktury sieciowej, programy kosmiczne oraz strategiczne inwestycje w przemysł półprzewodników. Ustawa *CHIPS and Science Act* z 2022 r. jest przykładem działań mających na celu odbudowę krajowej produkcji chipów oraz wzmocnienie odporności łańcuchów dostaw, co ma kluczowe znaczenie w rywalizacji technologicznej z Chinami. Rozwój sieci 5G i 6G oraz inwestycje w obszarze sztucznej inteligencji i obliczeń kwantowych są niezbędne, aby w przyszłości USA zdołały utrzymać przewagę w kluczowych sektorach nowoczesnej gospodarki i bezpieczeństwa narodowego.

Jednocześnie Stany Zjednoczone wykorzystują swoje technologie do wzmacniania wpływów infrastrukturalnych na świecie. Sojusz *QUAD*, zrzeszający USA, Japonię, Australię

190:10708

i Indie, pełni rolę platformy koordynacji działań w zakresie technologii i innowacji w regionie Indo-Pacyfiku. Przykładem jest inicjatywa *QUAD Semiconductor Supply Chain Initiative*, uruchomiona w 2022 r., mająca na celu zwiększenie bezpieczeństwa i niezależności regionalnych łańcuchów dostaw półprzewodników poprzez wspólne inwestycje, badania i rozwój infrastruktury produkcyjnej, co pozwala partnerom sojuszu przeciwdziałać strategicznemu wpływowi Chin w tym kluczowym obszarze. Ponadto *QUAD* promuje rozwój bezpiecznej infrastruktury cyfrowej, ustalanie wspólnych standardów cyberbezpieczeństwa oraz wdrażanie nowoczesnych technologii w sposób zgodny z wartościami demokratycznymi i zasadami otwartego rynku.

Historia rozwoju technologicznego Stanów Zjednoczonych pokazuje, że innowacje nie tylko kształtują gospodarkę i społeczeństwo, lecz także stanowią narzędzie geopolityki, umożliwiając realizację strategicznych celów państwa. W perspektywie kolejnych lat USA będą musiały kontynuować rozwój nowoczesnych technologii, wzmocnić badania nad AI, obliczeniami kwantowymi i cyberbezpieczeństwem oraz utrzymać międzynarodowe sojusze technologiczne, aby zachować globalną przewagę w erze cyfrowej i naukowej. Takie działania stanowią niezbędny krok w celu utrzymania pozycji lidera innowacji, jednocześnie kształtując globalne standardy technologiczne i strategiczne ramy współpracy w XXI w.

191:91649

Rozdział 5. Analiza rywalizacji technologicznej Stanów Zjednoczonych i Chińskiej Republiki Ludowej

Wstęp

Rozdział ten przedstawia pogłębioną analizę rywalizacji technologicznej pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową, ze szczególnym uwzględnieniem obszarów strategicznych, takich jak sztuczna inteligencja, własność patentowa, półprzewodniki oraz technologia 5G. Analiza została przeprowadzona w oparciu o triangulację źródeł, obejmującą dane zastane, raporty statystyczne oraz wyniki wywiadów pogłębionych z ekspertami. Zastosowane podejście badawcze umożliwiło zarówno ilościową, jak i jakościową ocenę porównawczą, pozwalającą uchwycić różnice w poziomie inwestycji, benchmarkach wydajności, liczbie publikacji i zgłoszeń patentowych, a także w przyjętych modelach rozwojowych obu państw.

Struktura rozdziału obejmuje cztery podrozdziały, odzwierciedlające logikę przyjętego postępowania badawczego. W podrozdziale 5.1 dokonano analizy danych ilościowych, stanowiącej podstawę do identyfikacji ogólnych trendów i dysproporcji. Podrozdział 5.2 koncentruje się na analizie jakościowej, opartej na opiniach ekspertów, co umożliwia interpretację procesów z perspektywy praktyków i analityków sektora. Podrozdział 5.3 zawiera interpretację wyników w świetle realizmu ofensywnego oraz klasycznych koncepcji geopolitycznych, takich jak teoria Heartlandu, Rimlandu i koncepcja „Wielkiej Szachownicy", co pozwala na osadzenie rywalizacji technologicznej w szerszym kontekście teoretycznym. Podrozdział 5.4 przedstawia odpowiedzi na sformułowane pytania badawcze oraz wyniki weryfikacji hipotez, stanowiąc syntezę przeprowadzonej analizy.

Wyniki badań wskazują na istotne dysproporcje w potencjale obu państw: Chińska Republika Ludowa osiąga przewagę w zakresie skali wdrożeń i rozbudowy infrastruktury, podczas gdy Stany Zjednoczone dominują pod względem jakości innowacji oraz rozwoju technologii zaawansowanych. Ustalona struktura asymetrii ma istotne implikacje dla kształtowania globalnej równowagi sił w systemie międzynarodowym, a także dla dalszej dynamiki rywalizacji technologicznej na arenie światowej.

5.1. Porównanie elementów rywalizacji technologicznej pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Chinami – analiza danych zastanych

Na podstawie analizy strategii i dokumentów (*Made in China 2025, 14th Five-Year Plan 2021-2025, New Generation Artificial Intelligence Development Plan 2017* dla Chin; *CHIPS*

192:97154

and Science Act of 2022, National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020, U.S. National Cybersecurity Strategy 2023 dla USA), raportów statystycznych (WIPO, Stanford AI Index 2024, OECD 2025, MIIT 2024, FCC 2024) oraz danych rynkowych (McKinsey 2024, UNCTAD 2024), poniżej przedstawiono porównanie kluczowych elementów. Dane skupiają się na latach 2024-2025, z osobnymi sekcjami dla Chin i USA. W analizie podkreślono dysproporcje: Chiny dominują w skali wdrożeń i infrastrukturze, USA w jakości innowacji i zaawansowanych technologiach.

1. Sztuczna inteligencja (AI)

Chiny:

- **Prywatne oraz publiczne inwestycje w AI (wartość i skala):** W 2024 r. prywatne inwestycje w AI wyniosły 9,3 mld USD, z dominacją sektora publicznego (ok. 56 mld USD z funduszy rządowych, w tym 8,2 mld USD z National AI Industry Investment Fund z stycznia 2025 r.). Całkowite inwestycje osiągnęły 98 mld USD w 2025 r. (wzrost o 48% r/r), napędzane *New Generation AI Development Plan 2017* i *14th Five-Year Plan*, skupionymi na subsydiach dla firm jak Tencent i Alibaba (State Council of the People's Republic of China, 2021; South China Morning Post, 2023; McKinsey, 2024).
- **Benchmarki wydajności i luka technologiczna:** Modele jak DeepSeek R1 zbliżają się do poziomu o1 (USA), z luką poniżej 10% na benchmarkach MMLU (79,6% vs. 84,2% USA w 2025 r.). Luka zamyka się szybko dzięki masowym danym treningowym, ale Chiny pozostają za USA w zaawansowanych modelach generatywnych (gap 5,8% na MMLU w Q1 2025 r.) (Stanford University, 2024; Lee, 2018; Allan i in., 2022).
- **Liczba publikacji i patentów w dziedzinie AI:** W 2023 r. 40% globalnych publikacji AI (ok. 200 tys.), z 61,1% patentów AI (ponad 38 tys. w GenAI 2014–2023). W 2024 r. 30% zgłoszeń PCT w AI, z cytowalnością niższą niż USA (1,90 vs. 13,18 średnio) (WIPO, 2024; Stanford University, 2024; Elsevier, 2023).
- **Modele rozwoju i charakterystyka prowadzonego rozwoju (zamknięte vs. open-source):** Dominują modele zamknięte (np. Ernie Bot Baidu), z rosnącym udziałem open-source (DeepSeek, MiniMax) wspieranym przez państwo (ok. 70% inwestycji rządowych). *14th Five-Year Plan* promuje hybrydę, z naciskiem na komercjalizację i eksport (70 mld USD na AI do 2030 r.) (Kennedy, 2015; State Council of the People's Republic of China, 2021).

Jak można zauważyć, chiński model rozwoju AI opiera się na masowej skali i centralnym planowaniu, co znajduje odzwierciedlenie w dynamicznym wzroście inwestycji

193:70784

(98 mld USD w 2025 r., wzrost 48% r/r) i dominacji w liczbie patentów (61,1% w AI). Strategie takie jak *14th Five-Year Plan* i *New Generation AI Development Plan* skutecznie mobilizują zasoby, wspierając firmy takie jak Baidu czy Tencent w szybkim wdrażaniu technologii. Jednak niska cytowalność publikacji (1,90) wskazuje na deficyt w badaniach podstawowych i przełomowych innowacjach, co ogranicza Chiny w konkurencji z USA w modelach frontier. Rosnąca obecność open-source (np. DeepSeek) sugeruje adaptację do globalnych trendów, ale dominacja modeli zamkniętych i państwowy nadzór mogą ograniczać kreatywność i elastyczność. Luka technologiczna (5,8% na MMLU) zmniejsza się dzięki dostępowi do danych, lecz sankcje USA na kluczowe technologie (np. chipy) mogą spowolnić rozwój zaawansowanych modeli AI w dłuższej perspektywie.

Stany Zjednoczone:

- **Prywatne oraz publiczne inwestycje w AI (wartość i skala):** W 2024 r. prywatne inwestycje osiągnęły 109,1 mld USD (12 razy więcej niż Chiny), z publicznymi ok. 20 mld USD (NSF, DARPA). W 2025 r. Q1 VC w AI: 116,1 mld USD (wzrost 11% r/r), napędzane *National AI Initiative Act 2020* i partnerstwami (np. Microsoft-OpenAI) (Association of American Universities, 2023; White House, 2022; McKinsey, 2024).
- **Benchmarki wydajności i luka technologiczna:** Modele jak GPT-5 i Grok-3 prowadzą na MMLU (84,2% średnio), z luką nad Chinami <10% w 2025 r. (103 pkt w 2024 r. do 5,8% w 2025 r.). Przewaga w compute (więcej mocy obliczeniowej) i modelach frontier (Stanford University, 2024; Allan i in., 2022; Inkster, 2021).
- **Liczba publikacji i patentów w dziedzinie AI:** W 2023 r. 25% publikacji o najwyższym wpływie (dwa razy wyższa cytowalność niż w przypadku Chin), z 20,9% patentów AI. W 2024 r. 15-18% zgłoszeń PCT w AI, z wyższą jakością (13,18 cytowań średnio) (WIPO, 2024; Stanford University, 2024; Elsevier, 2023).
- **Modele rozwoju i charakterystyka prowadzonego rozwoju (zamknięte vs. open-source):** Hybryda, z dominacją open-source (np. Llama Meta, 50% inwestycji VC w 2025 r.), wspieraną przez *National AI Initiative Act*. Prywatny sektor (70% inwestycji) napędza modele zamknięte jak GPT, z naciskiem na etykę i regulacje (White House, 2022; McKinsey, 2024).

Z przytoczonych danych można wywnioskować, że USA utrzymują globalną przewagę w AI dzięki potężnemu ekosystemowi prywatnych inwestycji (109,1 mld USD w 2024 r.) i wysokiej jakości badań (cytowalność 13,18), napędzanym *National AI Initiative Act*. Przewaga w modelach frontier (84,2% na MMLU) i większej mocy obliczeniowej wynika z dostępu do

194:15553

zaawansowanych chipów i kultury innowacji (np. Dolina Krzemowa). Hybrydowy model (open-source jak Llama i zamknięte jak GPT) zapewnia elastyczność, ale regulacje dotyczące etyki mogą ograniczać tempo wdrożeń w porównaniu z Chinami. Niższa liczba patentów (20,9% wobec 61,1% Chin) sugeruje, że USA koncentrują się bardziej na jakości niż na ilości, co umacnia ich pozycję w obszarze przełomowych technologii. Sankcje wobec Chin wzmacniają przewagę, ale zależność od Tajwanu w chipach (90% high-end) pozostaje strategicznym wyzwaniem.

2. Patenty ogólne

Chiny:

- **Liczba zgłoszeń patentowych (np. PCT):** W 2024 r. 70 160 zgłoszeń PCT (wzrost 0,5% r/r), 1,64 mln aplikacji patentowych ogółem (61,1% globalnych w AI) (WIPO, 2024; OECD, 2025).
- **Udział w światowych zgłoszeniach patentowych:** 30% globalnych w AI (2024 r.), 61,1% w patentach AI; ogółem 50%+ światowych zgłoszeń w 2023 r. (WIPO, 2024; Stanford University, 2024).
- **Liczba patentów udzielonych oraz aktywnych:** Ponad 38 tys. w GenAI (2014–2023), z niską cytowalnością (1,90 średnio); *Made in China 2025* promuje masowe zgłoszenia (Kennedy, 2015; WIPO, 2024).

Chińska dominacja w liczbie zgłoszeń patentowych (70 160 PCT, 50%+ globalnie) odzwierciedla strategię *Made in China 2025*, która premiuje masową produkcję patentów, szczególnie w AI (61,1%). Jednak niska cytowalność (1,90) sugeruje, że wiele zgłoszeń ma charakter przyrostowy, a nie przełomowy, co ogranicza ich wpływ na globalną innowacyjność. Choć chiński system patentowy, wspierany przez państwowe subsydia, skutecznie zwiększa skalę działalności innowacyjnej, to jednak brak transparentności oraz obawy związane z możliwym szpiegostwem przemysłowym (Inkster, 2021) rodzą wątpliwości co do jakości i etycznych fundamentów tych osiągnięć. W dłuższej perspektywie Chiny mogą zyskać przewagę w standardach technologicznych, ale muszą poprawić jakość badań, by dorównać USA.

Stany Zjednoczone:

- **Liczba zgłoszeń patentowych (np. PCT):** W 2024 r. 54 087 zgłoszeń PCT (spadek trzeci rok z rzędu), 20,9% globalnych w AI (WIPO, 2024; OECD, 2025).

195:10157

- **Udział w światowych zgłoszeniach patentowych:** 15-18% w AI (2024 r.), 20,9% w patentach AI; wysoka jakość (13,18 cytowań średnio) (WIPO, 2024; Stanford University, 2024).
- **Liczba patentów udzielonych oraz aktywnych:** Ok. 6 tys. w GenAI (2014–2023), z wysoką cytowalnością; *National AI Initiative Act* wspiera ochronę IP (White House, 2022; WIPO, 2024).

Stany Zjednoczone, mimo mniejszej liczby zgłoszeń patentowych (54 087 PCT, 20,9% w AI), utrzymują przewagę jakościową – średnia cytowalność na poziomie 13,18 odzwierciedla dojrzały ekosystem innowacji, wspierany m.in. przez *National AI Initiative Act*. Amerykańskie patenty koncentrują się przede wszystkim na przełomowych technologiach, szczególnie w obszarach sztucznej inteligencji i półprzewodników, co przekłada się na ich globalny wpływ. Spadek liczby zgłoszeń patentowych (odnotowany trzeci rok z rzędu) może świadczyć o bardziej selektywnym podejściu do ochrony IP, ale również sygnalizować potencjalne wyzwanie w utrzymaniu tempa rozwoju wobec masowej, ilościowej strategii Chin. Jednocześnie, zdecydowane działania w zakresie ochrony własności intelektualnej – w tym sankcje wobec Chin (Bown, 2020) – wzmacniają pozycję USA, choć rosnąca zależność od sojuszników (np. Tajwanu) w globalnych łańcuchach dostaw półprzewodników wymaga przemyślanych działań strategicznych.

3. Półprzewodniki

Chiny:

- **Wartość rynku półprzewodników na świecie:** Globalny rynek 697 mld USD w 2025 r.; Chiny 38% CAPEX sprzętu (50 mld USD w 2024 r., spadek 24% w 2025 r.) (US Department of Commerce, 2024; McKinsey, 2024).
- **Nakłady inwestycyjne (CAPEX) na produkcję i rozwój fabryk:** 100 mld USD w 2023 r., skupione na starszych węzłach (28 nm); *14th Five-Year Plan* celuje w 30% globalnej pojemności do 2030 r. (State Council of the People's Republic of China, 2021; Zenglein i Holzmann, 2019).
- **Liczba aktywnych fabryk półprzewodnikowych:** Ok. 200 fabryk (2025 r.), z szybkim wzrostem w mature nodes; cel 30% globalnej pojemności (US Department of Commerce, 2024; OECD, 2025).
- **Programy wsparcia:** *Made in China 2025* i fundusze rządowe (ponad 100 mld USD); subsydia dla SMIC/Huawei (Kennedy, 2015; State Council of the People's Republic of China, 2021).

196:34782

- **Sankcje i ich wpływ na rozwój oraz dostęp do technologii:** Sankcje USA (od 2018 r.) spowolniły zaawansowane węzły (7 nm+), ale przyspieszyły rozwój domestic (wzrost CAPEX 20% r/r mimo restrykcji ASML); luka w high-end chipach ok. 5 lat, ale wzrost w legacy nodes (Bown, 2020; Inkster, 2021; South China Morning Post, 2023).

Chiński sektor półprzewodników, napędzany inwestycjami rzędu 100 mld USD oraz wsparciem strategicznych programów (*Made in China 2025, 14th Five-Year Plan*), osiąga znaczące postępy w zakresie starszych technologii (28 nm), dysponując ok. 200 fabrykami i odpowiadając za 38% globalnego CAPEX. Sankcje nałożone przez USA – w tym ograniczenia eksportowe dla ASML – wymusiły przyspieszenie rozwoju krajowych zdolności produkcyjnych, jednak luka technologiczna w zaawansowanych węzłach (7 nm i mniejszych) pozostaje istotnym wyzwaniem, szacowanym obecnie na ok. 5 lat. Ambitna strategia samowystarczalności (zakładająca osiągnięcie 30% globalnej pojemności produkcyjnej do 2030 r.) jest konsekwentnie realizowana, choć nadal uzależniona od importu wysokiej klasy układów scalonych. Chińskie sukcesy w tzw. legacy nodes wzmacniają pozycję przemysłową kraju, jednak osiągnięcie przełomu w segmencie high-end będzie wymagać przełamania barier technologicznych i sankcyjnych.

Stany Zjednoczone:

- **Wartość rynku półprzewodników na świecie:** Globalny rynek 697 mld USD w 2025 r.; USA 12% pojemności produkcyjnej, ale 48% sprzedaży (US Department of Commerce, 2024; McKinsey, 2024).
- **Nakłady inwestycyjne (CAPEX) na produkcję i rozwój fabryk:** CHIPS Act: 52 mld USD subsydiów (2022–2025), plus 280 mld USD ogółem; ogłoszono >500 mld USD inwestycji prywatnych (2025 r.), w tym nowe fabryki TSMC/Intel (White House, 2022; US Department of Commerce, 2024).
- **Liczba aktywnych fabryk półprzewodnikowych:** Ok. 100 fabryk (2025 r.), z 27 nowymi/rozszerzeniami (77% w USA spośród zachodnich); cel podwojenia pojemności do 2030 r. (White House, 2022; US Department of Commerce, 2024).
- **Programy wsparcia:** *CHIPS and Science Act 2022*: 52 mld USD na produkcję, 13 mld USD na R&D; zakaz ekspansji w Chinach dla beneficjentów (White House, 2022; US Department of Commerce, 2024).
- **Sankcje i ich wpływ na rozwój oraz dostęp do technologii:** Sankcje (od 2018 r.) ograniczyły eksport do Chin (np. ASML), przyspieszając domestic US (wzrost

197:71329

inwestycji 50% r/r); USA zyskują w high-end (90% zaawansowanych chipów via sojuszników), ale ryzykują łańcuchy dostaw (Tajwan 90% high-end) (Bown, 2020; Inkster, 2021; US Department of Commerce, 2024).

Stany Zjednoczone dominują w projektowaniu układów scalonych, odpowiadając za 48% globalnej sprzedaży, oraz utrzymują przewagę w zakresie zaawansowanych technologii półprzewodnikowych. Wsparcie w postaci *CHIPS and Science Act* (52 mld USD subsydiów) oraz ponad 500 mld USD prywatnych inwestycji, obejmujących m.in. budowę 27 nowych fabryk w 2025 r., zmniejsza zależność od zagranicznej produkcji. Niemniej jednak, zaledwie 12% globalnej pojemności produkcyjnej wciąż stanowi wyzwanie w kontekście skalowania. Sankcje wymierzone w Chiny, takie jak ograniczenia wobec Huawei, pozwalają utrzymać przewagę technologiczną Zachodu – zwłaszcza że około 90% najbardziej zaawansowanych procesów produkcyjnych pozostaje pod kontrolą sojuszników USA. Jednocześnie jednak silna zależność od produkcji w Tajwanie, odpowiedzialnym za 90% światowej podaży high-end chipów, stwarza poważne ryzyko geopolityczne. Długofalowa strategia Stanów Zjednoczonych wymaga zatem nie tylko zwiększenia nakładów na badania i rozwój, ale również dywersyfikacji łańcuchów dostaw w celu utrzymania przewagi nad Chinami.

4. Technologia 5G

Chiny:

- **Liczba stacji bazowych 5G:** 4,65 mln na sierpień 2025 r. (wzrost z 4,19 mln w 2024 r.), 60% globalnej infrastruktury; cel 4,5 mln+ w 2025 r. (Xinhua, 2024; MIIT, 2024).
- **Zasięg 5G pod względem populacji:** 88% populacji (ok. 1,2 mld użytkowników w 2025 r.), z 75% penetracją w 300+ miastach 5G-A (Xinhua, 2024; UNCTAD, 2024).
- **Zasięg 5G pod względem terytorialnym:** Pokrycie 90%+ obszarów miejskich, z naciskiem na sub-6 GHz (szerokie zasięgi); 300 miast 5G-A w 2025 r. (Xinhua, 2024; MIIT, 2024).
- **Jakość sieci 5G, ze szczególnym uwzględnieniem technologii mmWave i średnich pasm:** Dominacja sub-6 GHz (3,5 GHz, 2,6 GHz) dla szerokiego zasięgu i penetracji; mmWave ograniczone (ok. 10% sieci), z prędkościami 230 Mbps średnio; *14th Five-Year Plan* promuje hybrydę, ale fokus na coverage (Sadowski i Nucciarelli, 2022; Xinhua, 2024).

198:10455

- **Model wdrożenia i rola państwa:** Państwowy model: Rząd subsydiuje (ok. 50 mld USD), koordynuje via MIIT; Huawei/ZTE dominują (80% rynku), z Digital Silk Road dla eksportu (Xinhua, 2024; MIIT, 2024; Invest Africa, 2024).

  Chińska dominacja w 5G (4,65 mln stacji, 60% globalnie) jest efektem centralnie planowanego modelu (14th Five-Year Plan, 50 mld USD subsydiów) i siły Huawei/ZTE (80% rynku).

Można zauważyć, że chińska strategia rozwoju sieci 5G, oparta głównie na paśmie sub-6 GHz (obejmującym ponad 90% obszarów miejskich), umożliwia szeroki zasięg – sięgający 88% populacji. Jednak ograniczone wdrożenie technologii mmWave (zaledwie 10%) wskazuje na niższą jakość usług w porównaniu ze Stanami Zjednoczonymi. Równocześnie eksport infrastruktury 5G w ramach inicjatywy *Digital Silk Road* wzmacnia pozycję geopolityczną Chin, zwłaszcza w państwach rozwijających się. Niemniej jednak amerykańskie sankcje wobec Huawei znacząco ograniczają dostęp do zaawansowanych układów scalonych, co może spowolnić postępy w rozwoju 5G-A i przyszłej technologii 6G. Chociaż chińska strategia masowej implementacji okazuje się skuteczna pod względem skali, to utrzymanie konkurencyjności na arenie międzynarodowej będzie wymagało zwiększenia inwestycji w jakość i innowacyjność, by dorównać globalnym standardom.

Stany Zjednoczone:

- **Liczba stacji bazowych 5G:** Ok. 270 tys. w 2025 r. (wzrost z 200 tys. w 2023 r.), 13% globalnej infrastruktury; cel 300 tys.+ do 2026 r. (FCC, 2024; Sadowski i Nucciarelli, 2022).
- **Zasięg 5G pod względem populacji:** 80–85% populacji (ok. 270 mln użytkowników w 2025 r.), z 77% w Ameryce Płn. (FCC, 2024; UNCTAD, 2024).
- **Zasięg 5G pod względem terytorialnym:** Pokrycie 55% terytorium (głównie miejskie), z naciskiem na mmWave w gęstych obszarach; 279 miast z 5G (FCC, 2024; Sadowski i Nucciarelli, 2022).
- **Jakość sieci 5G, ze szczególnym uwzględnieniem technologii mmWave i średnich pasm:** Silny fokus na mmWave (24+ GHz, >1 Gbps prędkości, niskie opóźnienia) w 40% sieci (lepsza niż Chiny), sub-6 GHz (C-band 3,7–4,2 GHz) dla coverage; średnia prędkość 230 Mbps (FCC, 2024; Sadowski i Nucciarelli, 2022).
- **Model wdrożenia i rola państwa:** Rynkowy model: Prywatni operatorzy (Verizon, AT&T) inwestują (50 mld USD w 2023 r.), rząd reguluje via FCC i *U.S. National*

199:41867

Cybersecurity Strategy 2023 (zakaz Huawei); Ericsson/Nokia alternatywy dla bezpieczeństwa (FCC, 2024; White House, 2023; Invest Africa, 2024).

Stany Zjednoczone, dysponujące ok. 270 tysiącami stacji bazowych 5G (co stanowi 13% globalnej liczby), ustępują Chinom pod względem skali infrastruktury. Jednak nadrabiają to jakością – dzięki szerokiemu wykorzystaniu pasma mmWave, które obejmuje około 40% sieci i umożliwia prędkości przekraczające 1 Gbps. Rynkowy model rozwoju – wspierany przez U.S. National Cybersecurity Strategy 2023 oraz inwestycje na poziomie 50 mld USD – sprzyja szybkiemu wprowadzaniu innowacji, choć odbywa się to kosztem ograniczonego zasięgu terytorialnego (55%).

Zakaz współpracy z Huawei oraz strategiczne partnerstwa z firmami takimi jak Ericsson i Nokia wzmacniają bezpieczeństwo infrastruktury, ale mniejsza liczba stacji bazowych oraz koncentracja inwestycji w obszarach zurbanizowanych mogą utrudniać dostęp do usług 5G w regionach wiejskich. W perspektywie długoterminowej, aby utrzymać przewagę w zakresie 5G-A i przygotować fundamenty pod rozwój 6G, Stany Zjednoczone będą musiały zwiększyć inwestycje w rozbudowę infrastruktury, zwłaszcza w kontekście rosnącej ekspansji technologicznej Chin.

Wnioski z porównania rywalizacji technologicznej między mocarstwami można ująć następująco: konflikt USA-Chiny to starcie dwóch odmiennych modeli rozwoju technologicznego. Stany Zjednoczone opierają się na innowacyjnym, rozproszonym i jakościowym podejściu, podczas gdy Chiny stawiają na model scentralizowany, masowy i ilościowy. Obie strony osiągają sukcesy w różnych obszarach – Chiny dominują pod względem skali produkcji i wdrożeń, natomiast USA przodują w przełomach technologicznych i jakości rozwiązań. Przyszłość tej rywalizacji zależy od zdolności każdej ze stron do przezwyciężenia własnych słabości: USA muszą wzmocnić infrastrukturę i zmniejszyć zależność od sojuszników, a Chiny – poprawić jakość, innowacyjność oraz osiągnąć większą niezależność technologiczną. W długim okresie nieunikniona jest fragmentaryzacja globalnych łańcuchów dostaw, technologiczne „rozszczepienie" świata i rosnąca rola państw trzecich jako obszarów wpływów tej rywalizacji.

Rywalizacja technologiczna między Stanami Zjednoczonymi a Chinami stanowi nie tylko konkurencję w dziedzinie innowacyjności, lecz kluczowy element współczesnej geopolityki, w której technologie, przepływy danych i łańcuchy dostaw stają się strategicznymi instrumentami w walce o globalną dominację. W dziedzinie sztucznej inteligencji Chiny realizują scentralizowaną strategię rozwoju, charakteryzującą się masową skalą i silnym planowaniem państwowym. W 2024 r. prywatne inwestycje w AI wyniosły 9,3 mld USD, a

200:26920

publiczne 56 mld USD, w tym 8,2 mld USD z *National AI Industry Investment Fund*, osiągając w sumie 98 mld USD w 2025 r., co oznacza wzrost o 48% r/r. Działania te są realizowane w ramach *New Generation AI Development Plan 2017* oraz *14th Five-Year Plan*, ze szczególnym uwzględnieniem wsparcia dla firm takich jak Tencent i Alibaba. Chińskie modele AI, np. DeepSeek R1, osiągają wydajność zbliżoną do amerykańskich modeli frontier, ze stratą poniżej 10% na benchmarkach MMLU (79,6% wobec 84,2% USA w 2025 r.), choć w najbardziej zaawansowanych modelach generatywnych luka wynosi 5,8%. Chiny dominują pod względem liczby publikacji i patentów w AI – w 2023 r. wygenerowano około 200 tys. publikacji (40% globalnie) oraz 61,1% patentów AI (ponad 38 tys. w GenAI w latach 2014-2023), jednak niska cytowalność (1,90) wskazuje na ograniczenia w badaniach przełomowych. Dominacja modeli zamkniętych, choć częściowo równoważona przez rozwijane państwowo open-source (70% inwestycji rządowych), ogranicza elastyczność innowacyjną.

Stany Zjednoczone utrzymują przewagę jakościową i technologii frontier. W 2024 r. prywatne inwestycje w AI wyniosły 109,1 mld USD, publiczne 20 mld USD, a w pierwszym kwartale 2025 r. łączny VC osiągnął 116,1 mld USD (wzrost 11% r/r). Modele GPT-5 i Grok-3 osiągają średnio 84,2% na MMLU, przewyższając chińskie odpowiedniki, a przewaga w compute wspiera dominację w modelach high-end. Liczba publikacji odpowiada za 25% publikacji o najwyższym wpływie, z cytowalnością 13,18, a udział w patentach AI w 2024 r. wyniósł 20,9% (ok. 6 tys. aktywnych patentów w GenAI w latach 2014-2023). Hybrydowy model rozwoju łączy open-source (np. Llama Meta, 50% inwestycji VC w 2025 r.) z modelami zamkniętymi, a 70% inwestycji pochodzi z sektora prywatnego.

W sektorze półprzewodników Chiny odpowiadają za 38% globalnego CAPEX w 2025 r. (50 mld USD w 2024 r., spadek 24% w 2025 r.), z nakładami inwestycyjnymi 100 mld USD w 2023 r., głównie w starsze węzły 28 nm, planując osiągnięcie 30% globalnej pojemności do 2030 r. Liczba aktywnych fabryk wynosi około 200. Sankcje USA ograniczyły dostęp do 7 nm+ układów, tworząc lukę technologiczną szacowaną na 5 lat, lecz przyspieszyły rozwój krajowych zdolności produkcyjnych.

Stany Zjednoczone posiadają 12% globalnej pojemności produkcyjnej, lecz odpowiadają za 48% sprzedaży chipów. *CHIPS and Science Act* zapewnia 52 mld USD subsydiów na produkcję i 13 mld USD na R&D, a prywatne inwestycje przekraczają 500 mld USD, w tym budowę 27 nowych fabryk w 2025 r.. Około 90% high-end chipów pozostaje w rękach sojuszników USA, choć strategiczna zależność od Tajwanu (90% high-end) stanowi ryzyko. Sankcje wobec Chin pozwalają utrzymać przewagę technologiczno-geopolityczną Zachodu.

201:92573

W technologii 5G Chiny dominują ilościowo – 4,65 mln stacji bazowych na sierpień 2025 r. (60% globalnej infrastruktury) pokrywa 88% populacji (ok. 1,2 mld użytkowników), głównie w paśmie sub-6 GHz, przy ograniczonym wdrożeniu mmWave (10%). Stany Zjednoczone dysponują ok. 270 tys. stacji (13% globalnie), zasięg populacyjny wynosi 80–85% (ok. 270 mln użytkowników), pokrycie terytorialne 55%, lecz 40% sieci opiera się na mmWave, umożliwiając prędkości >1 Gbps. Rozwój 5G w USA odbywa się rynkowo, przy inwestycjach prywatnych 50 mld USD w 2023 r. oraz regulacjach FCC i strategii cyberbezpieczeństwa, a strategiczne partnerstwa z firmami Ericsson i Nokia zabezpieczają infrastrukturę.

Geopolitycznie rywalizacja ta prowadzi do wyraźnej fragmentaryzacji globalnych łańcuchów dostaw i tworzenia konkurencyjnych bloków technologicznych. Chiny poprzez *BRI* i *Digital Silk Road* integrują Azję Centralną, kontrolując przepływy danych i strategiczne zasoby, w tym rzadkie surowce, co wzmacnia ich pozycję w cyfrowym Heartlandzie i Rimlandzie. USA funkcjonują jako strażnik równowagi, wykorzystując sankcje, sojusze w Azji i kontrolę nad korporacjami technologicznymi, budując „cyfrową twierdzę Atlantyku" obejmującą USA, Europę i Amerykę Łacińską. W tym kontekście technologie, w tym AI, półprzewodniki i 5G, pełnią rolę nowoczesnych pól strategicznych, zgodnie z klasycznymi koncepcjami Heartlandu, Rimlandu i „Wielkiej Szachownicy" Zbigniewa Brzezińskiego, determinując równowagę sił i globalną strukturę wpływów w XXI w.

Tab. 3. Podsumowanie kluczowych danych liczbowych dotyczących rywalizacji technologicznej USA-Chiny w latach 2024-2025

Obszar	**Chiny**	**Stany Zjednoczone**	**Uwagi/Implikacje geopolityczne**
Sztuczna inteligencja (AI)	Inwestycje 2025: 98 mld USD (48% wzrost r/r); modele: DeepSeek R1 (79,6% MMLU)	Inwestycje 2025 Q1: 116,1 mld USD (wzrost 11% r/r); modele: GPT-5, Grok-3 (84,2% MMLU)	Chiny: skala, ilość patentów; USA: jakość, frontier models; luka technologiczna <10%
Publikacje i cytowalność	40% globalnych publikacji, 61,1% patentów AI; cytowalność 1,90	25% publikacji o najwyższym wpływie; 20,9% patentów AI; cytowalność 13,18	USA mają przewagę jakościową, Chiny – ilościową

202:24587

Modele rozwoju AI	Dominacja zamkniętych, częściowo open-source (~30% open-source)	Hybryda: open-source 50% (Llama), zamknięte (GPT)	Elastyczność i innowacyjność USA, centralizacja w Chinach
Półprzewodniki	Globalny CAPEX 2025: 38% (50 mld USD w 2024, -24% w 2025); 200 fabryk; inwestycje CAPEX 100 mld USD (2023); starsze węzły (28 nm); luka high-end 5 lat	Globalny CAPEX 2025: 12% pojemności, 48% sprzedaży; 100 fabryk (27 nowych w 2025); CHIPS Act: 52 mld USD + prywatne >500 mld USD; high-end przez sojuszników	Chiny rozwijają legacy nodes; USA dominują w high-end, zależność od Tajwanu (90%)
Technologia 5G	4,65 mln stacji (60% globalnie); 88% populacji; mmWave 10%; sub-6 GHz 90%	270 tys. stacji (13% globalnie); 80–85% populacji; mmWave 40%; sub-6 GHz 55%	Chiny – skala i zasięg; USA – jakość, prędkość, bezpieczeństwo
Patenty ogólne	70 160 zgłoszeń PCT (2024); 61,1% patentów AI; aktywne >38 tys.	54 087 zgłoszeń PCT (2024); 20,9% patentów AI; aktywne ok. 6 tys.	Chiny – ilość i standaryzacja; USA – jakość i wpływ globalny
Zasięg geograficzny / strategiczny	*Digital Silk Road, BRI*; kontrola Azji Centralnej, Rimland i Heartland	Sojusze w Azji (Japonia, Korea, Tajwan), blok Atlantycki (USA + UE + Ameryka Łacińska)	Bloki technologiczne; kontrola przepływów danych i łańcuchów dostaw

Opracowanie własne

Źródła: WIPO, 2024; Stanford University, 2024; McKinsey, 2024; US Department of Commerce, 2024; MIIT, 2024; FCC, 2024.

203:10368

5.2. Analiza danych jakościowych oparta na wywiadach pogłębionych z ekspertami

Poniżej przedstawiono szczegółowe kodowanie otwarte i osiowe, wraz z rozpisaniem fragmentów wypowiedzi respondentów według matrycy kodów. Dla każdej kategorii wybrano reprezentatywne cytaty z wywiadów, przyporządkowano je do kodów i dodano komentarz analityczny, odnoszący się do hipotez badawczych (H.1-H.4) oraz pytań badawczych (P.1-P.4). Analiza uwzględnia kontekst geopolityczny, integrując dane z wywiadów z literaturą (np. desk research) i hipotezami, takimi jak dążenie Chin do samowystarczalności (H.1) czy przewaga USA w jakości badań AI (H.2).

Kategoria 1: Czynniki rozwoju technologicznego (CR1-CR6)

Eksperci[11] wskazywali, że rozwój technologiczny USA i Chin opiera się na różnych, choć częściowo komplementarnych czynnikach. W przypadku Stanów Zjednoczonych najczęściej podkreślano znaczenie historycznej kultury innowacji oraz atrakcyjności gospodarki dla imigrantów. Jak zauważył Ekspert nr 1: „To właśnie wtedy rozpoczął się znany po dziś dzień drenaż mózgów – który jeszcze większego tempa nabrał w wieku XX, gdy USA stały się największą i najbardziej innowacyjną gospodarką świata". Podobną opinię wyraził Ekspert nr 7, wskazując na „otwarty system edukacyjny, wysokie nakłady na R&D oraz zdolność do przyciągania wysoko wykwalifikowanych imigrantów", które czynią z USA lidera w obszarze innowacji. Ekspert nr 11 uzupełnia, że kultura innowacji i obfitość talentów w populacji USA, połączona z dążeniem do dominacji we wszystkich dziedzinach, w tym naukowych i technologicznych, stanowi fundament ich przewagi, choć rywalizacja z Chinami przenika wszystkie aspekty społeczeństwa.

Z kolei Chiny – jak zauważył Ekspert nr 4 – „bardzo aktywnie wdrażają wnioski z konfliktów zbrojnych", wykorzystując brak ograniczeń etycznych i finansowych do intensyfikacji badań w obszarach takich jak sztuczna inteligencja czy systemy autonomiczne. W opinii Ekspertów chiński model rozwoju opiera się na scentralizowanym planowaniu (CR2) i szerokim wsparciu rządowym, które mobilizuje zarówno sektor publiczny, jak i prywatny. Jednakże, jak zaznaczył Ekspert nr 9, jest to podejście „oparte na centralnej kontroli i akumulacji zasobów", które umożliwiły koncentrację i rozwój ogromnych mocy produkcyjnych pozyskanych technologii.

W odniesieniu do infrastruktury technologicznej (CR4) podkreślano dynamiczny rozwój chińskich sieci 5G oraz powstawanie nowych ośrodków badawczych, szczególnie w

[11] Wypowiedzi Ekspertów zagranicznych zostały przeze mnie przetłumaczone.

204:11540

Shenzhen. Natomiast przewaga USA pozostaje w obszarze kapitału ludzkiego (CR3) i kultury innowacyjności (CR5), które w ocenie Ekspertów nadal zapewniają Amerykanom przewagę jakościową. Według Eksperta nr 11, dynamiczny rozwój gospodarczy Chin wymusza intensyfikację inwestycji w nowe technologie, co przyspiesza proces doganiania Stanów Zjednoczonych.

CR1 (Inwestycje w R&D): Ekspert nr 4 zwraca uwagę, że nowoczesne technologie wymagają znacznych nakładów finansowych na badania i rozwój, a w USA przeznacza się duże nakłady na badania np. w ramach *The Technology Modernization Fund* czy *The International Technology Security and Innovation* (*ITSI*) *Fund*. Podkreśla jednocześnie, że brak przejrzystości po stronie Chin utrudnia ocenę rzeczywistej skali ich inwestycji. Komentarz ten wzmacnia tezę o lepszym rozwoju czynników innowacyjności w USA (HP2.) i potwierdza, że dążenie Chin do przewagi opiera się m.in. na działaniach trudnych do jednoznacznej weryfikacji (PP1.) (Kennedy, 2020).

CR2 (Polityka państwa): Fragment z wypowiedzi Eksperta nr 7: „W przypadku Chin jest to podejście w znacznie większym stopniu ukierunkowane na działania prowadzone przez państwo, gdzie rozwój technologiczny jest mniej oparty na innowacjach rynkowych (jak w USA) i bardziej skoncentrowany na tym, co planuje Komunistyczna Partia Chin. Jej pięcioletnie plany pokazują sile zaangażowanie państwa w rozwój technologiczny". Komentarz podkreśla centralne planowanie w Chinach (HP1., strategia *Made in China 2025*), kontrastując z rynkowym modelem USA (HP2.), co wyjaśnia różnice w rozwoju technologicznym (PP1.).

CR3 (Kapitał ludzki): Ekspert nr 7 zwraca uwagę, że w Chinach innowacje technologiczne i dynamika rozwoju wynikają z bezpośredniej współpracy rządu z podmiotami gospodarczymi, a nie na mechanizmach rynkowych charakterystycznych dla USA. Wskazuje, że to Komunistyczna Partia Chin – poprzez pięcioletnie plany – wyznacza kierunki innowacji. Ta obserwacja wzmacnia hipotezę o scentralizowanym modelu rozwoju Chin (HP1., strategia *Made in China 2025*) i kontrastuje z rynkowym, zróżnicowanym podejściem USA (HP2.), co pomaga zrozumieć różnice w dynamice i charakterze postępu technologicznego obu mocarstw (PP1.).

CR4 (Infrastruktura): Ekspert nr 8 wskazuje, że jednym z kluczowych motorów rozwoju technologicznego USA jest federalne wsparcie dla badań, nauki i innowacji – szczególnie w sektorze obronnym. Część wydatków z PKB per capita przeznaczana na wojsko trafia bezpośrednio na R&D, co podkreśla znaczenie infrastruktury militarno-badawczej jako fundamentu innowacyjności. Wypowiedź ta wspiera hipotezę HP2. wskazując, że również

205:29255

Chiny – dążąc do przewagi technologicznej – rozwijają swoje zdolności w oparciu o silne zaplecze gospodarczo-militarne (PP2.)

CR5 (Kultura innowacji): Ekspert nr 1 zauważa, że w Stanach Zjednoczonych wykształciła się trwała „kultura innowacji" – system, w którym opłaca się tworzyć i ulepszać rozwiązania technologiczne. W podobnym duchu Ekspert nr 11 podkreśla, że to właśnie połączenie mentalności innowacyjnej, dużej puli talentów oraz ambicji globalnej dominacji napędza przewagę USA. Obie wypowiedzi wzmacniają hipotezę HP2., pokazując, że przewaga Amerykanów wynika nie tylko z zasobów, lecz także z modelu rozwoju opartego na swobodzie rynkowej, kreatywności i otwartości – co kontrastuje z bardziej sterowanym, centralnym podejściem Chin (PP1.).

CR6 (Porównanie): Ekspert nr 2 wskazuje, że z perspektywy USA rozwój technologiczny pełni funkcję strategiczną – ma na celu ograniczanie wzrostu militarnego potencjału Chin w kontekście ich ewentualnych działań ofensywnych w Azji i na Pacyfiku. Dla Chin natomiast to przede wszystkim środek wzmacniania krajowego rynku i niezależności. Ekspert nr 11 zauważa, że choć USA wciąż dominują technologicznie, Chiny szybko nadrabiają dystans dzięki silnym inwestycjom ekonomicznym. Komentarz ten wspiera hipotezę HP2., pokazując przewagę USA w kontroli i reagowaniu na zagrożenia, a jednocześnie odwołuje się do HP1. i PP1. – podkreślając, że chiński model koncentruje się na masowym wdrażaniu technologii w celu osiągnięcia strategicznej samowystarczalności.

Kategoria 2: Metody i środki uzyskiwania przewagi technologicznej (MS1-MS4)

Wypowiedzi Ekspertów wyraźnie ukazują dwa odmienne modele zdobywania przewagi technologicznej przez USA i Chiny, co potwierdza hipotezę P.3 (determinanty dążenia Chin do przewagi) oraz MS4 (rola sojuszy i korporacji w rywalizacji technologicznej). Chiny, jak wskazuje Ekspert nr 1, dążą do przyspieszonego rozwoju m.in. przez nielegalne lub nieetyczne środki, takie jak szpiegostwo przemysłowe i wymuszony transfer technologii. Te działania, wspomniane również przez innych Ekspertów, znajdują potwierdzenie w źródłach (np. raport Mandiant, 2013). Ekspert nr 11 uzupełnia ten obraz, wskazując na legalne instrumenty wykorzystywane przez Chiny – m.in. zapraszanie firm technologicznych z USA, transfer wiedzy w ramach współpracy inwestycyjnej czy programy wymiany sektorowej. Jednocześnie zwraca uwagę na kontrowersje związane z łamaniem praw własności intelektualnej, które dodatkowo zaostrzają napięcia na linii USA-Chiny. Z kolei Stany Zjednoczone koncentrują się na ochronie własnego rynku i przewagi technologicznej poprzez instrumenty prawne i strategiczne. Ekspert nr 11 wskazuje na znaczenie, *The CHIPS and Science Act* restrykcje

206:10745

wobec firm takich jak Huawei, oraz działania pozaformalnymi kanałami – np. presję dyplomatyczną (Ekspert nr 3) czy ignorowanie zasad *WTO*, gdy stawką jest strategiczna przewaga.

Ważnym wątkiem, obecnym w wypowiedziach Ekspertów (MS4), jest też przewaga systemowa USA oparta na dominacji globalnych korporacji. Ekspert nr 5 podkreśla, że amerykańskie firmy kontrolują wszystkie etapy produkcji chipów – od projektu po narzędzia litograficzne – co pozwala im nie tylko utrzymać, ale i egzekwować technologiczną przewagę wobec Chin.

Z wypowiedzi Ekspertów można wywnioskować, że USA i Chiny realizują różne modele zdobywania przewagi: USA – oparty na regulacjach, prawie i współpracy z sojusznikami oraz korporacjami; Chiny – na pragmatyzmie, centralnym planowaniu i intensywnym transferze wiedzy, również w kontrowersyjny sposób. Obie strony dążą do niezależności i dominacji, lecz przez odmienne strategie – rynkową i regulacyjną (USA) vs państwową i systemowo-pragmatyczną (Chiny).

MS1 (Strategia przemysłowa i polityka rozwoju Chin): Ekspert nr 4 zwraca uwagę na kluczową rolę programu *Made in China 2025*, który promuje innowacje, rozwój rozwiązań krajowych oraz zwiększanie konkurencyjności chińskich firm wobec zagranicznych. Ekspert nr 11 podkreśla, że transfer technologii realizowany poprzez inwestycje amerykańskich firm w Chinach stanowi istotne wsparcie dla tej strategii. Wypowiedź potwierdza hipotezę HP1 dotyczącą długofalowej, państwowej strategii Chin w rozwoju technologicznym oraz odnosi się do hipotezy PP1., wskazującej na determinanty chińskiej przewagi technologicznej (Kennedy, 2020).

MS2 (Metody stosowane przez USA): Ekspert nr 5 wskazuje, że Stany Zjednoczone wprowadziły sankcje na eksport grafitu i metali ziem rzadkich do Chin, a Ekspert nr 11 dodaje, że Amerykanie odmawiają dostępu chińskim firmom do kluczowych technologii, na przykład Huawei, a także realizują ten cel poprzez *The CHIPS and Science Act*.
Działania USA w zakresie sankcji i ograniczeń technologicznych potwierdzają hipotezę HP2. wskazującą na przewagę Stanów Zjednoczonych, co z kolei wspiera tezę PP1. o wyższym poziomie rozwoju technologicznego USA (White House, 2022).

MS3 (Działania asymetryczne): Ekspert nr 6 podkreśla, że chińskie służby są wysoce wykwalifikowane w pozyskiwaniu różnorodnych danych, mimo oficjalnych zaprzeczeń ze strony Pekinu. Opisuje strategię Pekinu jako „śmierć przez tysiąc cięć" — polegającą na ciągłych próbach kradzieży i włamań z różnych źródeł. Ekspert nr 11 zwraca uwagę, że

207:11446

oskarżenia o naruszanie praw własności intelektualnej stanowią formę asymetrii w rywalizacji technologicznej.

Szpiegostwo cybernetyczne Chin wpisuje się w hipotezę HP3., podkreślającą znaczenie takich działań dla determinant przewagi technologicznej (PP3.), co znajduje potwierdzenie m.in. w raporcie Mandiant (2013).

MS4 (Rola korporacji): Ekspertka nr 10 zauważa, że chiński rząd, choć stoi przed wyzwaniami podobnymi do tych w USA, podchodzi do nich z innej perspektywy. W ostatnich latach Chiny poczyniły znaczne postępy, przyznając firmom większą swobodę twórczą, zdając sobie sprawę z kluczowego znaczenia kreatywności dla innowacji. Ekspert nr 11 dodaje, że programy wymiany sektorowej stanowią ważne narzędzie budowania partnerstw i rozwoju kompetencji.

Wypowiedź potwierdza rolę korporacji i współpracy sektora prywatnego w ekspansji technologicznej, co odnosi się do hipotez HP3. I PP3., ukazujących różnice w modelach ekspansji USA i Chin.

Kategoria 3: Perspektywy współpracy i podziału technologicznego (PW1–PW4)

W odpowiedziach Ekspertów wyraźnie dominował pesymizm co do przyszłej współpracy chińsko-amerykańskiej. Jak zauważył Ekspert nr 2, „już jesteśmy świadkami takiego rozłamu", czego dowodem są ograniczenia eksportowe po obu stronach. W podobnym tonie wypowiedział się Ekspert nr 5, wskazując na rozluźnienie współpracy naukowej i technologicznej – swoistą żelazną kurtynę w nauce.

Część Ekspertów dostrzega jednak wąskie pola potencjalnej współpracy, głównie w badaniach podstawowych i obszarach globalnych wyzwań, takich jak klimat czy zdrowie publiczne (Ekspert nr 3, Ekspert nr 8). Z drugiej strony dominowało przekonanie, że przyszłość oznacza raczej „technologiczny zimny konflikt" i stopniowe formowanie się konkurencyjnych bloków (PW3), choć – jak podkreślał Ekspert nr 2 – ten podział nie zawsze jest jednoznaczny i nie obejmuje np. relacji USA z UE.

PW1 (Możliwości współpracy): Ekspert nr 3 wskazuje, że współpraca między USA a Chinami jest możliwa, choć jedynie w wybranych obszarach i przy istniejącej woli obu stron. Przykładem jest przedłużenie w grudniu 2024 r. umowy o współpracy w nauce i technologii (STA) na kolejne pięć lat. Wskazuje to na ograniczoną, ale realną współpracę, głównie w zakresie badań podstawowych, takich jak zmiany klimatyczne, mimo że rywalizacja technologiczna w innych obszarach stale narasta (HP3.).

208:51226

PW2 (Bariery): Ekspert nr 2 zwraca uwagę, że obecnie obserwujemy rozłam w relacjach technologicznych między USA a Chinami, co jest wyraźnie widoczne w ograniczeniach kontroli eksportu nakładanych przez obie strony.

Wynika z tego, że sankcje i restrykcje eksportowe stanowią istotną barierę w rywalizacji technologicznej, potwierdzając hipotezy PP3. i HP3. dotyczące dążenia do przewagi oraz rosnącej konkurencji i ochrony własnych technologii.

PW3 (Podział na bloki): Ekspert nr 5 przewiduje, że współpraca naukowa i technologiczna między USA a Chinami będzie się stopniowo rozluźniać, co można określić jako tworzenie się „żelaznej kurtyny" technologicznej.

Prognoza ta wskazuje na rozwój „technologicznego zimnego konfliktu", co potwierdza hipotezy HP3. i PP3., dotyczące eskalacji rywalizacji i wzrostu barier w relacjach między mocarstwami.

PW4 (Dziedziny eskalacji): Ekspert nr 8 wskazuje, że rywalizacja między Chinami a Stanami Zjednoczonymi obejmuje liczne sektory, a wśród nich najbardziej wyróżniają się technologie takie jak sztuczna inteligencja (AI), 5G, obliczenia kwantowe oraz produkcja półprzewodników.

Podkreśla to kluczowe znaczenie AI i półprzewodników jako głównych pól konkurencji technologicznej, co wspiera hipotezy HP1.-HP3. dotyczące innowacji, infrastruktury i ekspansji.

Kategoria 4: Asymetryczne strategie cybernetyczne (AC1-AC3)

Wielu respondentów wskazywało na znaczenie działań w cyberprzestrzeni jako narzędzia asymetrycznej rywalizacji. Ekspert nr 3, powołując się na raport Mandiant, opisał praktyki jednostki 61398 Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej, obejmujące phishing, tunelowanie DNS oraz budowanie serwerów *Command & Control*. Z kolei Ekspert nr 6 podkreślił, że Pekin stosuje „strategię śmierci od tysiąca cięć" – setki prób kradzieży danych, z których część okazuje się skuteczna.

Eksperci zgodnie podkreślali, że cyberbezpieczeństwo staje się nieodłącznym elementem rywalizacji systemowej. Jak zauważył Ekspert nr 4, działania PLA obejmują nie tylko szpiegostwo, lecz także potencjalne zakłócanie funkcjonowania infrastruktury krytycznej i operacje psychologiczne w domenie kognitywnej. To sprawia, że cyberprzestrzeń postrzegana jest nie tylko jako pole starcia technologicznego, ale także jako narzędzie wpływu politycznego.

AC1 (Działania Chin): Ekspert nr 3 wskazuje, że zgodnie z raportem Mandiant baza jednostki 61398 w Szanghaju dysponuje zaawansowaną infrastrukturą światłowodową, a jej

209:33584

personel jest intensywnie szkolony m.in. w języku angielskim, tajnej komunikacji, bezpieczeństwie sieci oraz strategiach cyberataków.
Podkreśla to kluczową rolę jednostki 61398 w prowadzeniu cybernetycznego szpiegostwa Chin, co odnosi się do hipotez HP3. i PP3. dotyczących militarno-gospodarczych dążeń oraz determinant przewagi technologicznej (Mandiant, 2013).

AC2 (Przeciwdziałanie USA): Ekspert nr 4 zwraca uwagę, że Stany Zjednoczone inwestują znaczne środki w badania, między innymi poprzez fundusz The Technology Modernization Fund.

Podkreśla to zaangażowanie USA w rozwój i modernizację obrony cybernetycznej, co wspiera hipotezę HP2. dotyczącą przewagi technologicznej i inwestycji w innowacje.

AC3 (Znaczenie cyberbezpieczeństwa): Ekspert nr 9 podkreśla, że jednym z istotnych elementów rywalizacji są rozległe działania szpiegostwa przemysłowego oraz kradzież technologii i informacji naukowo-technicznych na skalę światową.

Zwraca to uwagę na cyberbezpieczeństwo jako kluczowy czynnik w zdobywaniu przewagi technologicznej, co wspiera hipotezy PP3. i HP3. dotyczące determinant rywalizacji i znaczenia bezpieczeństwa w kontekście konfliktu USA-Chiny.

Kategoria 5: Autonomia produkcji półprzewodników (AP1-AP3)

Znaczenie sektora półprzewodników było jednym z najczęściej powracających wątków w wypowiedziach Ekspertów. Ekspert nr 2 wskazał, że Pekin rozwija zarówno technologie najbardziej zaawansowane, jak i starsze generacje chipów, które są kluczowe m.in. w produkcji sprzętu militarnego. Ekspert nr 3 zauważył, że Chiny próbują uzależniać świat od starszych technologii półprzewodników, równolegle starając się doganiać Tajwan i USA w produkcji najbardziej nowoczesnych układów.

Z kolei Stany Zjednoczone – jak podkreślali Eksperci nr 4 i 5 – intensyfikują inwestycje w krajową produkcję chipów oraz starają się przyciągać fabryki TSMC i Samsunga. W tym kontekście kluczowe znaczenie ma *The CHIPS and Science Act* oraz szeroka sieć sankcji nałożonych na eksport maszyn litograficznych do Chin. Ekspert nr 6 zaznaczył, że tajwańska produkcja high-end chipów jest największą tarczą obronną wyspy, co sprawia, że rywalizacja technologiczna bezpośrednio splata się z geopolityką bezpieczeństwa w regionie Indo-Pacyfiku. Ekspert nr 11 podkreśla, że *The CHIPS and Science Act* zabrania użycia chińskich półprzewodników, co wzmacnia amerykańską autonomię.

210:34062

AP1 (Działania Chin): Ekspert nr 3 wskazuje, że Pekin stara się zabezpieczyć dostęp do kluczowych technologii, dokonując zakupów na zapas, na przykład od firmy ASML, zanim zostaną wprowadzone całkowite zakazy eksportowe.

Działania te ilustrują chińską strategię inwestycji w rozwój krajowej produkcji oraz próbę obejścia ograniczeń, co wspiera hipotezy HP1. i PP3. dotyczące długofalowej strategii Chin i determinant ich przewagi technologicznej.

AP2 (Inicjatywy USA): Ekspert nr 5 podkreśla, że amerykańskie firmy dominują na wszystkich etapach produkcji półprzewodników, szczególnie w projektowaniu układów scalonych. Ekspert nr 11 dodaje, że ustawa *The CHIPS and Science Act* oraz sankcje na Huawei ograniczają chiński dostęp do tych technologii.

Działania te świadczą o strategicznym wykorzystaniu subsydiów i partnerstw, co wspiera hipotezy HP2. i PP1. dotyczące przewagi technologicznej i ochrony pozycji USA (White House, 2022).

AP3 (Znaczenie sektora): Ekspert nr 6 zwraca uwagę, że Tajwan odpowiada za ponad 90% produkcji wysokiej klasy półprzewodników, co stanowi dla niego kluczową formę obrony przed chińską agresją.

Podkreśla to istotne ryzyko związane z łańcuchami dostaw, mające znaczenie dla bezpieczeństwa technologicznego i strategicznego, co odnosi się do hipotez HP3. I PP3.

Tab. 4. Podsumowanie kodów, cytatów, hipotez i komentarzy analitycznych z wywiadów z ekspertami

Kategoria/Kod	**Reprezentatywny cytat**	**Hipoteza Pytanie**	**Komentarz analityczny**
CR1 – Inwestycje w R&D	„Nowoczesne technologie wymagają znacznych nakładów finansowych na badania i rozwój, a w USA przeznacza się duże nakłady…" (Ekspert nr 4)	HP2., PP1.	USA mają przewagę jakościową dzięki wysokim nakładom na R&D; chińskie inwestycje trudne do weryfikacji.
CR2 – Polityka państwa	„W Chinach rozwój technologiczny jest mniej oparty na	HP1., HP2., PP1.	Centralne planowanie w Chinach kontrastuje z rynkowym modelem

211:31619

	innowacjach rynkowych i bardziej skoncentrowany na planach KPCh". (Ekspert nr 7)		USA; wyjaśnia różnice w dynamice rozwoju.
CR3 – Kapitał ludzki	„Innowacje wynikają z bezpośredniej współpracy rządu z podmiotami gospodarczymi, a nie mechanizmów rynkowych". (Ekspert nr 7)	HP1., HP2., PP3.	USA dominują w jakości kapitału ludzkiego, Chiny nadrabiają liczbą i mobilizacją zasobów.
CR4 – Infrastruktura	„Federalne wsparcie dla badań, szczególnie w sektorze obronnym, stanowi fundament innowacyjności USA". (Ekspert nr 8)	HP2, PP2.	Silne zaplecze gospodarczo-militarne wspiera przewagę technologiczną obu państw.
CR5 – Kultura innowacji	„To właśnie połączenie mentalności innowacyjnej, dużej puli talentów i ambicji globalnej dominacji napędza przewagę USA". (Ekspert nr 11)	HP2., PP1.	Przewaga USA wynika z kreatywności, otwartości i swobody rynkowej, kontrastując z modelem Chin.
CR6 – Porównanie	„Choć USA wciąż dominują technologicznie, Chiny szybko nadrabiają dystans dzięki silnym inwestycjom". (Ekspert nr 11)	HP2., HP1., PP1.	USA lepiej kontrolują zagrożenia, Chiny skupiają się na strategicznej samowystarczalności.

212:67738

MS1 – Strategia Chin	*Made in China 2025* promuje innowacje, rozwój krajowych rozwiązań i konkurencyjność chińskich firm". (Ekspert nr 4)	HP1., PP1.	Długofalowa państwowa strategia Chin; wykorzystanie transferu technologii.
MS2 – Metody USA	„Stany Zjednoczone wprowadziły sankcje i ograniczenia dla Huawei, kontrolując dostęp do kluczowych technologii". (Ekspert nr 11)	HP2., PP1.	USA chronią własną przewagę poprzez prawo, regulacje i sankcje.
MS3 – Działania asymetryczne	„Chińskie służby stosują strategię 'śmierci przez tysiąc cięć' w cyberprzestrzeni". (Ekspert nr 6)	HP3., PP3.	Cyberprzestrzeń jest polem asymetrycznej rywalizacji technologicznej.
MS4 – Rola korporacji	„Amerykańskie firmy kontrolują wszystkie etapy produkcji chipów, co pozwala utrzymać przewagę wobec Chin". (Ekspert nr 5)	H.4, P.4	Korporacje i sektor prywatny odgrywają kluczową rolę w ekspansji technologicznej.
PW1 – Możliwości współpracy	„Współpraca między USA a Chinami jest możliwa, choć w wybranych obszarach, np. badania klimatyczne". (Ekspert nr 3)	HP3.	Ograniczona, selektywna współpraca w nauce podstawowej.

213:39092

PW2 – Bariery	„Obserwujemy rozłam w relacjach technologicznych, widoczny w ograniczeniach eksportowych”. (Ekspert nr 2)	HP3., PP3.	Sankcje i restrykcje utrudniają współpracę i wzmacniają rywalizację.
PW3 – Podział na bloki	„Współpraca naukowa stopniowo się rozluźnia, tworząc ‘żelazną kurtynę’ technologiczną”. (Ekspert nr 5)	HP3., PP3.	Postępuje tworzenie konkurencyjnych bloków technologicznych.
PW4 – Dziedziny eskalacji	„Rywalizacja obejmuje AI, 5G, obliczenia kwantowe i półprzewodniki”. (Ekspert nr 8)	HP1.-HP3.	Najważniejsze sektory rywalizacji technologicznej.
AC1 – Działania Chin	„Jednostka 61398 PLA prowadzi cyberoperacje, w tym szpiegostwo przemysłowe i zakłócanie infrastruktury”. (Ekspert nr 3)	HP3., PP3.	Cyberbezpieczeństwo kluczowym narzędziem przewagi strategicznej.
AC2 – Przeciwdziałanie USA	„USA inwestują w obronę cybernetyczną i modernizację systemów poprzez Technology Modernization Fund”. (Ekspert nr 4)	HP2.	Silne inwestycje w cyberbezpieczeństwo podtrzymują przewagę USA.
AC3 – Znaczenie cyberbezpieczeństwa	„Szpiegostwo przemysłowe i kradzież technologii to	HP3., PP3.	Cyberbezpieczeństwo jest kluczowe dla zdobywania przewagi technologicznej.

214:14831

	istotny element rywalizacji globalnej". (Ekspert nr 9)		
AP1 – Działania Chin	„Pekin zabezpiecza dostęp do technologii, dokonując zakupów na zapas przed zakazami eksportu". (Ekspert nr 3)	HP1., PP3.	Strategia obejmuje inwestycje i rozwój krajowej produkcji półprzewodników.
AP2 – Inicjatywy USA	„Amerykańskie firmy dominują w projektowaniu układów scalonych; CHIPS Act ogranicza dostęp Chin". (Ekspert nr 5, 11)	HP2., PP1.	USA wykorzystują regulacje i partnerstwa dla utrzymania przewagi.
AP3 – Znaczenie sektora	„Tajwan odpowiada za >90% produkcji high-end chipów, stanowiąc tarczę obronną wobec Chin." (Ekspert nr 6)	HP3., PP3.	Półprzewodniki mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa technologicznego i strategicznego.

Opracowanie własne na podstawie wywiadów pogłębionych z ekspertami oraz literatury, w tym Kennedy, 2015, 2020; Mandiant, 2013; White House, 2022.

Podsumowanie

Analiza ekspertów wskazuje na wyraźne różnice w modelach rozwoju technologicznego USA i Chin, które jednocześnie uzupełniają się w niektórych obszarach. Stany Zjednoczone bazują na historycznej kulturze innowacji, otwartym systemie edukacyjnym, wysokich nakładach na R&D oraz atrakcyjności dla wysoko wykwalifikowanych imigrantów, co zapewnia im przewagę jakościową i kontrolę nad strategicznymi technologiami. Chiny natomiast stawiają na scentralizowane planowanie, silne wsparcie rządowe i masowe wdrażanie technologii, często wykorzystując pragmatyczne lub kontrowersyjne środki, takie jak transfer wiedzy czy szpiegostwo przemysłowe. Eksperci podkreślają, że chiński model rozwija się dynamicznie dzięki koncentracji zasobów, inwestycjom w infrastrukturę 5G i nowe ośrodki

215:89835

badawcze, co przyspiesza proces doganiania USA, mimo że przewaga w kapitale ludzkim i kulturze innowacyjności pozostaje po stronie Amerykanów.

W zakresie zdobywania przewagi technologicznej obydwa państwa stosują odmienne strategie: USA opiera się na regulacjach, ochronie własności intelektualnej, współpracy z korporacjami i sojusznikami, podczas gdy Chiny wykorzystują centralne planowanie, strategiczny transfer technologii i, w części przypadków, działania nieetyczne. Cyberprzestrzeń stała się istotnym polem asymetrycznej rywalizacji, w której Chiny prowadzą intensywne działania wywiadowcze, a USA inwestują w rozwój obrony cybernetycznej.

Sektor półprzewodników jest kluczowym obszarem rywalizacji, w którym Chiny dążą do samowystarczalności, zabezpieczając dostęp do technologii i rozwijając krajową produkcję, podczas gdy USA wzmacniają kontrolę nad globalnymi łańcuchami dostaw, wspierając krajowe fabryki i ograniczając dostęp Chin do zaawansowanych technologii, co ma również istotne implikacje dla bezpieczeństwa regionu Indo-Pacyfiku.

Perspektywy współpracy chińsko-amerykańskiej są ograniczone; Eksperci prognozują stopniowe tworzenie konkurencyjnych bloków technologicznych i „żelaznej kurtyny" w nauce i technologii, choć w wybranych obszarach globalnych wyzwań, takich jak klimat czy zdrowie publiczne, współpraca pozostaje możliwa. Rywalizacja obejmuje przede wszystkim technologie sztucznej inteligencji, 5G, obliczeń kwantowych oraz produkcję półprzewodników, co podkreśla strategiczne znaczenie tych sektorów dla obu mocarstw.

Eksperci wskazują na trwałe zróżnicowanie modeli rozwoju technologicznego – rynkowo-regulacyjny w USA i państwowo-systemowy w Chinach – przy jednoczesnym nasileniu konkurencji strategicznej, asymetrycznych działań cybernetycznych oraz wyścigu o autonomię w sektorze półprzewodników, co tworzy fundamenty „technologicznego zimnego konfliktu" w relacjach obu państw.

5.3. Rywalizacja technologiczna w duchu realizmu ofensywnego

Rywalizacja między Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową w sferze nowych technologii stanowi jedno z najważniejszych pól konfrontacji mocarstw we współczesnym systemie międzynarodowym. Analizując ten proces w duchu realizmu ofensywnego, można dostrzec dążenie obu stron do maksymalizacji potęgi i przejęcia hegemonii w strategicznych sektorach technologicznych. Zgodnie z założeniami tej szkoły myślenia każde mocarstwo, kierując się logiką anarchicznego systemu, dąży do wyeliminowania przewagi przeciwnika i uzyskania maksymalnie korzystnej pozycji strukturalnej (Mearsheimer 2001).

216:19656

Realizm ofensywny, sformułowany przez Mearsheimera (2001), zakłada, że państwa działają w anarchicznym systemie międzynarodowym, dążąc do maksymalizacji swojej potęgi w celu zapewnienia bezpieczeństwa i dominacji. W kontekście rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chinami realizuje się to w kilku wymiarach. Jednym z kluczowych obszarów rywalizacji jest sztuczna inteligencja. Chiny uczyniły jej rozwój priorytetem strategicznym, co potwierdzają zapisy *New Generation Artificial Intelligence Development Plan* z 2017 r. oraz czternastego planu pięcioletniego. W ramach tej polityki Pekin przeznacza olbrzymie środki na inwestycje – w 2025 r. mają one osiągnąć wartość 98 mld USD, przy czym dominującą rolę odgrywa finansowanie państwowe. Chiny dominują także w zakresie liczby rejestrowanych patentów oraz publikacji, odpowiadając odpowiednio za ponad 60% globalnych zgłoszeń patentowych oraz około 40% artykułów naukowych (WIPO 2024; Stanford University 2024). Niemniej jednak analiza ich cytowalności wskazuje na dysproporcję pomiędzy ilością a jakością – średnia wartość wskaźnika cytowań dla publikacji chińskich jest kilkukrotnie niższa niż w przypadku amerykańskich. Podobnie w wymiarze technologicznym chińskie modele, choć coraz bardziej konkurencyjne, wciąż ustępują produktom amerykańskim w kluczowych benchmarkach, takich jak MMLU.

Stany Zjednoczone utrzymują przewagę dzięki ekosystemowi prywatnych inwestycji, którego wartość w 2024 r. wyniosła 109 mld USD, a więc kilkukrotnie więcej niż w Chinach. Dodatkowo dominują w sferze jakości badań – publikacje amerykańskie charakteryzują się znacznie wyższą cytowalnością, a modele frontierowe, takie jak GPT-5, osiągają najlepsze wyniki w testach porównawczych. W logice realizmu ofensywnego można zatem zauważyć, że Pekin realizuje strategię ilościową, koncentrując się na masowej produkcji wiedzy i patentów, natomiast Waszyngton podtrzymuje swoją pozycję poprzez innowacje przełomowe i utrzymywanie przewagi jakościowej.

Jeszcze bardziej wyraźne różnice ujawniają się w obszarze półprzewodników, które stanowią podstawę wszystkich pozostałych technologii. Stany Zjednoczone, wspierane przez legislację w postaci *CHIPS and Science Act* o wartości 52 mld USD oraz dzięki strategicznemu sojuszowi z Tajwanem – odpowiadającym za około 90% produkcji najbardziej zaawansowanych chipów – kontrolują najwyższy segment tego sektora. Chiny deklarują, że do 2030 r. chcą osiągnąć 30% globalnych mocy produkcyjnych, lecz ich rozwój ograniczają sankcje amerykańskie blokujące dostęp do najnowocześniejszych technologii litograficznych. Z perspektywy realizmu ofensywnego Pekin stara się budować samowystarczalność, jednak strukturalna przewaga pozostaje po stronie Waszyngtonu.

217:38176

Inny obraz wyłania się z analizy sektora 5G i infrastruktury cyfrowej. Chiny osiągnęły tu wyraźną dominację liczbową, dysponując ponad 4,6 mln stacji bazowych i kontrolując około 80% globalnego rynku dzięki takim przedsiębiorstwom jak Huawei i ZTE. Program *Digital Silk Road* umożliwia im nie tylko rozbudowę krajowej infrastruktury, lecz także ekspansję międzynarodową, obejmującą Azję, Afrykę i część Europy. Działania te można interpretować jako próbę zbudowania cyfrowego Heartlandu, którego kontrola pozwoliłaby Chinom na kształtowanie globalnych standardów technologicznych. Stany Zjednoczone przyjęły strategię defensywną, koncentrując się na blokowaniu ekspansji Huawei poprzez sankcje oraz presję na sojuszników.

Cyberprzestrzeń stanowi kolejny istotny wymiar rywalizacji. Chiny intensywnie rozwijają ofensywne zdolności w tej sferze, stosując asymetryczną strategię określaną mianem „śmierci od tysiąca cięć". Polega ona na prowadzeniu szeroko zakrojonych działań szpiegowskich i sabotażowych, które stopniowo podważają przewagę przeciwnika. Stany Zjednoczone z kolei inwestują w rozwój własnych zdolności ofensywnych, ale również w system sankcji nakierowanych na ograniczanie potencjału militarnego i technologicznego Pekinu. W rezultacie Waszyngton zachowuje przewagę jakościową, natomiast Chiny kompensują ją skalą swoich działań.

Analizując całościowo poszczególne sektory, należy stwierdzić, że Stany Zjednoczone dominują w sztucznej inteligencji i półprzewodnikach, Chiny natomiast w 5G i infrastrukturze cyfrowej. W cyberprzestrzeni USA utrzymują wyższy poziom technologiczny, ale Pekin zyskuje dzięki masowości i intensywności działań ofensywnych. Instrumenty gospodarcze i prawne, takie jak sankcje wobec Huawei, ograniczenia eksportowe półprzewodników czy subsydia w USA, służą osłabieniu rywala w duchu gry o sumie zerowej, typowej dla realizmu ofensywnego.

Ostatecznie jednak to przewaga amerykańska w półprzewodnikach – będących podstawą wszystkich innowacji – decyduje o utrzymaniu hegemonii technologicznej Waszyngtonu.

Perspektywa realizmu ofensywnego znajduje dodatkowe potwierdzenie w odniesieniu do klasycznych koncepcji geopolitycznych. W ujęciu Halforda Mackindera kluczem do globalnej dominacji jest kontrola nad Heartlandem, który we współczesnym wydaniu odpowiada cyfrowemu rdzeniowi obejmującemu dane, sztuczną inteligencję i półprzewodniki. Chiny zyskują przewagę infrastrukturalną poprzez dominację w 5G i ekspansję w ramach *Digital Silk Road*, jednak niezdolność do uniezależnienia się w sektorze półprzewodników sprawia, że decydująca przewaga wciąż pozostaje po stronie USA. W świetle teorii Nicholasa Spykmana szczególną rolę odgrywa natomiast Rimland – obrzeża Eurazji, których

218:10946

współczesnym odpowiednikiem są łańcuchy dostaw półprzewodników i strategiczne punkty w obszarze Indo-Pacyfiku. Tu dominacja Stanów Zjednoczonych jest jeszcze wyraźniejsza, gdyż dzięki sojuszom z Japonią, Koreą Południową i Tajwanem Waszyngton kontroluje dostęp do kluczowych zasobów oraz skutecznie blokuje chińską ekspansję.

Zestawiając obie koncepcje, można zauważyć, że Chiny odnoszą sukcesy w budowaniu przewagi w cyfrowym Heartlandzie, natomiast USA skutecznie utrzymują dominację w Rimlandzie, co pozwala im kontrolować przepływy technologiczne i powstrzymywać wzrost potęgi Pekinu. W rezultacie, mimo ofensywnej polityki chińskiej, Stany Zjednoczone pozostają globalnym liderem technologicznej rywalizacji, co potwierdza trafność założeń realizmu ofensywnego w analizie współczesnych stosunków międzynarodowych.

Tab. 5. Rywalizacja USA-Chiny w duchu Heartlandu i Rimlandu

Koncepcja	**Chiny**	**USA**	**Ocena w duchu realizmu ofensywnego**
Heartland (Mackinder)	- *Inicjatywa Pasa i Szlaku (BRI)* oraz *Digital Silk Road* – infrastruktura cyfrowa w Eurazji. - Dominacja w 5G (60% globalnej infrastruktury, Huawei/ZTE). - Kontrola nad częścią surowców rzadkich. - Masowe inwestycje w AI (98 mld USD, >60% patentów).	- Blokady wobec Huawei, sankcje technologiczne. - Kontrola nad półprzewodnikami (TSMC, sankcje EUV). - Przewaga jakościowa w AI (benchmarki, dostęp do chipów).	Chiny ofensywnie budują „cyfrowy Heartland" (5G, *BRI*, dane), lecz USA utrzymują dominację dzięki kontroli nad kluczowym zasobem – półprzewodnikami.
Rimland (Spykman)	- Ekspansja infrastrukturalna w Azji, Afryce i Europie. - Próby uniezależnienia się od zachodnich łańcuchów	- Sojusze w Indo-Pacyfiku (Japonia, Korea Płd., Tajwan). - TSMC na Tajwanie – 90% produkcji zaawansowanych	USA kontrolują Rimland, kluczowy dla globalnej równowagi sił. Chiny pozostają w defensywie wobec amerykańskiej

219:57201

	dostaw. - Roszczenia wobec Tajwanu.	chipów. - Budowa bloków technologicznych i sankcje.	dominacji w Indo-Pacyfiku.

Opracowanie własne

Źródła: Mearsheimer, 2001; Mackinder, 1904; Spykman, 1944; WIPO, 2024; Stanford University, 2024; US Department of Commerce, 2024.

Koncepcje klasycznej geopolityki Halforda Mackindera i Nicholasa Spykmana znajdują dziś swoje odzwierciedlenie w rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową. W ujęciu Mackindera kluczowym obszarem pozostaje Heartland, czyli rdzeń Eurazji, którego współczesnym odpowiednikiem jest infrastruktura cyfrowa, kontrola nad danymi, sztuczną inteligencją i półprzewodnikami. Z kolei w logice Spykmana decydujące znaczenie przypisuje się Rimlandowi, a więc strefie przybrzeżnej Eurazji, która w XXI w. odpowiada strategicznym łańcuchom dostaw oraz sojuszom w Indo-Pacyfiku.

Chiny konsekwentnie budują własny „cyfrowy Heartland" poprzez rozwój infrastruktury w ramach *Inicjatywy Pasa i Szlaku* oraz *Digital Silk Road*. Dysponują około 60% globalnej infrastruktury 5G, kontrolowanej przez koncerny Huawei i ZTE, a także istotną częścią zasobów surowców rzadkich. Pekin przeznacza również ogromne środki na rozwój sztucznej inteligencji – w 2025 r. inwestycje mają osiągnąć 98 mld USD – i rejestruje ponad 60% światowych patentów w tej dziedzinie. Stany Zjednoczone przyjęły jednak strategię blokowania tej ekspansji. Poprzez sankcje technologiczne wobec Huawei oraz kontrolę nad kluczowym ogniwem, jakim są półprzewodniki, Waszyngton utrzymuje decydującą przewagę. Tajwańskie TSMC odpowiada bowiem za 90% produkcji najbardziej zaawansowanych chipów, a dodatkowym atutem USA pozostaje przewaga jakościowa w sztucznej inteligencji – zarówno w benchmarkach, jak i w dostępie do najnowocześniejszych procesorów. W duchu realizmu ofensywnego oznacza to, że Chiny dążą do przejęcia kontroli nad Heartlandem poprzez infrastrukturę i dane, lecz to USA zachowują dominację dzięki przewadze w półprzewodnikach i AI.

Jeszcze wyraźniej przewaga Stanów Zjednoczonych uwidacznia się w perspektywie Rimlandu. Pekin podejmuje próby ekspansji infrastrukturalnej w Azji, Afryce i Europie, stara się także uniezależnić od zachodnich łańcuchów dostaw i wysuwa roszczenia wobec Tajwanu. Jednak to Waszyngton skutecznie kontroluje region Indo-Pacyfiku dzięki sieci sojuszy

220:20346

obejmujących Japonię, Koreę Południową i sam Tajwan. Kluczowym elementem pozostaje TSMC, stanowiące strategiczny punkt Rimlandu, którego produkcja zaawansowanych chipów przesądza o zachowaniu przewagi technologicznej USA. Dodatkowo Amerykanie wzmacniają swoją pozycję poprzez sankcje, budowanie bloków technologicznych i politykę izolowania Chin w krytycznych sektorach. W logice realizmu ofensywnego prowadzi to do wniosku, że Rimland – obszar decydujący o równowadze sił – pozostaje pod kontrolą Stanów Zjednoczonych, a Chiny wciąż znajdują się w defensywie.

Podsumowując, w ramach koncepcji Heartlandu Pekin uzyskuje przewagi w infrastrukturze cyfrowej i masowych inwestycjach w sztuczną inteligencję, lecz nie jest w stanie przełamać amerykańskiej kontroli nad półprzewodnikami i przewagą jakościową w AI. W perspektywie Rimlandu to USA zachowują pełną kontrolę dzięki sojuszom i strategicznemu punktowi, jakim jest Tajwan. Całościowa ocena w duchu realizmu ofensywnego prowadzi do wniosku, że Stany Zjednoczone pozostają liderem rywalizacji technologicznej, gdyż przewaga w Rimlandzie oraz w kluczowych sektorach pozwala im skutecznie ograniczać ekspansję Chin w cyfrowym Heartlandzie.

Tab. 6. Rywalizacja USA-Chiny w duchu Heartlandu i Rimlandu (z perspektywą do 2030 r.)

Koncepcja	**Chiny (stan obecny)**	**USA (stan obecny)**	**Ocena w duchu realizmu ofensywnego**	**Perspektywa do 2030 r.**
Heartland (Mackinder)	- *Digital Silk Road,* dominacja w 5G (60% globalnej infrastruktury). - Inwestycje w AI (98 mld USD, >60% patentów). - Kontrola części metali ziem rzadkich. - Cel: 30% globalnej produkcji chipów do 2030 r.	- Blokady wobec Huawei. - Kontrola nad półprzewodnikami (TSMC, sankcje na EUV). - Przewaga jakościowa w AI dzięki chipom i ekosystemowi innowacji.	Chiny rozbudowują „cyfrowy Heartland", lecz USA trzymają klucz do jego rozwoju (zaawansowane chipy).	Jeśli Chiny osiągną częściową samowystarczalność w półprzewodnikach (np. 7 nm), mogą zmniejszyć amerykańską przewagę. Jednak utrata dostępu do TSMC i technologii EUV utrudni pełną dominację.

221:45338

Rimland (Spykman)	- Ekspansja infrastrukturalna w Azji, Afryce i Europie. - Roszczenia wobec Tajwanu. - Budowanie własnych łańcuchów dostaw.	- Sojusze w Indo-Pacyfiku (Japonia, Korea Płd., Tajwan). - TSMC na Tajwanie – 90% produkcji zaawansowanych chipów. - Budowa bloków technologicznych (CHIPS Act, sankcje).	USA kontrolują Rimland i skutecznie ograniczają ekspansję Chin. Tajwan to strategiczna „tarczka obronna”.	Jeśli Chiny przejęłyby kontrolę nad Tajwanem, uzyskałyby przewagę w Rimlandzie i dostęp do zaawansowanej produkcji chipów. W takim scenariuszu układ sił globalnych mógłby radykalnie się odwrócić.

Opracowanie własne

Źródła: Mearsheimer, 2001; Mackinder, 1904; Spykman, 1944; Stanford University, 2024; US Department of Commerce, 2024.

W ujęciu Mackindera Heartland – centralna część Eurazji – stanowi strategiczny obszar decydujący o potencjale globalnej dominacji. Współcześnie Heartland odpowiada cyfrowemu rdzeniowi obejmującemu infrastrukturę 5G, sztuczną inteligencję oraz kontrolę nad półprzewodnikami. Chiny konsekwentnie rozbudowują swój „cyfrowy Heartland” poprzez *Digital Silk Road* i dominację w 5G, kontrolując obecnie około 60% globalnej infrastruktury i inwestując 98 mld USD w rozwój AI, przy rejestracji ponad 60% patentów w tej dziedzinie. Pekin dąży również do zwiększenia udziału w globalnej produkcji chipów do 30% do 2030 r., a kontrola części metali ziem rzadkich dodatkowo wzmacnia jego potencjał strategiczny.

Stany Zjednoczone przeciwdziałają tej ekspansji poprzez blokady technologiczne wobec Huawei, sankcje ograniczające dostęp do technologii litograficznych EUV oraz kontrolę nad kluczowymi graczami, takimi jak TSMC na Tajwanie. Amerykanie utrzymują również przewagę jakościową w AI, wynikającą z dostępu do najnowocześniejszych chipów i silnego ekosystemu innowacji. W logice realizmu ofensywnego oznacza to, że Chiny ofensywnie budują cyfrowy Heartland, lecz USA posiadają decydujący „klucz” do jego pełnego rozwoju. Perspektywa do 2030 r. wskazuje, że częściowa samowystarczalność Chin w półprzewodnikach, np. w technologii 7 nm, mogłaby zmniejszyć dystans do USA, jednak pełna dominacja pozostaje utrudniona przez utrzymanie sankcji i kontroli nad TSMC. W kontekście

222:23220

Rimlandu, obejmującego obszary przybrzeżne Eurazji, dominacja decyduje o kontroli nad strategicznymi łańcuchami dostaw i globalną równowagą sił. Chiny podejmują działania ekspansyjne w Azji, Afryce i Europie, rozwijają własne łańcuchy dostaw oraz wysuwają roszczenia wobec Tajwanu. Stany Zjednoczone utrzymują jednak przewagę poprzez sojusze w Indo-Pacyfiku (Japonia, Korea Południowa, Tajwan) oraz kontrolę nad TSMC, odpowiadającym za 90% produkcji najbardziej zaawansowanych chipów. Budowa bloków technologicznych i sankcje wzmacniają amerykańską pozycję. W duchu realizmu ofensywnego oznacza to, że USA skutecznie kontrolują Rimland i ograniczają ekspansję Chin, a strategiczna rola Tajwanu działa jak „tarczka obronna" zabezpieczająca globalną przewagę Waszyngtonu.

Perspektywa do 2030 r. pokazuje, że w Heartlandzie Chiny mogą zmniejszyć dystans dzięki scentralizowanemu planowaniu i inwestycjom w półprzewodniki. Jednak jeśli sankcje i kontrola nad TSMC zostaną utrzymane, przewaga jakościowa USA w AI i półprzewodnikach zapewni dalszą dominację. W Rimlandzie natomiast kluczowym czynnikiem pozostaje status Tajwanu: jego utrata przez Zachód mogłaby radykalnie zmienić globalny układ sił, umożliwiając Pekinowi przejęcie przewagi i dostęp do zaawansowanej produkcji chipów.

Podsumowując, w duchu realizmu ofensywnego Stany Zjednoczone pozostają liderem rywalizacji technologicznej i dysponują narzędziami do utrzymania przewagi do 2030 r.. Jednocześnie Chiny ofensywnie budują alternatywną architekturę technologiczną, która przy sprzyjających okolicznościach, takich jak zmiana statusu Tajwanu czy przełamanie sankcji chipowych, może zagrozić amerykańskiej hegemonii w ciągu najbliższej dekady.

Analiza rywalizacji technologicznej USA i Chin w kontekście klasycznych koncepcji geopolitycznych ujawnia zróżnicowaną dynamikę sił w kluczowych sektorach. W ujęciu Heartlandu, obejmującym sztuczną inteligencję, półprzewodniki oraz infrastrukturę 5G, Stany Zjednoczone utrzymują dziś największą przewagę w sektorze półprzewodników, wynikającą z kontroli nad TSMC oraz dostępu do zaawansowanych technologii produkcji chipów. Chiny natomiast dominują w obszarze 5G i dynamicznie zwiększają swój potencjał w sztucznej inteligencji dzięki masowym inwestycjom i dominacji patentowej.

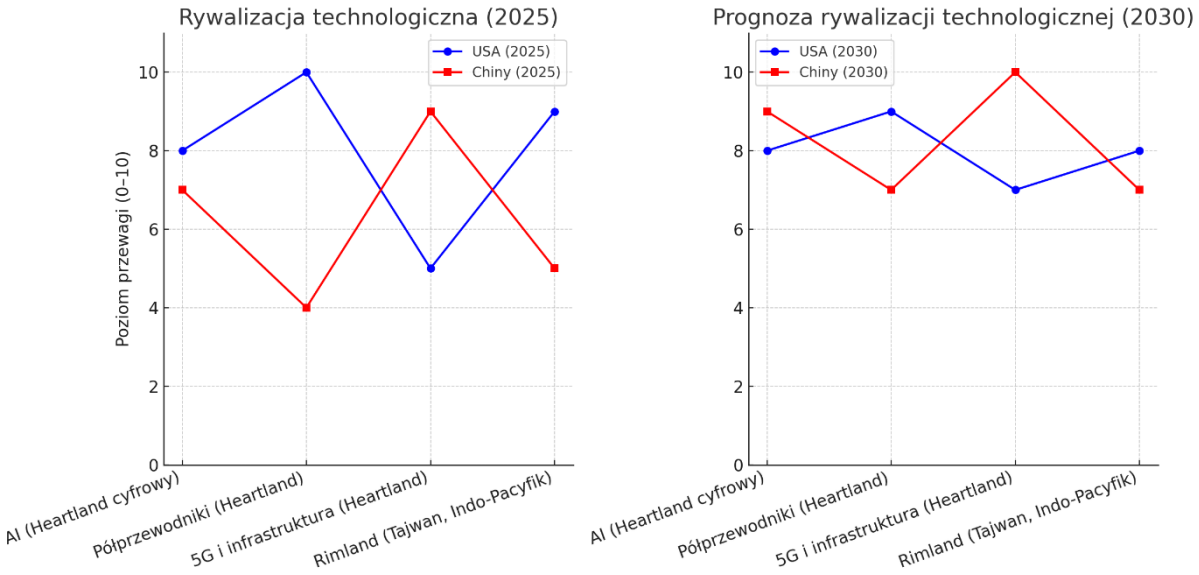
W ujęciu Rimlandu – obejmującym strategiczny obszar Indo-Pacyfiku i Tajwan – przewaga leży po stronie USA, które dzięki sojuszom z Japonią, Koreą Południową oraz Tajwanem kontrolują krytyczne łańcuchy dostaw i strategiczne punkty technologiczne. Tajwan pełni rolę kluczowego elementu obrony amerykańskiej dominacji w regionie.

Perspektywa do 2030 r. wskazuje na możliwą konwergencję sił. Chiny mogą znacząco zwiększyć niezależność w produkcji półprzewodników, przyspieszyć rozwój AI oraz utrzymać przewagę w 5G, co pozwoli im niemal zrównać się z USA w sektorach Heartlandu. Mimo to

223:88766

Stany Zjednoczone prawdopodobnie utrzymają dominację w Rimlandzie dzięki strategicznej kontroli nad Tajwanem i siecią sojuszy w Indo-Pacyfiku. W duchu realizmu ofensywnego oznacza to, że Pekin kontynuuje ofensywną strategię rozbudowy alternatywnej architektury technologicznej, podczas gdy Waszyngton zachowuje kluczową przewagę strukturalną w obszarze krytycznym dla globalnej równowagi sił.

Wykres 1. Schemat porównujący USA i Chiny w logice Heartlandu (AI, półprzewodniki, 5G) i Rimlandu (Tajwan/Indo-Pacyfik), w dwóch perspektywach: 2025 r. i prognoza odnosząca się do 2030 r.



Opracowanie własne

Źródła: Mearsheimer, 2001; US Department of Commerce, 2024; Stanford University, 2024.

5.3.1. Scenariusz alternatywny 2030: przejęcie Tajwanu przez Chiny

W kontekście prognoz do 2030 r. wyróżnia się dwa scenariusze rywalizacji USA-Chiny w logice Heartlandu i Rimlandu. Scenariusz bazowy przewiduje utrzymanie przewagi Stanów Zjednoczonych w Rimlandzie i półprzewodnikach, przy jednoczesnym stopniowym doganianiu ich przez Chiny w sektorach sztucznej inteligencji i 5G. Scenariusz alternatywny – zwany scenariuszem Tajwan dla Chin – zakłada przejęcie wyspy przez Pekin, co radykalnie zmienia

224:48724

układ sił i prowadzi do znaczącego wzmocnienia pozycji Chin zarówno w Heartlandzie, jak i Rimlandzie.

W pierwszej kolejności należy podkreślić znaczenie półprzewodników, określanych jako serce „cyfrowego Heartlandu". Obecnie TSMC na Tajwanie produkuje około 90% najbardziej zaawansowanych chipów, co stanowi główny filar amerykańskiej przewagi technologicznej. W przypadku przejęcia Tajwanu przez Chiny, Pekin uzyskuje kontrolę nad krytycznym zasobem technologii XXI w. Skutkiem tego jest utrata przez USA i ich sojuszników możliwości blokowania rozwoju chińskiej sztucznej inteligencji oraz gospodarki cyfrowej. „Cyfrowy Heartland" przekształca się w chińską domenę, a państwo to zyskuje autonomię strategiczną i nowe narzędzie przymusu wobec innych aktorów międzynarodowych.

W drugim wymiarze scenariusz Tajwan oznacza istotną zmianę układu sił w Rimlandzie, obejmującym strategiczny obszar Indo-Pacyfiku. Obecnie USA kontrolują Rimland dzięki sojuszom z Japonią, Koreą Południową, Filipinami i Tajwanem. Przejęcie wyspy przez Chiny przełamuje tę kontrolę, wypychając Stany Zjednoczone z kluczowego odcinka regionu. Państwa regionu, w tym Japonia i Korea Południowa, stają się bardziej narażone na presję Pekinu, co może prowadzić do zjawiska określanego jako „finlandyzacja" – uzależnienia politycznego od dominującej potęgi. Sojusze amerykańskie mogą wówczas ulec osłabieniu, jeśli lokalni aktorzy uznają, że USA nie są w stanie zagwarantować bezpieczeństwa strategicznego.

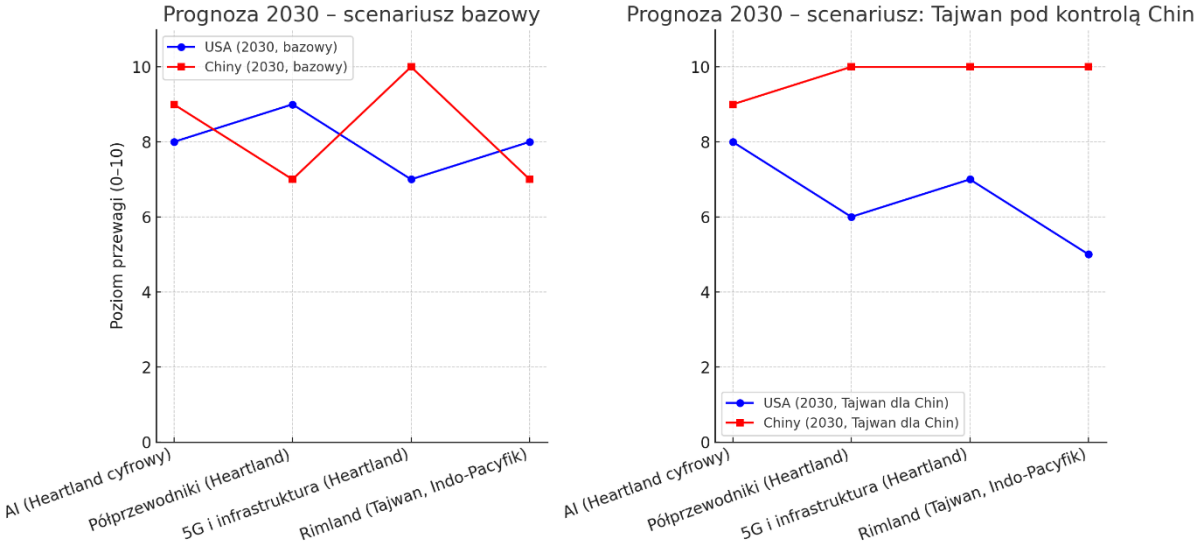
Konsekwencje dla systemu globalnego w tym scenariuszu są istotne. Dla Stanów Zjednoczonych utrata Tajwanu stanowiłaby największy cios w ich hegemoniczny status od II wojny światowej. Utracony zostaje monopol na kontrolę najbardziej strategicznego sektora – półprzewodników – a zdolność do równoważenia Chin w Eurazji ulega poważnemu ograniczeniu. Dla Chin natomiast przejęcie Tajwanu oznacza osiągnięcie statusu globalnego hegemona technologicznego. Kontrola nad wyspą umożliwia nie tylko rozwój gospodarki, ale również wykorzystanie chipów jako narzędzia szantażu gospodarczego wobec innych państw. W logice realizmu ofensywnego Pekin realizuje klasyczną strategię maksymalizacji władzy i bezpieczeństwa poprzez eliminację strategicznej przewagi rywala.

Scenariusz alternatywny wskazuje, że zmiana statusu Tajwanu mogłaby radykalnie przekształcić globalny układ sił technologicznych i strategicznych, przesuwając równowagę z dominacji USA na rzecz Chin w obszarze zarówno Heartlandu, jak i Rimlandu.

Wykres 2. Alternatywny scenariusz obejmujący 2030 r., składający się ze scenariusza bazowego (utrzymanie przewagi w Rimlandzie i półprzewodnikach przez USA oraz

225:48706

nadrabianie tempa w wyścigu technologicznym przez Chiny w dziedzinach AI oraz 5G) oraz scenariusza Tajwanu znajdującego się pod kontrolą Chin (przejęcie wyspy radykalnie zmienia układ sił: Chiny zyskują pełną dominację w półprzewodnikach i Rimlandzie, co pozwala im wyprzedzić USA w globalnej rywalizacji technologicznej.



Opracowanie własne

Źródła: Mearsheimer, 2001; US Department of Commerce, 2024; Stanford University, 2024.

Z perspektywy realizmu ofensywnego, jak wskazuje Mearsheimer (2001), mocarstwa systematycznie dążą do osiągnięcia regionalnej hegemonii i eliminowania potencjalnych rywali. W kontekście rywalizacji USA-Chiny przejęcie Tajwanu przez Pekin byłoby kluczowym wydarzeniem strategicznym. Usunięcie tej przeszkody umożliwiałoby Chinom dominację w Azji, a jednocześnie zmieniałoby globalną równowagę sił, otwierając drogę do rywalizacji o hegemoniczne pozycje na poziomie światowym.

W logice realizmu ofensywnego reakcja Stanów Zjednoczonych wymagałaby eskalacji działań mających na celu powstrzymanie Pekinu. Mogłoby to obejmować wprowadzenie całkowitych sankcji gospodarczych, izolowanie Chin na arenie międzynarodowej, a w skrajnych scenariuszach nawet interwencję militarną. W przypadku realizacji scenariusza Tajwan przewaga USA w Rimlandzie oraz w sektorze półprzewodników uległaby zasadniczemu osłabieniu. Pekin zdobyłby wówczas kontrolę zarówno nad cyfrowym Heartlandem, jak i kluczowymi obszarami Rimlandu.

226:68379

Podsumowując, w duchu realizmu ofensywnego przejęcie Tajwanu przez Chiny oznaczałoby przejście Pekinu do pozycji globalnego hegemona technologicznego i geopolitycznego. Stany Zjednoczone utraciłyby status niekwestionowanego lidera światowego i musiałyby wdrożyć gwałtowną kontrstrategię, aby powstrzymać dalszą ekspansję chińskiej potęgi.

5.3.2. Scenariusz: nowy blok technologiczny USA bez Azji

W scenariuszu, w którym Stany Zjednoczone tracą kontrolę nad Tajwanem i dostęp do TSMC, Chiny uzyskują przewagę w półprzewodnikach oraz zwiększają kontrolę nad Rimlandem. W odpowiedzi USA mogłyby opracować strategię stworzenia „cyfrowej twierdzy atlantyckiej", obejmującej Europę i Amerykę Łacińską, aby odciąć Pekin od dostępu do kluczowych technologii i rynków poza Azją. Główne elementy tej strategii obejmowałyby relokację przemysłu półprzewodnikowego oraz wzmocnienie produkcji chipów w Stanach Zjednoczonych (Intel, GlobalFoundries) i Europie (Niemcy, Holandia). Subwencje, partnerstwa i rozszerzone wersje CHIPS Act dla sojuszników – obejmujących UE, *NATO* i Kanadę – miałyby na celu stworzenie alternatywnego centrum produkcyjnego, które można określić mianem „nowego Tajwanu Zachodu". Równolegle powstałby blok technologiczny Zachód-Atlantyk, w którego skład wchodziłyby USA, Kanada, Unia Europejska, Wielka Brytania, Izrael oraz Australia. W ramach tej koalicji rozwijane byłyby standardy cyfrowe, 5G/6G oraz sztuczna inteligencja, przy jednoczesnej intensywnej ochronie patentowej i ograniczeniu przepływu wiedzy do Chin.

Elementem uzupełniającym strategię byłaby izolacja Chin w globalnej gospodarce technologicznej. Obejmowałaby ona wymuszenie wyboru między Zachodem a Chinami na partnerach strategicznych w Indiach, Ameryce Łacińskiej i Afryce poprzez sankcje i uzależnienie od amerykańskiego kapitału. Zachód mógłby również blokować eksport zaawansowanych technologii do Chin oraz kontrolować dostęp do surowców krytycznych, takich jak kobalt z Afryki czy lit z Ameryki Południowej.

Geopolityczne skutki takiej strategii byłyby zróżnicowane. Europa zyskiwałaby strategiczną rolę jako filar produkcji półprzewodników i rozwoju AI, jeszcze mocniej wiążąc się z USA poprzez *NATO* i wspólne projekty technologiczne. Ameryka Łacińska stałaby się kluczowym źródłem surowców i alternatywną lokalizacją produkcji, co zwiększyłoby wpływy Stanów Zjednoczonych kosztem Chin. Chiny, choć nadal dominowałyby w regionie Indo-Pacyfiku, utraciłyby dostęp do zachodnich rynków i technologii poza Azją, prowadząc do

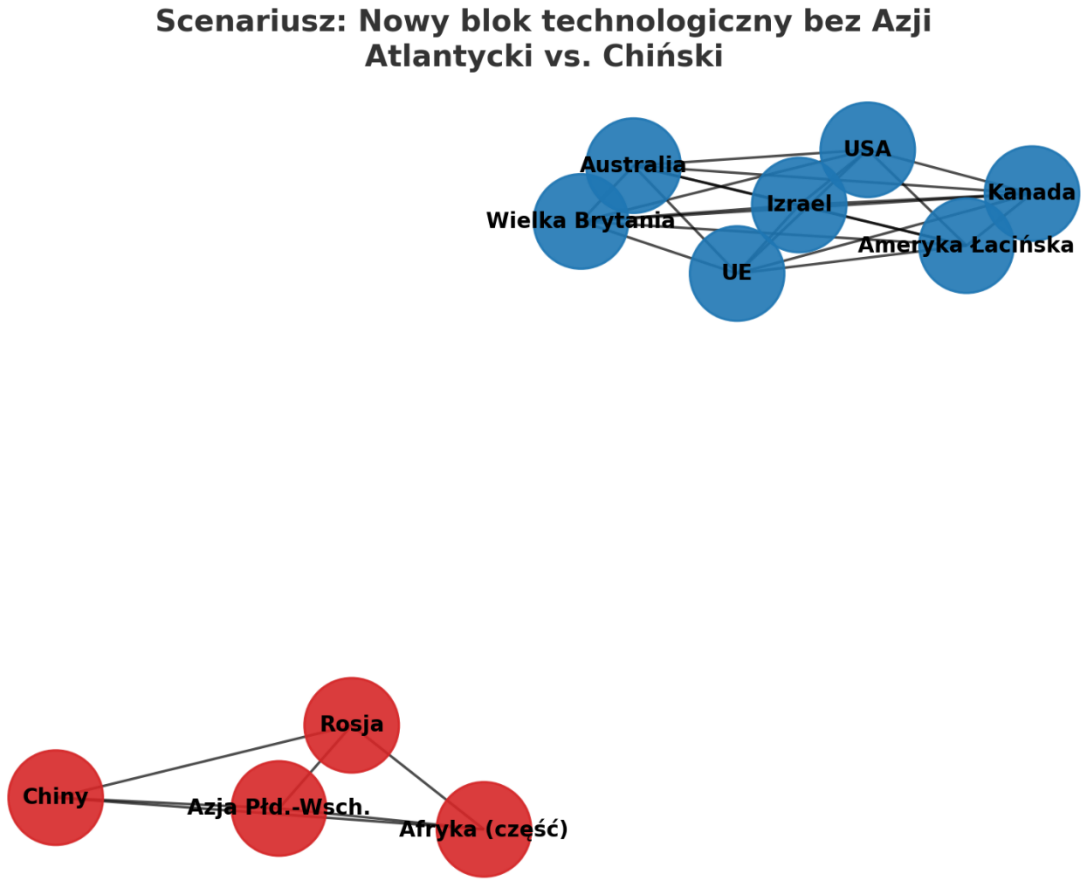
227:99954

powstania dwubiegunowego systemu technologicznego: blok chiński obejmujący Azję i część Afryki oraz blok atlantycki skupiający USA, Europę i część Ameryki Łacińskiej.
Z perspektywy realizmu ofensywnego strategia ta pozwala USA minimalizować straty mimo utraty Tajwanu. Budowa nowego bloku technologicznego opiera się na maksymalizacji władzy w regionie atlantyckim i ograniczeniu dostępu Chin do kluczowych technologii. W logice Mearsheimera oznacza to, że jeżeli nie można utrzymać dominacji w Rimlandzie Azji, należy zabezpieczyć alternatywny obszar hegemonii regionalnej i wykorzystać go jako bazę do dalszej rywalizacji globalnej.

Powstanie „cyfrowej twierdzy atlantyckiej" to próba strategicznego odwrotu i konsolidacji sił USA. Europa i Ameryka Łacińska stają się filarami produkcji i innowacji, umożliwiając Zachodowi utrzymanie równowagi globalnej pomimo dominacji Chin w Azji. Strategia ta ilustruje zdolność USA do adaptacji w duchu realizmu ofensywnego poprzez tworzenie nowych obszarów hegemonii regionalnej.

228:43433

Wykres 3. Wizualizacja scenariusza podziału na dwa bloki technologiczne: Blok Atlantycki i Blok Chiński.



Opracowanie własne

Źródła: Mearsheimer, 2001; US Department of Commerce, 2024; UNCTAD, 2024.

W perspektywie globalnej rywalizacji technologicznej wyróżniają się dwa wyraźne bloki: Blok Atlantycki, obejmujący Stany Zjednoczone, Unię Europejską, Amerykę Łacińską oraz kluczowych sojuszników, oraz Blok Chiński, skupiający Chiny, Rosję, kraje Azji Południowo-Wschodniej i część Afryki.

W Bloku Atlantyckim strategiczne znaczenie przypada półprzewodnikom. Produkcja została przeniesiona do USA (Intel, GlobalFoundries) i Europy (ASML, Niemcy), przy silnym wsparciu kapitałowym ze strony programów takich jak CHIPS Act i inicjatyw unijnych. Dywersyfikacja dostaw surowców krytycznych – lit z Ameryki Południowej i kobalt z Afryki – realizowana w ramach zachodnich partnerstw wzmacnia bezpieczeństwo łańcuchów produkcyjnych. W obszarze sztucznej inteligencji i big data Blok Atlantycki dominuje w algorytmach i badaniach podstawowych, z firmami takimi jak Google DeepMind, OpenAI czy

229:86283

Meta AI na czele. Kontrola nad globalnymi rynkami danych poprzez platformy Microsoft, Amazon i Apple zapewnia przewagę w rozwoju aplikacji komercyjnych i strategicznych.

Sojusze i standaryzacja odgrywają kluczową rolę w integracji Bloku Atlantyckiego. *NATO* i G7 funkcjonują jako platformy koordynacji technologii, w tym wspólnego ustalania standardów 6G. Europa pełni funkcję *hubu* innowacji regulacyjnych, wprowadzając instrumenty takie jak AI Act i systemy ochrony danych (GDPR). W zakresie cyberbezpieczeństwa USA i Izrael dominują w technologiach obronnych, rozwijając „cyfrową tarczę" chroniącą infrastrukturę Atlantyku przed chińskimi cyberatakami.

Blok Chiński, w przeciwieństwie do Zachodu, koncentruje się na ilości i masowej produkcji. Półprzewodniki obejmują zarówno kontrolę nad Tajwanem (TSMC), jak i rozwój krajowych fabryk SMIC, przy jednoczesnym dostępie do krytycznych surowców – Chiny kontrolują ponad 60% globalnej podaży metali ziem rzadkich. W zakresie infrastruktury cyfrowej Blok Chiński dominują Huawei i ZTE, budując sieci 5G/6G w Azji i Afryce w ramach inicjatywy Digital Silk Road, a także rozwijają technologie satelitarne (Beidou). W sferze AI, zwłaszcza zastosowań wojskowych, Pekin prowadzi masowe wdrożenia w sektorze bezpieczeństwa, m.in. w systemach rozpoznawania twarzy i monitoringu, przy rejestracji ponad 60% globalnych patentów w tej dziedzinie. Cyberoperacje ofensywne realizowane są w ramach „strategii tysiąca cięć", obejmującej szpiegostwo przemysłowe i ataki APT, przy współpracy z Rosją w cyberwojnie hybrydowej.

Podsumowując, dwubiegunowy system technologiczny cechuje asymetria: Blok Atlantycki kontroluje „mózg" światowej technologii, obejmujący innowacje, badania i regulacje, natomiast Blok Chiński skupia się na masowej produkcji, kontroli surowców i globalnej infrastrukturze cyfrowej. Taki podział wskazuje na strukturę konkurencyjną, w której Zachód utrzymuje przewagę jakościową, a Chiny dominują ilościowo i infrastrukturalnie, tworząc fundament dla potencjalnego globalnego wyścigu technologicznego.

5.3.3. Koncepcja „Wielkiej Szachownicy" Zbigniewa Brzezińskiego

Zbigniew Brzeziński (1997) określał Eurazję jako „Wielką Szachownicę", na której rozstrzyga się globalna hegemonia, wskazując, że kontrola nad kluczowymi regionami i strategicznymi punktami Eurazji jest niezbędna dla utrzymania pozycji supermocarstwa. Współczesna rywalizacja technologiczna USA-Chiny odzwierciedla tę koncepcję, przekształcając tradycyjne pola geograficzne w nowoczesne „pola strategiczne", których istotę stanowi infrastruktura cyfrowa, przepływy danych oraz kontrola nad łańcuchami dostaw półprzewodników.

230:11425

Chiny, realizując ofensywną strategię w duchu realizmu Mearsheimera, poprzez *Inicjatywę Pasa i Szlaku (BRI)* oraz *Digital Silk Road*, dążą do integracji Azji Centralnej, Azji Południowo-Wschodniej i części Afryki, jednocześnie kontrolując przepływy informacji i budując własne centra danych, sieci 5G/6G oraz regionalne systemy satelitarne (Beidou). Te działania umożliwiają Pekinowi nie tylko zwiększenie wpływu gospodarczego, lecz także strategiczne zabezpieczenie krytycznych zasobów technologicznych, w tym surowców ziem rzadkich i infrastruktury półprzewodnikowej. Kontrola nad tymi elementami stanowi współczesną analogię do geograficznych punktów strategicznych w klasycznej „Wielkiej Szachownicy", pozwalając Chinom tworzyć strefę dominacji w „cyfrowym Heartlandzie".
Stany Zjednoczone pełnią funkcję strażnika równowagi na tej „szachownicy", stosując wielowymiarowe mechanizmy przeciwdziałania chińskiej ekspansji. Wykorzystują sankcje wobec firm takich jak Huawei, ograniczenia eksportowe kluczowych technologii półprzewodnikowych oraz partnerstwa technologiczne z Japonią, Koreą Południową i Tajwanem, aby zablokować Pekinowi dostęp do strategicznych zasobów. Równocześnie USA utrzymują kontrolę nad globalnymi korporacjami technologicznymi – m.in. w obszarze AI, platform cyfrowych i usług chmurowych – co pozwala im dominować w „mózgu" światowej gospodarki cyfrowej.

W logice „Wielkiej Szachownicy" technologie pełnią rolę współczesnych figur na planszy: półprzewodniki i centra danych odpowiadają strategicznym pozycjom geograficznym, a przepływy informacji stają się nowoczesnymi szlakami komunikacyjnymi, analogicznymi do klasycznych lądowych i morskich tras w Eurazji. Sukces w rywalizacji technologicznej zależy więc nie tylko od innowacyjności, lecz także od zdolności do zabezpieczenia i kontroli tych strategicznych „pól", co pozwala utrzymać lub zmienić układ sił globalnych.

W konsekwencji, rywalizacja USA-Chiny wpisuje się w klasyczną geopolityczną logikę „Wielkiej Szachownicy": Chiny starają się zbudować dominację w cyfrowym Heartlandzie Eurazji, podczas gdy Stany Zjednoczone, jako strażnik równowagi, wykorzystują sojusze, sankcje i kontrolę nad strategicznymi technologiami, aby ograniczyć możliwość globalnej hegemonii Pekinu.

231:41985

Analiza dokumentów i danych wskazuje, że współczesna rywalizacja technologiczna między Stanami Zjednoczonymi a Chinami nie ogranicza się wyłącznie do wyścigu innowacji w obszarach takich jak sztuczna inteligencja, półprzewodniki czy sieci 5G. Obejmuje ona znacznie szerszy wymiar strategiczny, w którym technologie stają się narzędziami w grze o globalną dominację, a walka o przewagę przybiera formę zarówno ekonomiczną, jak i geopolityczną.

W kontekście realizmu ofensywnego (Mearsheimer, 2001) państwa maksymalizują swoją potęgę poprzez zarówno tradycyjne inwestycje w innowacje, jak i działania asymetryczne – od polityki sankcji, przez subsydia i regulacje prawne, po operacje cybernetyczne i szpiegostwo przemysłowe. Chiny wykorzystują masową produkcję, rozwój AI i infrastrukturę cyfrową do wzmocnienia swojej pozycji w „cyfrowym Heartlandzie", natomiast Stany Zjednoczone utrzymują przewagę jakościową poprzez kontrolę nad kluczowymi łańcuchami dostaw, dostęp do najnowocześniejszych chipów oraz sojusze technologiczne w Rimlandzie.

Klasyczne koncepcje geopolityczne, takie jak Heartland Mackindera i Rimland Spykmana, pozwalają zrozumieć strategiczną logikę tych działań. Heartland w ujęciu cyfrowym obejmuje kontrolę nad infrastrukturą 5G, centrami danych oraz produkcją półprzewodników w Azji Centralnej i na Tajwanie. Rimland natomiast, reprezentowany przez region Indo-Pacyfiku i strategiczne sojusze USA z Japonią, Koreą Południową i Tajwanem, jest obszarem, w którym kształtuje się równowaga sił, umożliwiająca ograniczenie potencjalnej hegemonii Chin. W tym kontekście kontrola nad półprzewodnikami i przepływami danych staje się nowoczesną formą dominacji geostrategicznej.

Koncepcja „Wielkiej Szachownicy" Zbigniewa Brzezińskiego (1997) dodatkowo uwypukla znaczenie globalnego wymiaru rywalizacji technologicznej. Eurazja, uważana za kluczową „szachownicę" dla światowej hegemonii, stała się obszarem, w którym infrastruktura cyfrowa, przepływy danych oraz strategiczne łańcuchy dostaw półprzewodników są nowoczesnymi polami strategicznymi. Chiny, integrując Azję Centralną i Południowo-Wschodnią poprzez *BRI* i *Digital Silk Road*, próbują zdobyć przewagę nad innymi graczami w regionie, podczas gdy USA, wykorzystując sankcje, sojusze technologiczne i kontrolę nad globalnymi korporacjami, pełnią funkcję strażnika równowagi i powstrzymują chińską ekspansję.

Z perspektywy strategicznej oznacza to, że przewaga technologiczna jest równocześnie przewagą geopolityczną. Technologie takie jak AI, półprzewodniki, sieci 5G/6G i infrastruktura cyfrowa stały się narzędziami projekcji siły, umożliwiającymi zarówno kontrolę regionalną, jak i wpływ na globalną równowagę sił. W rezultacie rywalizacja technologiczna

232:49012

USA–Chiny jest dziś nie tylko wyścigiem naukowym czy ekonomicznym, ale integralnym elementem strategii bezpieczeństwa narodowego, w której sukces zależy od zdolności do zabezpieczenia kluczowych zasobów, infrastruktury i sojuszy w duchu klasycznych i współczesnych teorii geopolitycznych.

5.4. Odpowiedzi na pytania badawcze i hipotezy

P1. Jakie wskaźniki są wykorzystywane w literaturze do pomiaru rozwoju technologicznego państw?

W literaturze przedmiotu, w tym w wypowiedziach ekspertów analizujących rywalizację USA-Chin, wskaźniki pomiaru rozwoju technologicznego obejmują przede wszystkim metryki związane z innowacyjnością, infrastrukturą cyfrową, ekspansją korporacyjną oraz wdrożeniami zaawansowanych technologii, takich jak sieci 5G, sztuczna inteligencja (AI), Internet Rzeczy (*IoT*) oraz Internet Usług (*IoS*). Eksperci podkreślają znaczenie inwestycji w badania i rozwój (R&D), liczby patentów i publikacji naukowych, zdolności produkcyjnych w kluczowych sektorach oraz globalnego zasięgu korporacji technologicznych (Kennedy, 2020). Na przykład, Ekspert nr 4 wskazuje na ogromne nakłady finansowe wymagane do rozwoju nowoczesnych technologii, kontrastując przejrzystość USA (np. *The Technology Modernization Fund*) z brakiem transparentności w Chinach, co podkreśla inwestycje jako kluczowy wskaźnik (CR1). Ekspert nr 7 dodaje, że chińskie pięcioletnie plany mierzą postęp poprzez państwowe ukierunkowanie na R&D, podczas gdy USA opierają się na innowacjach rynkowych (CR2). W zakresie infrastruktury, Ekspert nr 8 akcentuje federalne wsparcie dla badań obronnych w USA jako motor innowacyjności (CR4). Kultura innowacji i kapitał ludzki, jak podkreślają Ekspert nr 1 i nr 11, mierzone są poprzez drenaż mózgów i obfitość talentów, co stanowi fundament przewagi USA (CR3, CR5). Porównując, Eksperci nr 2 i nr 11 wskazują na strategiczne znaczenie wskaźników, takich jak ograniczenie militarnego potencjału rywala poprzez rozwój technologiczny (CR6). Te metryki, łączone w raportach jak Stanford AI Index czy dane WIPO, pozwalają na holistyczną ocenę, gdzie Chiny dominują w skali wdrożeń (np. 4,65 mln stacji 5G), a USA w jakości innowacji (13,18 cytowań publikacji AI) (Stanford University, 2024; WIPO, 2024; MIIT, 2024).

233:67115

H1. Wskaźniki rozwoju technologicznego

Hipoteza została częściowo potwierdzona. Potwierdzone aspekty to rozwój sieci 5G jako fundament komunikacji cyfrowej (Andrews i in., 2014), z Chinami osiągającymi 88% pokrycia populacyjnego dzięki subsydiom (MIIT, 2024), oraz badania nad AI, gdzie Chiny przodują w patentach (61,1%), a USA w jakości (Stanford University, 2024). Zagraniczna ekspansja korporacji jest potwierdzona poprzez chińskie inwestycje w *BRI* i amerykańskie przejęcia (UNCTAD, 2024). Produkty IoT/IoS potwierdzają innowacyjność, z chińskimi wdrożeniami w smart cities i amerykańskimi w medycznych aplikacjach (Zhao i in., 2018; Iansiti i Lakhani, 2020). Niepotwierdzony aspekt to brak danych na pełne wdrożenie IoS, co ogranicza metrykę do hipotetycznych zastosowań.

P2. Które z analizowanych państw – Chiny czy Stany Zjednoczone – charakteryzuje się wyższym poziomem rozwoju na podstawie wskazanych parametrów technologicznych?

Na podstawie wskaźników, takich jak inwestycje R&D, patenty, infrastruktura 5G i ekspansja korporacyjna, Stany Zjednoczone wykazują wyższy poziom rozwoju technologicznego, z przewagą w jakości innowacji i globalnym wpływie, choć Chiny dominują w skali wdrożeń i masowej produkcji. Eksperci podkreślają otwarty system edukacyjny USA, wysokie nakłady na R&D i przyciąganie talentów jako kluczowe czynniki przewagi (Ekspert nr 7, CR3). Ekspert nr 1 akcentuje historyczną kulturę innowacji w USA, kontrastującą z centralnym planowaniem Chin (CR5). Ekspert nr 11 dodaje, że dynamiczny rozwój Chin wymusza inwestycje, ale USA utrzymują dominację dzięki ambicji globalnej (CR5). W AI, USA przeważają w cytowalności publikacji (13,18) i modelach frontier, Chiny w patentach (69,7%) (Stanford University, 2024). W 5G, USA oferują lepszą jakość (mmWave w 40% sieci), ale ustępują w zasięgu (FCC, 2024). Ekspansja amerykańskich firm jest innowacyjna, chińska – subsydiowana, ale ograniczona sankcjami (UNCTAD, 2024). Ogólnie, USA utrzymują wyższy poziom, z Chinami nadrabiającymi w masowej produkcji, co potwierdza Ekspert nr 2 w kontekście strategicznego ograniczania rywala (CR6).

H2. Przewaga technologiczna USA

Hipoteza została częściowo potwierdzona. Potwierdzone aspekty to długotrwała dominacja USA w R&D (ok. 3% PKB) i ekosystemie innowacyjnym (Dolina Krzemowa), z przewagą w jakości (Association of American Universities, 2023). Chiny nadrabiają subsydiami i skalą (Kennedy, 2015). Niepotwierdzony aspekt to pełna dominacja USA, gdyż Chiny przodują w wdrożeniach (np. 5G, AI komercyjne), co pokazuje hybrydowy charakter przewagi.

234:43340

P3. Jakie czynniki determinują dążenie Chińskiej Republiki Ludowej do osiągnięcia przewagi technologicznej?

Dążenie Chin do przewagi technologicznej determinowane jest czynnikami gospodarczymi (samowystarczalność), militarnymi (cyberbezpieczeństwo, systemy autonomiczne) oraz geopolitycznymi (wpływy via *BRI*). Eksperci wskazują na nielegalne metody, takie jak szpiegostwo przemysłowe i transfer technologii (Ekspert nr 1, MS1), oraz legalne instrumenty, jak zapraszanie firm USA i programy wymiany (Ekspert nr 11, MS2). Ekspert nr 3 opisuje działania cybernetyczne jednostki 61398 PLA (AC1), a Ekspert nr 6 podkreśla „strategię śmierci od tysiąca cięć" w kradzieży danych (AC3). Gospodarczo, programy jak *Made in China 2025* promują autonomię (State Council of the People's Republic of China, 2021). Militarnie, Ekspert nr 4 akcentuje wdrażanie wniosków z konfliktów bez ograniczeń etycznych (CR4). Geopolitycznie, *Digital Silk Road* rozszerza wpływy (Invest Africa, 2024). Sankcje USA przyspieszają te wysiłki, z naciskiem na patenty i zakupy na zapas (Ekspert nr 3, AP1). Te czynniki tworzą zintegrowaną strategię hegemonii.

H3. Czynniki warunkujące osiągnięcie przewagi technologicznej przez Chiny

Hipoteza została potwierdzona. Potwierdzone aspekty to związek celów gospodarczych (samowystarczalność, 1,4 bln USD inwestycji) i militarnych (cyberoperacje PLA) z bezpieczeństwem, z rosnącą liczbą patentów (38 tys. w GenAI) i *BRI* jako narzędziem wpływów (Kennedy, 2015; WIPO, 2024; Mandiant, 2013).

Główne pytanie badawcze:

PG. Jaka koncepcja strategiczna została przyjęta przez Chińską Republikę Ludową w obszarze rozwoju technologicznego?

Chiny przyjęły koncepcję strategiczną opartą na samowystarczalności i globalnej dominacji, zintegrowaną *w Made in China 2025*, skupioną na high-tech i redukcji zależności. Eksperci podkreślają centralną kontrolę i akumulację zasobów (Ekspert nr 9, CR2), z dążeniem do przyspieszonego rozwoju poprzez szpiegostwo (Ekspert nr 1, MS1) i inwestycje w półprzewodniki (Ekspert nr 3, AP1).

235:84652

HG. Strategia *Made in China 2025*

Hipoteza została potwierdzona. Potwierdzone aspekty to cel samowystarczalności (70% w core materials do 2025) i dominacji (postęp w AI, 5G), z inwestycjami 1,4 bln USD (State Council of the People's Republic of China, 2021; Kennedy, 2015).

PP1. Jakie parametry rozwoju AI wskazują na przewagę USA lub Chin?

Parametry: Inwestycje – USA prywatne (109,1 mld USD 2024), Chiny całkowite (98 mld USD 2025); patenty – Chiny 69,7%, USA 18%; benchmarki – USA 84,2% MMLU (Stanford University, 2024). Przewaga USA w jakości, Chin w skali. Ekspert nr 8 podkreśla rywalizację w AI jako kluczową (PW4).

HP1. Parametry AI

Hipoteza została potwierdzona. Potwierdzone aspekty to przewaga USA w badaniach (cytowalność 13,18) i Chin w patentach/wdrożeniach (WIPO, 2024; Stanford University, 2024).

PP2. Jakie postępy w rozwoju sieci 5G osiągnęły USA i Chiny w 2019-2025?

Chiny: 4,65 mln stacji (2025), 88% pokrycia (MIIT, 2024). USA: 270 tys., 80-85% (FCC, 2024). Ekspert nr 8 wskazuje 5G jako dziedzinę eskalacji (PW4).

HP2. Postępy 5G

Hipoteza została potwierdzona. Potwierdzone aspekty to przewaga Chin w wdrożeniach dzięki wsparciu państwowemu i Huawei (Xinhua, 2024; Sadowski i Nucciarelli, 2022).

PP3. Jakie są różnice w charakterze ekspansji przedsiębiorstw z USA i Chin?

USA: Innowacje, przejęcia (Microsoft-OpenAI). Chiny: Subsydia, *BRI* (Li i He, 2020). Ekspert nr 11 podkreśla programy wymiany i kontrowersje z własnością intelektualną (MS3).

HP3. Różnice w ekspansji

Hipoteza została potwierdzona. Potwierdzone aspekty to ekspansja USA poprzez inwestycje, Chin poprzez wsparcie państwowe (Reuters, 2024; Invest Africa, 2024).

236:10795

Podsumowanie

Rozdział 5 ukazał, że rywalizacja technologiczna między USA a Chinami jest wielowymiarowym konfliktem, w którym Stany Zjednoczone utrzymują przewagę jakościową i innowacyjną, podczas gdy Chiny dominują w skali wdrożeń i masowej produkcji. Analiza danych zastanych, wywiadów z ekspertami oraz teoretycznych ram realizmu ofensywnego i klasycznych koncepcji geopolitycznych potwierdza, że technologie takie jak sztuczna inteligencja, półprzewodniki i 5G stały się narzędziami projekcji siły, kształtującymi globalną równowagę. Weryfikacja hipotez i odpowiedzi na pytania badawcze wskazują na hybrydowy charakter przewagi: USA w jakości, Chiny w ilości, z perspektywą fragmentaryzacji świata na bloki technologiczne.

Co istotne, wyniki analizy pokazują, że rywalizacja ta nie ma wyłącznie charakteru technologicznego, lecz wiąże się z szerokim wachlarzem konsekwencji politycznych, gospodarczych i militarnych. Rozwój zaawansowanych technologii staje się nie tylko środkiem do wzrostu konkurencyjności gospodarczej, ale także instrumentem budowania nowych sfer wpływów i redefiniowania układu sił w systemie międzynarodowym. Jednocześnie narastająca fragmentaryzacja globalnego rynku i ograniczanie współpracy transnarodowej mogą prowadzić do osłabienia dotychczasowych instytucji multilateralnych oraz powstawania równoległych porządków normatywnych.

Przyszłość tej rywalizacji zależy od zdolności obu mocarstw do adaptacji i innowacyjności, a także od reakcji pozostałych aktorów – w tym Unii Europejskiej, Indii czy państw ASEAN – które mogą odgrywać rolę „swing states" w kształtowaniu architektury technologicznej. W tym kontekście konieczne są dalsze badania nad długofalowymi konsekwencjami geopolitycznymi, obejmujące zarówno perspektywę teorii stosunków międzynarodowych, jak i praktyczne analizy polityki przemysłowej oraz bezpieczeństwa narodowego.

237:35873

Zakończenie

Przeprowadzona w rozprawie analiza rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chińską Republiką Ludową pozwala stwierdzić, że jest to jeden z kluczowych czynników determinujących globalną równowagę sił w XXI w. Stany Zjednoczone, dzięki wieloletniej dominacji w innowacjach technologicznych, rozwiniętej infrastrukturze badawczo-rozwojowej oraz silnym ekosystemom akademickim i korporacyjnym, zachowują przewagę w zakresie jakości innowacji i zdolności do tworzenia przełomowych technologii. Firmy takie jak IBM, Google czy Nvidia, wspierane przez rządowe inicjatywy, takie jak *National Artificial Intelligence Initiative Act* (U.S. Congress, 2020), oraz instytucje takie jak *DARPA*, umożliwiły USA utrzymanie pozycji lidera w takich dziedzinach, jak sztuczna inteligencja, obliczenia kwantowe czy cyberbezpieczeństwo. Z kolei Chiny, dzięki konsekwentnej realizacji strategii takich jak *Made in China 2025* i *China Standards 2035* (Huang, 2019), nadrabiają dystans poprzez ogromną skalę wdrożeń, centralnie planowane programy modernizacyjne oraz masowe inwestycje w infrastrukturę technologiczną i edukację. Przewaga Chin w liczbie zgłoszeń patentowych w dziedzinie AI, jak wskazują dane Światowej Organizacji Własności Intelektualnej (World Intellectual Property Organization, 2020), oraz ich dominacja w globalnej infrastrukturze 5G, szczególnie za sprawą firmy Huawei (Corera, 2019), świadczą o dynamicznym wzroście ich potencjału technologicznego.

Rywalizacja ta wykracza daleko poza wymiar ekonomiczny, stając się centralnym elementem projekcji siły militarnej, kontroli nad globalnymi przepływami informacji oraz kształtowania międzynarodowych standardów technologicznych. Technologia, jako strategiczny zasób, umożliwia państwom nie tylko zwiększanie ich potęgi gospodarczej, ale także budowanie przewagi w dziedzinach bezpieczeństwa narodowego, wywiadu i dyplomacji. W przypadku Stanów Zjednoczonych kluczowe jest utrzymanie kontroli nad globalnymi łańcuchami dostaw półprzewodników, co podkreśla ustawa *CHIPS and Science Act* z 2022 r., mająca na celu odbudowę krajowej produkcji chipów. Chiny z kolei dążą do uniezależnienia się od zachodnich technologii, rozwijając własne ekosystemy technologiczne, które przyciągają kraje Globalnego Południa, szczególnie w Afryce i Azji, poprzez inicjatywy takie jak *Jeden Pas, Jedna Droga*. Ta konkurencja prowadzi do fragmentacji globalnego rynku technologicznego, co może skutkować powstaniem dwóch oddzielnych ekosystemów cyfrowych, z odmiennymi standardami, normami i technologiami, co z kolei wpłynie na interoperacyjność i współpracę międzynarodową.

238:39705

Istotnym elementem badań przeprowadzonych w ramach rozprawy były wywiady pogłębione z ekspertami w dziedzinie technologii, cyberbezpieczeństwa i stosunków międzynarodowych. Ich wiedza i doświadczenie pozwoliły na wzbogacenie analizy o praktyczne spostrzeżenia dotyczące dynamiki rywalizacji technologicznej oraz jej implikacji dla globalnego systemu bezpieczeństwa. Eksperci, reprezentujący zarówno środowisko akademickie, jak i sektor publiczny oraz prywatny, podzielili się unikalnymi perspektywami na temat strategii USA i Chin, w tym roli takich czynników, jak polityka innowacji, regulacje technologiczne czy wyzwania związane z cyberbezpieczeństwem. Wywiady te umożliwiły lepsze zrozumienie złożoności procesów decyzyjnych w obu państwach oraz ich wpływu na kształtowanie globalnych standardów technologicznych. W szczególności eksperci podkreślali znaczenie współpracy międzynarodowej w przeciwdziałaniu zagrożeniom w cyberprzestrzeni oraz konieczność uwzględnienia etycznych aspektów rozwoju technologii, takich jak odpowiedzialne wykorzystanie sztucznej inteligencji.

Wnioski płynące z analizy wskazują, że rywalizacja technologiczna między USA a Chinami nie zakończy się jednoznaczną dominacją jednego państwa, lecz przybierze formę długotrwałej konkurencji o charakterze systemowym. Jak podkreśla realizm ofensywny Johna Mearsheimera (2001), państwa w anarchicznym systemie międzynarodowym dążą do maksymalizacji swojej potęgi, a technologia staje się jednym z głównych narzędzi w tej walce. Skutki tej rywalizacji będą odczuwalne nie tylko w sferze polityki, gospodarki i bezpieczeństwa międzynarodowego, ale także w codziennym życiu społeczeństw, które coraz bardziej zależą od technologii cyfrowych. W szczególności rozwój sztucznej inteligencji, obliczeń kwantowych oraz sieci 6G, które zaczynają zyskiwać na znaczeniu w 2025 r. (Suh, Ryu, Kim, 2021), będzie kluczowy dla przyszłego układu sił. Oba mocarstwa stoją przed wyzwaniem nie tylko dalszego inwestowania w innowacje, ale także budowania koalicji międzynarodowych, które pozwolą im poszerzyć wpływy i promować własne standardy technologiczne.

Praca wskazuje również na istotne implikacje dla krajów trzecich, takich jak państwa Europy Środkowo-Wschodniej, które znajdują się na styku interesów USA i Chin. Region ten, z jednej strony korzystający z chińskich inwestycji w infrastrukturę cyfrową, z drugiej zaś związany z amerykańskim wsparciem militarnym i technologicznym w ramach NATO, staje przed dylematem wyboru między konkurującymi ekosystemami technologicznymi. Eksperci, z którymi przeprowadzono wywiady, zwracali uwagę na konieczność strategicznego podejścia do tego wyzwania, które pozwoliłoby zachować równowagę między współpracą

239:64755

gospodarczą a ochroną bezpieczeństwa narodowego, szczególnie w kontekście rosnących zagrożeń w cyberprzestrzeni.

Przyszłość globalnego ładu technologicznego pozostaje otwarta, a jego kształt zależeć będzie od zdolności obu mocarstw do adaptacji do szybko zmieniających się warunków, inwestowania w przełomowe technologie oraz skutecznego zarządzania ryzykami związanymi z cyberbezpieczeństwem i regulacjami technologicznymi. Analiza przeprowadzona w rozprawie, wzbogacona o perspektywy ekspertów, pokazuje, że rywalizacja technologiczna jest procesem wielowymiarowym, który wymaga nie tylko zrozumienia historycznych i teoretycznych uwarunkowań, ale także ciągłego monitorowania bieżących trendów i ich potencjalnych konsekwencji. W perspektywie nadchodzących dekad możliwe są różne scenariusze: od eskalacji konfliktów technologicznych, przez ograniczoną współpracę w wybranych dziedzinach, takich jak walka ze zmianami klimatycznymi, po dalszą polaryzację globalnego systemu. Kluczowe będzie również uwzględnienie etycznych i społecznych aspektów rozwoju technologii, takich jak prywatność, nierówności cyfrowe czy wpływ AI na rynek pracy, które mogą dodatkowo skomplikować dynamikę rywalizacji.

Podsumowując, niniejsza rozprawa nie tylko rekonstruuje źródła i dynamikę rywalizacji technologicznej między Stanami Zjednoczonymi a Chinami, ale także podkreśla jej znaczenie dla przyszłości globalnego ładu. Technologia, jako siła napędowa współczesnego świata, staje się zarówno szansą, jak i wyzwaniem dla międzynarodowego systemu bezpieczeństwa.

Wkład ekspertów, uzyskany poprzez wywiady pogłębione, pozwolił na głębsze zrozumienie praktycznych implikacji tej rywalizacji, szczególnie w kontekście cyberbezpieczeństwa i globalnych standardów technologicznych. Dalsze badania w tym obszarze powinny koncentrować się na analizie nowych technologii, takich jak sztuczna inteligencja generatywna czy kryptografia postkwantowa, oraz ich wpływu na relacje międzynarodowe, aby lepiej przygotować państwa i organizacje międzynarodowe na nadchodzące zmiany.

240:10704

BIBLIOGRAFIA

Książki i artykuły w czasopismach naukowych

Abbate, J. (2000). *Inventing the Internet*. MIT Press.

Aiken, H. (1952). The automatic sequence controlled calculator: Harvard Mark I. *Journal of the Franklin Institute*, *254*(6), 463-482. https://doi.org/10.1016/S0016-0032(52)90556-7

Allen, G. C. (2020). Artificial intelligence and national security. Center for a New American Security.

Allison, G. (2017). *Destined for war: Can America and China escape Thucydides's trap?* Houghton Mifflin Harcourt.

Al-Mansoori, M. (2021). Huawei's 5G partnerships in the Middle East. *Middle East Policy*. https://www.me-policy.org/articles/huawei-5g-middle-east

American National Standards Institute. (1963). American Standard Code for Information Interchange (ASCII) (ANSI X3.4-1963).

Anderson, P. (2020). Huawei's cybersecurity concerns. Routledge.

Arute, F., Arya, K., Babbush, R., Bacon, D., Bardin, J. C., Barends, R., Biswas, R., Boixo, S., Brandao, F. G. S. L., Buell, D. A., Burkett, B., Chen, Y., Chen, Z., Chiaro, B., Collins, R., Courtney, W., Dunsworth, A., Farhi, E., Foxen, B., Martinis, J. M. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature*, *574*(7779), 505-510. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5

Babbage, C. (1994). *Passages from the life of a philosopher*. Pickering & Chatto.

Babbie, E. (2003). *Badania społeczne w praktyce* (A. Kłoskowska-Dudzińska, Red.). Wydawnictwo Naukowe PWN.

Backus, J. (1978). The history of Fortran I, II, and III. *ACM SIGPLAN Notices*, *13*(8), 29-38. https://doi.org/10.1145/960118.808360

Babiński, A., Lubiewski, P., Łuźniak, A. (2017). Współużyteczność metod oraz technik i narzędzi badawczych w badaniu bezpieczeństwa. W A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina (Eds.), *Nauki o bezpieczeństwie. Wybrane problemy badań* (s. 67-78). Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy.

Baker, J. (2020). The Clean Network initiative: A response to China's growing digital influence. Brookings Institution Press.

Baker, M. (2020). The history of Microsoft Windows: From MS-DOS to Windows 10. Springer.

241:78455

Bashe, C. J., Johnson, L. R., Palmer, J. H., Pugh, E. W. (1986). *IBM's early computers*. MIT Press.

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? *Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency*, 610-623. https://doi.org/10.1145/3442188.3445922

Bengio, Y., Ducharme, R., Vincent, P., Janvin, C. (2006). A neural probabilistic language model. *Journal of Machine Learning Research, 3*, 1137-1155.

Berners-Lee, T. (1999). *Weaving the web: The original design and ultimate destiny of the World Wide Web by its inventor*. Harper San Francisco.

Bernstein, R., Munro, R. H. (1997). *The coming conflict with China*. Alfred A. Knopf.

Bilstein, R. E. (1999). *Stages to Saturn: A technological history of the Apollo/Saturn launch vehicles*. National Aeronautics and Space Administration.

Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.

Blume, C. (2016). Programming languages: Past, present, and future. IEEE Computer Society.

Boden, M. A. (2016). *AI: Its nature and future*. Oxford University Press.

Boixo, S., Rønnow, T. F., Isakov, S. V., Wang, Z., Wecker, D., Lidar, D. A., Martinis, J. M., Troyer, M. (2013). Evidence for quantum annealing with more than one hundred qubits. *Nature Physics, 10*(3), 218-224. https://doi.org/10.1038/nphys2900

Braun, V., Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Brey, B. B. (2013). *The Intel microprocessors: 8086/8088, 80186, 80286, 80386, and 80486: Architecture, programming, and interfacing* (8th ed.). Prentice Hall.

Brock, A., Donahue, J., Simonyan, K. (2018). Large scale GAN training for high fidelity natural image synthesis. *International Conference on Learning Representations*.

Brown, T. (2021). Australia's decision to block Huawei: Security concerns. Australian National University Press.

Brynjolfsson, E., McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.

Calo, R. (2017). Artificial intelligence policy: A primer and roadmap. *UC Davis Law Review, 51*(2), 399-435.

Campbell-Kelly, M. (2003). *From airline reservations to sonic the hedgehog: A history of the software industry*. MIT Press.

Campbell-Kelly, M., Aspray, W. (2004). *Computer: A history of the information machine* (2nd ed.). Westview Press.

Cao, D. (2025). China's AI investment landscape: State funds and innovation strategies. *Journal of Asian Economics*, *100*, Article 101675. https://doi.org/10.1016/j.asieco.2025.101675

Castells, M. (2000). *The rise of the network society*. Blackwell Publishers.

Cave, S., Dignum, V. (2019). Autonomous weapons systems: An ethical basis for a legal regulation? *Journal of Military Ethics*, *18*(3), 237-252. https://doi.org/10.1080/15027570.2019.1684532

Ceruzzi, P. E. (2003). *A history of modern computing* (2nd ed.). MIT Press.

Chaffey, D. (2020). *Digital marketing: Strategy, implementation and practice*. Pearson.

Chaikin, A. (1994). *A man on the Moon: The voyages of the Apollo astronauts*. Viking.

Chen, J. (2016). The global expansion of Chinese energy companies. China Press.

Chen, L. (2022). The Tiangong space station: China’s new frontier. Harvard Space Review.

Chen, M., Ma, Y., Li, Y., Wu, D., Zhang, Y. (2014). Big data: A new opportunity for the Internet of Things. *IEEE Access*, *2*, 113-121. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2308273

Chen, Y. (2003). China's global business strategy. Economic Press.

Cheng, D. (2016). China’s space program: A 21st century perspective. RAND Corporation.

Cheng, D. (2021). China’s space observatories and their role in global astronomy. *Journal of Space Research*.

Cheng, T. (2018). China’s space station: Construction and future prospects. Chinese Science Press.

Clark, D. D. (1988). The design philosophy of the DARPA Internet protocols. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *18*(4), 106-114. https://doi.org/10.1145/52325.52336

Cocke, J. (1985). The IBM 801 RISC architecture. *IEEE Computer*, *18*(10), 25-32. https://doi.org/10.1109/MC.1985.1662713

Cortada, J. W. (2000). *Before the computer: IBM, NCR, Burroughs, and Remington Rand and the industry they created, 1865-1956*. Princeton University Press.

Cortada, J. W. (2012). *The digital flood: The diffusion of information technology across the U.S., Europe, and Asia*. Oxford University Press.

Cory, D. G., Fahmy, A. F., Havel, T. F. (1998). Nuclear magnetic resonance spectroscopy: An experimentally accessible paradigm for quantum computing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *95*(11), 6241-6246. https://doi.org/10.1073/pnas.95.11.6241

Crawford, K. (2021). *Atlas of AI: Power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence*. Yale University Press.

243:84571

Crevier, D. (1993). *AI: The tumultuous history of the search for artificial intelligence*. Basic Books.

Czaputowicz, J. (2012). *Bezpieczeństwo międzynarodowe: Współczesne koncepcje*. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Czupryński, A. (2011). Metodologia badań w naukach o bezpieczeństwie. W A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina (Red.), *Bezpieczeństwo: Teoria – badania – praktyka*. Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy.

Czupryński, A. (2015). Bezpieczeństwo w ujęciu teoretycznym. W: A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina (Red.), *Bezpieczeństwo: Teoria – badania – praktyka* (s. 63-66). Wydawnictwo CNBOP-PIB.

Davis, R. (2020). The Clean Network: America's digital policy and the 5G dilemma. Oxford University Press.

Deutsch, D. (1985). Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, *400*(1818), 97-117. https://doi.org/10.1098/rspa.1985.0070

Dhawan, S. (2020). Online learning: A panacea in the time of COVID-19 crisis. *Journal of Educational Technology Systems*, *49*(1), 5-22. https://doi.org/10.1177/0047239520934018

Engel, J. (2013). *The origins of the Internet in Europe: Networks, disciplines, politics*. Peter Lang.

Feynman, R. P. (1982). Simulating physics with computers. *International Journal of Theoretical Physics*, *21*(6-7), 467-488. https://doi.org/10.1007/BF02650179

Gaddis, J. L. (2005). *Strategies of containment: A critical appraisal of American national security policy during the Cold War* (rev. ed.). Oxford University Press.

Ghose, S. (2019). *Quantum computing: A beginner's introduction*. MIT Press.

Gillespie, T. (2018). *Custodians of the Internet: Platforms, content moderation, and the hidden decisions that shape social media*. Yale University Press.

Goh, E. (2005). *Constructing the U.S. rapprochement with China, 1961-1974: From 'red menace' to 'tacit ally'*. Cambridge University Press.

Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.

Gookin, D. (2015). *The personal computer: A history of the hardware that made computing personal*. Cambridge University Press.

Granger, R. H. (2000). The history of programming languages: Past, present, and future. In R. S. Pressman (Ed.), *Software engineering: A practitioner's approach* (8th ed., s. 25-37). McGraw-Hill.

244:11271

Grimes, S., Du, D. (2024). China's interdependent positioning in the semiconductor global value chain. *Taylor & Francis Online*. https://doi.org/10.1080/23792949.2024.2397973

Grover, L. K. (1996). A fast quantum mechanical algorithm for database search. *Proceedings of the Twenty-Eighth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 212-219. https://doi.org/10.1145/237814.237866

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., Venugopalan, S., Widner, K., Madams, T., Cuadros, J., Kim, R., Raman, R., Nelson, P. C., Mega, J. L., Webster, D. R. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, *316*(22), 2402-2410. https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216

Gupta, R., Gupta, S. (2021). A comprehensive study on 5G technology: Opportunities and challenges. *Journal of Communication and Computer*, *18*(2), 16-23.

Hacker, B. C., Grimwood, J. M. (1977). *On the shoulders of Titans: A history of Project Gemini* (NASA SP-4203). National Aeronautics and Space Administration.

Hafner, K., Lyon, M. (1996). *Where wizards stay up late: The origins of the Internet*. Simon & Schuster.

Haigh, T. (2008). The computer revolution: A historical perspective. *The Annals of the History of Computing*, *30*(2), 43-52. https://doi.org/10.1109/MAHC.2008.28

Harrison, J. (2020). Digital alliances in the age of 5G: The Clean Network initiative. Harvard University Press.

Harvey, B. (2004). *China's space program: From conception to manned spaceflight*. Springer.

Harvey, B. (2013). *China in space: The great leap forward*. Springer.

Harvey, B. (2019). *China's space station: The Tiangong project*. Springer.

Harvey, B. (2021). *Chang'e 5 and the future of lunar exploration*. Springer.

Healey, J. (2013). *Cyber security policy guidebook*. John Wiley & Sons.

Henderson, J. A. (1992). The fifth generation project: A Japanese perspective. *Computer*, *25*(5), 210-213. https://doi.org/10.1109/2.144438

Hernandez, J. L., Rios, J., Buenrostro, R. (2020). Telemedicine and AI in healthcare: Opportunities and challenges. *Journal of Medical Systems*, *44*(9), Article 162. https://doi.org/10.1007/s10916-020-01618-5

Hinton, G. E., Osindero, S., Teh, Y.-W. (2012). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Computation*, *18*(7), 1527-1554. https://doi.org/10.1162/neco.2006.18.7.1527

Hoffman, S., Podgurski, A., Babic, B. (2020). AI and the future of medicine: Regulatory challenges and opportunities. *Journal of Law, Medicine & Ethics*, *48*(S1), 70-75. https://doi.org/10.1177/1073110520917038

Hsu, W. (2004). The history of COBOL. *ACM SIGPLAN Notices*, *39*(11), 81-89. https://doi.org/10.1145/1032297.1032307

Huang, J. (2019). Made in China 2025: Policy, prospects and challenges. *China Economic Journal*, *12*(2), 116-132. https://doi.org/10.1080/17538963.2019.1605243

Huang, J., Rathod, V., Sun, C., Zhu, M., Korattikara, A., Fathi, A., Fischer, I., Wojna, Z., Song, Y., Guadarrama, S., Murphy, K. (2016). Speed/accuracy trade-offs for modern convolutional object detectors. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 7310-7311.

IBM. (1997). Deep Blue: An artificial intelligence chess champion. *IBM Journal of Research and Development*, *41*(1), 37-52. https://doi.org/10.1147/rd.411.0037

Isaacson, W. (2011). *Steve Jobs*. Simon & Schuster.

Johnson, A. (2019). Geopolitical tensions over 5G technology. *International Relations Journal*.

Johnson, M. W., Amin, M. H. S., Gildert, S., Lanting, T., Hamze, F., Dickson, N., Harris, R., Altomare, F., Berkley, A. J., Boothby, K., Bunyk, P., Christiansen, N., Farré, E., Fowler, M., Gagliano, S., Giles, M. D., Hilton, J., Holmes, S., Yunker, C. (2011). Quantum annealing with manufactured spins. *Nature*, *473*(7346), 194-198. https://doi.org/10.1038/nature10012

Johnson-Freese, J. (2007). *China's space ambitions and their geopolitical impact*. Routledge.

Johnson-Freese, J. (2020). Shenzhou and China's human spaceflight program. *Asian Studies Journal*.

Jones, A. (2018). China's Chang'e lunar missions: A historical overview. *Space Exploration Review*.

Jones, A. (2021). China's Mars and Moon missions: Next steps in space exploration. *Space Policy Review*.

Jones, A. (2022). Zhurong and China's Mars exploration goals. *Asian Studies Journal*.

Jordan, M. I., Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, *349*(6245), 255-260. https://doi.org/10.1126/science.aaa8415

Kaźmierczak, K. (2024, 7 października). Ruch przez Małaszewicze bije rekordy. Pociągów z Rosji i Chin najwięcej od czterech lat. Obserwator Logistyczny. https://obserwatorlogistyczny.pl/2024/10/07/ruch-przez-malaszewicze-bije-rekordy-pociagow-z-rosji-i-chin-najwiecej-od-czterech-lat/

246:51374

Kallio, M., Rangan, P., Ismail, A. (2021). Research directions for 6G networks. *IEEE Communications Magazine*, *59*(6), 3-5. https://doi.org/10.1109/MCOM.2021.9446910

Kanu, I. (2020). Huawei's dominance in African telecommunications. *African Business*. https://african.business/2020/08/technology-information/huaweis-role-in-africa

Kanu, R. (2020). Huawei's dominance in Africa. University of Nairobi Press.

Kaplan, F. (2020). *The bomb: Presidents, generals, and the secret history of nuclear war*. Simon & Schuster.

Kennan, G. F. (1947). The sources of Soviet conduct. *Foreign Affairs*, *25*(4), 566-582. https://doi.org/10.2307/20030065

Kennan, G. F. (1960). *Russia, the atom and the West*. Harper & Brothers.

Kennan, G. F. (1964). *On dealing with the communist world*. Harper & Row.

Kissinger, H. (1994). *Diplomacy*. Simon & Schuster.

Kobryński, M. (2025). Silne odbicie przewozu kontenerów na Nowym Jedwabnym Szlaku. https://www.rynekinfrastruktury.pl/wiadomosci/intermodal-i-logistyka/silne-odbicie-przewozu-kontenerow-na-nowym-jedwabnym-szlaku-94061.html

Krysta Svore, K., Aho, A. V., Cross, A. W., Chuang, I., Keckler, S. W. (2019). Quantum computing systems and architecture. *IBM Journal of Research and Development*, *63*(2/3), 215-220. https://doi.org/10.1147/JRD.2019.2914332

Kulczycki, M., Musioł, M., Polus, A., Szczerbowicz, W., Wieteska, T. (Red.). (2023). *Traditional security providers encounter non-traditional threats in the post-Crimean era*. Wydawnictwo Adam Marszałek.

Launius, R. D. (2019). *Exploring the solar system: A history with documents*. Routledge.

Lavington, S. (1980). *History of Manchester computers* (2nd ed.). Manchester University Press.

LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436-444. https://doi.org/10.1038/nature14539

Lee, J. (2018). Hacking, empowering, and controlling: China’s new cybersecurity law. *Pacific Affairs*, *91*(1), 45-62. https://doi.org/10.5509/201891145

Lee, T. (2006). The evolution of China's economic policies in the 21st century. Cambridge University Press.

Leibniz, G. W. (1703). Explication de l'arithmetique binaire. *Acta Eruditorum*, 256-265.

Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., Postel, J., Roberts, L. G., Wolff, S. (1997). A brief history of the Internet. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, *39*(5), 22-31. https://doi.org/10.1145/1629607.1629613

Li, F. (2017). Huawei: A global leader in telecommunications. Technology Publishing.

Li, J. (2010). The development of Chinese space technology. East China Normal University Press.

Li, S. (2021). The rise of Huawei: China's global telecom strategy. Peking University Press.

Li, W. (2004). Globalization and technological advancements in China. Peking University Press.

Li, X., Chen, Y., Wang, T. (2021). Artificial intelligence for 6G: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, *23*(1), 3–5. https://doi.org/10.1109/COMST.2020.3042458

Li, X., Yang, H. (2020). The role of CNSA in China's space expansion. *Journal of Space Policy*.

Liu, H. (2014). China's "Go Out" strategy and its global impact. Global Business Press.

Liu, H. (2021). China’s Mars mission: Success and challenges. Beijing Aerospace Press.

Liu, Z. (2020). How Huawei became the leader in global 5G infrastructure. *China Economic Review*.

Logsdon, J. M. (2017). *After Apollo? Richard Nixon and the American space program*. Palgrave Macmillan.

Malone, M. S. (2014). *The Intel trinity: How Robert Noyce, Gordon Moore, and Andy Grove built the world’s most important company*. HarperBusiness.

Mann, J. (2000). *About face: A history of America's curious relationship with China, from Nixon to Clinton*. Vintage Books.

Mano, M. M. (2017). *Digital design* (5th ed.). Pearson.

Mauchly, J., Eckert, J. P. (1946). Electronic numerical integrator and computer. Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania.

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., Shannon, C. E. (1956). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI Magazine*, *27*(4), 12-14.

McKinney, S. M., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N., Ashrafian, H., Back, T., Chesus, M., Corrado, G. S., Darzi, A., Etemadi, M., Garcia, F., Gilbert, F. J., Halling-Brown, M., Hassabis, D., Jansen, S., Karthikesalingam, A., Kelly, C. J., King, D., Shetty, S. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*, *577*(7788), 89-94. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1799-6

McLarty, M., Tschinkel, W. (2020). DENDRAL: A case study in the development of artificial intelligence. *AI & Society*, *35*(4), 809-820. https://doi.org/10.1007/s00146-020-00992-4

Mearsheimer, J. J. (2001). *The tragedy of great power politics*. W. W. Norton & Company.

Miller, M. (2019). *Networking essentials* (2nd ed.). Cengage Learning.

Miller, P. (2020). The geopolitical implications of 5G networks. Routledge.

248:41977

Musioł, M., Kulczycki, M., Wieteska, T. A., Marcucci, D., Bieniek, O. A., Kosiorek, P. (Red.). (2022). *Post-conference report: International Conference Wrocław Security Summit, 14-16 December 2021*. Wydawnictwo Adam Marszałek.

Napier, J. (1614). *Mirifici logarithmorum canonis descriptio*. A. Hart.

Nguyen, T. (2021). Southeast Asia's dependence on Huawei for 5G solutions. Southeast Asian Development Institute.

Nooney, L. (2023). *The Apple II age: How the computer became personal*. University of Chicago Press.

Noyce, R. N. (1993). The microprocessor revolution. *IEEE Annals of the History of Computing, 15*(4), 54-76. https://doi.org/10.1109/85.238389

O'Hanlon, M. E. (2021). *The art of war in an age of peace: U.S. grand strategy and resolute restraint*. Yale University Press.

Oliveira, M. (2020). Brazil and Huawei: The debate over 5G infrastructure. University of Brazil Press.

Oliveira, R. (2020). Brazil's decision to allow Huawei in 5G networks. *Latin America Reports*. https://latinamericareports.com/brazil-huawei-5g/

Overland, I. (2016). Energy: The missing link in globalization. https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.03.002

Paszak, P. (2020). Sieć 5G w Chinach – rozwój, szanse, zagrożenia. https://warsawinstitute.org/pl/siec-5g-w-chinach-rozwoj-szanse-zagrozenia/

Pellerin, D. (2008). PowerPC architecture. *IEEE Micro, 28*(2), 38-45. https://doi.org/10.1109/MM.2008.29

Peterson, J. (2020). Huawei and the security dilemma. National Security Institute.

Petrov, A. (2020). Russia's growing partnership with Huawei. Russian Academy of Sciences Press.

Petrov, I. (2020). Russia and Huawei: Strategic 5G partnership. *Slavic Review*. https://slavicreview.org/russia-huawei-5g

Preskill, J. (2018). Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum, 2*, Article 79. https://doi.org/10.22331/q-2018-08-06-79

Pugh, E. (1997). *Building IBM: Shaping an industry and its technology*. MIT Press.

Ramesh, A., Jain, R. (2007). The rise of expert systems in the 1980s: The XCON case study. *IEEE Computer Society, 40*(10), 30-36. https://doi.org/10.1109/MC.2007.361

Raud, M. (2016). China and cyber: Attitudes to internet governance and security. *Journal of Chinese Political Science, 21*(3), 397-413. https://doi.org/10.1007/s11366-016-9427-3

249:46328

Reddy, S., Fox, J., Purohit, M. P. (2020). Artificial intelligence-enabled healthcare delivery. *Journal of the Royal Society of Medicine*, *112*(1), 22-28. https://doi.org/10.1177/0141076818810669

Riordan, M., Hoddeson, L. (1997). *Crystal fire: The birth of the information age*. W. W. Norton & Company.

Rosłoń, P., Troszczyńska, L. (2017). Transdyscyplinarność badań w naukach o bezpieczeństwie i w naukach o obronności. W: A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina (Red.), *Nauki o bezpieczeństwie: wybrane problemy badań* (s. 43-55). Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy.

Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J. (1986). Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, *323*(6088), 533-536. https://doi.org/10.1038/323533a0

Schmidt, W. (2020). Germany's cautious approach to Huawei's 5G technology. Springer.

Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. Crown Business.

Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. Crown Business.

Shalev-Shwartz, S., Ben-David, S. (2014). *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge University Press.

Sharma, P. (2013). Evolution of mobile wireless communication networks: 1G to 5G as well as future prospective of next generation communication network. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, *2*(8), 47-53.

Shirk, S. L. (2007). *China: Fragile superpower*. Oxford University Press.

Shor, P. W. (1994). Algorithms for quantum computation: Discrete logarithms and factoring. *Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science*, 124-134. https://doi.org/10.1109/SFCS.1994.365700

Silberschatz, A., Galvin, P. B., Gagne, G. (2018). *Operating system concepts*. John Wiley & Sons.

Silver, D., Huang, A., Maddison, C. J., Guez, A., Sifre, L., van den Driessche, G., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Panneershelvam, V., Lanctot, M., Dieleman, S., Grewe, D., Nham, J., Kalchbrenner, N., Sutskever, I., Lillicrap, T., Leach, M., Kavukcuoglu, K., Graepel, T., Hassabis, D. (2016). Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search. *Nature*, *529*(7587), 484-489. https://doi.org/10.1038/nature16961

Singh, R. (2021). India's digital security concerns and Huawei. *Indian Security Review*.

Singh, R. (2021). India's restrictions on Chinese telecom firms amid border tensions. *India Today*. https://www.indiatoday.in/technology/news/india-huawei-ban

250:11568

Smeets, M. (2020). U.S. cyber strategy of persistent engagement & defend forward: Implications for the alliance and intelligence collection. *Intelligence and National Security*, *35*(3), 444-453. https://doi.org/10.1080/02684527.2020.1729316

Smith, M. (2003). The Shenzhou program: China's first human space flight. *Space Review*.

Smith, R. (2020). The moon race: How China is reshaping lunar exploration. MIT Press.

Smith, R. E. (1994). The evolution of the computer industry. *Business History Review*, *68*(2), 212-229. https://doi.org/10.2307/3117442

Smith, R. W., Bugos, G. E., Johnson, S. B., Siddiqi, A. A., Launius, R. D. (2010). *Space shuttle: A history of the national space transportation system*. University of New Mexico Press.

Stallings, W. (2000). *Organizacja i architektura systemu komputerowego: Projektowanie systemu a jego wydajność*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.

Stewart, M. (2020). The cybersecurity challenges posed by Huawei. *Cybersecurity Review Journal*.

Stiblitz, G. R. (1937). The K model: A binary computing machine. *Bell System Technical Journal*, *16*(2), 69-77. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1937.tb00732.x

Suh, M. S., Ryu, J., Kim, D. (2021). 6G: The next mobile network technology. *IEEE Wireless Communications*, *28*(6), 3-5. https://doi.org/10.1109/MWC.2021.2100275

Swenson, L. S., Jr., Grimwood, J. M., Alexander, C. C. (1966). *This new ocean: A history of Project Mercury* (NASA SP-4201). National Aeronautics and Space Administration.

Świstak, M. (2021). Rozwój cyberbezpieczeństwa w Chinach. *Journal of Cybersecurity Studies*, *15*(2), 45-60.

Tannenbaum, A. S. (1986). *Structured computer organization*. Prentice Hall.

Tapscott, D., Williams, A. D. (2006). *Wikinomics: How mass collaboration changes everything*. Portfolio.

Taylor, D. (2020). The Five Eyes alliance and the Huawei threat. *Global Security Journal*.

Thompson, H. (2020). The geopolitics of the Clean Network initiative. International Affairs Press.

Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, *25*(1), 44-56. https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7

Trojnar, E., Gacek, L. (2012). *Chińskie plany pięcioletnie*. Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Tucker, N. B. (2009). *Strait talk: United States-Taiwan relations and the crisis with China*. Harvard University Press.

251:92647

Turing, A. M. (1936). On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, *s2-42*(1), 230-265. https://doi.org/10.1112/plms/s2-42.1.230

Vandersypen, L. M. K., Steffen, M., Breyta, G., Yannoni, C. S., Sherwood, M. H., Chuang, I. L. (2001). Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using nuclear magnetic resonance. *Nature*, *414*(6866), 883-887. https://doi.org/10.1038/414883a

Vaughan, D. (1996). *The Challenger launch decision: Risky technology, culture, and deviance at NASA*. University of Chicago Press.

Vinyals, O., Babuschkin, I., Czarnecki, W. M., Mathieu, M., Dudzik, A., Chung, J., Choi, D. H., Powell, R., Ewalds, T., Georgiev, P., Oh, J., Horgan, D., Kroiss, M., Danihelka, I., Huang, A., Sifre, L., Cai, T., Agapiou, J. P., Jaderberg, M., Silver, D. (2019). Grandmaster level in StarCraft II using multi-agent reinforcement learning. *Nature*, *575*(7782), 350-354. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1724-z

Vogel, E. F. (2011). *Deng Xiaoping and the transformation of China*. Belknap Press of Harvard University Press.

Von Neumann, J. (1945). First draft of a report on the EDVAC. http://www.von-neumann-institute.org/edvac.html

Wang, J. (2004). The Cisco-Huawei dispute: Intellectual property and international business. *Journal of Technology Law*.

Wang, Q., Zhang, L. (2004). Foreign direct investment in China. Foreign Trade Press.

Wang, T. (2021). Tianwen-1: China’s first Mars mission. *Space Science Journal*.

Wang, X. (2020). Alibaba's global strategy: Expansion and investment. *E-Commerce World*.

Wang, Y. (2020). Chinese space strategy: A vision for the future. National Defense Industry Press.

Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—A computer program for the study of natural language communication between man and machine. *Communications of the ACM*, *9*(1), 36-45. https://doi.org/10.1145/365153.365168

Westad, O. A. (2017). *The Cold War: A world history*. Basic Books.

White, L. (2022). Canada’s decision on Huawei and ZTE: Implications for 5G. University of Toronto Press.

Wieteska, T. (2021). Cyberszpiegostwo w kontekście relacji Chin i Stanów Zjednoczonych. W *Wschodnie Forum Nauki* (s. 151-165). Wydawnictwo Episteme.

252:37666

Wieteska, T. (2022). Ewolucja chińskiej polityki cyberbezpieczeństwa od lat 80. XX wieku. W *Wybrane problemy badań bezpieczeństwa z perspektywy młodych naukowców* (s. 41-59). Akademia WSB.

Williams, D. (2019). Huawei's corporate culture and intellectual property theft. *Journal of International Business*.

Williams, F. C., Kilburn, T. (1948). A storage system for use with binary-digital computing machines. *Proceedings of the IEE, 96*(9), 183-193. https://doi.org/10.1049/pi-2.1949.0064

Wu, F. (2012). China's long march rocket program: A historical overview. *Journal of Space History*.

Wu, F. (2022). The development and expansion of China's space station. *Journal of Space Studies*.

Wu, Z. (2015). China's banking expansion in Africa. *Economic Review*.

Xu, D. (2005). China's strategy for natural resources. Guangdong University Press.

Xu, G. (2015). The development of China's satellite programs. China Aerospace Press.

Xu, Y., Zhang, M., Zhao, L. (2023). Critical mineral supply chains and China's renewable energy ambitions. *Journal of Energy Economics*. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.105024

Yang, Y. (2019). Logistical strategies of Chinese firms abroad. *Shipping World*.

Yang, Z. (2022). Inside the software that will become the next battle front in US-China chip war. https://www.technologyreview.com/2022/08/18/1058116/eda-software-us-china-chip-war/

Yoo, C. S. (2018). The role of DARPA in fostering the development of the Internet. In C. S. Yoo (Ed.), *Regulating the cloud: Policy for computing infrastructure* (s. 45-78). MIT Press.

Zhang, D. (2006). Qian Xuesen: Father of China's space program. China Publishing House.

Zhang, H. (2008). China's international expansion. Jilin Publishing House.

Zhang, L. (2015). China's energy security and investment strategies. Energy Press.

Zhang, L. (2018). China's long march: The development of its space industry. Cambridge University Press.

Zhang, X. (2019). Artificial intelligence as a strategic asset: Competition between the United States and China. In K. J. O'Rourke, K. L. Chan (Eds.), *The global challenge of artificial intelligence* (pp. 275–300). Academic Press.

Zhang, X. (2021). Cybersecurity laws in China and their impact on global business. Peking University Press.

Zhang, Y. (2020). Huawei's rise and the controversies surrounding its intellectual property. *China Business Review*.

253:81016

Zhang, Z., Geiger, J., Pohjalainen, J., Mousa, A. E.-D., Jin, W., Schuller, B. (2018). Deep learning for environmentally robust speech recognition: An overview of recent developments. arXiv preprint arXiv:1805.03826.

Zhao, L. (2004). China's emergence as a space power. *Asian Studies Journal*.

Zhao, L. (2022). Wentian and Mengtian: The final modules of China's Tiangong space station. *Chinese Space Review*.

Zhao, R., Li, W. (2022). Technological barriers to renewable energy development in China. *Applied Energy*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117921

Zhao, S. (2010). The China model: Can it replace the Western model of modernization? World Scientific Publishing.

Zhao, X. (2001). China's economic reforms and opening-up policy. China Economics Press.

Zhong, H.-S., Wang, H., Deng, Y.-H., Chen, M.-C., Peng, L.-C., Luo, Y.-H., Qin, J., Wu, D., Gong, X., Hu, H., Hu, X.-M., Yang, S.-M., Zhang, W.-J., Li, H., Li, Y., Jiang, X., Gan, L., Yang, G., You, L., Pan, J.-W. (2020). Quantum computational advantage using photons. *Science*, *370*(6523), 1460-1463. https://doi.org/10.1126/science.abe8770

Zhou, Y. (2018). Lenovo and the global tech market. Business Insights.

Zhou, Z. (2019). Chang'e 4: The first mission to the far side of the moon. *Chinese Space Review*.

Akty prawne

Bureau of Industry and Security. (2022). Commerce implements new export controls on advanced computing and semiconductor manufacturing items to the People's Republic of China (PRC). https://www.bis.doc.gov/index.php/documents/about-bis/newsroom/press-releases/3158-2022-10-07-bis-press-release-advanced-computing-and-semiconductor-manufacturing-controls-final/file

Cybersecurity law of the People's Republic of China. (2017). Standing Committee of the National People's Congress. https://www.cac.gov.cn/2016-11/07/c_1119867116.htm

U.S. Congress. (2020). National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020, Pub. L. No. 116-283.

United States Congress. (1969). Public Law 91-121: An Act to authorize appropriations during the fiscal year 1970 for procurement of aircraft, missiles, naval vessels, and tracked combat vehicles, and research, development, test, and evaluation for the Armed Forces, and for other purposes. United States Statutes at Large, 83, 204–213. https://www.congress.gov/91/statute/STATUTE-83/STATUTE-83-Pg204.pdf

254:58641

Raporty

Air University. (2021). *The U.S., China, and artificial intelligence competition factors*. https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CASI/documents/Research/Cyber/2021-10-04%20US%20China%20AI%20Competition%20Factors.pdf

Benson, E. (2023). Updated October 7: Semiconductor export controls. https://www.csis.org/analysis/updated-october-7-semiconductor-export-controls

Casey, J., Koleski, K. (2011). Rada Państwa energicznie promuje rozwój informatyzacji i oferuje kilka opinii na temat sumiennej ochrony bezpieczeństwa informacji. https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/Backgrounder_Communist_Party_Talent_Recruitment_Programs.pdf

China's national defense in 2008. (2008). State Council Information Office of the People's Republic of China. http://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2014/09/09/content_281474986284499.htm

China's national defense in 2010. (2010). State Council Information Office of the People's Republic of China. http://english.www.gov.cn/archive/white_paper/2014/09/09/content_281474986284518.htm

China's State Council. (2017). *China's new generation artificial intelligence development plan* (DigiChina, Trans.). Stanford University. https://digichina.stanford.edu/work/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017/

Congressional Research Service. (2023). *The CHIPS and Science Act (P.L. 117-167): An overview*. https://crsreports.congress.gov/product/pdf/R/R47201

Creemers, R. (2015). China's "Internet Plus" strategy. DigiChina, Stanford University. https://digichina.stanford.edu/work/chinas-internet-plus-strategy/

Creemers, R., Sacks, S., Webster, G. (2021). Critical information infrastructure security protection regulations. https://digichina.stanford.edu/work/translation-critical-information-infrastructure-security-protection-regulations-effective-sept-1-2021/

Creemers, R., Triolo, P., Webster, G. (2018). Translation: Cybersecurity law of the People's Republic of China. https://digichina.stanford.edu/work/translation-cybersecurity-law-of-the-peoples-republic-of-china-effective-june-1-2017/

Creemers, R., Webster, G., Triolo, P. (2020). Cybersecurity law of the People's Republic of China. https://digichina.stanford.edu/work/translation-cybersecurity-law-of-the-peoples-republic-of-china-effective-june-1-2017/

CrowdStrike. (2014). Global threat report: 2013 year in review. https://www.crowdstrike.com

255:28954

CSIS. (2024). *Blue Pacific: Infrastructure in a changing environment*. https://www.csis.org/analysis/blue-pacific-infrastructure-changing-environment

Economy, E. C., Huang, Y., Cohen, J. A., Segal, A., Gewirtz, J. (2020). How 2020 shaped U.S.-China relations. Council on Foreign Relations. https://www.cfr.org/article/how-2020-shaped-us-china-relations

FireEye. (2014). M-Trends 2014 threat report. Mandiant.

FireEye. (2018). APT2 and APT3: Analyzing Chinese cyber espionage campaigns. https://www.fireeye.com/blog/threat-research/2018/06/apt2-apt3-chinese-cyber-espionage.html

Grossman, D., Chan, N., Xu, R., Hansel, L., Deluca, P., Xu, J. (2020). *Chinese views of big data analytics*. RAND Corporation. https://doi.org/10.7249/RRA237-1

GSMA. (2022). *The mobile economy North America 2022*. https://www.gsma.com/mobileeconomy/northamerica/

GSMA. (2025). The mobile economy China 2025. https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-economy/china/

IBM. (2016). IBM Quantum Experience. https://quantum-computing.ibm.com/

IBM. (2023). IBM unveils Condor: A 1,121-qubit quantum processor. https://newsroom.ibm.com/2023-12-04-IBM-Debuts-Next-Generation-Quantum-Processor

Information Office of the State Council of the People's Republic of China. (2010). The Internet in China. http://www.china.org.cn/government/whitepaper/node_7093508.htm

Lee, T. (2020). Navigating the U.S.-China 5G competition. Brookings Institution. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2020/04/FP_20200427_5g_competition_turner_lee_v2.pdf

Mandiant. (2011). ShadyRAT: Advanced persistent threats and the Chinese cyber espionage campaign. https://www.mandiant.com/resources/reports

Mandiant. (2013). APT1: Exposing one of China’s cyber espionage units. https://www.fireeye.com/content/dam/fireeye-www/services/pdfs/mandiant-apt1-report.pdf

McKinsey. (2021). *Telehealth: A quarter-trillion-dollar post-COVID-19 reality?* https://www.mckinsey.com/industries/healthcare/our-insights/telehealth-a-quarter-trillion-dollar-post-covid-19-reality

Ministry of Ecology and Environment, China. (2007). China's energy conditions and policies. https://english.mee.gov.cn/Resources/Plans/Plans/200801/t20080103_115879.shtml

Ministry of National Defense of the People's Republic of China. (2019). China's national defense in the new era. http://eng.mod.gov.cn/publications/2019-07/24/content_4846450.htm

256:11302

National Bureau of Statistics of China. (2024, October 14). *Communiqué on national expenditures on science and technology in 2023*. https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202410/t20241014_1956904.html

National Bureau of Statistics of China. (2025). China's expenditure on research and experimental development (R&D) exceeded 3.6 trillion yuan in 2024. https://www.stats.gov.cn/english/PressRelease/202502/t20250207_1958579.html

National Research Council. (2008). *A science strategy for space physics: A community assessment and vision for the future*. The National Academies Press.

National Science Board. (2020). Science and engineering indicators 2020. National Science Foundation.

National Security Archive. (2010). China's national defense in 2008. https://nsarchive.gwu.edu/document/21484-document-83

National Security Archive. (2013). Mandiant, APT 1: Exposing one of China's cyber espionage units, February 2013. https://nsarchive.gwu.edu/document/21484-document-83

NATO cyber defence fact sheet. (2017). NATO. https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2017_07/20170712_1707-cyber-defence-factsheet.pdf

NGMN. (2020). 6G – A sustainable, inclusive and resilient connectivity. https://www.ngmn.org/publications/6g-a-sustainable-inclusive-and-resilient-connectivity.html

O'Reilly, T. (2005). *What is Web 2.0: Design patterns and business models for the next generation of software*. O'Reilly Media. https://www.oreilly.com/pub/a/web2/archive/what-is-web-20.html

OECD. (2021). *The role of telework for productivity during and post-COVID-19: Results from an OECD survey among managers and workers*. https://www.oecd.org/publications/the-role-of-telework-for-productivity-during-and-post-covid-19-7fe47de2-en.htm

OECD. (2023). OECD science, technology and innovation outlook 2023: Enabling transitions in times of disruption. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2023/03/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2023_fb6e6c20/0b55736e-en.pdf

Office of Technology Assessment. (2002). Ballistic missile defense technologies. University Press of the Pacific.

O'Rourke, R. (2021). Huawei and 5G: A comparative analysis of Australia's and the UK's responses. Congressional Research Service Report.

257:10351

Sacks, R. (2021, January). How America and China are competing for the future of technology. *The Atlantic*, 15.

Stanford HAI. (2023). *Artificial intelligence index report 2023*. Stanford University. https://aiindex.stanford.edu/report/

Stanford University. (2024). Stanford AI Index 2024. https://aiindex.stanford.edu/report/

Stanford University. (2025). The 2025 AI index report. https://aiindex.stanford.edu/report/

Symantec. (2020). Internet security threat report. Symantec Corporation.

The Internet in China. (2019). State Council Information Office of the People's Republic of China. http://www.scio.gov.cn/zfbps/ndhf/2019/Document/1648214/1648214.htm

The National Bureau of Asian Research, Triolo, P., Schaefer, K. (2024). China's generative AI startups: Funding and innovation trends. The National Bureau of Asian Research. https://www.nbr.org/publication/chinas-generative-ai-startups/

The White House. (2015). Fact sheet: Power Africa. https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/07/25/fact-sheet-power-africa

The White House. (2024). Fact sheet: Partnership for global infrastructure and investment at the G7 summit. https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2024/06/13/fact-sheet-partnership-for-global-infrastructure-and-investment-at-the-g7-summit-2/

The White House. (2025). Imposing duties to address the synthetic opioid supply chain in the People’s Republic of China. https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/02/imposing-duties-to-address-the-synthetic-opioid-supply-chain-in-the-peoples-republic-of-china/

U.S. Department of Commerce. (2024). Semiconductor industry report 2024. https://www.commerce.gov/reports/semiconductor-industry-2024

U.S. Department of Defense. (2023). *2023 Department of Defense cyber strategy: Summary*. https://media.defense.gov/2023/Sep/12/2003299076/-1/-1/1/2023_DOD_Cyber_Strategy_Summary.pdf

U.S. Department of Justice. (2014). Five Chinese military hackers indicted for cyber espionage against U.S. corporations and government entities. https://www.justice.gov/opa/pr/five-chinese-military-hackers-indicted-cyber-espionage-against-us-corporations-and

U.S. Department of Justice. (2020). Chinese citizen sentenced for economic espionage, theft of trade secrets, and conspiracy. https://www.justice.gov/usao-ndca/pr/chinese-citizen-sentenced-economic-espionage-theft-trade-secrets-and-conspiracy

258:41382

U.S. Department of Justice. (2021). Four Chinese nationals working with the Ministry of State Security charged with global computer intrusion campaign targeting intellectual property and confidential business information, including infectious disease research. https://www.justice.gov/archives/opa/pr/four-chinese-nationals-working-ministry-state-security-charged-global-computer-intrusion

Unicode Consortium. (2021). The Unicode standard, version 14.0. Unicode Consortium.

Warner, M. (2022). *A history of U.S. Cyber Command*. U.S. Department of Defense. https://www.cybercom.mil/History/

World Bank PPI. (2024). *Private participation in infrastructure (PPI): 2023 annual report*. World Bank Group. https://ppi.worldbank.org/en/annual-reports/2023

World Intellectual Property Organization. (2020). World intellectual property report 2020: Innovation in China. https://www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4526

Yuan, S. E. (2021). Zoom Video Communications reports fourth quarter and fiscal year 2020 financial results. *Zoom Investor Relations*. https://investors.zoom.us/static-files/a17fd391-a13ae-429b-8cb3-bfd95b61b007

Zenglein, M. J., Holzmann, A. (2019). Evolving Made in China 2025: China's industrial policy in the quest for global tech leadership. MERICS Papers on China. https://merics.org/en/report/evolving-made-china-2025

Zoom Video Communications. (2021). *Fiscal year 2021 annual report*. https://investors.zoom.us/financial-information/annual-reports

Źródła internetowe

Barrett, D., Swan, J., Haberman, M. (2024). Chinese hackers are said to have targeted phones used by Trump and Vance. *The New York Times*. https://www.nytimes.com/2024/10/25/us/politics/trump-vance-hack.html

Benson, C. D., Faherty, W. R. (1978). *Moonport: A history of Apollo launch facilities and operations* (NASA SP-4204). National Aeronautics and Space Administration.

Brokking, M. (2024). Czy Chiny przejmą rynek starszych technologii półprzewodnikowych? https://tek.info.pl/article/4247/czy_chiny_przejma_rynek_starszych_technologii_polprzewodnikowych

Bryan, W. (2011). Chinese Internet use surges past 450 million people in 2010. NPR. https://www.npr.org/sections/thetwo-way/2011/01/19/133048144/chinese-internet-adoption-surges-past-450-million-users-in-2010

259:95625

Center for European Policy Analysis. (2023). Czech Republic restricts Huawei and ZTE in 5G networks. https://cepa.org/article/czech-republic-restricts-huawei-zte-5g/

ChannelE2E. (2023). 5G security: Countries banning or restricting Huawei, ZTE equipment. https://www.channele2e.com/news/5g-security-countries-banning-huawei-zte/

China Digital Times. (2013). PLA Unit 61398 recruitment notice found. https://chinadigitaltimes.net/2013/02/pla-unit-61398-recruitment-notice-found/

China Internet Network Information Center. (2012). The Internet timeline of China 1986~2003. https://www.cnnic.com.cn/IDR/hlwfzdsj/201306/t20130628_40563.htm

CNNIC. (2012). The Internet timeline of China (2008). https://www.cnnic.com.cn/IDR/hlwfzdsj/201209/t20120904_36019.htm

Cohen, I. (2021). The story of Jian – How APT31 stole and used an unknown Equation Group 0-day. https://research.checkpoint.com/2021/the-story-of-jian/

Computer History Museum. (n.d.). *Domain Name System (DNS)*. https://www.computerhistory.org/domain-name-system/

Corera, G. (2019, February 24). Could Huawei threaten the Five Eyes alliance? BBC News. https://www.bbc.com/news/technology-47305420

Corlett, E. (2024). New Zealand parliament targeted in China-backed hack in 2021, spy agency says. *The Guardian*. https://www.theguardian.com/world/2024/mar/26/new-zealand-parliament-china-hack-2021-spy-agency-gcsb

Cullen International. (2024). Estonia and Romania impose restrictions on Huawei and ZTE in 5G networks. https://www.cullen-international.com/news/2024/estonia-romania-huawei-ban

Digital 2025 global overview report. (2025). We Are Social and Hootsuite. https://wearesocial.com/digital-2025

Euronews. (2024). Germany to phase out Huawei, ZTE from 5G networks by 2029. https://www.euronews.com/2024/07/11/germany-to-phase-out-huawei-zte-from-5g-networks

Evanina, M. (2011). The national counterintelligence and security center report: Cyber threats from China. http://www.ncix.gov

G7 Research Group. (2021). Fact sheet: President Biden and G7 leaders launch Build Back Better World (B3W) partnership. https://g7.utoronto.ca/summit/2021cornwall/210611-whitehouse-b3w-launch.html

Gertz, B. (2010). Beijing accuses US of cyberwarfare. *The Washington Times*. https://www.washingtontimes.com/news/2010/jan/26/beijing-accuses-us-of-cyberwarfare/

Golldorn, J. (2012). The Internet 互联网. https://www.thechinastory.org/lexicon/the-internet/

260:52240

Google. (2010). A summary of the Aurora attack. https://googleblog.blogspot.com/2010/01/operation-aurora.html

Grabenstein, H. (2025, September 25). What economic and policy experts think about the U.S. government's stake in Intel. *PBS NewsHour*. https://www.pbs.org/newshour/politics/what-economic-and-policy-experts-think-about-the-u-s-governments-stake-in-intel

Huawei. (2024). Huawei 5G global deployment and partnerships. https://www.huawei.com/en/news/5g-global-deployment

Hurun Education. (2025). Hurun Education Top International Schools in China 2025. https://www.hurun.net/en-US/Rank/Show?num=0q0qO2k0

Inter-American Dialogue. (n.d.). Brazil's 5G auction and Huawei's role. https://www.thedialogue.org/analysis/brazils-5g-auction

Internet Society. (n.d.). *A brief history of the Internet*. https://www.internetsociety.org/internet/history-internet/brief-history-internet/

Juan Pedro Tomás. (2025, March). China's 5G infrastructure: Deployment and global impact. RCR Wireless News. https://www.rcrwireless.com/20250315/5g/china-reaches-4-39-million-5g-base-stations

KL, A. (2025). APT40 APT group. https://thesecmaster.com/blog/apt40-apt-group

Krouse, S., Volz, D., Viswanatha, A., McMillan, R. (2024). U.S. wiretap systems targeted in China-linked hack. *The Wall Street Journal*. https://www.wsj.com/tech/cybersecurity/u-s-wiretap-systems-targeted-in-china-linked-hack-327fc63b

Lawder, D., Ljunggren, D., Madry, K. (2025). Trump triggers trade war, price hikes with tariffs on Canada, China and Mexico. Reuters. https://www.reuters.com/world/trade-wars-erupt-trump-hits-canada-mexico-china-with-steep-tariffs-2025-03-04/

LivingInternet. (n.d.). *CSNET: Computer Science Network*. https://www.livinginternet.com/i/ii_csnet.htm

Maheshwari, S., & McCabe, D. (2024, April 23). *Congress passed a bill that could ban TikTok. Now comes the hard part*. The New York Times. https://www.nytimes.com/2024/04/23/technology/bytedance-tiktok-ban-bill.html

Martin, L. (2014). T-Mobile vs Huawei: The case of the stolen technology. TechNet Publications.

Microsoft. (2021). Hafnium targeting Exchange servers with 0-day exploits. https://www.microsoft.com/security/blog/2021/03/02/hafnium-targeting-exchange-servers/

Microsoft Blogs. (2021). New nation-state cyberattacks. https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2021/03/02/new-nation-state-cyberattacks/

261:77309

Mozur, P. (2017). Apple shifts iCloud data in China to state-linked company. *The New York Times*. https://www.nytimes.com/2017/07/12/technology/apple-china-icloud-data.html

Mulvenon, J. (2011). China's cyber threats and corporate espionage. http://www.mulvenonreport.org

National Science Foundation. (n.d.). *NSFNET: National Science Foundation Network*. https://www.nsf.gov/about/history/nsfnet.jsp

National Space Science Center. (2024). National mid- and long-term plan for space science in China (2024-2050). http://english.nssc.cas.cn/pub/202410/t20241028_692867.html

NIST. (2025). Virtual private network (VPN). https://csrc.nist.gov/glossary/term/virtual_private_network

OpenAI. (2024). Overview. https://platform.openai.com/docs/models/overview

Pan, C. (2024). Tech war: China chip imports fall in 2023 but semiconductors remain country's largest item ahead of crude oil. https://www.scmp.com/tech/policy/article/3248269/tech-war-china-chip-imports-fall-2023-semiconductors-remain-countrys-largest-item-ahead-crude-oil

RAND Corporation. (2025). Cyber warfare definition. https://www.rand.org/topics/cyber-warfare.html

Reuters. (2024). Germany agrees to phase out Huawei, ZTE from 5G networks. https://www.reuters.com/technology/germany-huawei-zte-5g-ban-2024

Reuters. (2024). Germany to phase out Huawei, ZTE components from its 5G core network. https://www.reuters.com/business/media-telecom/germany-agrees-phaseout-huawei-zte-components-5g-core-network-2024-07-11/

Swinhoe, D. (2019). New rules on Internet security supervision and inspections by public security organs. https://www.csoonline.com/article/3450285/new-china-cybersecurity-law-gives-police-power-to-inspect-internet-companies.html

Telecom Review. (2025). Pakistan's 5G rollout with Huawei. https://www.telecomreview.com/articles/pakistan-5g-huawei

Telecom Review Asia. (2025). PTA-Huawei partnership to advance Pakistan's digital transformation. https://telecomreviewasia.com/news/industry-news/4757-pta-huawei-partner-to-advance-pakistan-s-digital-transformation/

Thomala, L. L. (2024). Penetration rate of internet in the rural areas of China from 2014 to 2024. https://www.statista.com/statistics/1062706/china-internet-penetration-rate-rural-areas/

U.K. Parliament. (2021). Commons debates, 20 July 2021. https://hansard.parliament.uk/commons/2021-07-20/debates/b3ccc53d-b570-4e0e-8b7c-fbde6a4499ca/CommonsChamber

262:49092

Volz, D. (2024). Dozens of countries hit in Chinese telecom hacking campaign, top U.S. official says. *The Wall Street Journal*. https://www.wsj.com/politics/national-security/dozens-of-countries-hit-in-chinese-telecom-hacking-campaign-top-u-s-official-says-2a3a5cca

W3Techs. (2024). Usage statistics and market share of character encoding for websites. https://w3techs.com/technologies/overview/character_encoding/all

Wagner, B. (2017). China's cybersecurity law: What you need to know. *The Atlantic*. https://www.theatlantic.com/international/archive/2017/06/china-cybersecurity-law/529395/

WorldAtlas. (2020). Countries using Huawei for 5G networks. https://www.worldatlas.com/articles/countries-using-huawei-5g

Wu, Z., Olcott, E. (2025). Huawei improves AI chip production in boost for China's tech goals. https://www.ft.com/content/f46b7f6d-62ed-4b64-8ad7-2417e5ab34f6

Xiaoci, D. (2024). China unveils first-ever space science development program. https://www.globaltimes.cn/page/202410/1321253.shtml

Xinhua. (2024). China leads global 5G base station deployment. http://www.xinhuanet.com/english/2024-01/15/c_139293847.htm

Xinhua. (2024). China's 5G network covers over 90 percent of villages. https://english.www.gov.cn/news/202407/05/content_WS6687dcf0c6d0868f4e8e8e9d.html

Xinhua. (2024). China's 5G subscriptions surpass 1 billion amid strong uptake. http://english.scio.gov.cn/m/pressroom/2024-12/24/content_117625257.html

Xinhua News Agency. (2021). China expands Tiangong space station. Xinhua Reports.

Zhang, X. (2019). Artificial intelligence as a strategic asset: Competition between the United States and China. In K. J. O'Rourke, K. L. Chan (Eds.), *The global challenge of artificial intelligence* (pp. 275-300). Academic Press.

China's State Council. (2017). China's new generation artificial intelligence development plan. (DigiChina, Trans.). Stanford University. https://digichina.stanford.edu/work/full-translation-chinas-new-generation-artificial-intelligence-development-plan-2017/

Shanghai Ranking. (2025). Best Chinese universities ranking. https://www.shanghairanking.com/rankings/bcur/202511

Statista. (n.d.). Global 5G adoption and Huawei partnerships. https://www.statista.com/topics/5g-huawei-partnerships

Statista. (2023). *Artificial intelligence (AI) market size in the United States from 2020 to 2030*. https://www.statista.com/statistics/1451309/ai-market-size-us/

263:24192

SPIS TABEL

Tab. 1. Matryca kodów tematycznych do analizy jakościowej wywiadów pogłębionych w zakresie chińsko-amerykańskiej rywalizacji technologicznej……71

Tab. 2. Kraje i regiony stosujące restrykcje lub współpracę z Huawei w zakresie infrastruktury sieci 5G……..124

Tab. 3. Podsumowanie kluczowych danych liczbowych dotyczących rywalizacji technologicznej USA-Chiny w latach 2024-2025**……..**201

Tab. 4. Podsumowanie kodów, cytatów, hipotez i komentarzy analitycznych z wywiadów z Ekspertami……..210

Tab. 5. Rywalizacja USA-Chiny w duchu Heartlandu i Rimlandu……218

Tab. 6. Rywalizacja USA-Chiny w duchu Heartlandu i Rimlandu (z perspektywą do 2030 r.)…… ……220

264:10634

SPIS WYKRESÓW

Wykres 1. Schemat porównujący USA i Chiny w logice Heartlandu (AI, półprzewodniki, 5G) i Rimlandu (Tajwan/Indo-Pacyfik), w dwóch perspektywach: 2025 r. i prognoza odnosząca się do 2030 r……..……..223

Wykres 2. Alternatywny scenariusz obejmujący 2030 r., składający się ze scenariusza bazowego (utrzymanie przewagi w Rimlandzie i półprzewodnikach przez USA oraz nadrabianie tempa w wyścigu technologicznym przez Chiny w dziedzinach AI oraz 5G) oraz scenariusza Tajwanu znajdującego się pod kontrolą Chin (przejęcie wyspy radykalnie zmienia układ sił: Chiny zyskują pełną dominację w półprzewodnikach i Rimlandzie, co pozwala im wyprzedzić USA w globalnej rywalizacji technologicznej……..……225

Wykres 3. Wizualizacja scenariusza podziału na dwa bloki technologiczne: Blok Atlantycki i Blok Chiński. ……..…….…228

265:73482

ANEKS

Pytania do wywiadów pogłębionych

Pytania główne:

P.1. Jakie czynniki są Pana/Pani zdaniem odpowiedzialne za rozwój technologiczny Stanów Zjednoczonych i Chin?

P.2. W którym z państw, w Chinach czy w USA, czynniki te rozwinięte są w lepszym stopniu?

P.3. Za pomocą jakich metod i środków Chińska Republika Ludowa dąży do uzyskania przewagi technologicznej nad USA?

P4. Za pomocą jakich metod i środków USA dążą do uzyskania przewagi technologicznej nad Chinami?

Pytania dodatkowe:

P.1. Czy w perspektywie roku 2030 możliwa jest Pana/Pani zdaniem intensyfikacja współpracy naukowej między Chinami a USA pomimo obecnej rywalizacji, czy też będziemy raczej świadkami głębokiego podziału na konkurujące ze sobą bloki technologiczne?

P.2. Jakiego typu strategie asymetryczne stosowane są przez oddziały cybernetyczne Chińskiej Armii Ludowo-Wyzwoleńczej (ze szczególnym uwzględnieniem jednostki 61398), aby przeciwstawić się cyberprzewadze USA?

P.3. Jakie działania podejmują Chiny i Stany Zjednoczone, aby zmniejszyć swoją zależność od produkcji półprzewodników z Tajwanu (TSMC) i zwiększyć autonomię w tym sektorze?

266:83552