



03
26

RAPORT

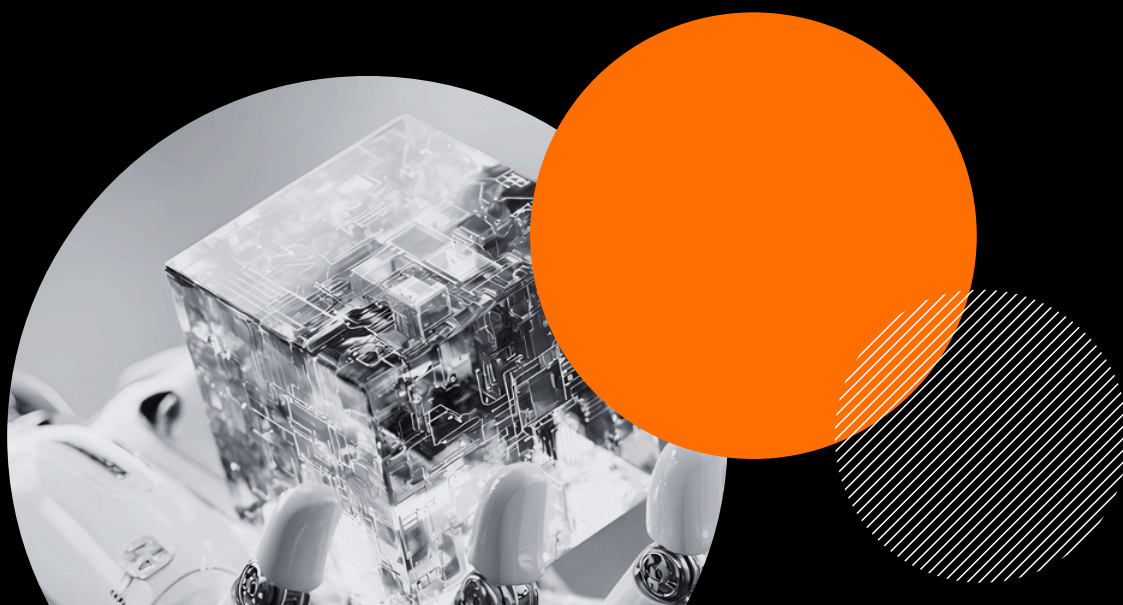
O TRENDACH TECHNOLOGICZNYCH



EDYCJA MARZEC 2026

SPIS TREŚCI

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 3 | Wprowadzenie i kluczowe wnioski | 34 | Suwerenność cyfrowa Polski jako problem warstwowy |
| 5 | Rynek sztucznej inteligencji | 48 | Analiza systemowa luk regulacyjnych w globalnym ekosystemie sztucznej inteligencji |
| 15 | Strategie i inwestycje w technologie kwantowe w kontekście europejskim | 51 | Bibliografia |



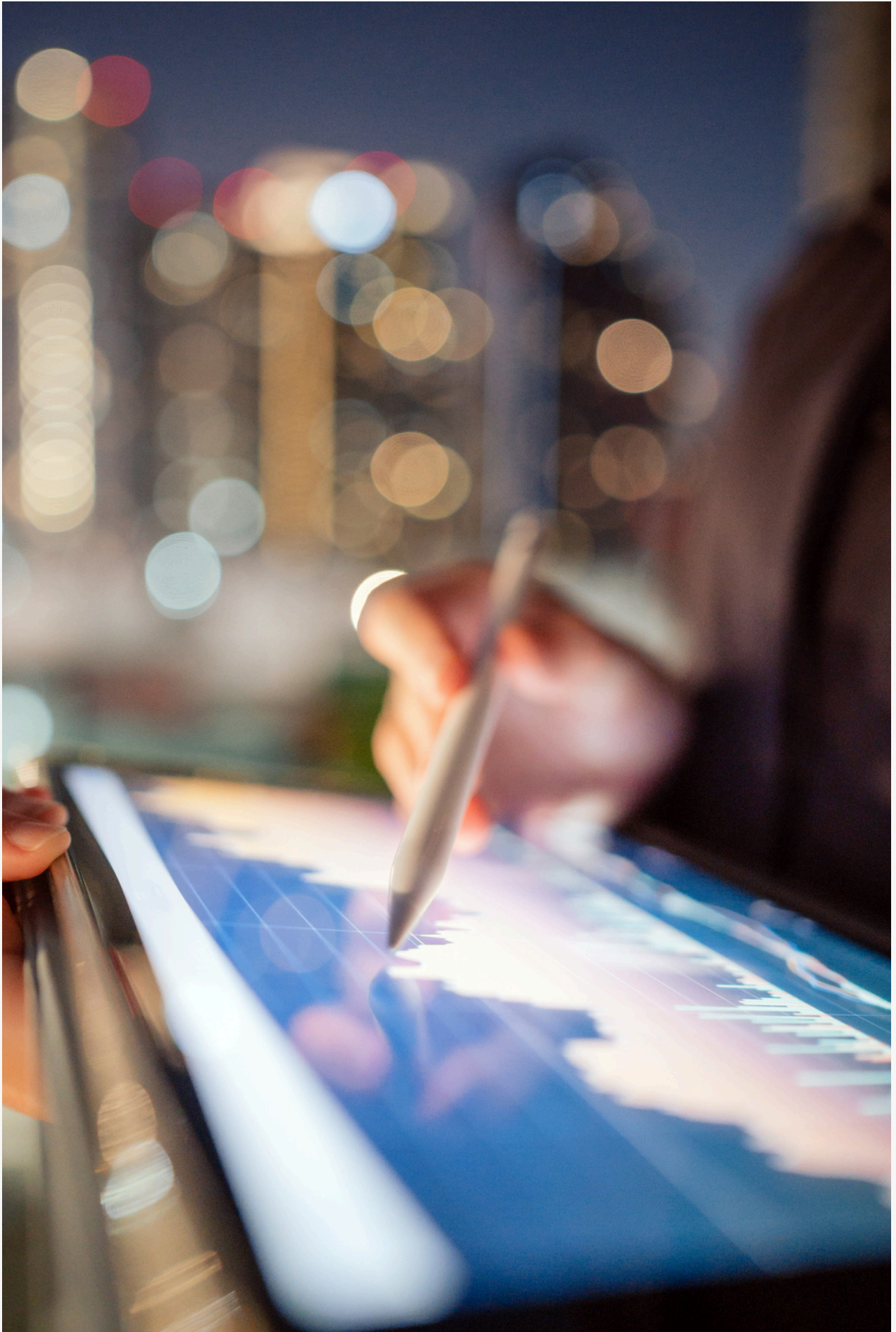
1.Wprowadzenie i kluczowe wnioski

W globalnym ekosystemie technologicznym w marcu 2026 roku dominowały kwestie związane z zabezpieczeniem infrastruktury, dostępnością energii i autonomią systemów. Analiza zdarzeń z ostatnich tygodni uwydatnia trzy zbiegające się w czasie zjawiska makrostrukturalne, które bezpośrednio warunkują architekturę e-państwa:

1. Ewolucja AI w stronę autonomii i brzegu sieci: rynek odchodzi od pasywnych, chmurowych modeli wielkoskalowych (LLM) na rzecz w pełni niezależnych agentów (Agentic AI) zdolnych do wieloetapowej orkiestracji procesów, a także na rzecz rozwiązań Edge AI, wymuszanych przez rosnące koszty energetyczne i chmurowe.
2. Postępujący kryzys suwerenności sprzętowej (Physical AI) jest efektem rosnącego protekcjonizmu, w tym amerykańskich ograniczeń eksportowych na akceleratorzy, oraz rozpadu europejskich łańcuchów dostaw. W tej logice zabezpieczenie dostępu do fizycznego sprzętu zaczyna mieć większe znaczenie niż sam rozwój kodu.
3. Aplikacyjna faza technologii kwantowych (QT): następuje wyjście z laboratoriów do fazy wdrożeń. Następujące przyspieszenie mocy komputerów kwantowych i konieczność przejścia na kryptografię postkwantową do 2035 roku wymuszają natychmiastowe działania zarówno od sektora publicznego, jak i prywatnego, powodując, że technologie kwantowe stają się narzędziem ochrony infrastruktury krytycznej.

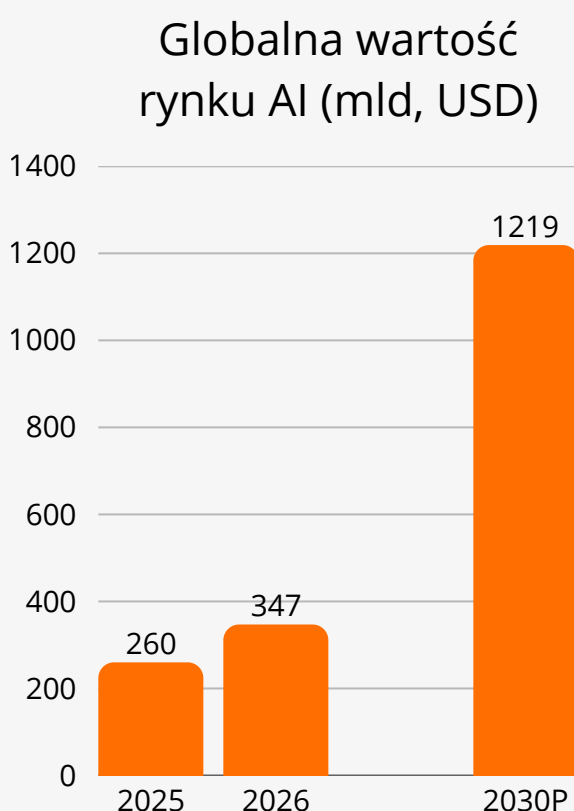
KLUCZOWE TEZY

- Era Agentic AI generuje niespotykaną wcześniej lukę regulacyjną i audytową. Wdrożenie w administracji modeli operujących bezpośrednio na interfejsach systemowych (np. GPT-5.4) oraz orkiestracja procesów tworzą potężne wektory zagrożeń, takie jak agent hijacking.
- Technologie kwantowe stają się nowymi filarami ochrony infrastruktury krytycznej. Migracja na kryptografię postkwantową (PQC) oraz projekty związane z komunikacją kwantową dowodzą, że budowa polskich kompetencji w tych obszarach może zapewnić przede wszystkim suwerenność technologiczną i bezpieczeństwo istotnych elementów funkcjonowania państwa.



2. Rynek sztucznej inteligencji

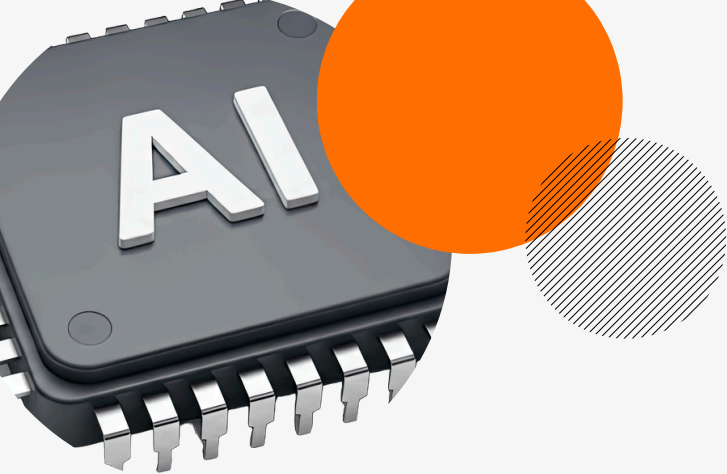
2.1. Ogólne informacje (wartość, dynamika)



Rynek sztucznej inteligencji utrzymuje bardzo dobrą kondycję, a prognozy dotyczące pęknięcia rzekomej „bańki inwestycyjnej” nie potwierdziły się. Wręcz przeciwnie — wiele wskazuje na to, że raczej mają optymiści przewidujący dalszy, dynamiczny rozwój sektora. W 2025 roku globalny rynek AI szacowano na około 260 mld dolarów, natomiast w 2026 r. jego wartość ma wzrosnąć do 347 mld. Co więcej, według prognoz agencji Statista, w ciągu najbliższych pięciu lat rynek może osiągnąć wartość nawet 1,2 bln dolarów [1]. Warto przy tym zaznaczyć, że są to estymacje dość ostrożne — w przestrzeni medialnej pojawiają się jeszcze wyższe prognozy, niekiedy balansujące na granicy wiarygodności. Jednym z powodów tak dużych rozbieżności jest brak jednolitej definicji rynku AI. Poszczególne instytucje biorą pod uwagę różne obszary: część uwzględnia robotykę, IoT czy usługi chmurowe, podczas gdy inne ograniczają się wyłącznie do technologii ściśle opartych na sztucznej inteligencji, takich jak modele ML/DL czy dedykowane oprogramowanie.

Jeżeli dodamy do tego odmienne metody wyceny infrastruktury, usług i oprogramowania oraz przenikanie się sektorów, nie dziwi różnice sięgające nawet biliona dolarów. Przykładem jest szacunek Gartnera, który wartość rynku AI już w 2025 r. określa na 1,48 bln USD, stosując najszerszą możliwą definicję (obejmującą m.in. smartfony AI).

Niezależnie jednak od sposobu liczenia, zbieżne pozostają prognozy dotyczące średniego rocznego tempa wzrostu (CAGR), które przewidują stabilny poziom około 35%. To oznacza, że rynek wciąż nabiera rozpędu — a najbardziej dynamiczne zmiany prawdopodobnie są dopiero przed nami.



RYNEK W UJĘCIU GEOGRAFICZNYM

Największym regionalnym rynkiem sztucznej inteligencji pozostają Stany Zjednoczone, gdzie krajowy rynek AI szacuje się na ponad 60 mld dolarów. To właśnie USA nadają tempo globalnemu rozwojowi technologii, głównie dzięki dominującej pozycji swoich firm technologicznych. Pozycja ta wydaje się niezagrożona, zwłaszcza jeśli spojrzymy na skalę inwestycji planowanych przez amerykańskie korporacje w najbliższych latach, takich jak 50 mld USD przeznaczonych przez Amazon na partnerstwa związane z AI czy nawet 180 mld USD, które według zapowiedzi ma wydać Google (inwestycje w skali globalnej).

To właśnie Amerykanie wyznaczają standardy rynku, choć coraz częściej pojawia się pytanie, jak długo utrzymają tę przewagę. Jest to uzasadnione w kontekście rosnących inwestycji chińskich – w dużej mierze państwowych – które napędzają tamtejszy rozwój technologii.

Chiny są bowiem drugim największym rynkiem sztucznej inteligencji na świecie, a ogłoszony niedawno plan pięcioletni może znacząco przyspieszyć ich marsz w stronę pozycji lidera [2]. W ramach strategii systemowe wsparcie mają otrzymać wdrożenia AI (program „AI+”), robotyka i technologie kwantowe w całej gospodarce. Celem jest przede wszystkim kompensacja niedoborów kadrowych związanych ze starzeniem się społeczeństwa oraz pełne uniezależnienie się od zachodnich łańcuchów dostaw. W planie przewidziano również dynamiczny rozwój własnych modeli analitycznych i językowych — takich jak DeepSeek — które mają stać się konkurencyjną alternatywą dla amerykańskich rozwiązań.

W Europie największymi rynkami pozostają Wielka Brytania, Niemcy i Francja, choć ich skala jest nieporównywalnie mniejsza — to zaledwie kilka miliardów dolarów każdy. Wynika to zarówno z mniejszej koncentracji globalnych gigantów technologicznych, jak i z większej roli regulacji oraz projektów publicznych, które wyraźnie spowalniają rozwój czysto komercyjny.

Z perspektywy całej Unii Europejskiej widoczny jest rosnący problem konkurencyjności. Nie chodzi już tylko o skalę inwestycji czy liczbę regulacji — choć w tej drugiej kategorii Europa jest globalnym liderem — lecz przede wszystkim o drenaż talentów. Europa ma ponad 30% więcej specjalistów AI w przeliczeniu na mieszkańca niż USA, jednak nie potrafi ich zatrzymać. Lepsze finansowanie, dostęp do kapitału i atrakcyjniejsze ścieżki kariery sprawiają, że wielu europejskich ekspertów decyduje się kontynuować pracę za oceanem. Aż trzech z czterech europejskich doktorantów AI, którzy trafiają na amerykańskie uniwersytety, pozostaje w USA co najmniej przez pięć lat. Co więcej, jedna trzecia specjalistów AI z całego świata również wybiera Stany Zjednoczone jako docelowy rynek pracy [3].

Globalny rynek sztucznej inteligencji jest dziś wyraźnie spolaryzowany, a tempo rozwoju nadają przede wszystkim USA i Chiny. Europa rozwija się wolniej, co w obliczu dynamicznego wzrostu znaczenia Azji oznacza konieczność intensyfikacji inwestycji i wspólnych działań, aby utrzymać konkurencyjną pozycję w globalnym ekosystemie AI.

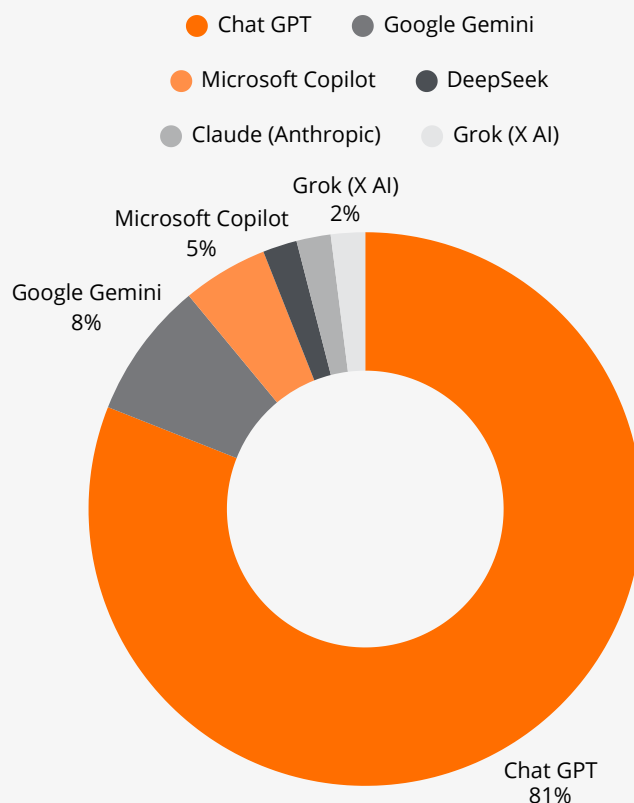
Rynek to nie tylko inwestycje, specjaliści czy firmy, ale przede wszystkim użytkownicy. Sztuczna inteligencja w niezwykle krótkim czasie zdobyła ogromną popularność wśród odbiorców indywidualnych. Obecnie ponad 1,1 mld osób korzysta z platform AI, z czego niemal 900 mln stanowią użytkownicy ChatGPT.

Wszystko wskazuje na to, że w 2026 roku liczba ta przekroczy miliard — niecałe cztery lata po premierze narzędzia. To najlepiej pokazuje tempo rozwoju tego rynku. Dla porównania: Facebook potrzebował na to ośmiu lat, YouTube sześciu, a TikTok — dotychczasowy rekordzista — niespełna pięciu [4].

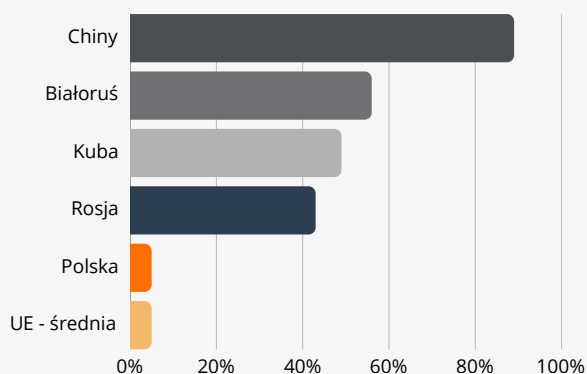
Popularność platform AI rośnie w zawrotnym tempie, ale jednocześnie rynek zaczyna się wyraźnie różnicować. Dominacja ChatGPT — często traktowanego jako „AI do wszystkiego” — wciąż jest wyraźna, jednak warto obserwować, co dzieje się tuż za plecami lidera.

Claude i Gemini systematycznie zdobywają segment profesjonalny. Obie platformy oferują bardziej stabilne, precyzyjne i analityczne działanie niż narzędzia stricte konsumenckie. Claude wyróżnia się świetnym rozumowaniem i umiejętnością pracy z dużymi dokumentami, natomiast Gemini zyskuje dzięki ścisłej integracji z ekosystemem Google Workspace. To sprawia, że modele te stają się naturalnym wyborem dla firm, analityków i programistów, którzy potrzebują narzędzi do codziennej, realnej pracy.

Platformy AI i ich użytkownicy



DeepSeek udział w rynkach lokalnych

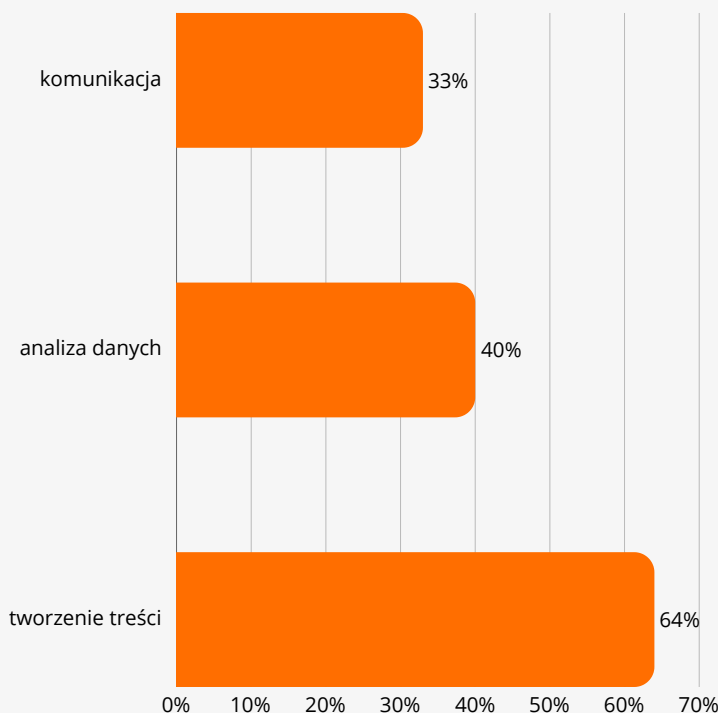


Natomiast w Europie chińska platforma nie cieszy się obecnie taką popularnością jak motoryzacyjne produkty „zza Wielkiego Muru” i prawdopodobnie jej nie zdobędzie. Wynika to głównie z niskiego zaufania do chińskich technologii w kontekście prywatności i ochrony danych, które w UE są regulowane wyjątkowo restrykcyjnie (RODO, AI Act).

W Afryce sytuacja wygląda inaczej. Niższe wymagania dotyczące infrastruktury, mniejsze zużycie energii oraz niższe koszty użytkowania to jedne z głównych powodów wysokiej popularności tej platformy w regionie. Nie bez znaczenia są również inwestycje Huawei w lokalną infrastrukturę.



Użycie AI wg czynności - użytkownicy 18-34 lat



Patrząc na dane z udziałem rynkowym DeepSeek na lokalnych rynkach, można postawić tezę, że to, co w Europie jest dużą wadą (obawy przed inwigilacją), w krajach odległych od standardów demokratycznych – takich jak Rosja czy Białoruś – bywa postrzegane jako zaleta (nie dla użytkowników oczywiście). Jednocześnie, gdyby nie obowiązujące sankcje, udział platformy w tych krajach z pewnością byłby niższy.

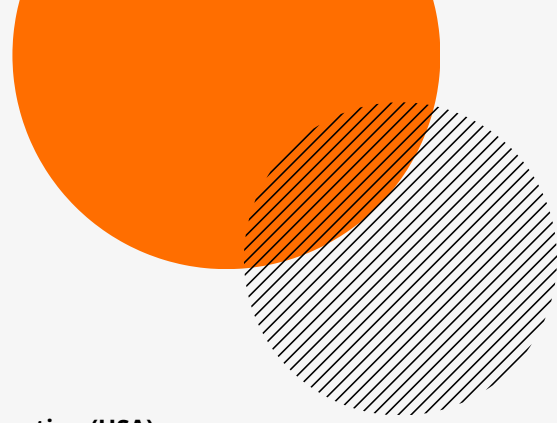
Podobnie jak w przypadku prognoz dotyczących wartości rynku, również dane o wykorzystaniu AI w poszczególnych krajach są w przestrzeni medialnej bardzo rozbieżne [5]. Niezależnie jednak od źródła czy regionu świata, jedno pozostaje wspólne — główną siłą napędową popularyzacji sztucznej inteligencji są ludzie młodzi. W Polsce, według badań Microsoftu, aż 97% młodych użytkowników korzysta z narzędzi AI, najczęściej do tworzenia treści (64%) oraz analizy danych (40%) [6]. Niepokojącym wskaźnikiem jest jednak odsetek osób, które czują się w pełni przygotowane do wykorzystywania sztucznej inteligencji w pracy.

To zaledwie 12%, co pokazuje, jak duże wyzwanie stanowi dziś obszar edukacji i podnoszenia kompetencji cyfrowych.

2.2. Wiodący uczestnicy rynku AI

OpenAI (USA)

- Rok założenia: 2015 [1]
- Branże rynkowe: edukacja, finanse, ochrona zdrowia, administracja publiczna, IT i rozwój oprogramowania, obsługa klienta, media i rozrywka, rozwiązania miejskie (smart cities) [2], [3]
- Kluczowe technologie AI: duże modele językowe (LLM), generatywna sztuczna inteligencja (GenAI), przetwarzanie języka naturalnego (NLP), uczenie maszynowe (ML), uczenie się ze wzmocnieniem (RL), systemy agentowe AI [4]
 - Kompetencje technologiczne:
 - Foundation models i multimodalność: rozwój architektury potrafiącej natywnie i jednocześnie przetwarzać tekst, dźwięk i obraz w czasie rzeczywistym [5].
 - Systemy agentowe AI: tworzenie systemów potrafiących samodzielnie wykonywać złożone zadania w przeglądarce i systemach operacyjnych (np. rezerwacje, wieloetapowy research danych) [4], [6].
 - Synteza i rozpoznawanie mowy: zaawansowane mechanizmy speech-to-text o bardzo niskim opóźnieniu i płynnej translacji na żywo [6].
 - Generowanie treści wizualnych: translacja instrukcji tekstowych na spójne, fizycznie poprawne materiały wideo oraz grafiki [6].
 - Programowanie i analiza danych: Biegłość modeli w pisaniu i debugowaniu kodu w wielu językach programowania oraz zaawansowana analityka ustrukturyzowanych baz danych [6].



NVIDIA Corporation (USA)

- Rok założenia: 1993 [7]
- Branże rynkowe: produkcja przemysłowa, energetyka, transport, telekomunikacja, sektor publiczny i obronny, centra danych i chmura obliczeniowa [8]
- Kluczowe technologie AI: akceleratory obliczeniowe dla AI (GPU, CPU, DPU), infrastruktura centrów danych i superkomputery AI, superkomputery i klastry AI, cyfrowe bliźniaki (Digital Twins), przetwarzanie brzegowe (Edge AI), zaawansowana infrastruktura sieciowa dla AI [9]
- Kompetencje technologiczne:
 - Projektowanie architektury krzemowej dla AI: tworzenie najbardziej zaawansowanych na świecie układów (GPU, CPU) optymalizowanych pod kątem masowych obliczeń równoległych, niezbędnych do trenowania i wnioskowania wielkich modeli fundacyjnych [10].
 - Inżynieria wielkoskalowych centrów danych: optymalizacja sprzętowo-programowa układów na poziomie całych szaf serwerowych (rack-scale) i budowa tzw. "fabryk sztucznej inteligencji" (AI Factories) [11].
 - Ekosystem oprogramowania obliczeniowego: pełna kontrola nad standardem branżowym do obliczeń równoległych (CUDA), zintegrowanym z bibliotekami i narzędziami ułatwiającymi wdrażanie AI w środowiskach produkcyjnych [12].
 - Symulacje i łączenie AI ze światem fizycznym: tworzenie fotorealistycznych i wiernych prawom fizyki środowisk symulacyjnych (Omniverse) do szkolenia robotów, optymalizacji łańcuchów dostaw i tworzenia cyfrowych bliźniaków zakładów przemysłowych [13].
 - Wysokowydajne sieci wewnątrzklasterowe: projektowanie przełączników i światłowodowych technologii przesyłu danych (InfiniBand, Spectrum-X Ethernet, NVLink) eliminujących opóźnienia w komunikacji między tysiącami procesorów w chmurze [14].

Microsoft Corporation (USA)

- Rok założenia: 1975 [15]
- Branże rynkowe: finanse, ochrona zdrowia, edukacja, administracja publiczna, rozwiązania miejskie (smart cities), przedsiębiorstwa i środowiska pracy cyfrowej [16]–[18]
- Kluczowe technologie AI: generatywna sztuczna inteligencja (GenAI), duże i małe modele językowe (LLM i SLM), chmura obliczeniowa dla AI (Cloud AI & MLOps), systemy agentowe AI i inteligentna automatyzacja (Copilot), przetwarzanie języka naturalnego (NLP), computer vision [16], [19], [20]
- Kompetencje technologiczne:
 - Integracja AI z oprogramowaniem biurowym i operacyjnym: płynne osadzanie asystentów AI w środowiskach pracy, z których korzystają miliony użytkowników (Microsoft 365, Teams, Windows), umożliwiające kontekstową pracę na dokumentach i wewnątrzorganizacyjnych bazach danych (Microsoft Graph) [19].
 - Hosting i bezpieczne udostępnianie modeli AI: tworzenie odizolowanych, bezpiecznych instancji najpotężniejszych na rynku modeli językowych (np. technologii OpenAI) w architekturze korporacyjnej, spełniającej surowe rygory certyfikacji i zgodności (compliance) [18], [20].
 - Modele językowe o różnej skali (LLM i SLM): rozwój oraz integracja modeli o różnej wielkości – od dużych modeli chmurowych po lżejsze modele zoptymalizowane pod kątem działania lokalnego (edge, urządzenia końcowe) [19], [20].
 - Cyberbezpieczeństwo oparte na AI: Wykorzystanie analizy behawioralnej i generatywnej sztucznej inteligencji do błyskawicznego wykrywania, analizy i reagowania na cyberzagrożenia (Threat Intelligence) [21].
 - Infrastruktura deweloperska: tworzenie asystentów programowania i platform low-code/no-code przyspieszających tworzenie nowych aplikacji cyfrowych [19], [20].

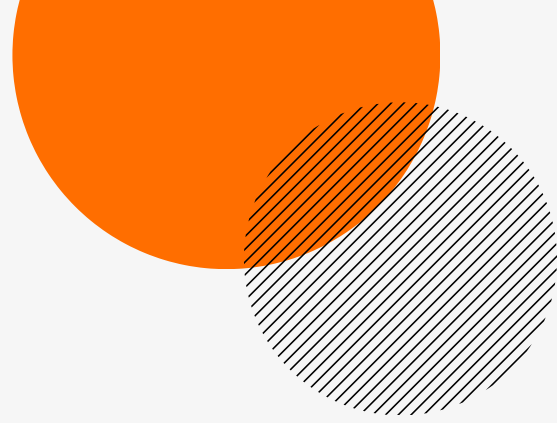


Alphabet Inc. (Google LLC, USA)

- Rok założenia: 1998 (Google), 2015 (Alphabet) [22]
- Branże rynkowe: ochrona zdrowia, edukacja, transport, telekomunikacja, rozwiązania miejskie (smart cities), usługi cyfrowe i chmura obliczeniowa [23], [24]
- Kluczowe technologie AI: duże i małe modele językowe (LLM i SLM), foundation models (w tym modele o otwartych wagach), generatywna sztuczna inteligencja multimodalna, autorskie akceleratory obliczeniowe (TPU), frameworki uczenia maszynowego (JAX, TensorFlow) [24]–[26]
- Kompetencje technologiczne:
 - Pionierskie badania podstawowe (Google DeepMind): tworzenie przełomowych architektur (takich jak Transformer z 2017 r., na którym opiera się współczesna rewolucja GenAI) oraz rozwiązywanie fundamentalnych problemów naukowych (np. AlphaFold w biologii, GraphCast w meteorologii) [27], [28].
 - Modele multimodalne i gigantyczne okna kontekstowe: projektowanie modeli, które od podstaw rozumieją i łączą różne typy danych (np. analizują godzinne materiały wideo, tysiące stron dokumentacji urzędowej czy obszerne bazy kodu naraz), co znacząco zmniejsza potrzebę korzystania z zewnętrznych systemów RAG [25], [29].
 - Niezależność sprzętowa (Custom silicon): projektowanie i wdrażanie własnych, wysoce zoptymalizowanych procesorów Tensor Processing Units (TPU), które zapewniają Google Cloud alternatywę wobec dominacji sprzętowej firmy NVIDIA i optymalizują koszty operacyjne na wielką skalę [26].
 - Zaawansowane generowanie multimediów: tworzenie fotorealistycznych wideo (model Veo) z natywnie generowanym dźwiękiem oraz wysokiej jakości utworów muzycznych (Lyria 3), wzbogaconych o zabezpieczenia w postaci cyfrowych znaków wodnych (SynthID) [27], [29].
 - Autonomiczne systemy fizyczne: rozwój sztucznej inteligencji zdolnej do nawigacji i analizy ruchu w czasie rzeczywistym w skomplikowanych warunkach miejskich (systemy jazdy autonomicznej Waymo) [23].

Amazon Web Services – AWS (USA)

- Rok założenia: 1994 (Amazon) [30], 2006 (uruchomienie usług AWS) [31]
- Branże rynkowe: administracja publiczna, finanse, energetyka, transport, rozwiązania miejskie (smart cities), przedsiębiorstwa i infrastruktura IT [31], [32]
- Kluczowe technologie AI: chmura obliczeniowa dla AI (Cloud AI, MLOps) [33], niestandardowe akceleratory sprzętowe (custom silicon) [34], platformy wielomodelowe (MaaS) i najnowsze foundation models [35], [36], uczenie maszynowe (ML) i analityka predykcyjna [32], systemy agentowe AI (w tym asystenci programowania) [33]
- Kompetencje technologiczne:
 - Zarządzanie infrastrukturą o gigantycznej skali (IaaS): posiadanie największej na świecie, wysoce niezawodnej globalnej infrastruktury serwerowej zdolnej obsłużyć najbardziej wymagające procesy uczenia maszynowego (w tym klastry obliczeniowe typu UltraClusters) [31], [34].
 - Projektowanie dedykowanych układów scalonych (custom silicon): rozwój autorskich, wysoce energooszczędnych procesorów AI (Trainium, Inferentia) zoptymalizowanych pod kątem radykalnego obniżania kosztów trenowania i wnioskowania modeli [34].
 - Model agnostic methods: duża chmura z w pełni zarządzaną platformą Model-as-a-Service (Bedrock), umożliwiającą korzystanie z różnych modeli LLM i multimodalnych od wielu dostawców w tym samym API, co eliminuje konieczność wiązania się z jedną architekturą na stałe [35].
 - Kompleksowe środowiska MLOps: budowa potężnych narzędzi (SageMaker) pozwalających inżynierom i analitykom danych na pełną kontrolę nad cyklem życia modeli AI (od czyszczenia danych po wdrażanie in-production) [37].
 - AI dla logistyki, miast i przemysłu: wykorzystanie AI do optymalizacji procesów biznesowych, łańcuchów dostaw, symulacji sieci energetycznych i predykcyjnego utrzymania ruchu maszyn na bazie ogromnych doświadczeń własnych z sektora e-commerce [32].



Meta Platforms, Inc. (USA)

- Rok założenia: 2004 (jako Facebook) [38]
- Branże rynkowe: edukacja, analityka społecznościowa, reklama cyfrowa [39], [40]
- Kluczowe technologie AI: duże modele językowe o otwartych wagach (Open-Weights LLM) [41], generatywna sztuczna inteligencja (GenAI), przetwarzanie języka naturalnego (NLP) i translacja w czasie rzeczywistym, zaawansowane systemy rekomendacyjne (deep learning), computer vision i percepcja maszynowa [42]
- Kompetencje technologiczne:
 - Rozwój modeli o otwartych wagach (open-weights): Meta jest niekwestionowanym liderem w tworzeniu potężnych modeli fundacyjnych, które są udostępniane badaczom i przedsiębiorstwom do swobodnego pobierania, modyfikacji i wdrażania na własnych serwerach [41].
 - Skalowanie gigantycznej infrastruktury obliczeniowej: budowa i zarządzanie jednym z największych na świecie klastrów GPU (liczących setki tysięcy akceleratorów), co pozwala na trenowanie modeli nowej generacji na bezprecedensowej ilości danych [39], [42].
 - Integracja sztucznej inteligencji z urządzeniami noszonymi (wearables): łączenie asystentów konwersacyjnych i natywnej multimodalności (rozpoznawanie obrazu i dźwięku na żywo) w urządzeniach konsumenckich, takich jak inteligentne okulary [38], [40].
 - Zaawansowana analityka społecznościowa i behawioralna: wykorzystanie AI do błyskawicznego analizowania bilionów interakcji sieciowych, optymalizacji ruchu, rankingu treści oraz precyzyjnego celowania zapytań i reklam [39], [42].
 - Tworzenie standardów deweloperskich (frameworks): utrzymywanie i rozwój środowiska PyTorch, które stanowi globalny fundament, na którym powstaje zdecydowana większość współczesnych innowacji w uczeniu maszynowym [43].

International Business Machines Corporation – IBM (USA)

- Rok założenia: 1911 [44]
- Branże rynkowe: zdrowie, finanse, prawo, administracja publiczna, produkcja [45], [46]
- Kluczowe technologie AI: generatywna sztuczna inteligencja dla przedsiębiorstw (Enterprise GenAI), zarządzanie i nadzór nad modelami AI (AI Governance), open-source foundation models, architektura chmury hybrydowej (Hybrid Cloud AI), automatyzacja IT i generowanie kodu (AIOps) [46]–[48]
- Kompetencje technologiczne:
 - Nadzór i zgodność regulacyjna (AI Governance): tworzenie zaawansowanych środowisk do monitorowania modeli sztucznej inteligencji pod kątem stronniczości, transparentności, bezpieczeństwa danych osobowych oraz ścisłej zgodności z nadchodzącymi i obecnymi regulacjami (takimi jak unijny AI Act) [46].
 - Bezpieczna integracja chmury hybrydowej: zdolność do płynnego łączenia lokalnych serwerów i prywatnych centrów danych (on-premise) z rozwiązaniami AI, umożliwiające trenowanie i wdrażanie modeli bez konieczności transferowania wrażliwych danych do zewnętrznych chmur publicznych [46], [47].
 - Rozwój modeli dla biznesu i domeny publicznej: projektowanie zoptymalizowanych modeli (np. z rodziny Granite), trenowanych na wyselekcjonowanych, weryfikowalnych prawnie i bezpiecznych zbiorach danych (eliminacja ryzyka naruszeń praw autorskich) [48].
 - Kwantowe bezpieczeństwo i kryptografia (Quantum Safe AI): projektowanie systemów analitycznych i infrastruktury danych odpornych na potencjalne ataki z użyciem przyszłych komputerów kwantowych [49].
 - Modernizacja starszych systemów IT (Legacy Modernization): wykorzystanie AI do analizy, tłumaczenia i unowocześniania kodu ze starych języków programowania (np. COBOL) używanych w krytycznych systemach biznesowych i państwowych [48].

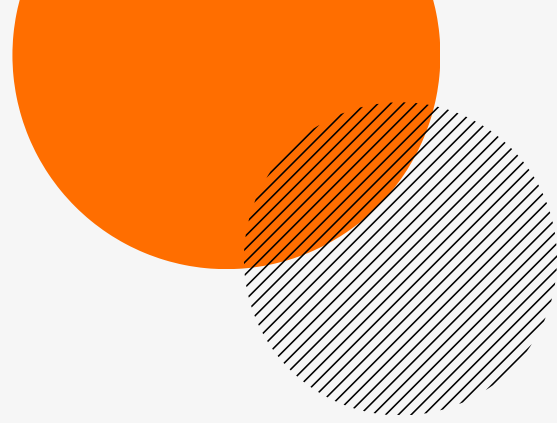


SAP Societas Europaea – SAP SE (Niemcy)

- Rok założenia: 1972 [50], [51]
- Branże rynkowe: finanse, produkcja, administracja publiczna, logistyka, zarządzanie przedsiębiorstwem [50], [51]
- Kluczowe technologie AI: generatywna sztuczna inteligencja dla biznesu (Enterprise GenAI) [52], systemy agentowe AI w ERP [53], wektorowe bazy danych i orkiestracja danych (Vector Engine) [54], uczenie maszynowe (ML) i analityka predykcyjna [54], chmura suwerenna i technologie ochrony prywatności (Sovereign Cloud AI) [55]
- Kompetencje technologiczne:
 - Głęboka integracja AI z procesami biznesowymi (Business AI): SAP nie tworzy sztucznej inteligencji ogólnego przeznaczenia, tylko osadza algorytmy AI bezpośrednio w systemach ERP, HR i logistyce, umożliwiające natywne rozumienie kontekstu finansów, łańcucha dostaw i procedur kadrowych [52].
 - Model agnostic methods i orkiestracja (Generative AI Hub): zdolność do elastycznego przełączania się między najlepszymi na rynku foundation models (od OpenAI i Anthropic, po europejskiego Mistrala czy Llama od Meta) bez zmiany interfejsu użytkownika, przy jednoczesnym gwarantowaniu, że dane urzędu/firmy nigdy nie posłużą do trenowania tych publicznych modeli [52], [55].
 - Zarządzanie danymi strukturyzowanymi i wektorowymi: rozwój SAP HANA z natywnym wyszukiwaniem wektorowym (Vector Engine), pozwalający łączyć duże tabele finansowe i magazynowe z nieustrukturyzowanymi dokumentami w czasie rzeczywistym [54].
 - Europejska suwerenność danych: jako absolutny lider technologiczny na kontynencie europejskim, SAP posiada unikalne kompetencje we wdrażaniu infrastruktury chmurowej w pełni zgodnej z najbardziej restrykcyjnymi interpretacjami RODO oraz wymogami europejskiego aktu w sprawie sztucznej inteligencji (AI Act) [55], oferując opcje przetwarzania danych wyłącznie w granicach UE [56].

Intel Corporation (USA)

- Rok założenia: 1968 [57]
- Branże rynkowe: produkcja półprzewodników (Foundry), AI hardware, telekomunikacja (5G/6G), energetyka, smart cities, obrona [58], [60]
- Kluczowe technologie AI: akceleratory AI, procesory z wbudowanym NPU, litografia 18A (ekwiwalent 1.8nm) z technologią zasilania od spodu (PowerVia), rozwiązania brzegowe (Edge AI) dla przemysłu i telekomunikacji [58], [59]
- Kompetencje technologiczne:
 - Wdrożenie węzła Intel 18A: na początku 2026 roku Intel oficjalnie ogłosił sukces strategii „5 węzłów w 4 lata”, litografia 18A weszła w fazę masowej produkcji, oferując unikalną architekturę tranzystorów RibbonFET oraz PowerVia [59].
 - Technologie Suwerenne (Secure Enclave): Intel stał się głównym wykonawcą programu rządu USA „Secure Enclave”, mającego na celu stworzenie w pełni krajowego (amerykańskiego) łańcucha dostaw dla najbardziej zaawansowanych chipów wykorzystywanych w systemach obronnych i wywiadowczych [60].
 - Innowacje w pakowaniu (Advanced Packaging): rozwój technologii Foveros i EMIB pozwala Intelowi na łączenie chipletów produkowanych w różnych technologiach w jeden wydajny system (SiP), co jest kluczowe dla budowy gigantycznych akceleratorów AI [61].



Accenture plc (Irlandia)

- Rok założenia: 1989 (jako Andersen Consulting; od 2001 r. pod nazwą Accenture) [63]
- Branże rynkowe: administracja publiczna, finanse, zdrowie, edukacja, telekomunikacja, media i technologia, produkcja, zasoby naturalne [63], [64]
- Kluczowe technologie AI: systemy agentowe AI [65], generatywna sztuczna inteligencja (GenAI) [66], głębokie uczenie (deep learning) [67], uczenie maszynowe (ML) [68], AI w cyberbezpieczeństwie (AI-driven Threat Intelligence) [66]
- Kompetencje technologiczne:
 - Skalowanie AI w organizacjach: tworzenie tzw. „Digital Core” – fundamentów technologicznych umożliwiających szybkie wdrażanie rozwiązań AI w skomplikowanych strukturach (np. administracji szczebla centralnego) [70].
 - Human-AI Collaboration: badania i wdrożenia w obszarze współpracy człowieka z systemami AI, skupione na budowaniu zaufania i nowych kompetencji pracowników [71].
 - Orkiestracja ekosystemów danych: budowa nowoczesnych fundamentów danych (modern data foundations), które są niezbędne do bezpiecznego działania zaawansowanych algorytmów [66].
 - Bezpieczne i etyczne AI: Projektowanie ram operacyjnych (AI governance) zapewniających przewidywalność i zgodność systemów autonomicznych z regulacjami [66], [72], [73].

Anthropic PBC (USA)

- Rok założenia: 2021 [74]
- Branże rynkowe: edukacja, administracja publiczna, bezpieczeństwo AI, finanse, prawo [76], [77]
- Kluczowe technologie AI: duże modele językowe (LLM), Constitutional AI [78], Mechanistic Interpretability [79], systemy agentowe AI z dostępem do interfejsu komputerowego (Computer Use AI) [80], generatywna sztuczna inteligencja (GenAI) [74]
- Kompetencje technologiczne:
 - Constitutional AI: pionierskie i unikalne na rynku podejście do trenowania modeli – zamiast polegać wyłącznie na ocenie ludzkiej (RLHF), modele Anthropic są szkolone do przestrzegania jawnego zestawu zasad (tzw. "Konstytucji"), zaczerpniętych m.in. z Powszechnej Deklaracji Praw Człowieka czy zasad prywatności [78].
 - Badania nad "wnętrzem" modeli (Mechanistic Interpretability): Lider w globalnych badaniach nad tzw. rozkodowaniem czarnej skrzynki (Black Box) modeli AI – inżynierowie Anthropic mapują sieci neuronowe, aby zrozumieć, dlaczego model podejmuje daną decyzję, co radykalnie zwiększa przewidywalność systemów [79], [81].
 - Przetwarzanie gigantycznych okien kontekstowych: optymalizacja architektury pozwalająca na jednoczesne analizowanie setek tysięcy tokenów tekstu (odpowiednik tysięcy stron) z niemal stuprocentową skutecznością wyszukiwania ukrytych w nich informacji (tzw. test "igły w stogu siana") [77].
 - Agenci AI z dostępem do interfejsu komputerowego (Computer Use): zaawansowane możliwości pozwalające sztucznej inteligencji na "widzenie" ekranu, poruszanie kursorem, klikanie i wpisywanie tekstu, co umożliwia bezpośrednią automatyzację pracy w tradycyjnych interfejsach graficznych i systemach ERP [80].



Salesforce, Inc. (USA)

- Rok założenia: 1999 [82]
- Branże rynkowe: finanse [83], smart cities [84], administracja publiczna [85]
- Kluczowe technologie AI: systemy agentowe AI [86], generatywna sztuczna inteligencja dla CRM (CRM GenAI) [87], wektorowe bazy danych i orkiestracja danych (Data Cloud) [88], uczenie maszynowe (ML) i analityka predykcyjna [87]
- Kompetencje technologiczne:
 - Projektowanie autonomicznych agentów AI (Agentic Enterprise): rozwój proaktywnych agentów AI zdolnych do samodzielnego wnioskowania i realizowania wieloetapowych zadań, np. automatyczna klasyfikacja i obsługa zgłoszeń w administracji publicznej w określonych granicach uprawnień [85], [86].
 - Architektura bezpieczeństwa (Einstein Trust Layer): wbudowany mechanizm bezpieczeństwa zapewniający dynamiczne maskowanie danych osobowych (PII) w czasie rzeczywistym oraz politykę „Zero Retention”, gwarantującą, że zewnętrzne modele LLM nie wykorzystują danych obywateli ani instytucji do własnego trenowania [87].
 - Unifikacja silosów danych (Data Cloud): integracja dużych wolumenów danych ustrukturyzowanych i nieustrukturyzowanych w jeden spójny profil (Citizen 360) z natywnym wsparciem dla wyszukiwania wektorowego [85], [88].
 - Platformy Low-Code / No-Code: wizualne narzędzia (Agent Builder) pozwalające urzędnikom i analitykom samodzielnie konfigurować nowe kompetencje dla agentów AI bez konieczności angażowania zespołów programistycznych [86].

Cisco Systems, Inc. (USA)

- Rok założenia: 1984 [89]
- Branże rynkowe: telekomunikacja, cyberbezpieczeństwo, smart cities [90], administracja publiczna [91], infrastruktura sieciowa [92]
- Kluczowe technologie AI: sztuczna inteligencja w operacjach sieciowych (AIOps i Predictive Networking) [92], cyberbezpieczeństwo oparte na uczeniu maszynowym (AI-driven Threat Intelligence) [93], zaawansowana analityka danych i obserwowalność (AI Observability & SIEM) [92], [94], infrastruktura sieciowa o ultraniskich opóźnieniach dla klastrów AI (AI Networking) [95], generatywni asystenci dla administratorów IT (GenAI for IT) [92]
- Kompetencje technologiczne:
 - Hiper-rozproszone cyberbezpieczeństwo (AI-Native Security): analiza ruchu w każdym węźle sieci i serwerze przez modele AI; autonomiczne izolowanie zainfekowanych maszyn i aplikowanie cyfrowych łatek na luki zero-day, zanim człowiek zdąży zareagować [96].
 - Pełna obserwowalność cyfrowa (Full-Stack Observability): integracja danych telemetrycznych Cisco z silnikiem analitycznym Splunk, umożliwiającą korelację pozornie niezwiązanych zdarzeń i uzyskanie wielowymiarowego obrazu bezpieczeństwa (np. spadek wydajności aplikacji w urzędzie z nietypowym logowaniem z zagranicznego adresu IP) [94].
 - Sieci neuronowe dla centrów danych (Networking for AI): projektowanie wysoce wyspecjalizowanych przełączników (switches) i układów krzemowych (Cisco Silicon One), które minimalizują ograniczenia przepustowości podczas komunikacji między tysiącami GPU trenujących foundation models [95].
 - Prewencyjne zarządzanie siecią (AIOps): wykorzystanie modeli predykcyjnych do monitorowania stanu infrastruktury, przewidywania awarii routerów lub światłowodów na podstawie drobnych anomalii w przepływie pakietów oraz automatyczne przekierowywanie ruchu krytycznego [92].

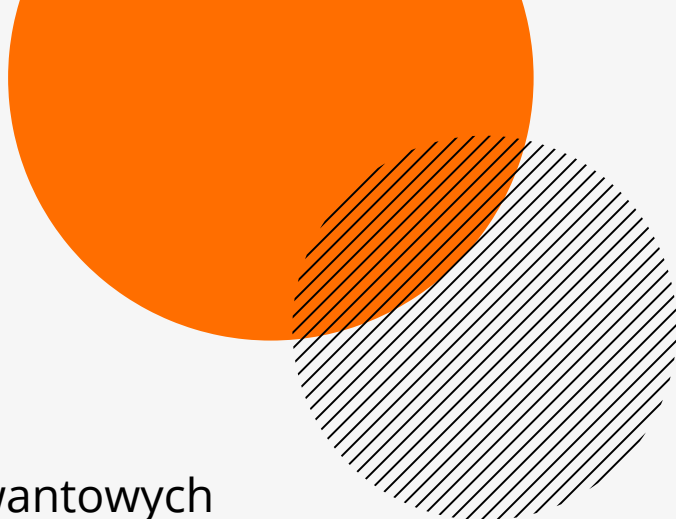


3. Strategie i inwestycje w technologię kwantową w kontekście europejskim

3.1. Wprowadzenie

Technologie kwantowe przestają być domeną wyłącznie laboratoriów badawczych i wchodzi w fazę wczesnej industrializacji. W ciągu ostatnich kilku lat obserwujemy wyraźne przyspieszenie inwestycji zarówno ze strony państw, jak i sektora prywatnego. Technologie te są dziś postrzegane jako jeden z kluczowych filarów przyszłej gospodarki cyfrowej, obok sztucznej inteligencji, półprzewodników i technologii kosmicznych.

Co istotne, rozwój QT nie jest już wyłącznie kwestią konkurencyjności gospodarczej. Coraz częściej jest on rozumiany jako element bezpieczeństwa narodowego oraz suwerenności technologicznej państw. W tym kontekście decyzje inwestycyjne podejmowane dziś będą determinowały pozycję krajów w globalnym układzie sił technologicznych na kolejne dekady.



3.1. Globalny rynek technologii kwantowych 2025–2040

Globalny rynek technologii kwantowych znajduje się obecnie w fazie intensywnego wzrostu, napędzanego zarówno przez środki publiczne, jak i kapitał prywatny.

Rok 2025 był punktem przełomowym dla globalnych inwestycji w technologie kwantowe. Według analiz publikowanych m.in. przez McKinsey, OECD oraz serwisy branżowe takie jak Quantum Insider i Quantum Zeitgeist, łączna roczna wartość inwestycji (obejmujące finansowanie rządowe, venture capital i wydatki korporacyjne na B+R) przekroczyła po raz pierwszy wartość 33 mld USD. Liczba krajów z formalnymi strategiami kwantowymi wzrosła do ponad 40, natomiast ONZ ogłosiło 2025 Międzynarodowym Rokiem Nauki i Technologii Kwantowych. Wyścig kwantowy stał się faktem geopolitycznym, nie prognozą analityków. Warto podkreślić, że struktura inwestycji ulega zmianie. O ile w początkowej fazie dominowało finansowanie badań podstawowych, o tyle obecnie coraz większa część środków kierowana jest w stronę projektów o charakterze aplikacyjnym oraz infrastrukturalnym. Polska musi zrozumieć skalę i dynamikę tej transformacji, by świadomie zdefiniować własną rolę.

Raport McKinsey's Quantum Technology Monitor z czerwca 2025 stwierdza, że technologie kwantowe przekroczyły próg komercjalizacji. Sektor zaczyna przynosić wymierne przychody: w 2024 roku spółki kwantowe wygenerowały 650–750 mln USD przychodów, natomiast w 2025 oczekiwano przekroczenia 1 mld USD, co jednoznacznie potwierdza, że sektor jest dziś w fazie strategicznego budowania pozycji, ale jeszcze niekomercyjnej eksploatacji. Żaden zdrowy rynek komercyjny nie toleruje takiej dysproporcji przez dłuższy czas - wyjaśnienie jest geopolityczne, nie ekonomiczne. Rządy i inwestorzy prywatni traktują technologie kwantowe jako strategiczne aktywa o znaczeniu wykraczającym poza krótkoterminową rentowność.

Co ciekawe, w ciągu pierwszych pięciu miesięcy 2025 roku globalne inwestycje w sektorze Quantum osiągnęły prawie 75% całkowitej wartości z 2024 roku, mimo że wolumen transakcji stanowił około 25% ubiegłorocznego. Innymi słowy: mniej rund, ale większe transakcje. Struktura globalnych inwestycji według kategorii technologicznych wykazuje, że prawie 40% wydatków jest kierowanych na budowę maszyn, symulatorów i infrastruktur kwantowych (ogólnie komputerów kwantowych). Natomiast wzrost rynku jest napędzany przez trzy współzależne czynniki: (1) postępy sprzętowe, w szczególności wzrost liczby kubitów i redukcja wskaźników błędów (Quantum Error Correction – QEC) prowadzące do pierwszych zastosowań komercyjnych; (2) rosnącą dostępność poprzez modele Quantum-as-a-Service (QaaS) eliminujące barierę kapitałową dla przedsiębiorstw; oraz (3) rosnącą presję regulacyjną i bezpieczeństwa związaną z kryptografią postkwantową.



3.2. Filary technologii kwantowych

Sektor technologii kwantowych obejmuje pięć odrębnych, choć wzajemnie uzupełniających się domen technologicznych, z różnymi profilami dojrzałości i oknem czasowym do komercjalizacji:

Domena	Opis	Dojrzałość (2025)	Horyzont komercyjny
Komputery kwantowe	Procesory kwantowe do rozwiązywania problemów obliczeniowych niemożliwych klasycznie	NISQ era - pre-fault tolerant	Aplikacje specjalistyczne: 2026–2030; Ogólne: 2030+
Komunikacja kwantowa (QKD)	Kwantowa dystrybucja kluczy kryptograficznych; sieci kwantowe	Komercyjnie dostępne już dziś	Wdrożenia rządowe: teraz; Komercyjne: 2026–2028
Algorytmika kwantowa	Kryptografia postkwantowa, obliczenia kwantowe, bezpieczeństwo	Dostępne już dziś	Wdrożenie w EU do 2035
Materiały kwantowe	kriogenika, substraty, komponenty	Dostępne już dziś	Rynek aktywny
Sensoryka kwantowa	Grawitometry, magnetometry, zegary atomowe, obrazowanie	Najbardziej dojrzała - już stosowany	Rynek aktywny



QuantumBasel w analizie z listopada 2025 roku identyfikuje fundamentalną zmianę strukturalną rynku: w 2024 roku sprzedano 37 komputerów kwantowych o łącznej wartości \$854 mln - ponad dwukrotność wolumenu z 2021 roku, przy jednoczesnym spadku średniej ceny z \$48 mln do \$19 mln. Ta demokratyzacja sprzętowa jest sygnałem dojrzałości: technologia wchodzi do produkcji wieloseryjnej, a nie pozostaje wyłącznie w sferze zamówień rządowych. Równolegle rosną wieloletnie kontrakty full-stack - IBM, Quantinuum i IonQ podpisały umowy z klientami przemysłowymi, co stabilizuje strukturę przychodów sektora i uwiarygodnia go dla inwestorów instytucjonalnych. Finansowanie startupów kwantowych osiągnęło historyczny rekord: w pierwszych dziewięciu miesiącach 2025 roku firmy kwantowe pozyskały \$3,77 mld w equity funding - niemal trzykrotność całości 2024 roku (\$1,3 mld). Kluczowe rundy: PsiQuantum \$1 mld (wrzesień 2025, BlackRock, wycena \$7 mld); Quantinuum ~\$800 mln (wycena ~\$10 mld); IQM €200 mln (kwiecień 2025, fińskie fundusze emerytalne); francuski Alice & Bob \$104 mln (styczeń 2025); Classiq \$110 mln (maj 2025, Samsung Next, HSBC). The Quantum Insider podsumowuje: sektor przeszedł od szerokiego eksperymentowania do ukierunkowanych inwestycji w konkretne architektury sprzętowe, platformy oprogramowania chmurowego oraz technologie bezpieczeństwa, które obiecują szybsze, krótkoterminowe zwroty komercyjne.

Kluczowa zmiana strukturalna nastąpiła między 2023 a 2024 rokiem. McKinsey Quantum Technology Monitor (czerwiec 2025) dokumentuje: w 2024 roku finansowanie publiczne startupów kwantowych wzrosło o 19 punktów procentowych względem 2023, osiągając 34% całości; finansowanie prywatne odpowiadało za 66%. Równocześnie: globalne publiczne zobowiązania rządowe dla wszystkich typów inicjatyw kwantowych wyniosły \$1,8 mld w 2024 roku - co jest oddzielne od inwestycji w startupy. Jednak to dane z 2025 roku rewolucjonizują obraz: do kwietnia 2025 roku publiczne globalne zobowiązania przekroczyły \$10 mld, napędzane przez japońskie zobowiązanie \$7,4 mld i hiszpańską strategię €808 mln. Venture capital wzrósł do \$677 mln w samym Q1 2025 - o 59% więcej niż w Q1 2024. Łącznie pierwsze trzy kwartały 2025 przyniosły \$3,77 mld w finansowaniu własnym startupów kwantowych.

3.3. Rola największych graczy technologicznych

Kluczową rolę w globalnym ekosystemie odgrywają największe firmy technologiczne, takie jak IBM, Google czy Microsoft. Firmy te nie tylko inwestują w rozwój komputerów kwantowych, ale również budują całe ekosystemy usług, w tym platformy typu Quantum Computing as a Service. W praktyce oznacza to, że dostęp do technologii kwantowych zaczyna być oferowany w modelu chmurowym, co znacząco obniża barierę wejścia dla przedsiębiorstw i instytucji publicznych. Jednocześnie wzmacnia to pozycję globalnych liderów, którzy kontrolują zarówno sprzęt, jak i warstwę oprogramowania.

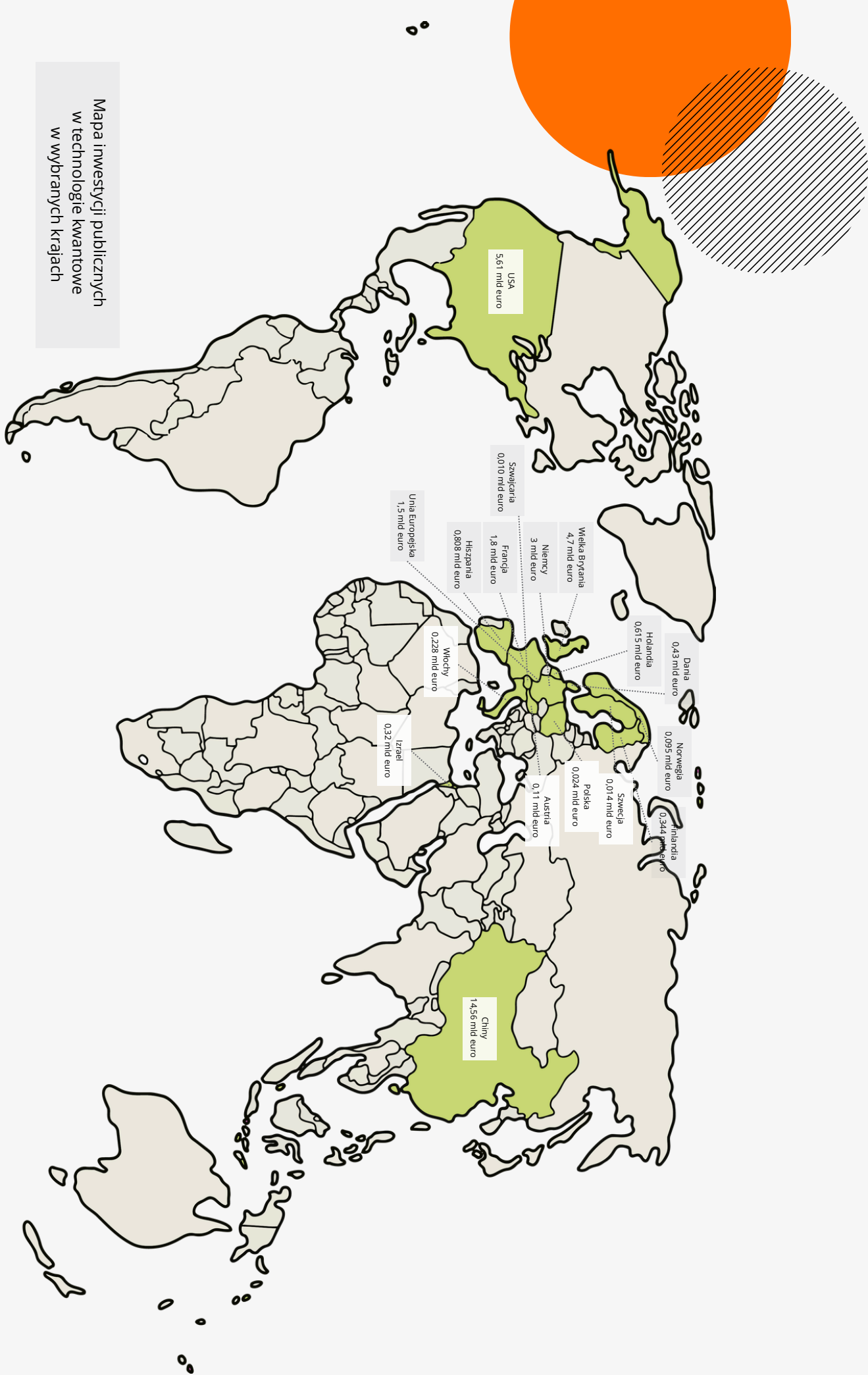
3.4. Znaczenie dla bezpieczeństwa państw

Technologie kwantowe są coraz wyraźniej traktowane jako technologie o charakterze strategicznym. Dotyczy to w szczególności kryptografii postkwantowej oraz komunikacji kwantowej (QKD), które mają kluczowe znaczenie dla ochrony danych i infrastruktury krytycznej. Stany Zjednoczone oraz Chiny traktują rozwój technologii kwantowych jako element rywalizacji geopolitycznej. W praktyce oznacza to, że inwestycje w tym obszarze są silnie powiązane z polityką bezpieczeństwa i obronności.

3.5. Rozkład geograficzny inwestycji

QBN (Quantum Business Network) w raporcie z sierpnia 2025 roku dostarczyło kompleksowe dane o regionalnym podziale publicznych inwestycji kwantowych. Łączna suma globalnych inwestycji przekroczyła €40 mld, z wyraźną dominacją regionu APAC (47%), który po raz pierwszy w historii wyprzedził Europę

Region	Inwestycje rządowe	Udział	Lider	Słabość
APAC	€19 mld+	47%	Chiny €14,6 mld; Japonia \$7,4 mld (2025); Korea €2 mld	Chiny: brak ekosystemu VC; Japonia: nowy start
EUROPA	€13 mld	31%	UK €4 mld, Niemcy €4 mld, Francja €2 mld, Holandia €1 mld	Prywatne VC tylko 5–12% globalnie
AMERYKI	€7,4 mld	18%	USA €5,6 mld (publiczne) + 44% globalnego VC	Publiczne słabsze niż Chiny, ale kompensuje sektor prywatny
BLISKI WSCHÓD/ AFRYKA	€0,4 mld	1%	Izrael €300 mln	Niszowe programy; Qatar Investment Authority wchodzi





3.6. Paradoks europejski: doskonałość naukowa vs. deficyt kapitału prywatnego

Europa stoi wobec paradoksu, który Komisja Europejska sama identyfikuje w Quantum Europe Strategy (COM(2025) 363): kontynent dysponuje najlepszą w przeliczeniu na populację bazą naukową (110 000+ absolwentów), 231 startupami kwantowymi na milion mieszkańców (więcej niż USA i Chiny). Niestety, powściągliwość VC w inwestycjach w technologie kwantowe (tzw. zima kwantowa) i duże zainteresowanie AI doprowadziły do tego, że między 2021 a 2024 rokiem prywatne inwestycje w UE spadły o 40%, podczas gdy w USA potrojiły się. Europejskie firmy kwantowe przyciągają zaledwie 5% globalnego finansowania prywatnego wobec 50% dla firm z USA.

DIGITALEUROPE wskazuje na trzy systemowe przyczyny europejskiego deficytu VC w QT:

- Brak wczesnych użytkowników: KE explicite wskazuje, że Europa "nie posiada wśród dużych graczy przemysłowych wczesnych użytkowników technologii kwantowych" - bez pierwszych klientów startupy nie mają przychodów walidujących inwestycję VC
- Fragmentacja regulacyjna: 27 rynków, 27 systemów certyfikacji, 27 struktur zamówień publicznych - Quantum Act ma to zmienić, ale dopiero od 2026/2027
- Obawy inwestycyjne: europejskie fundusze VC są strukturalnie bardziej konserwatywne; inwestycje w deep-tech z 10-letnim horyzontem zwrotu nie pasuje do standardowych krótkoterminowych umów inwestycyjnych; brakuje europejskiego odpowiednika In-Q-Tel (fundusz non-profit wspierany przez rząd) czy mechanizmów takich jak DARPA.

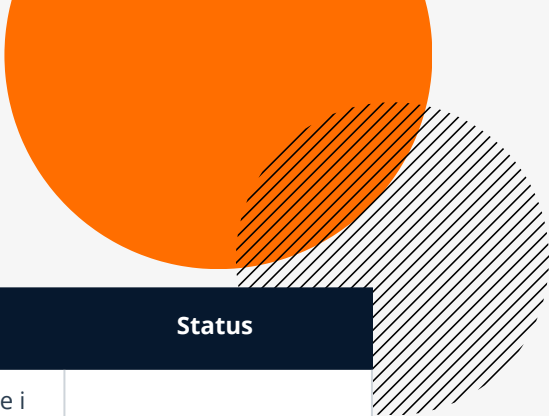
3.7. Komisja Europejska: Quantum Flagship, EuroHPC, Quantum Europe Strategy

Według Raportu Draghi'ego z 2024 r. o konkurencyjności UE, technologie kwantowe to „kolejna przełomowa innowacja w dziedzinie obliczeń, która może otworzyć nowe możliwości dla konkurencyjności przemysłowej i suwerenności technologicznej UE”.

W ciągu ostatnich kilku lat, publiczne inwestycje w technologie kwantowe gwałtownie wzrosły w całej Europie UE realizuje kilka równoległych inicjatyw kwantowych, które razem tworzą kompleksowy - choć nadal fragmentaryczny - program europejski.

Strategia Kwantowa UE: 2 lipca 2025 r. Komisja przyjęła Quantum Europe Strategy — kompleksowy plan transformacji Europy w globalną potęgę kwantową do 2030 r. Strategia skupia się na pięciu obszarach: (1) Badania i Innowacje, (2) Infrastruktura Kwantowa, (3) Wzmocnienie Ekosystemu, (4) Technologie Kosmiczne i Podwójnego Zastosowania, (5) Umiejętności Kwantowe. Szacuje się, że do 2040 r. sektor ten przekroczy wartość €155 miliardów i wygeneruje tysiące wysoko wykwalifikowanych miejsc pracy.

Quantum Act planowany na II kwartał 2026. Ustawa ma stanowić odpowiednik Chips Act dla technologii kwantowych - tworząc zintegrowany europejski rynek i bazę produkcyjną dla technologii kwantowych, zachęcając do inwestycji w pilotażowe linie produkcyjne i koordynując wysiłki wszystkich 27 państw członkowskich.



Inicjatywa UE	Budżet	Zakres	Status
Quantum Technologies Flagship	€1 mld (2018–2028) 307,3 mln (od 2025 w ramach Horizon Europe)	Badania podstawowe i stosowane w QC, QKD, sensoryce, algorytmach — 5000+ naukowców, 200+ firm i jednostek B+R	Aktywny; 2. faza od 2021
Horizon Europe - Klaster 4	€100 mln na AI i technologie kwantowe (€ QT 40 mln) 2023-24	Obliczenia kwantowe, inwestycje w superkomputery oraz wsparcie startupów i MŚP w obszarze deep tech.	Aktywny; 4 programy od marca do maja 2026.
EuroHPC JU — systemy kwantowe	~€50–80 mln na 8 systemów	8 komputerów kwantowych w 8 krajach UE — PIAST-Q (PL), VLQ (CZ), Euro-Q-Exa (DE) już operacyjne	PIAST-Q VI 2025; VLQ IX 2025; Euro-Q-Exa II 2026
EuroQCI — sieć QKD	Część CEF Digital + krajowe	Pan-europejska sieć komunikacji kwantowej; wszystkie 27 państw UE podpisały deklarację (2019)	Projekty transgraniczne od 2026
CEF Digital — Quantum	€389 mln	Sieć, 5G i łączność kwantowa	Ogłoszone XI 2025
EIC dla startupów kwantowych	€350 mln (2021–2024)	Finansowanie startupów kwantowych przez European Innovation Council	Aktywny; €30 mln/firma STEP Scaleup
Quantum Europe Strategy (KOM(2025) 363)	Ramy całościowe	5 obszarów: B+R, infrastruktury, ekosystem, obronność/kosmos, umiejętności — cel: UE lider do 2030	Przyjęta 2 VII 2025
Quantum Act (planowany)	Regulacje	Standardy, certyfikacja, supply chain, dostęp do sieci testbedów	Projekt Q2 2026



Europa zainwestowała wiele w tworzenie wiedzy, ale mechanizmy finansowe i instytucjonalne niezbędne do przejścia od laboratorium do rynku, od prototypu do produkcji, są wciąż słabo rozwinięte. Nabywcy publiczni i prywatni wahają się przed podjęciem działań jako pierwsi użytkownicy, nie mając dojrzałych produktów, a potencjalni inwestorzy czekają na wiarygodne perspektywy przychodów przed zaangażowaniem się w większe finansowanie. Rezultatem jest to, co nazywa się „doliną śmierci”, miejsce zawieszenia między badaniami i obietnicami technologicznymi a wdrożeniem przemysłowym. Niestety brak wsparcia w tym najtrudniejszym momencie powoduje, że część obiecujących rozwiązań nie zostaje nawet zaprezentowanych na rynku komercyjnym.

3.8. Europejskie inwestycje w technologie kwantowe

Kraje europejskie inwestują znacząco w technologie kwantowe, ale nierównomiernie i z różnymi modelami. Państwa członkowskie zadeklarowały łącznie około 9 mld euro w perspektywie do 2030 roku. Analiza poszczególnych krajów ujawnia zarówno wzorce sukcesu (Finlandia, Holandia), jak i ryzyka marginalizacji (kraje bez strategii). Polska może wybrać, którego modelu będzie naśladowcą.

Niemcy

Federalny Plan Działania dla Technologii Kwantowych alokuje łącznie €5,2 mld pozycjonując Niemcy jako europejskiego lidera. Kraj ten wyróżnia nie tylko skala, ale również architektura wsparcia: rząd federalny finansuje infrastrukturę i B+R; kraje związkowe (Bawaria, Badenia-Wirtembergia, NRW) inicjują regionalne programy klastrowe; sektor prywatny (IBM, Infineon, SAP) wnosi pilotaże przemysłowe i zatrudnienie. Ten model publiczno-prywatny tworzy samonapędzający się ekosystem.

Strategia: Framework Programme €650 mln (2018) + Konjunkturpaket €2 mld (2020) + Action Plan for QT €2,25 mld/3 lata (2024). W 2025 roku rząd federalny ogłosił High-Tech Agenda Germany. Technologie kwantowe zostały w niej wskazane jako jedna z sześciu kluczowych technologii niezbędnych dla suwerenności technologicznej i siły gospodarczej Niemiec. Strategia kładzie nacisk na budowę krajowych zdolności aby ograniczyć zależność od zagranicznych dostawców.

Sektor prywatny: W 2025 roku uruchomiono czteroletnią inicjatywę INQUBATOR, koordynowaną przez Fraunhofer IAF. Program skierowany jest do firm spoza ekosystemu kwantowego (zwłaszcza MŚP) zapewniając im niskokosztowy dostęp do komputerów kwantowych od różnych dostawców. Euro-Q-Exa w LRZ Garching (luty 2026, 54 kubitowy kł IQM); IBM Computation Center pierwsze poza USA centrum danych kwantowych (2024, Fraunhofer, Ehningen); Planqc pozyskała 50 mln euro od państwowego funduszu inwestycyjnego DeepTech & Climate Fonds (DTCF); Infineon wraz z eleQtron opracowuje procesory pułapkowe (trapped-ion) wpisując się w strategię budowy krajowych zdolności sprzętowych; BMW, Bosch, SAP w pilotażach; DLR kontrakt €70–80 mln z Universal Quantum (wsółpraca z przemysłem)

Francja

Inwestycje publiczne: €2+ mld (oficjalnie €1,8 mld Plan Quantique)

Strategia: W styczniu 2021 prezydent Macron ogłosił Plan Quantique z budżetem €1,8 mld. Celem planu jest m.in. stworzenie 16000 miejsc pracy do 2030 r. Rząd zobowiązał się do zainwestowania €200 mln rocznie przez pięć lat (łącznie €1 mld), pozostałe €800 mln ma pochodzić od podmiotów przemysłowych i funduszy europejskich.

W marcu 2024 r. Ministerstwo Sił Zbrojnych ogłosiło program PROQCIMA z budżetem €500 mln (5 firm Alice&Bob, PASQAL, Quandela, C12 Quantum Electronics i Quobly, cel: 128 logicznych kubitów do 2030).

W lecie 2024 r. ogłoszono konkurs na utworzenie 5 regionalnych hubów kwantowych we Francji, mających za zadanie ułatwienie transferu technologii między uczelniami a przemysłem (Grand Eas Quantum Hub MaQuEst marzec 2025).

Sektor prywatny: PASQAL dostawca sprzętu kwantowego pozyskał €125 mln w rundach A+B od 2023 r. stając się liderem technologii neutral-atom w Europie; Alice & Bob („cat qubit” finansowanie \$104 mln, Qatar Investment Authority); Quandela (fotoniczne podejście do obliczeń kwantowych, €52 mln); C12 Quantum Electronic pozyskało 18 mln w rundzie z czerwca 2024, Quobly (procesory kwantowe, 19 mln euro) CEA i GENCI jako infrastruktura HPC+Q. W lutym 2026 r. fundusz inwestycyjny Quantonation pozyskał 220 mln. euro na inwestycje w technologie kwantowe (w marcu 2022 r. 91 mln. euro). Quantonation założone w 2018 roku to pierwszy europejski fundusz VC poświęcony startupom kwantowym. Bpifrance jest jednym z najbardziej aktywnych inwestorów w przestrzeni deep tech - zaangażował się w program Quandela.

Holandia

Inwestycje publiczne: €1 mld (Quantum Delta NL)

Strategia: Quantum Delta NL to 7-letni program rządowy z inwestycją 615 mln euro w pierwszej transzy i 273 mln w drugiej. Środki z Krajowego Funduszu wzrostu wspierają trzy główne programy: obliczenia kwantowe, sieci kwantowe i sensing kwantowy.

Sektor prywatny: Według raportu State of quantum opublikowanego przez Quantum Delta NL, prywatne inwestycje w holenderski sektor kwantowy wzrosły szesnastokrotnie z 10 mln w 2019 do 160 mln w 2025. Pięć hubów regionalnych – Delft, Amsterdam, Leiden, Eindhoven i Twente – specjalizuje się w różnych ogniwach łańcucha wartości.

Kraje nordyckie: Finlandia, Szwecja, Dania, Norwegia
Kraje nordyckie łącznie wdrożyły jeden z najspójniejszych regionalnych programów kwantowych w Europie - a NordForsk w raporcie z 2025 roku zidentyfikował ich strategię jako wzorzec dla małych i średnich krajów europejskich. Kluczową wspólną cechą jest silne powiązanie inwestycji infrastrukturalnych z programami talentów i komercjalizacji.

Finlandia

Strategia: opublikowana 24 kwietnia 2025 r. definiuje Finlandię jako jeden z niewielu krajów zdolnych do produkcji kompletnych komputerów kwantowych. Strategia obejmuje horyzont 2025–2035 i wyznacza osiem konkretnych działań do wdrożenia w latach 2025–2026. Strategia stawia ambitne cele dla wzrostu biznesu kwantowego i przyciągania międzynarodowych inwestycji, firm i ekspertów, obejmując: tworzenie wiodącego środowiska dla obliczeń kwantowych, infrastrukturę wspierającą rozwój urządzeń kwantowych, wzmocnienie umiejętności, długoterminowy program R&D oraz finansowanie globalnego wzrostu firm. Finlandia buduje obiekt **Kvanttinova** — przemysłowy ośrodek pilotażowy i rozwojowy dla mikroelektroniki i technologii kwantowych, który umożliwi komercyjny rozwój przed wdrożeniem produkcji małoseryjnej.

NATO zatwierdziło fiński wniosek o ustanowienie akceleratora **DIANA** dla startupów skupionego na komunikacji nowej generacji i technologiach kwantowych. Centrum testowe w Otaniemi specjalizuje się w technologiach kwantowych, cyberbezpiecznych komunikacji i technologiach kosmicznych.

National Funding Agency Business Finland finansuje stosowane badania i działalność przemysłową poprzez dedykowany Quantum Program, który pomaga również zagranicznym firmom i specjalistom integrować się z fińskim ekosystemem kwantowym.

Sektor prywatny: IQM Quantum Computers we wrześniu 2025 r. pozyskało €275 milionów (ok. \$320 mln) w rundzie B - największej rundzie kwantowej w Europie. Rundę poprowadził Ten Eleven Ventures (USA, pierwszy inwestor amerykański IQM), a wśród uczestników znalazły się fińskie fundusze emerytalne Elo i Varma, strategiczni inwestorzy Schwarz Group i Winbond, oraz EIC i Bayern Kapital. Firma IQM została założona przez naukowców wywodzących się z Instytutu VTT, w tej chwili zatrudnia około 300 pracowników i dostarczył komputery kwantowe do 10 krajów

Szwecja

Model szwedzki jest unikatowy w skali Europy, ponieważ głównym inwestorem nie jest państwo, lecz prywatna Fundacja Knut i Alice Wallenberg (KAW). Wallenberg Centre for Quantum Technology WACQT był jednym z pierwszych na świecie wielkoformatowych programów kwantowych finansowanych wyłącznie przez prywatną fundację. W latach 2018-2029 budżet fundacji na technologie kwantowe wynosi 2,9 mld i kolejne SEK 6,5 mld proponowane,

Strategia: Rząd szwedzki powierzył Szwedzkiej Radzie Badań zadanie opracowania podstaw pod Narodową Strategię Kwantową na lata 2025-2030.

Dania

Strategia: Narodowa Strategia dla Technologii Kwantowych (2023) przewiduje łącznie €406 mln. Rząd zobowiązał się do priorytetowego finansowania, tak aby w latach 2023–2027 łącznie DKK 1 miliard (~€134 mln) zostało alokowane na badania i innowacje kwantowe. Część 2 strategii przeznaczona na dodatkowe DKK 200 milionów w latach 2024–2027 na wzmocnienie komercjalizacji, bezpieczeństwa i współpracy międzynarodowej.

Sektor prywatny: Fundacja Novo Nordisk przyznała DKK 1,5 miliarda ok. 200 mln euro (12-letni grant) badaczom z Instytutu Nielsa Bohra na Uniwersytecie Kopenhaskim, dążącym do zbudowania w pełni funkcjonalnego, powszechnie stosowanego komputera kwantowego przed końcem 2034 r.; QuNorth i komputer Magne: neutralne atomy (Atom Computing sprzęt i Microsoft oprogramowanie); NATO DIANA Quantum Centre w Kopenhadze. 2 października 2025 r. w Kopenhadze ogłoszono uruchomienie funduszu 55 North — zarządzanego przez EIFO i Novo Holdings, z docelową wartością €300 milionów i pierwszym zamknięciem na €134 milionów. Jest to największy na świecie fundusz VC skupiony wyłącznie na technologiach kwantowych.



Norwegia

Norwegia była jedynym krajem nordyckim pozbawionym narodowej strategii dla technologii kwantowych, co ograniczało jej zdolność do utrzymania konkurencyjności. Rząd norweski przeznaczał zaledwie NOK 70 milionów rocznie na technologie kwantowe — kwotę kwestionowaną przez wiele podmiotów jako zupełnie niewystarczającą.

W maju 2025 r. rząd norweski oficjalnie uruchomił proces tworzenia narodowej strategii dla technologii kwantowych — wzorując się na Danii i Finlandii. Strategia będzie opierać się na bazie wiedzy przygotowanej przez Radę Badań Norwegii, Innovation Norway i Norweską Służbę Bezpieczeństwa Narodowego.

We wrześniu 2025 r. premier i Minister ds. Cyfryzacji ogłosili pakiet finansowania kwantowego na poziomie NOK 1,1 miliarda (~100 mln USD) na pięć lat. Na kwotę tę składa się nowy pakiet NOK 750 milionów (~70 mln USD) oraz bieżące roczne inwestycje w wysokości NOK 70 milionów (~6,5 mln USD). Norwegia ogłosiła również powołanie czterech nowych centrów badawczych technologii kwantowych z budżetem NOK 244 milionów rozłożonym na pięć lat, obejmując trzy filary: obliczenia kwantowe, komunikację kwantową i sensorykę kwantową.

Sektor prywatny: Kongsberg Gruppen uruchomił dedykowaną jednostkę ds. technologii przełomowych skupioną na sensoryce kwantowej. Priorytetowymi obszarami są: precyzyjna nawigacja, wykrywanie podmorskie oraz bezpieczna komunikacja. W grudniu 2025 r. dwanaście największych norweskich firm i organizacji — Aker, Cognite, DNB, DNV, Equinor, Hydro, SINTEF, Telenor, Vår Energi, Yara, NHO i Kongsberg — podpisało list intencyjny o uruchomieniu skoordynowanej krajowej inicjatywy technologicznej obejmującej AI i technologie kwantowe. To wspólna inicjatywa środowiska biznesowego i Konfederacji Norweskiego Przemysłu (NHO).

Austria, Włochy, Hiszpania

Austria: Quantum Austria flagowy program rozwoju QT z ok. 107 mln euro pochodzące ze środków odbudowy NextGenEU. Celem jest podniesienie konkurencyjności Austrii i wzmocnienie współpracy w tym strategicznym obszarze. Finansowanie obejmuje zarówno badania podstawowe, jak i rozwój praktycznych zastosowań. W grudniu 2024 uruchomiono inicjatywę Quantum to Market finansowaną z Future Fund Austria z budżetem 4 mln euro wspierającą wdrożenia przemysłowe i komercjalizację QT. FFG

(Forschungsforderungsgesellschaft - Agencja Wspierania Badań) bezpośrednio zainwestowała też 5 mln euro w Alpine Quantum Technologies GmbH (AQT) dostawcę komputera kwantowego Piast-q do PCSS.

Włochy: W latach 2021 – 2024 zostało zainwestowane około ok 227,4 mln euro. National QT Strategy z 2025 roku proponuje nakłady do 200 mln euro rocznie przez 5 lat (łącznie 1 mld) ale na marzec 2026 r. środki te nie zostały formalnie przyznane. Flagowym programem infrastrukturalnym jest EuroQCS-Italy, na potrzeby którego zakupiono komputer kwantowy na neutralnych atomach dostarczony przez francuską firmę Pasqal. Równolegle w marcu 2025 ogłoszono dostawę 54-kubitowego komputera kwantowego Radiance firmy IQM.

Hiszpania: W kwietniu 2025 rząd Hiszpanii ogłosił pierwszą Strategię Technologii Kwantowych Quantum Strategy España z budżetem €808 mln euro (2025–2030), finansowanym z dwóch głównych źródeł: Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego (ERDF) oraz Planu Odbudowy, Transformacji i Odporności (PRTR).

Szwajcaria

Swiss Quantum Strategy (marzec 2026) rekomenduje inwestycje 200–300 mln CHF, której celem jest utworzenie krajowego hubu kwantowego i dedykowanej infrastruktury: cleanroomy, laboratoria testowe i centra kompetencji.

Swiss Quantum Initiative – flagowy program z inwestycją 20 mln CHF (2023-24) oraz 82,1 mln CHF (2025-28). Inicjatywa kierowana przez Swiss Quantum Commission (SQC) finansuje badania, innowacje i infrastrukturę kwantową w obszarach obliczeń, komunikacji i sensingu. Kolejna inicjatywa to inwestycja w Narodowe Centra Kompetencji w Badaniach (NCCR), w ramach której inwestycja na przestrzeni ponad dwóch dekad wyniosła około 200 mln CHF.

QuantumBasel to największa prywatna inicjatywa kwantowa w Szwajcarii, finansowana ze środków projektu uptownBasel o wartości 500 mln USD.

Izrael

Israel National Quantum Initiative (INQI) jest wspólnym przedsięwzięciem rządowych agencji B+R. Całkowita wartość programu to ponad 400 mln USD. Program wspiera obliczenia kwantowe, komunikację, sensing oraz rozwój krajowego centrum komputerów kwantowych i strategiczne partnerstwa międzynarodowe.

Izrael jest członkiem programu Horizon Europe od grudnia 2021 r. jako pierwszy nieeuropejski kraj stowarzyszony, natomiast od października 2023 również EuroHPC JU.

W październiku 2025 przedstawiono plan utworzenia funduszu kwantowego USA–Izrael z budżetem 200 mln USD zakładający 100 mln publicznych środków od obu krajów w czteroletnim okresie od 2026 roku.

Wielka Brytania

Strategia: National Quantum Strategy z 2023 jest kontynuacją National Quantum Technologies Programme z lat 2013–2023 (wówczas budżet wynosił £1 mld) i zobowiązuje rząd do wydania £2,5 mld na 10 lat od 2024 roku. Celem jest również wygenerowanie £1 miliarda prywatnych inwestycji. Strategia obejmuje sieć hubów badawczych, programy akceleratorów, finansowanie innowacji oraz współpracę międzynarodową.

W październiku 2024 otwarto National Quantum Computing Centre (NQCC) z budżetem £143 mln, w którym docelowo ma stanąć 12 komputerów kwantowych różnych architektur.

ProQure: Rząd UK (DSIT i HM Treasury) ogłosił pakiet inwestycji £2 miliardów na budowę wielkoskalowej infrastruktury komputerów kwantowych do początku lat 30. XXI w. Kwota obejmuje £1 miliard na przełomowy program zamówień publicznych ProQure (uruchomiony pod koniec marca 2026) oraz ponad £1 miliard na cztery lata na rozwój technologii, umiejętności i obiekty. Środki podzielono na: £500 mln (zastosowania kwantowe w farmacji i finansach), £400 mln (sensoryka i nawigacja), £125 mln (sieci kwantowe), £205 mln (diagnostyka medyczna i bezpieczna komunikacja).

Sektor prywatny: Najsilniejszy europejski rynek VC: Oxford Ionics (\$1 mld przejęcie przez IonQ VI 2025); Quantinuum (Honeywell, \$625 mln runda 2024); PsiQuantum (biuro UK)



3.9. Kwantowy wyścig inwestycyjny USA i Chiny

USA lider prywatny, strategia publiczna

Stany Zjednoczone są globalnym liderem w finansowaniu prywatnym technologii kwantowych, jednocześnie rząd federalny konsekwentnie realizuje National Quantum Initiative, który jest fundamentem całego systemu. Ustawa NQI Act zobowiązuje agencje federalne do koordynowania działań badawczo-rozwojowych w zakresie kwantowych inicjatyw i tworzenia centrów oraz konsorcjów. Inwestycje federalne są prowadzone przez ponad tuzin agencji.

Inwestycje publiczne: Inwestycje publiczne: Stany Zjednoczone przodują w inwestycjach rządowych – 5,6 mld. Federalne programy nastawione są na silny rozwój technologii kwantowych, zwłaszcza w kontekście wyścigu z Chinami. Rząd konsekwentnie realizuje National Quantum Initiative, rozszerzając ją o nowe programy o bezprecedensowej skali.

Strategia: National Quantum Initiative (2018, 2023 reautoryzacja)

Ustawa reautoryzacyjna NQI przewiduje \$1,8 miliarda w ciągu pięciu lat (2025–2029).

Departament Energii (DOE) w 2025 r. ogłosił ustawę o przywództwie kwantowym, gdzie proponuje \$2,5 miliarda w latach 2026–2030.

DARPA prowadzi program US2QC (Underexplored Systems for Utility-Scale Quantum Computing).

Prowadzony jest też Quantum Benchmarking Initiative (QBI) — rygorystyczna ewaluacja platform sprzętowych przez 50-osobowy zespół ekspertów, oceniający, które systemy mogą osiągnąć użyteczną skalę kwantową i kiedy. W listopadzie 2025 r. DARPA ogłosiło kolejny etap QBI, wybierając 11 firm na dofinansowanie do \$15 milionów każda w celu osiągnięcia użytecznej skali kwantowej do 2033 r.

Sektor prywatny: Dominacja: 44% globalnego finansowania kwantowego VC; PsiQuantum, IonQ, Quantinuum, D-Wave, IBM Quantum - wszystkie z US headquarters lub głównym finansowaniem

Google / Alphabet — Willow i Quantum AI Google zademonstrował chip Willow. IBM ogłosiło mapę drogową systemu Quantum Starling na 2029 r. z 200 logicznymi kubitami. Alphabet planuje wydatki kapitałowe na infrastrukturę chmurową i badawczą, wśród których kwantowe AI stanowi kluczowy priorytet.

Inwestycje prywatne – kluczowe startupy

PsiQuantum (fotonika, Palo Alto) osiągnął wycenę \$7 miliardów po pozyskaniu \$1 miliarda w rundzie Series E (wrzesień 2025), poprowadzonej przez BlackRock, Temasek i Baillie Gifford, z udziałem ramienia VC Nvidii. Firma planuje opracowanie systemów 1 miliona kubitów do końca 2027 r.

Microsoft - Majorana 1 i laboratoria w Danii

Microsoft wprowadził chip Majorana 1 - procesor oparty na topologicznych kubitach. Firma wierzy, że technologia może skalować się do miliona kubitów na jednym chipie. Microsoft zainwestował ponad \$1 miliard w badania kwantowe, koncentrując się na topologicznych kubitach opartych na modach Majorany - podejściu potencjalnie znacznie bardziej skalowalnym niż nadprzewodzące komputery rywali..

IBM - roadmap i centrum danych Ehningen

Mapa drogowa IBM zakłada systemy 1000 logicznych kubitów na początku lat 30. XXI w. oraz superkomputer kwantowy ze 100 000 kubitów do 2033 r.

Amazon - chip Ocelot Amazon (AWS) ogłosił w lutym 2025 r. chip kwantowy Ocelot, oparty na technologii cat qubitów - implementując korekcję błędów porównywalną z konkurentami przy znacząco mniejszej liczbie fizycznych kubitów.

The NVIDIA Accelerated Quantum Computing

NVIDIA zapowiedziała powstanie centrum badawczego NVIDIA Accelerated Quantum Computing (NAQC) w Bostonie, łączący superkomputery AI z badaniami kwantowymi. NVIDIA zainwestowała w ciągu jednego tygodnia we wrześniu 2025 r. w trzy startupy kwantowe: Quantinuum (\$600 mln), PsiQuantum (\$1 mld) i QuEra Computing (kwota nieujawniona).

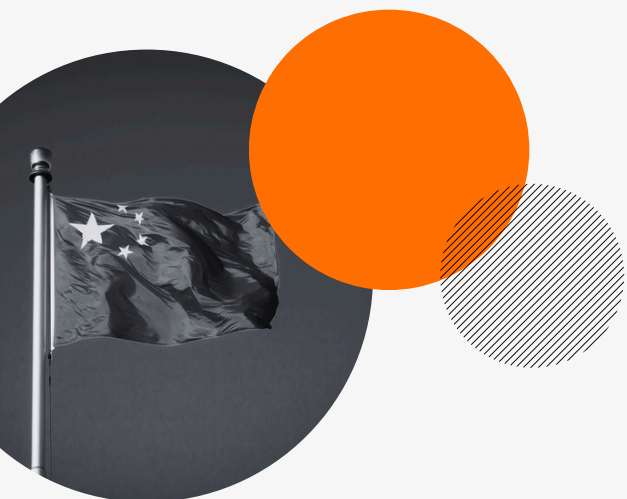


Quantinuum (trapped ions, Colorado — joint venture Honeywell) osiągnął wycenę \$10 miliardów po napływie \$600 milionów kapitału ogłoszonym we wrześniu 2025 r. Wśród inwestorów znalazły się Quanta Computer, NVentures (NVIDIA) oraz dotychczasowi partnerzy JPMorgan Chase i Honeywell.

IonQ (trapped ions, College Park, Maryland — spółka giełdowa) pozyskało \$2 miliardy w ofercie akcji, poprzedzonej inwestycją \$36,7 miliona od Amazon. IonQ osiągnął kapitalizację rynkową \$24,5 miliarda z wynikiem 712% w ciągu roku (stan na październik 2025 r.). Firma dokonała przejęć: Lightsynq, Capella Space, ID Quantique, Vector Atomic oraz — w największej transakcji w sektorze — Oxford Ionics za ponad \$1 miliard.

QuEra Computing (neutralne atomy, Boston) pozyskała w lutym 2025 r. \$230 milionów w konwertowalnej rundzie finansowania, przy udziale Google Ventures i SoftBank Vision Fund.

JPMorgan Chase ogłosił \$10 miliardów strategicznego funduszu technologicznego, który bezpośrednio wskazuje obliczenia kwantowe jako priorytetowy obszar inwestycji.



Chiny - dominacja inwestycji publicznych

Chiny są największym państwowym inwestorem w technologie kwantowe na świecie, ale struktura i charakter tych inwestycji radykalnie różnią się od modelu zachodniego. Łączne inwestycje publiczne szacuje się na ok. \$15,3 mld USD. Koncentracja na stosowanych B+R i infrastrukturze komunikacyjnej zamiast podstawowych badaniach i ekosystemie startupowym ma daleko idące implikacje

Strategia: Chiny w swoim 15. Planie Pięcioletnim zakładają, że technologie kwantowe będą jednym z priorytetów rozwoju kraju, co wiąże się z kolejnymi celami wieloletniego planu modernizacji gospodarki do 2049. Główna inwestycja koncentruje się wokół Narodowego Laboratorium Nauk o Informacji Kwantowej (Hefei) oraz na trzech obszarach: komunikacja kwantowa, komputery kwantowe oraz nawigacja kwantowa.

Sektor prywatny: niemal zerowy udział VC: główni hiperskalerzy (Alibaba, Huawei, Baidu, Tencent) ograniczyli działalność kwantową w ostatnich latach. Inwestycje prywatne to ułamek zachodnich. Chiny nie starają się zbudować ekosystemu startupowego na wzór Silicon Valley - budują swój potencjał technologiczny: infrastrukturę QKD, systemy nawigacji kwantowej dla wojska i sensorykę dla celów wywiadowczych. Ta strategia jest efektywna w konkretnych celach militarnych i infrastrukturalnych, ale prawdopodobnie mniej skuteczna w generowaniu innowacji komercyjnych.



3.10. Pozycja wyjściowa Polski - aktywa i luki strategiczne

Polska stoi u progu przełomu kwantowego - nie jako lider, lecz jako najbardziej dynamicznie rozwijający się gracz w Europie Środkowo-Wschodniej. Zajmuje również paradoksalną pozycję w europejskim krajobrazie kwantowym: ma rzeczywiste, konkretne aktywa - komputery kwantowe o infrastrukturze zamkniętej tak jak np. PIAST-Q (pierwszy system EuroHPC QC, VI 2025), otwartą infrastrukturę komputera kwantowego jaką jest MIKOK (projekt na potrzeby wojskowe finansowany przez NCBR, 56 mln zł), koordynację QuantERA (41 agencji, 31 krajów). Konfrontacja posiadanych aktywów z brakami strategicznymi ujawnia paradoks: Polska jest jedyną dużą gospodarką UE bez narodowej strategii kwantowej. Ministerstwo Cyfryzacji opracowuje właśnie założenia polityki rozwoju technologii kwantowych w Polsce zakładające inwestycję na poziomie minimum 1 mld EUR na dekadę 2027–2036, lecz wciąż nie został formalnie przyjęty.

W każdej kategorii - budżet, strategia/polityka, narodowy producent, program edukacyjny, ekosystem startupów, fundusz VC - Polska jest poniżej Austrii (gospodarka 4x mniejsza), Danii (gospodarka 5x mniejsza) i Norwegii (gospodarka 3x mniejsza). Paradoksalnie, przy wszystkich tych brakach, ma lepszy punkt startowy niż Finlandia w 2019 roku - przed powstaniem IQM. Analiza polskiego ekosystemu kwantowego ujawnia również inną interesującą dysproporcję: Polska posiada nieoczekiwanie mocne fundamenty naukowe i infrastrukturalne, przy zaskakująco niskim zaangażowaniu politycznym i inwestycyjnym. Tabela przedstawia kompleksowy bilans.

Narodowy lider	Creotech Instruments GPW - buduje QC dla KE; wydzielenie spółki Quantum Creotech w 2026	★★★★ Silny
Sieć QKD	PIONIER-Q w budowie przez EuroQCI	★★★ Obiecująca
Talent technologiczny	650 000+ specjalistów IT - #1 CEE; 74 000 absolwentów ICT/rok; #3 globalnie w	★★★★★ Wyjątkowy
Startupy kwantowe	BEIT, ResQuant; FinQbit, załóżkowy ekosystem	★★ Wczesna faza
Strategia narodowa	BRAK - jedyna duża gospodarka UE bez dedykowanego programu kwantowego. Polityka kwantowa w trakcie procesu tworzenia. Dotychczas dwie publikacje założeń: 28.08.2025 oraz 13.03.2026	⚠ Krytyczna luka
Inwestycje rządowe	Praktycznie brak dedykowanych dla QT vs. €3+ mld Niemiec; VC kwantowe: zero	⚠ Rażąco niskie
Integracja UE	Sygnatariusz EuroQCI; część EuroHPC JU; aktywny w Quantum Flagship	★★★★ Dobra



Technologie kwantowe mają wymiar strategiczny wykraczający daleko poza ekonomikę sektorów. Dla Polski - kraju na wschodniej flance NATO, graniczącego z aktywną strefą konfliktu - suwerenność kwantowa jest kwestią egzystencjalną, nie opcjonalną.

3.11. Finansowanie publiczne - mozaika programów bez spójnej strategii

Deklarowana w założeniach do polityki kwantowej inwestycja €1 mld w horyzoncie 10 lat (€100 mln/rok) stanowi minimum strategiczne dla Polski – poziom porównywalny z programem narodowym Austrii i nieznacznie przekraczający zaangażowanie Danii. Pozycjonuje Polskę jako aktywnego uczestnika europejskiego ekosystemu kwantowego, jednak nie jako lidera.

Dotychczasowe finansowanie odbywało się poprzez rozproszone mechanizmy - fundusze strukturalne UE, programy NCBiR, budżety ministerialne i programy europejskie. Brak jednego, spójnego planu finansowego jest jedną z głównych słabości polskiego ekosystemu.

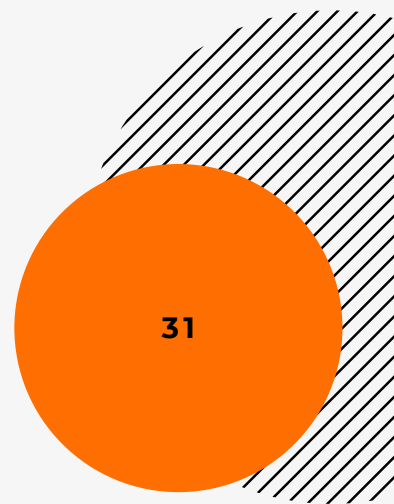


Program NLPQT (Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych)

stanowi największą dotychczasową krajową inwestycję w infrastrukturę kwantową. Całkowity budżet wyniósł 206,97 mln PLN (w tym 145,16 mln PLN z EFRR w ramach POIR 2014–2020, działanie 4.2). Projekt realizowany w konsorcjum Uniwersytetu Warszawskiego (UW), Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Politechniki Śląskiej, Politechniki Wrocławskiej (PWr), Instytutu Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej (UMCS) w Lublinie i Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (UMK) w Toruniu. Projekt zakończył się w grudniu 2023 r. Celem było stworzenie Narodowego Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych. Jest to infrastruktura rozproszona, utworzona przez konsorcjum instytucji naukowych w 6 województwach. W wyniku realizacji projektu powstał system dystrybucji wzorcowych sygnałów częstotliwości oparty na optycznym zegarze atomowym oraz sieci światłowodowej PIONIER. Obsługuje on najważniejsze ośrodki akademickie w Polsce, a także odbiorców komercyjnych – sieć laboratoriów naukowych specjalizujących się w fotonice oraz sieć laboratoriów naukowych prowadzących badania w dziedzinie technologii kwantowych. NCBiR finansuje technologie kwantowe głównie poprzez program SZAFIR (obronność i bezpieczeństwo).

Dwa kluczowe projekty to **MIKOK** – prototyp modularnego komputera kwantowego na jonach uwieczonych (Ca-40+) do zastosowań wojskowych, z budżetem 56 mln PLN, realizowany przez konsorcjum Politechniki Warszawskiej (CEZAMAT), WAT, WITU, Politechniki Śląskiej i Sonovero R&D oraz **OPTOKRYPT** system kwantowej kryptografii optycznej za 21,2 mln PLN, realizowany przez WAT, TELDAT i NASK. Łącznie NCBiR zainwestowało ponad 77 mln PLN bezpośrednio w projekty kwantowe.

Ministerstwo Cyfryzacji współfinansuje **EuroQCS-Poland** kwotą ok. 6,14 mln EUR (50% kosztu akwizycji komputera PIAST-Q), a także przeznaczyło ponad 10 mln PLN na **program edukacji kwantowej** realizowany przez PCSS. FENG (Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki 2021–2027) oferuje za to realne możliwości. Technologie kwantowe są explicitie wymienione jako kwalifikowane w ramach programu STEP DIGITAL/DEEPTech (działanie 5.1), Poland z konkursami PARP (dla MŚP) i NCBiR (dla dużych podmiotów). Maksymalne dofinansowanie to 150 mln PLN na projekt przy 75% intensywności. W harmonogramie na 2025–2026 zaplanowano 22 nowe konkursy o łącznej wartości min. 1,7 mld PLN. PARP pełni rolę instytucji pośredniczącej – prowadzi konkursy STEP oraz Ścieżkę SMART, w których projekty kwantowe mogą startować.



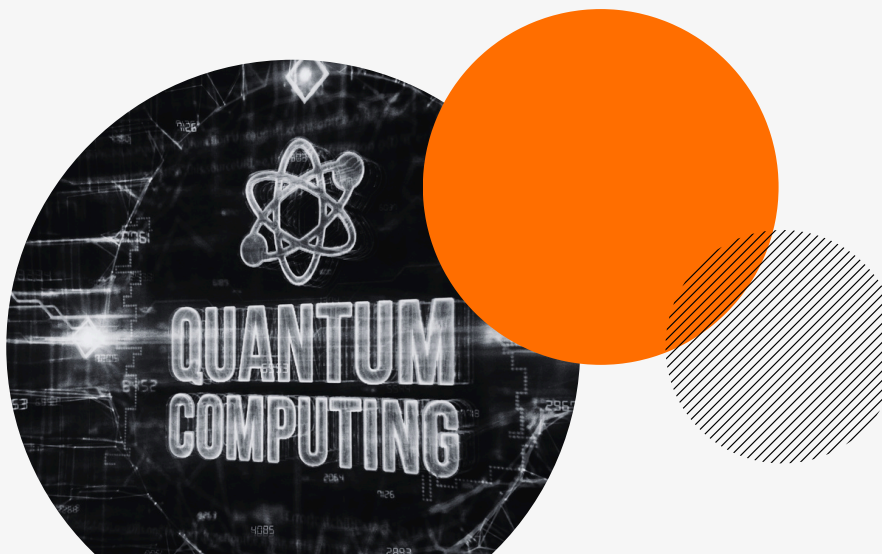
3.12. Sektor prywatny - Creotech jako filar i kilka obiecujących startupów

Polski ekosystem startupów kwantowych jest niewielki, lecz jakościowo wyróżnia się na tle regionu CEE. Rynek prywatnego kapitału w polskich technologiach kwantowych jest na etapie wczesnym i – w porównaniu z finansowaniem publicznym – ma ograniczoną liczbę ujawnionych transakcji o jednoznacznie „kwantowym” profilu technologicznym (quantum materials / quantum software / quantum security / quantum hardware). W praktyce część finansowań odbywa się przez emisje akcji (rynek publiczny) lub rundy anielskie, a w komunikacji spółek często pojawiają się także środki grantowe jako istotny komponent finansowania działalności B+R.

Kluczowym graczem polskiego prywatnego rynku jest Creotech Instruments S.A., notowana na głównym rynku GPW od lipca 2022 r. Spółka przeprowadziła właśnie formalny podział – wydzielenie dywizji kwantowej do osobnej spółki Creotech Quantum S.A. Debiut Creotech Quantum na głównym rynku GPW planowany jest na 17 kwietnia 2026 r. Będzie to pierwsza na świecie notowana czysto kwantowa spółka z regionu CEE. Kluczowe projekty kwantowe Creotech obejmują: platformę Sinara (open-hardware elektronika kontrolna dla procesorów kwantowych, używana w CERN, GSI, DESY), eCAUSIS (lider projektu Horizon Europe wartego 7 mln EUR - rozwój komercyjnych modułów QKD), udział w konsorcjum budowy pierwszego dużego europejskiego komputera kwantowego (100 kubitów, gotowość technologiczna na 1000 kubitów do 2029), partnerstwo w EuroQCS-Poland oraz umowę strategiczną z Eutelsat w ramach programu IRIS2 (10,6 mld EUR europejska bezpieczna łączność satelitarna).

Poza Creotech, w Polsce działają inne startupy związane z technologiami kwantowymi m.in.:

- BEIT.TECH – startup prowadzący działania badawczo-rozwojowe na rzecz stworzenia oprogramowania do obliczeń kwantowych, opracowuje nowatorskie algorytmy kwantowe i sposób ich implementacji, żeby poszerzyć możliwości wykorzystania dostępnego obecnie sprzętu kwantowego. Oprogramowanie ma rozwiązywać przede wszystkim problemy związane z logistyką, produkcją i magazynowaniem na dużą skalę.
- ResQuant – startup deep-tech rozwijający rozwiązania w obszarze quantum computing i algorytmów postkwantowych. Przeszedł akcelerację NATO DIANA.
- FinQubit – startup rozwijający oprogramowanie do kwantowych analiz ryzyka. Pod koniec 2025 roku zdobył finansowanie w wysokości 3 mln PLN (Q4 2025; inwestorzy anielscy i sieci).
- Sonovero – wchodzi w skład konsorcjum projektu MIKOK “Opracowanie modularnej infrastruktury komputera kwantowego do specjalnych i wojskowych zastosowań informatycznych” i odpowiedzialny jest za budowę systemu informatycznego do udostępniania i wykonywania eksperymentów kwantowych, składającego się m.in. z: Bezpiecznej Platformy Wielodostępowej, zestawu narzędzi do prowadzenia eksperymentów kwantowych oraz kompilatora komputera kwantowego





3.13. Zaangażowanie dużego biznesu

Duże polskie korporacje – ORLEN, PKO BP, Asseco, Comarch, PKP – nie prowadzą znaczących projektów kwantowych. ORLEN VC (fundusz o wartości 100 mln EUR) inwestuje w energetykę, cyberbezpieczeństwo i IoT, lecz nie w technologie kwantowe. Brak zapotrzebowania ze strony dużego biznesu to istotna luka w polskim ekosystemie.

Zagraniczne firmy technologiczne są natomiast coraz bardziej aktywne w Polsce. **IBM** uruchomił w 2022 r. przy PCSS pierwszy w Europie Środkowo-Wschodniej IBM Quantum Hub. **IQM** (Finlandia) zainstalowało na Politechnice Wrocławskiej pierwszy w Polsce nadprzewodnikowy 5-kubitowy komputer kwantowy ODRA 5. **ORCA Computing** (UK) dostarczyło PCSS dwa fotoniczne systemy kwantowe PT-1.

VC inwestujące w technologie kwantowe w Polsce

Kluczowym wydarzeniem na rynku VC było uruchomienie w maju 2025 r. przez Ministerstwo Finansów, Polski Fundusz Rozwoju i PFR Ventures programu PFR Deep Tech o wartości 600 mln PLN (~150 mln EUR), explicite obejmującego „innowacje kwantowe” wśród sektorów docelowych. Ponadto OTB Ventures (fundusz 185 mln USD, z inwestorami EIF i NATO Innovation Fund) pokrywa deep tech, w tym komputery kwantowe. NATO Innovation Fund (1 mld EUR) wymienia quantum computing wśród kluczowych tematów inwestycyjnych.

3.14. Podsumowanie

Analiza globalnych strategii i inwestycji, które już dziś przekraczają 33 miliardy dolarów, prowadzi do wniosku, którego nie da się zignorować: świat właśnie ustala zasady gry w technologiach kwantowych – i robi to bez czekania na Polskę. Jednocześnie Polska znajduje się w sytuacji absolutnie wyjątkowej. Ma wszystko, czego inni latami nie potrafili zbudować: silne zaplecze naukowe, rozwijającą się infrastrukturę, pierwsze spółki technologiczne i realną obecność w europejskich inicjatywach. Problem polega na tym, że to nie potencjał decyduje o pozycji w tej grze, tylko decyzja. Bez niej Polska bardzo szybko stanie się rynkiem dla cudzych technologii, zamiast ich współtwórcą.

Okno działania jest wąskie i precyzyjnie określone. Wraz z nadchodzącym Quantum Act w Unii Europejskiej (2026) kształtuje się nowa architektura technologiczna Europy. Państwa, które wejdą do gry teraz, będą współtworzyć jej zasady. Pozostałe będą musiały się do nich dostosować.

Rok 2026 jest strategiczny dla rozwoju technologii kwantowych w naszym kraju, dlatego, że to jest moment wyboru. Albo Polska przechodzi od rozproszonych inicjatyw do spójnej strategii i zaczyna grać o pozycję lidera w regionie, albo akceptuje rolę odbiorcy technologii rozwijanych gdzie indziej i staje się marginesem technologicznym.

W tej decyzji nie chodzi o technologie, lecz o miejsce Polski w gospodarce przyszłości.



4. Suwerenność cyfrowa Polski jako problem warstwowy

dr inż. Joanna Kołodziejczyk
Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy

Wstęp

Suwerenność cyfrowa nie jest cechą pojedynczego produktu ani prostą decyzją zakupową. Jest zdolnością państwa do utrzymania ciągłości działania, kontroli danych, audytu, migracji i kształtowania reguł rynku w całym stosie technologicznym: od sprzętu i łączności po systemy, chmurę, aplikacje i modele sztucznej inteligencji. Dane SIA, Eurostatu, Komisji Europejskiej i GUS pokazują, że Polska wchodzi w fazę głębokiej cyfryzacji procesów gospodarczych, ale jednocześnie pozostaje silnie zależna od zewnętrznych łańcuchów dostaw, platform i ekosystemów aplikacyjnych. Wniosek polityczny jest następujący: pełne uniezależnienie nie jest realne w krótkim horyzoncie, natomiast możliwa i konieczna jest systematyczna redukcja zależności poprzez otwarte standardy, przenośność danych, architekturę referencyjną sektora publicznego i rozwój krajowych kompetencji integracyjnych.

Suwerenność cyfrowa jako diagnoza systemowa

Największym uproszczeniem w debacie o suwerenności cyfrowej jest utożsamienie jej z miejscem produkcji pojedynczego komponentu. O suwerenności nie rozstrzyga wyłącznie to, czy sprzęt, system operacyjny albo usługa pochodzi od dostawcy krajowego czy zagranicznego. Rozstrzyga ją coś trudniejszego do osiągnięcia: czy państwo, administracja i gospodarka są w stanie utrzymać ciągłość działania w warunkach zaburzenia dostaw, jednostronnej zmiany warunków licencyjnych, wzrostu cen, utraty wsparcia albo napięcia geopolitycznego. W tym sensie brak suwerenności nie jest wydarzeniem jednorazowym. Jest stanem strukturalnym, który powstaje przez lata: przez zakupy, standardy de facto, przyzwyczajenia użytkowników, integracje między systemami, dominujące formaty dokumentów i brak alternatywy kompetencyjnej. Taki stan można opisać warstwowo. Im niższa warstwa, tym zależność jest twardsza kapitałowo; im wyższa warstwa, tym większą rolę odgrywają procedury, interoperacyjność i koszt migracji.



WERSJA WIZUALNA

LUKI SUWERENNOŚCI CYFROWEJ

układ warstwowy 6 × 3 - wariant bardziej wizualny

K W S

WARSTWA I ELEMENTY

LUKI Z OZNACZENIEM KRYTERIUM

MAPA / SKALA LUK

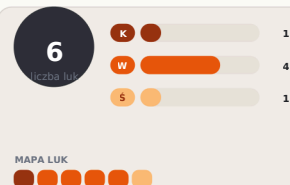
L6 WARSTWA APLIKACJI I USŁUG UŻYTKOWYCH

ELEMENTY

- Pakiety biurowe
- komunikacja
- formaty dokumentów
- środowiska pracy

LUKI

- K Inteligentni asystenci
- W Zagraniczne pakiety biurowe i środowiska pracy
- W Obce platformy komunikacji i współpracy
- W Zamknięte formaty dokumentów i danych
- W Brak pełnej przenaszalności danych
- S Przyzwyczajenia użytkowników i zależność organizacyjna



L5 WARSTWA POŚREDNIA

ELEMENTY

- Zarządzanie tożsamością
- kryptografia
- orkiestracja
- szyny danych
- repozytoria
- monitoring

LUKI

- K Zarządzanie tożsamością i dostępem
- K Kryptografia i zarządzanie kluczami
- W Konteneryzacja i orkiestracja usług
- W Brokerzy komunikatów i szyny integracyjne
- W Bramy API i sterowanie ruchem
- W Repozytoria komponentów i aktualizacji
- W Monitorowanie, logowanie i zdalne zarządzanie
- S Środowiska uruchomieniowe i serwery aplikacyjne



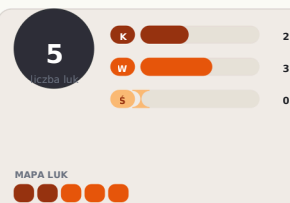
L4 USŁUGI I PLATFORMY INFRASTRUKTURALNE

ELEMENTY

- Chmura
- centra danych
- usługi platformowe (PaaS/IaaS)
- warunki świadczenia usług

LUKI

- K Chmura obliczeniowa poza pełną kontrolą
- K Zewnętrzne centra danych i usługi podstawowe
- W Zamknięte usługi platformowe
- W Ograniczona przenaszalność danych i konfiguracji
- W Ryzyko jednostronnej zmiany warunków usług



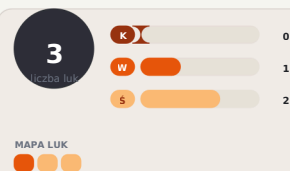
L3 WARSTWA ŁĄCZNOŚCI

ELEMENTY

- Infrastruktura transmisyjna
- operatorzy
- BGP
- jakość połączeń

LUKI

- W Koncentracja dostępu u ograniczonej liczby operatorów i właścicieli sieci
- S Nierównomierna jakość łączności nowej generacji, zwłaszcza 5G średniego pasma i poza dużymi ośrodkami
- S Nierównomierna dostępność wysokiej jakości połączeń



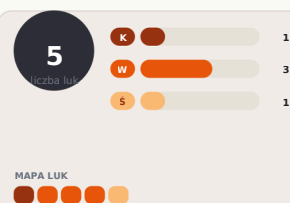
L2 SYSTEM OPERACYJNY

ELEMENTY

- Kernel
- sterowniki
- aktualizacje
- zamknięty kod źródłowy
- wbudowane usługi producenta

LUKI

- K Dominacja zamkniętych systemów operacyjnych
- W Ograniczona możliwość audytu kodu
- W Uzależnienie od cyklu aktualizacji dostawcy
- W Wbudowane usługi producenta
- S Trudność migracji środowisk użytkowników



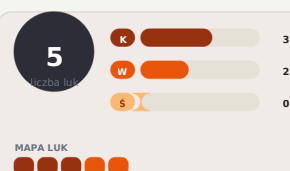
L1 WARSTWA SPRZĘTOWA

ELEMENTY

- CPU
- chipset
- firmware
- BIOS/UEFI
- łańcuch dostaw komponentów

LUKI

- K Nieweryfikowalny firmware i mikrokod
- K Niejawne mechanizmy dostępu w chipsetach i kontrolerach
- K Możliwość fizycznego naruszenia integralności urządzeń
- W Uzależnienie od pozazwanych dostaw
- W Brak możliwości usunięcia zagrożeń środkami programowymi



RAZEM: 32 LUK

K 9 W 18 S 5

RYSUNEK 1. WARSTWOWY MODEL ZALEŻNOŚCI CYFROWEJ: OD SPRZĘTU DO APLIKACJI.



Interpretacja schematu luk w suwerenności cyfrowej

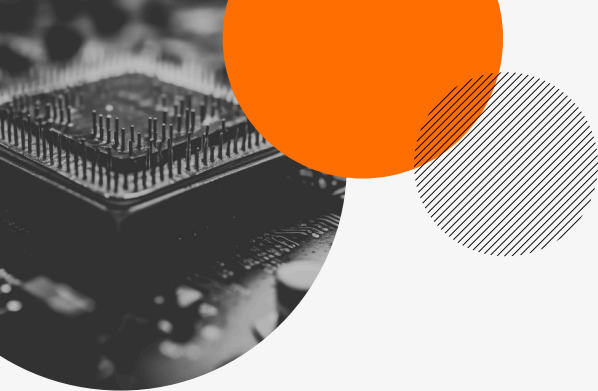
Przedstawiony schemat porządkuje problem suwerenności cyfrowej w układzie warstwowym, ponieważ właśnie taki układ najlepiej oddaje rzeczywisty charakter zależności technologicznych. Nie wszystkie elementy infrastruktury mają to samo znaczenie strategiczne. Im niżej położona jest dana warstwa, tym trudniej ją audytować, zastąpić, naprawić i objąć rzeczywistą kontrolą. Jednocześnie podatność lub zależność powstała w warstwie niższej przenosi skutki na wszystkie warstwy wyższe. Z tego powodu analiza nie może zatrzymywać się na aplikacjach, usługach biurowych czy wygodzie użytkownika końcowego. Punkt ciężkości musi zostać przesunięty w stronę fundamentów: sprzętu, systemu operacyjnego, łączności, usług platformowych oraz dopiero na końcu aplikacji i danych.

W schemacie przedstawionym na rysunku 1 wyodrębniono sześć warstw modelu — od warstwy sprzętowej aż po warstwę aplikacji i usług użytkowych. W obrębie każdej z nich wskazano katalog potencjalnych problemów, określonych zbiorczo mianem luk warstwy. Odnoszą się one do tych obszarów, w których niezależność cyfrowa może zostać naruszona najłatwiej lub w sposób najbardziej dotkliwy dla funkcjonowania całego systemu. Oznaczenia literowe K, W oraz Ś odpowiadają kolejno lukom krytycznym, wysokim i średnim. Za lukę krytyczną uznaje się taki rodzaj zależności lub podatności, którego usunięcie wymaga działań najbardziej złożonych, kosztownych i rozłożonych w czasie. Luka wysoka oznacza obszar istotnego zagrożenia, którego ograniczenie pozostaje wprawdzie łatwiejsze niż w przypadku luk krytycznych, lecz nadal wymaga znaczących nakładów organizacyjnych, finansowych lub technologicznych. Z kolei luka średnia odnosi się do problemów o mniejszej skali oddziaływania, których przezwyciężenie jest relatywnie prostsze, choć nadal istotne z punktu widzenia budowy długofalowej suwerenności cyfrowej. W sumie zidentyfikowano 32 luki o różnym potencjale.

Warstwa nr 1: sprzętowa

Pierwsza warstwa, czyli warstwa sprzętowa, została uznana za najbardziej krytyczną, ponieważ obejmuje elementy, których użytkownik instytucjonalny z reguły nie jest w stanie samodzielnie zweryfikować ani w pełni kontrolować. Procesory, chipsety, oprogramowanie układowe oraz BIOS/UEFI tworzą podstawę zaufania całego systemu cyfrowego. Jeżeli właśnie na tym poziomie występują niejawne mechanizmy dostępu, nieweryfikowalny mikrokod lub trwałe modyfikacje oprogramowania układowego, wówczas wszystkie wyższe warstwy funkcjonują już na fundamencie obciążonym strukturalnym ryzykiem. Zależność sprzętowa nie jest zatem zwykłą zależnością handlową. Oznacza ona podporządkowanie się obcemu mechanizmowi wykonawczemu, którego państwo ani administracja publiczna nie są w stanie w pełni audytować, kontrolować ani samodzielnie naprawiać. Z tego względu warstwa ta została powiązana z takimi skutkami, jak fizyczne naruszenie integralności urządzeń, trwałe mechanizmy dostępu działające poniżej poziomu systemu operacyjnego oraz ograniczona możliwość usunięcia zagrożeń środkami programowymi.

Luka suwerenności w warstwie sprzętowej ma charakter strukturalny, ponieważ Polska i Europa pozostają uczestnikami globalnego łańcucha dostaw półprzewodników, nad którym nie sprawują pełnej kontroli. Raport Branża półprzewodników w Polsce 2025 [1] wskazuje, że żaden kraj nie jest dziś samowystarczalny w tym obszarze: produkcja układów scalonych obejmuje ponad 1 000 etapów, wykorzystuje około 300 materiałów, angażuje około 16 000 dostawców, wymaga przekroczenia granicy około 70 razy oraz zawiera ponad 50 wąskich gardeł, w których pojedynczy region kontroluje ponad 65% rynku światowego. Dodatkowo blisko 80% dostawców aktywnych w europejskim łańcuchu półprzewodników ma siedziby poza Unią Europejską, a udział Europy w zaawansowanym pakowaniu układów scalonych pozostaje marginalny i wynosi zaledwie 1,8% produkcji światowej. Polska dysponuje wprawdzie pewnym potencjałem w obszarze zaplecza produkcyjnego, jednak nadal widoczna jest różnica w zaawansowaniu technologicznym w porównaniu z głównymi ośrodkami europejskimi. Wniosek ten potwierdzają również dane rynkowe przedstawione na rysunku 2. W okresie od lutego 2025 r. do stycznia 2026 r. miesięczna sprzedaż półprzewodników w Europie wynosiła od 4,01 do 5,18 mld USD, podczas gdy w Ameryce wzrosła z 18,64 do 26,38 mld USD, w Chinach z 15,06 do 22,82 mld USD, a w regionie Azja-Pacyfik z 13,42 do 24,50 mld USD. Oznacza to, że udział Europy w światowej sprzedaży pozostawał niski i relatywnie stabilny, oscylując wokół 7%, podczas gdy zasadnicza część rynku koncentrowała się poza Europą. Europejska, a tym samym również polska warstwa sprzętowa pozostaje więc w znacznym stopniu zależna od zewnętrznych ośrodków projektowania, wytwarzania, pakowania, testowania i dystrybucji komponentów. W kontekście suwerenności cyfrowej zależność ta ma charakter pierwotny, ponieważ dotyczy materialnej podstawy funkcjonowania wszystkich wyższych warstw systemu.



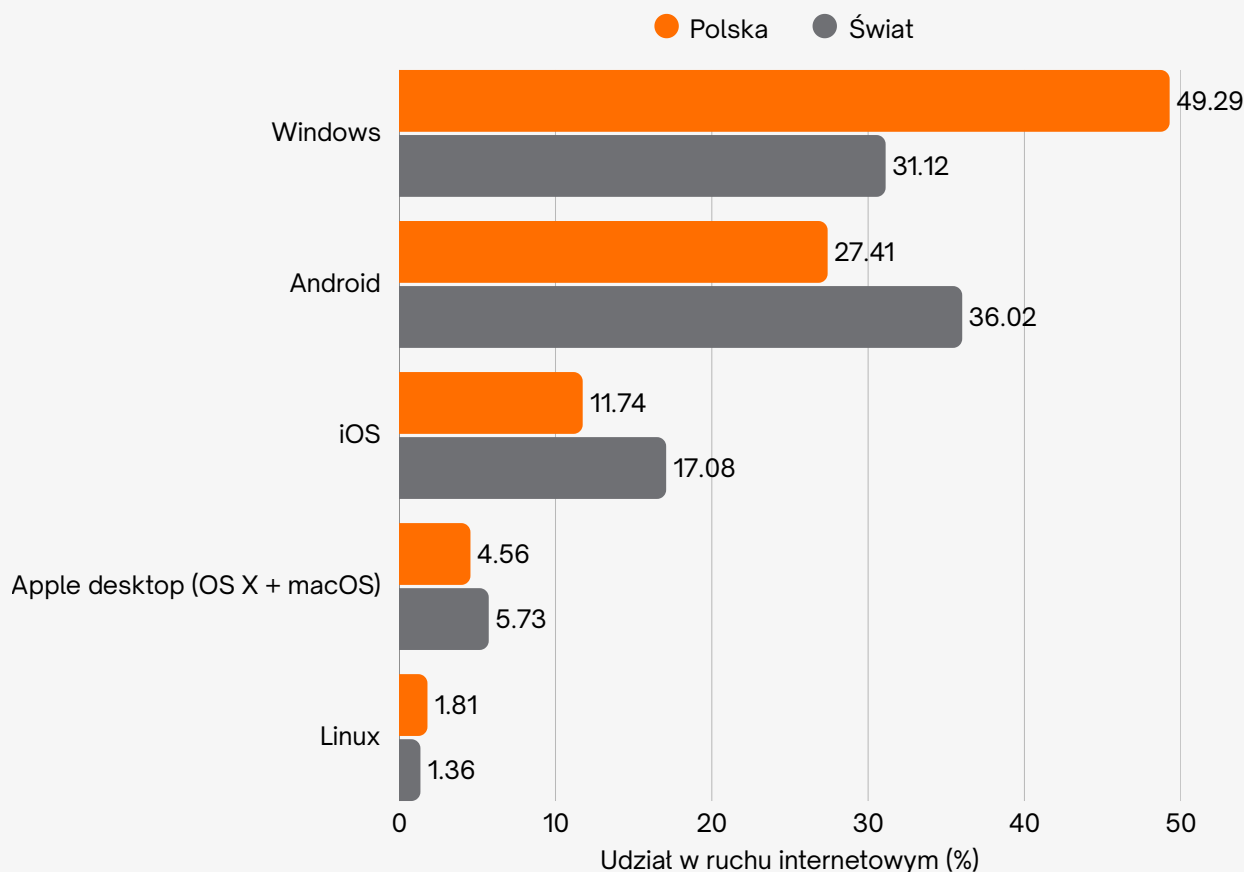
RYСУNEK 2. UDZIAŁ REGIONÓW W ŚWIATOWEJ SPRZEDAŻY PÓŁPRZEWODNIKÓW W OKRESIE OD LUTEGO 2025 R. DO STYCZNIA 2026 R. (OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [2])

Dane, kontrola i przewaga w systemach AI.

W warstwie sprzętowej suwerenność dotyczy również kontroli nad danymi telemetrycznymi generowanymi przez urządzenia. Informacje o obciążeniu, awariach, temperaturze pracy, zużyciu energii, historii błędów i cyklu eksploatacji mogą być wykorzystywane do budowy modeli predykcyjnych, systemów wykrywania anomalii oraz narzędzi optymalizacyjnych. W skali masowej dane te stają się istotnym zasobem dla rozwoju systemów AI, a ich odpływ do zewnętrznych dostawców wzmacnia nie tylko ich pozycję przemysłową, lecz również zdolność do rozwijania własnych modeli.

Warstwa nr 2: systemy operacyjne

Warstwa systemów operacyjnych stanowi drugi poziom zależności w modelu suwerenności cyfrowej. Jej znaczenie wynika z faktu, że system operacyjny wyznacza podstawowe reguły wykonywania kodu, dystrybucji aktualizacji, zarządzania urządzeniami, uwierzytelniania użytkowników oraz współpracy z aplikacjami i usługami wyższych warstw. Z perspektywy suwerenności nie chodzi wyłącznie o popularność danego rozwiązania, lecz o stopień kontroli nad jego kodem, cyklem życia, mechanizmem aktualizacji, interoperacyjnością oraz możliwością samodzielnego utrzymania i audytu.



RYСУNEK 3. SYSTEMY OPERACYJNE: POLSKA NA TLE ŚWIATA W LUTYM 2026 R.
(OPRACOWANIE WŁASNE NA POSTAWIE [3], [4])



Dane Statcounter [3], [4], [5] pokazują, że Polska jest wyraźnie bardziej związana z ekosystemem Windows niż średnia światowa. W lutym 2026 r. udział Windows w Polsce wyniósł 49,29%, podczas gdy globalnie było to 31,12%. Jednocześnie udział Androida w Polsce wyniósł 27,41%, podczas gdy na świecie osiągnął 36,02%, a udział iOS odpowiednio 11,74% i 17,08%. Oznacza to, że polska warstwa systemów operacyjnych jest silniej skoncentrowana wokół jednego dominującego, zamkniętego ekosystemu niż przeciętnie w skali globalnej. Z punktu widzenia suwerenności zwiększa to zależność od zewnętrznego dostawcy aktualizacji, polityki produktowej, modelu licencyjnego oraz harmonogramu wygaszania wsparcia.

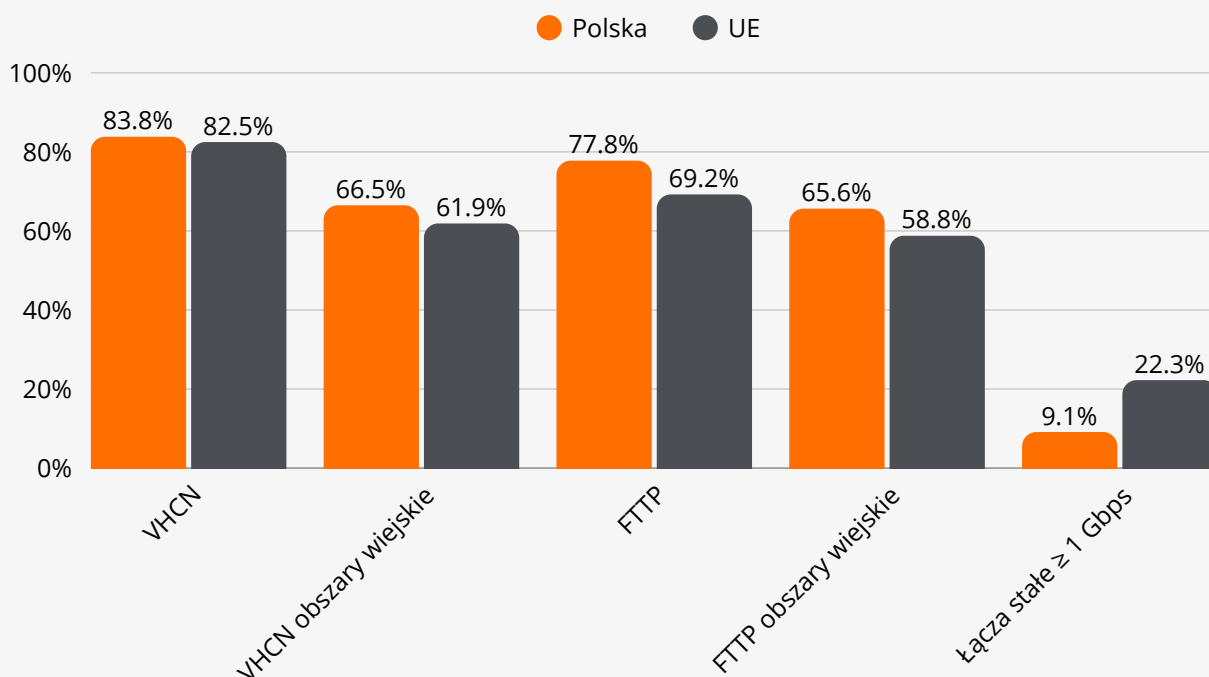
W sensie strategicznym największy potencjał suwerenności dają systemy operacyjne o otwartym kodzie źródłowym, przede wszystkim rodzina GNU/Linux, a w bardziej niszowym zakresie również systemy BSD. Ich przewaga nie polega wyłącznie na otwartości kodu, lecz na możliwości prowadzenia audytu, utrzymywania własnych repozytoriów, budowy lokalnych kompetencji administracyjnych, unikania przymusu jednego kanału aktualizacji oraz łatwiejszego powiązania z otwartymi standardami dokumentów i usług. Systemy zamknięte, takie jak Windows, macOS czy iOS, oferują zwykle większą wygodę wdrożeniową i silniej rozwinięty ekosystem aplikacyjny, lecz z definicji ograniczają możliwość pełnej kontroli nad kodem, mechanizmem aktualizacji, telemetrią i kierunkiem rozwoju produktu. W przypadku Androida sytuacja jest pośrednia: otwarty komponent AOSP zwiększa potencjał samodzielności, jednak w typowych wdrożeniach konsumenckich zależność od producentów urządzeń oraz usług Google istotnie ogranicza realną suwerenność.

Dane, kontrola i przewaga w systemach AI.

W warstwie systemów operacyjnych szczególne znaczenie ma możliwość gromadzenia danych telemetrycznych i behawioralnych opisujących rzeczywiste sposoby korzystania z urządzeń, aplikacji i usług. Dane o konfiguracji środowiska, użyciu aplikacji, aktualizacjach, zdarzeniach bezpieczeństwa i zachowaniach użytkowników mogą stanowić cenny materiał do trenowania modeli personalizacyjnych, narzędzi automatyzacji, systemów wykrywania zagrożeń oraz agentów AI wbudowanych w system operacyjny. Zależność od dominującego dostawcy systemu oznacza zatem także ryzyko odpływu danych o wysokiej wartości strategicznej.

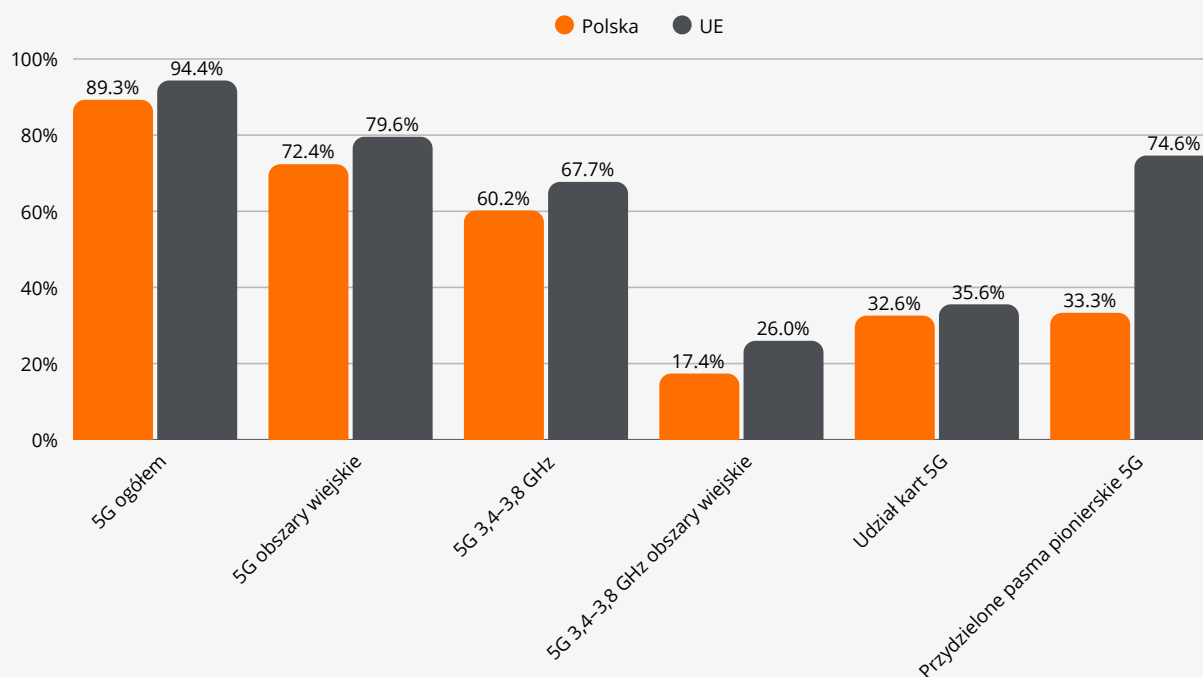
Warstwa nr 3: łączność i dostęp sieciowy

Warstwa łączności i dostępu sieciowego obejmuje fizyczne i radiowe media świadczenia usług cyfrowych: sieci stacjonarne, sieci mobilne oraz dostępność połączeń dla użytkowników końcowych. W odróżnieniu od warstwy sprzętowej i warstwy systemów operacyjnych nie jest to obecnie obszar najbardziej dotkliwej luki suwerenności. Publiczne statystyki internet.gov.pl [6] wskazują, że w marcu 2026 r. zasięg infrastruktury światłowodowej obejmował 6 737 415 punktów adresowych, przy 3 476 990 punktach dla internetu radiowego oraz 2 595 842 dla internetu kablowego. Oznacza to, że Polska dysponuje już znaczącą bazą infrastruktury dostępowej. Podstawowy problem tej warstwy dotyczy zatem nie tyle samego braku sieci, ile jakościowej nierównomierności usług oraz ograniczonego wpływu państwa na tempo i kierunek dalszej rozbudowy infrastruktury



RYСУNEK 4. ŁĄCZNOŚĆ STACJONARNA: POLSKA NA TLE ŚREDNIEJ UNII EUROPEJSKIEJ W 2024 R. (OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [7])

Jak pokazano na rysunku 4, Polska nie odstaje istotnie od średniej unijnej w zakresie podstawowych wskaźników łączności stacjonarnej, a w części z nich osiąga wyniki porównywalne lub korzystniejsze. Oznacza to, że w tej części warstwy łączności nie występuje dziś zasadnicza bariera infrastrukturalna, która sama w sobie podważałaby zdolność państwa do świadczenia usług cyfrowych.



RYСУNEK 5. ŁĄCZNOŚĆ MOBILNA I 5G: POLSKA NA TLE ŚREDNIEJ UNII EUROPEJSKIEJ W 2024 R. (OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [7])

Większe ograniczenia ujawniają się natomiast w obszarze łączności mobilnej nowej generacji, co pokazuje rysunek 5. Dotyczy to zwłaszcza jakości i dostępności 5G w paśmie średnim oraz słabszych parametrów poza największymi ośrodkami. Nie jest to jednak luka o charakterze krytycznym, lecz raczej obszar wymagający dalszego wzmacniania z punktu widzenia spójności terytorialnej, odporności i zdolności do wdrażania usług wymagających stabilnej łączności wysokiej jakości.

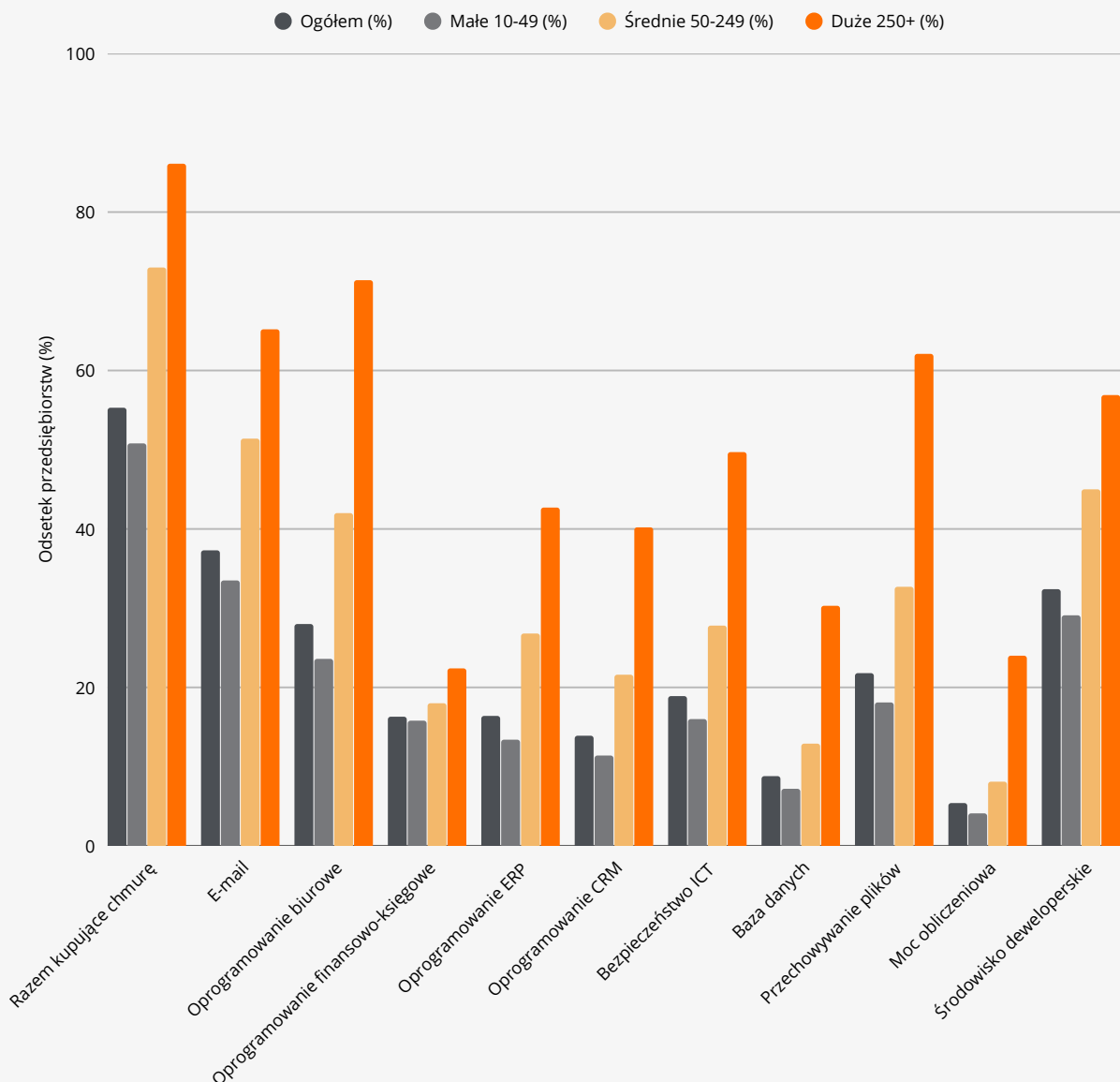
Z perspektywy suwerenności cyfrowej warstwa ta powinna być zatem interpretowana przede wszystkim jako obszar umiarkowanej zależności wykonawczej. Rynek opiera się na kilku dużych operatorach funkcjonujących w europejskim otoczeniu regulacyjnym, co ogranicza skalę ryzyka politycznego. Jednocześnie państwo nie sprawuje pełnej kontroli nad tempem inwestycji, rozmieszczeniem infrastruktury oraz jakością łączności nowej generacji poza głównymi centrami rozwoju. W tym sensie problem tej warstwy polega bardziej na ograniczonej sprawczości i nierównomiernym rozwoju niż na bezpośrednim zagrożeniu utratą kontroli.

Dane, kontrola i przewaga w systemach AI.

W warstwie łączności występuje również wymiar danych, choć jego znaczenie jest pośrednie. Operatorzy dysponują informacjami o obciążeniu sieci, jakości usług, mobilności urządzeń, przeciążeniach i awariach. Dane te mogą być wykorzystywane do optymalizacji sieci, przewidywania ruchu oraz rozwijania narzędzi analitycznych i modeli AI wspomagających zarządzanie infrastrukturą. W tej warstwie nie jest to jednak zasadniczy problem suwerenności, lecz raczej dodatkowy argument za wzmacnianiem krajowych kompetencji analitycznych i regulacyjnych.

Warstwa nr 4: usługi i platformy infrastrukturalne, w tym chmura

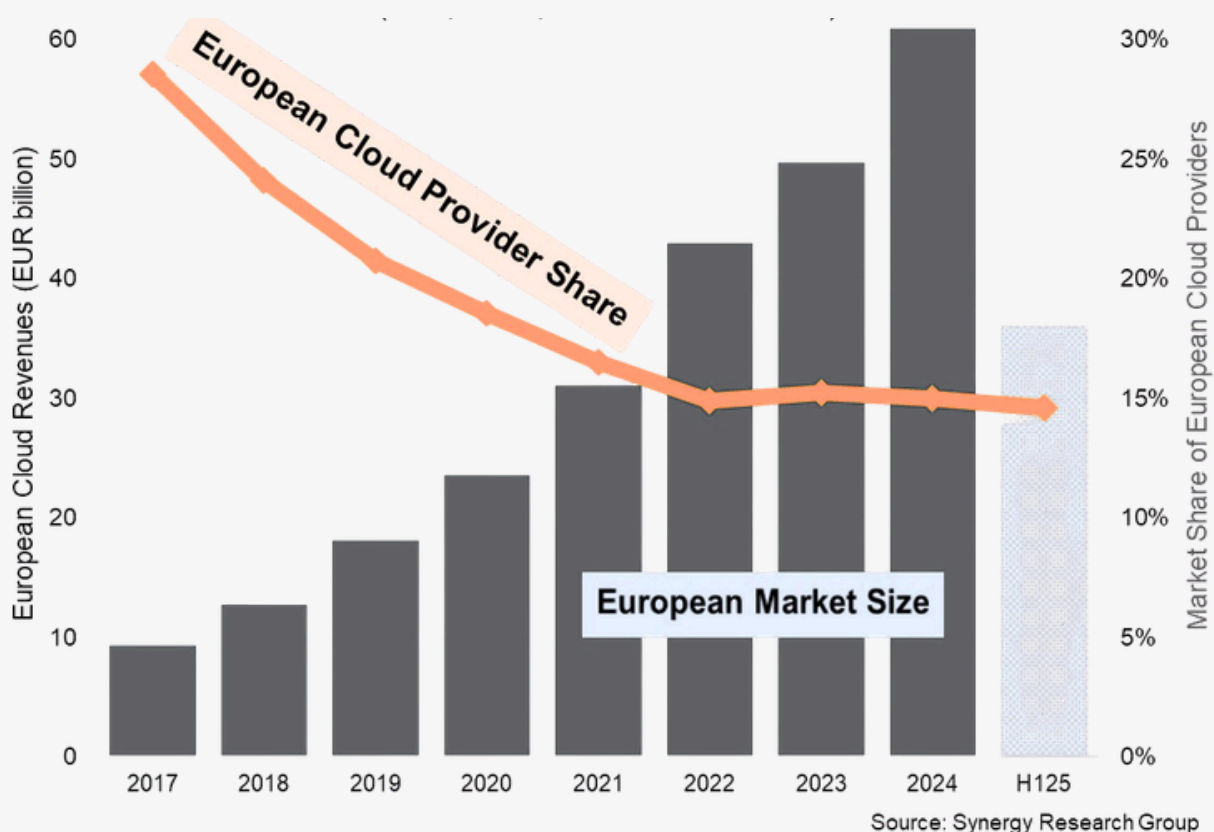
W warstwie usług i platform infrastrukturalnych kluczowe znaczenie ma dziś chmura obliczeniowa, ponieważ to ona przenosi poza organizację nie tylko zasoby obliczeniowe, lecz również pocztę elektroniczną, pakiety biurowe, przechowywanie plików, bazy danych oraz część środowisk uruchomieniowych. Z perspektywy suwerenności cyfrowej zasadnicze pytanie nie brzmi zatem, czy przedsiębiorstwa korzystają z chmury, lecz na ile ich podstawowe i zaawansowane funkcje informacyjne zostają związane z zewnętrznymi platformami usługowymi.



RYСУNEK 6. KORZYSTANIE Z WYBRANYCH USŁUG CHMUROWYCH: POLSKIE PRZEDSIĘBIORSTWA 2025 R. (OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE GUS [8])



Dane GUS przedstawione na rysunku 6 pokazują, że profil usług chmurowych kupowanych przez polskie przedsiębiorstwa jest silnie zróżnicowany w zależności od wielkości firmy. Duże przedsiębiorstwa (250 i więcej pracujących) korzystają z chmury niemal powszechnie, 86,1% z nich kupuje co najmniej jedną usługę chmurową, i jednocześnie intensywnie wykorzystują zaawansowane kategorie: 71,4% używa chmurowego oprogramowania biurowego, 62,1% przechowuje pliki w chmurze, a ponad 40% prowadzi w niej systemy ERP i CRM. Wśród małych firm (10–49 pracujących) udział korzystających z chmury spada do 50,8%, a dominują usługi podstawowe: e-mail (33,5%) i środowisko deweloperskie (29,1%), podczas gdy chmurowe ERP (13,4%) czy CRM (11,4%) pozostają zjawiskiem niszowym. Średni dystans między dużymi a małymi przedsiębiorstwami wynosi ok. 35 p.p., przy czym największą rozpiętość, prawie 48 p.p., obserwujemy w przypadku oprogramowania biurowego. Ten wzorec nabiera szczególnego znaczenia w kontekście debaty o suwerenności cyfrowej. Według Synergy Research Group europejscy dostawcy chmury utrzymują zaledwie ok. 15% udziału w lokalnym rynku, podczas gdy Amazon, Microsoft i Google kontrolują łącznie około 70% rynku europejskiego [9]. Rynek europejski osiągnął 61 mld euro w 2024 r., a przychody w pierwszym półroczu 2025 r. wyniosły 36 mld euro. Mimo że europejscy dostawcy potroili swoje przychody między 2017 a 2024 r., rynek jako całość urósł sześciokrotnie, w efekcie ich udział spadł z 29% w 2017 r. do obecnego poziomu, co przedstawiono na rys. 7.



RYСУNEK 7. EUROPA: WYKORZYSTANIE USŁUG CHMUROWYCH W PORÓWNANIU Z INNYMI DOSTAWCAMI (ŹRÓDŁO [9])



Oznacza to, że integracja polskich przedsiębiorstw z chmurą, obejmująca jednocześnie pocztę, oprogramowanie biurowe, ERP, CRM, przechowywanie plików i środowiska deweloperskie, w dominującej części oznacza integrację z platformami trzech amerykańskich konsorcjów. Im głębiej przedsiębiorstwo przenosi swoje procesy do chmury, tym trudniejsza staje się późniejsza migracja, a tym samym większa zależność od jurysdykcji i regulacji pozaunijnych, w tym od amerykańskiego CLOUD Act umożliwiającego eksterytorialny dostęp do danych [10]. Z perspektywy Polski problem suwerenności chmurowej jest szczególnie istotny. Dane z rysunku 6 wskazują, że duże przedsiębiorstwa są już głęboko zintegrowane z platformami amerykańskich dostawców, a małe i średnie firmy dynamicznie zwiększają swoje zaangażowanie w chmurę. Na polskim rynku funkcjonują rodzimi dostawcy między innymi członkowie PDCA (Polish Data Center Association) [11]. Rozwój takich alternatyw jest warunkiem koniecznym budowania rzeczywistej suwerenności cyfrowej jako zdolności do utrzymania kontroli nad krytycznymi danymi i procesami w warunkach rosnącej niestabilności geopolitycznej.

Dane, kontrola i przewaga w systemach AI.

W tej warstwie zagrożenie związane z kontrolą danych ma charakter szczególnie istotny. Dostawca chmury uzyskuje nie tylko wpływ na przechowywanie i przetwarzanie danych, lecz również dostęp do metadanych o sposobie korzystania z usług, o strukturze obciążeń, wzorcach współpracy, typach uruchamianych aplikacji, parametrach bezpieczeństwa i zarządzania zasobami. Dane te mogą być wykorzystywane do rozwoju własnych usług predykcyjnych, systemów automatyzacji, modeli bezpieczeństwa oraz agentów AI zintegrowanych z platformą. Im więcej podstawowych i zaawansowanych funkcji organizacja lokuje w jednej chmurze, tym większa staje się przewaga poznawcza i usługowa dostawcy.

Warstwa nr 5: pośrednia

Warstwa pośrednia obejmuje mechanizmy, które warunkują bezpieczne i przewidywalne działanie usług cyfrowych: zarządzanie tożsamością i dostępem, kryptografię, środowiska uruchomieniowe, integrację usług, repozytoria komponentów oraz systemy monitorowania. Jej znaczenie dla suwerenności cyfrowej wynika z faktu, że to właśnie tutaj kształtowane są rzeczywiste granice kontroli nad dostępem, przepływem danych, aktualizacjami i obserwowalnością środowiska. W odróżnieniu od warstwy sprzętowej i warstwy aplikacji użytkowych jest to obszar, w którym szeroko stosowane są rozwiązania otwarte. Komisja Europejska wskazuje, że wykorzystanie open-source w jej środowiskach technicznych ma charakter powszechny, a część kluczowych inicjatyw, w tym referencyjne rozwiązania związane z tożsamością cyfrową, rozwijana jest jako oprogramowanie otwarte [12], [13]. Oznacza to, że zasadnicza luka suwerenności w tej warstwie nie wynika z braku technologicznych alternatyw, lecz z ograniczonej zdolności do ich samodzielnego utrzymania, audytu i integracji. Jednocześnie warstwa pośrednia pozostaje istotna strategicznie, mimo że nie jest dobrze opisana przez proste statystyki publiczne.

Dostępne badania cyfryzacji przedsiębiorstw nie pokazują wprost skali wykorzystania brokerów komunikatów, bram API, repozytoriów komponentów czy systemów zarządzania tożsamością [14], [15]. Ocena tej warstwy musi więc opierać się przede wszystkim na analizie architektury i praktyk wdrożeniowych.



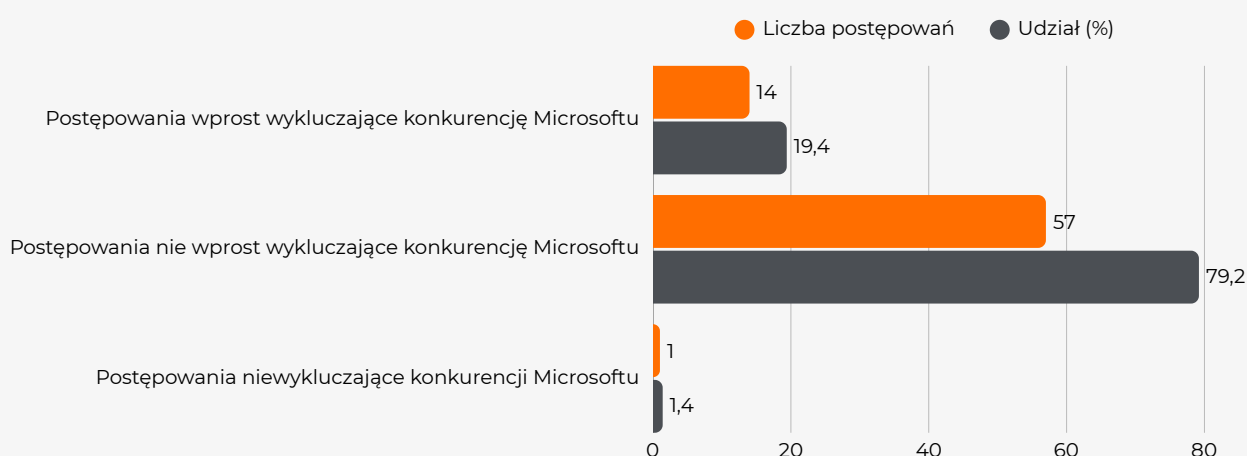
Dane, kontrola i przewaga w systemach AI.

Z perspektywy państwa szczególne znaczenie ma to, że właśnie tędy przepływają dane o wysokiej wartości operacyjnej: informacje o tożsamości użytkowników, uprawnieniach, logowaniach, tokenach, certyfikatach, ruchu między usługami, logach aplikacyjnych, zależnościach integracyjnych, błędach wykonania oraz cyklu życia komponentów. Dane te mogą być wykorzystywane do automatyzacji utrzymania, wykrywania anomalii, przewidywania awarii oraz rozwijania systemów AI wspierających zarządzanie środowiskiem cyfrowym. W tym sensie problem tej warstwy dotyczy nie tylko narzędzi, lecz również kontroli nad metadanymi i telemetriką.

Warstwa nr 6: aplikacje i usługi użytkowe

Szósta warstwa jest najbardziej widoczną częścią architektury cyfrowej z perspektywy użytkownika końcowego, choć nie zawsze stanowi najgłębsze źródło zależności strategicznej. To właśnie na tym poziomie materializują się skutki ograniczeń występujących w warstwach niższych: zależności od zewnętrznych dostawców usług, niedostatecznej kontroli tożsamości, słabej ochrony przepływu informacji, nadmiaru uprawnień oraz niewystarczająco precyzyjnych zasad retencji danych. Dla instytucji publicznych jest to zarazem warstwa najbardziej odczuwalna operacyjnie, ponieważ bezpośrednio wpływa na codzienną pracę urzędników, obieg dokumentów, komunikację, współdzielenie zasobów oraz odpowiedzialność za dane. Nie może być ona jednak analizowana w oderwaniu od pozostałych warstw, ponieważ aplikacja nie funkcjonuje samodzielnie, lecz jest końcowym elementem szerszego układu zależności technologicznych.

Skalę tej zależności dobrze ilustruje przegląd zamówień publicznych przeprowadzony przez Fundację Instrat [16]. Spośród 72 postępowań dotyczących dostaw oprogramowania biurowego, wszczętych w Biuletynie Zamówień Publicznych w okresie od stycznia do listopada 2025 r., 99% wykluczało, wprost lub pośrednio, rozwiązania producentów innych niż Microsoft (Rysunek 9). Zaledwie jedno postępowanie sformułowano w sposób rzeczywiście niedyskryminujący. W pozostałych przypadkach stosowano kryteria formalnie neutralne, lecz w praktyce ograniczające konkurencję, takie jak wymóg jednolitego pochodzenia wszystkich komponentów środowiska pracy, oczekiwanie pełnej zgodności z określonymi usługami katalogowymi lub wymagania funkcjonalne odpowiadające własnościowym rozwiązaniom jednego dostawcy.



RYСУNEK 8. STRUKTURA ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH NA OPROGRAMOWANIE BIUROWE W POLSCE WEDŁUG SPOSOBU TRAKTOWANIA KONKURENCJI MICROSOFTU (I-XI 2025 R.). ŹRÓDŁO: OPRACOWANIE WŁASNE NA PODSTAWIE [16].



Zależność w warstwie aplikacyjnej wykracza poza sam wymiar kosztowy. Jak wskazuje Centralny Ośrodek Informatyki, wydatki licencyjne ponoszone przez duże instytucje publiczne osiągają skalę setek milionów złotych w perspektywie wieloletnich umów [17]. Jeszcze istotniejsze pozostaje jednak pytanie o kontrolę nad danymi i metadanymi generowanymi w toku codziennego funkcjonowania administracji. W przypadku korzystania z rozbudowanych pakietów usług biurowych i komunikacyjnych przetwarzanie obejmuje nie tylko treść dokumentów, wiadomości i spotkań, lecz również informacje o relacjach komunikacyjnych, czasie aktywności, sposobie współpracy, historii edycji, obiegu dokumentów oraz wzorcach organizacyjnych. W rezultacie dostawca platformy uzyskuje potencjalny wgląd nie tylko w warstwę techniczną, ale również w praktyczny rytm funkcjonowania instytucji.

Dane, kontrola i przewaga w systemach AI.

Warstwa aplikacji i usług użytkowych ma również wymiar strategiczny w kontekście rozwoju systemów sztucznej inteligencji. Integracja narzędzi AI z pakietami biurowymi, komunikatorami, pocztą elektroniczną i systemami współpracy powoduje, że analizie podlega nie tylko treść dokumentów, lecz także kontekst ich powstawania, przebieg konsultacji, sposób podejmowania decyzji i wzorce współdziałania między użytkownikami. Dane te stanowią zasób o wysokiej wartości dla dalszego doskonalenia modeli, usług asystenckich i systemów analitycznych. Oznacza to, że zależność aplikacyjna nie sprowadza się do wyboru konkretnego programu, lecz obejmuje również ryzyko trwałego odpływu danych, które mogą wzmacniać przewagę technologicznych dostawców zewnętrznych, zamiast wspierać rozwój krajowych lub europejskich kompetencji w obszarze AI.

Dlaczego przejście jest trudne

Największym błędem byłoby potraktowanie migracji jako prostego aktu zamiany: wyłączamy produkt A, włączamy produkt B. Zmiana jest trudna z co najmniej pięciu powodów:

1. Zależność procesowa: systemy są osadzone w procedurach, umowach i obiegu dokumentów.
2. Zależność kompetencyjna: kadry uczą się konkretnych narzędzi, a nie abstrakcyjnych funkcji. Zmiana oznacza koszt szkolenia i spadek krótkookresowej produktywności.
3. Zależność integracyjna: każdy system jest połączony z kolejnymi: tożsamością, repozytoriami, bazami danych, hurtowniami, systemami finansowymi i kanałami komunikacji.
4. Zależność ekonomiczna: korzyści z migracji mają zwykle charakter długookresowy, natomiast koszty pojawiają się natychmiast.
5. Zależność kulturowa: przyzwyczajenie użytkownika bywa tak samo istotną barierą jak technologia.

Należy odpowiedzieć na pytanie, czy należy się poddać? Globalizacja pozwoliła wszystkim wierzyć, że można utworzyć system cyfrowy złożony z dowolnych komponentów bez konsekwencji. Napięta sytuacja polityczna i zmiany w globalnej polityce pokazują, że skutki nadmiernego zaufania mogą mieć wpływ na bezpieczeństwo, perspektywy rozwoju technologicznego związanego z przetwarzaniem i co za tym idzie własnością ogromnej liczby danych. Big-techy zyskały od swoich użytkowników prezent w postaci nieskończonej liczby danych, które teraz stanowią ich przewagę. Skala użycia tych danych nie jest znana.



Sekwencja wyjścia z uzależnienia: plan etapowy

Z perspektywy państwa skuteczna strategia powinna być etapowa, a nie rewolucyjna.

1. Audyt zależności krytycznych. Najpierw należy określić, które systemy są krytyczne dla ciągłości państwa i gdzie koszt przejścia jest najwyższy.
2. Otwarte formaty i przenaszalność danych. Bez projektowania systemów w taki sposób, by dane łatwo było przenieść każde późniejsze odejście od dostawcy będzie kosztowne. Nowe systemy powinny zachowywać formaty udostępniane przez otwarte oprogramowanie.
3. Warstwa serwerowa i warstwa pośrednia. Migracje należy zaczynać tam, gdzie użytkownik końcowy widzi najmniej zmian, a zysk ze standaryzacji jest największy.
4. Referencyjny stos open source dla administracji. Państwo potrzebuje wspólnej architektury: systemów operacyjnych dla serwerów, baz danych, konteneryzacji, monitoringu, repozytoriów i narzędzi bezpieczeństwa, wszystko w oparciu o własne lub otwarte technologie.
5. Suwerenna chmura dla danych wrażliwych. Nie musi oznaczać pełnej izolacji od świata, ale powinna oznaczać wymogi współdzielenia danych na poziomie operacyjnym na pewno wewnątrz EU, możliwości migracji i kontroli nad danymi.
6. Polityka kompetencji i zamówień publicznych. Bez popytu instytucjonalnego i bez kadr nawet najlepsze standardy pozostaną deklaracją.

Sekwencja ta wynika z prostego faktu: najłatwiej odzyskać sprawczość nie tam, gdzie technologia jest najbardziej widowiskowa, ale tam, gdzie koszt migracji jest możliwy do kontrolowania. W praktyce oznacza to, że pierwszym celem powinno być obniżenie zależności w warstwie standardów, danych, integracji i zaplecza serwerowego, a nie natychmiastowa próba wymiany wszystkich narzędzi użytkownika końcowego.

Wniosek

Rozważania nad suwerennością cyfrową państwa nie mogą być prowadzone wyłącznie w kategoriach technicznych, ponieważ problem ten przestał mieć charakter eksperckiej niszy i coraz wyraźniej staje się przedmiotem oczekiwań społecznych oraz decyzji strategicznych. Wnioski płynące z raportu Fundacji Digital Poland [18]. pokazują, że znaczna część społeczeństwa postrzega suwerenność technologiczną jako zagadnienie o wysokiej randze, a zarazem akceptuje potrzebę ponoszenia dodatkowych kosztów w zamian za większą kontrolę nad technologiami kluczowymi. Z przytoczonych w badaniu ocen wynika również, że społeczna wyobraźnia ryzyka koncentruje się przede wszystkim na skutkach praktycznych: możliwości wyłączenia infrastruktury krytycznej, zależności od zewnętrznych dostawców, podatności na presję polityczną oraz utracie bezpieczeństwa usług publicznych. W tym sensie suwerenność technologiczna nie jest jedynie projektem modernizacyjnym, lecz elementem racji stanu, który wymaga świadomej, etapowej i konsekwentnie realizowanej polityki państwa.



5. Analiza systemowa luk regulacyjnych w globalnym ekosystemie sztucznej inteligencji

Współczesny paradygmat rozwoju technologii kognitywnych charakteryzuje się dywergencją między tempem innowacji a zdolnością systemów prawnych do ich mitygacji. Analiza trendów regulacyjnych, infrastrukturalnych oraz wdrożeniowych ujawnia luki normatywne, które w warunkach masowej implementacji systemów autonomicznych generują ryzyko systemowe. Centralnym problemem jest techniczna niespójność architektury modeli z obowiązującymi ramami prawnymi oraz brak ujednoliconych procedur walidacji w sektorach krytycznych.

Luka prawna objawia się w zderzeniu architektury systemów uczenia maszynowego z RODO [1]. Modele generatywne absorbują dane w procesie treningowym w sposób uniemożliwiający ich późniejszą selektywną ekstrakcję, co uderza w prawo do bycia zapomnianym. Brak dojrzałości metodologii machine unlearning nie pozwala na usunięcie rekordów bez degradacji parametrów sieci [2]. Generuje to ryzyko ataków typu membership inference, a brak powszechnego zastosowania prywatności różnicowej (differential privacy) sprawia, że administratorzy operują w warunkach ryzyka naruszenia zasady minimalizacji danych i ograniczenia celu.

W unijnej ochronie zdrowia [3], przy wysokim stopniu gotowości operacyjnej systemów AI, sektor zмага się z barierami interoperacyjności semantycznej. Implementacja AI Act oraz rozporządzenia EHDS ujawniła brak standardów oceny zgodności dla systemów wysokiego ryzyka [4], [5], szczególnie w kardiologii, gdzie algorytmy wspomagania decyzji

operują w próżni dotyczącej odpowiedzialności cywilnej za decyzje w stanach nagłych [6]. Luka ta dotyczy procedur walidacji klinicznej algorytmów oraz braku ujednoliconych norm dla przetwarzania danych genomowych w architekturze federacyjnej, co utrudnia przejście do rutynowej praktyki klinicznej i faworyzuje podmioty o dużym kapitale. Na poziomie globalnym obserwujemy erozję spójności normatywnej wynikającą z trendów deregulacyjnych w USA, zmierzających do uchylecia restrykcji bezpieczeństwa zawartych w dekrete 14110 [7], oraz presji na wyłączenie sektora prywatnego z Konwencji Ramowej Rady Europy [8]. Taka dywergencja stwarza przestrzeń do arbitrażu legislacyjnego, gdzie przenoszenie procesów treningowych do jurysdykcji o niższym rygorze kontrolnym prowadzi do marginalizacji europejskich wymogów certyfikacyjnych. Brak transparentności w sektorze prywatnym uniemożliwia skuteczną egzekucję praw podstawowych, tworząc asymetrię między administracją a korporacjami dysponującymi modelami bazowymi.

Deficyty regulacyjne stają się wektorem destabilizacji procesów państwowych, co obrazuje ryzyko luki prawnej dla AI wyborczego w Brazylii [9], umożliwiającej niekontrolowaną dystrybucję materiałów typu deepfake przed zbliżającymi się wyborami m.in. w RPA [10] i mikrotargetowanie oparte na profilowaniu psychometrycznym. Jednocześnie integracja komercyjnych modeli, takich jak rozwiązania firmy Anthropic, w strukturach rządowych Rwandy [11] czy



Pakistanu [12] obnaża ryzyko delegowania funkcji administracyjnych do zamkniętych ekosystemów algorytmicznych. Brak dostępu do wag modelu uniemożliwia weryfikację bezstronności decyzji, co generuje lukę w odpowiedzialności za błędy systemowe i prowadzi do zależności technologicznej typu vendor lock-in.

W odpowiedzi na te wyzwania, działania krajowe koncentrują się na wypełnianiu luk między literą prawa a fizyczną architekturą systemów. Wdrożenie krajowych piaskownic regulacyjnych (regulatory sandboxes) dla algorytmów wysokiego ryzyka w kardiologii i genomice adresuje brak procedur walidacji klinicznej. Pozwala to na testowanie systemów wspomagania decyzji w kontrolowanym środowisku, co bezpośrednio redukuje niepewność w zakresie odpowiedzialności cywilnej i ułatwia certyfikację zgodną z wdrażanymi poprawkami Digital Omnibus on AI [13].

Mitygacja ryzyka wynikającego z architektury LLM następuje poprzez zainicjowanie programów badawczych w obszarze privacy-preserving machine learning, w tym nad praktycznym zastosowaniem prywatności różnicowej i uczenia federacyjnego. Działania te, połączone z wdrożeniem krajowych wytycznych dotyczących audytu zbiorów treningowych, pozwalają na weryfikację legalności przetwarzania danych przed implementacją systemów w administracji publicznej. Promowanie międzynarodowych standardów interoperacyjności (HL7 FHIR, OMOP) oraz modernizowanie systemów informatycznych zapewnia spójność infrastruktury danych medycznych z wymogami EHDS.

Opracowanie krajowych metodologii audytu technicznego i benchmarkingu modeli bazowych redukuje zależność od deklaracji producentów i przeciwdziała efektowi „czarnej skrzynki”. Wdrożenie zaawansowanych systemów monitoringu przestrzeni informacyjnej, opartych na wielomodalnej analizie semantycznej, pozwala na wczesną detekcję operacji wpływu i zabezpiecza procesy demokratyczne przed ingerencją systemów autonomicznych [14].

Opracowanie referencyjnej architektury bezpiecznych systemów AI integruje metody dowodu z wiedzą zerową (Zero-Knowledge Proofs) w procesach weryfikacji wieku, stanowiąc techniczną odpowiedź na globalne standardy ochrony małoletnich [15]–[19].

Efektywność warstwy fizycznej zostaje zabezpieczona poprzez ustanowienie obligatoryjnych kontyngentów mocy obliczeniowej (compute quotas) dla jednostek naukowych w komercyjnych klastrach AI oraz standaryzację infrastruktury data center [20], [21]. Wdrożenie mechanizmów federacyjnego dostępu do infrastruktury, wykorzystujących enklawy bezpieczeństwa (TEE) i technologię Multi-Instance GPU (MIG), zapewnia izolację obciążeń naukowych przy współdzieleniu zasobów fizycznych. Zaimplementowanie standardów chłodzenia cieczą (Direct-to-Chip Liquid Cooling) oraz certyfikacji dla „AI Factories” [22] wspiera krajową działalność naukową w obszarze zaawansowanej termodynamiki i efektywności energetycznej. Integracja AI w sektorze publicznym i sądownictwie [23] wymaga wdrożenia standardów technicznych dla systemów wspomagania decyzji, które gwarantują wyjaśnialność algorytmiczną (Explainable AI). Zlecenie analizy wpływu amerykańskich wymogów certyfikacyjnych na krajowy sektor wysokich technologii oraz monitorowanie ewolucji ram prawnych w handlu transatlantyckim [24] pozwala na proaktywne dostosowanie procedur zgodności. Takie wielopoziomowe podejście, łączące piaskownice regulacyjne, zaawansowane metody kryptograficzne oraz federacyjną infrastrukturę, stanowi kompleksową odpowiedź na zidentyfikowane luki prawne i techniczne.



Bibliografia

Rozdział 2.1.

- [1] Statista, „The AI Market Is Poised for Explosive Growth,” Statista, 2025. [Online]. Available: <https://www.statista.com/chart/35510/ai-market-growth-forecasts-by-segment/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [2] Nature, „China intensifies push to become world leader in tech and AI,” Nature, 2026. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/d41586-026-00814-3>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [3] Euronews, „AI power play: Can Europe catch up with the US and China?,” Euronews, Jan. 2026. [Online]. Available: <https://www.euronews.com/my-europe/2026/01/27/the-ai-race-can-europe-catch-up-to-the-us-and-china>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [4] Statcounter, „Statcounter Global Stats, Similarweb Market Intelligence, Data Reportal Analysis October 2025,” Statcounter, Oct. 2025. [Online]. Available: <https://gs.statcounter.com/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [5] Microsoft, „Global AI Adoption in 2025 A Widening Digital Divide,” Microsoft Research, Jan. 2026. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2026/01/Microsoft-AI-Diffusion-Report-2025-H2.pdf>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [6] Microsoft, „Generacja AI: 97% młodych Polaków korzysta ze sztucznej inteligencji, ale tylko 12% czuje się gotowych do pracy z jej wykorzystaniem,” Microsoft News Center, Jul. 2025. [Online]. Available: <https://news.microsoft.com/source/emea/2025/07/generacja-ai-97-młodych-polakow-korzysta-ze-sztucznej-inteligencji-ale-tylko-12-czuje-sie-gotowych-do-pracy-z-jej-wykorzystaniem/>. [Accessed: 27-Mar-2026].

Rozdział 2.2.

- [1] OpenAI, „About,” OpenAI, 2026. [Online]. Available: <https://openai.com/about/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [2] Sacra, „OpenAI: Report & Financials,” Sacra Market Research, 2026. [Online]. Available: <https://sacra.com/c/openai/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [3] The Motley Fool, „How OpenAI's Revenue Growth Could Make These 3 AI Investments Winners,” The Motley Fool, Feb. 2026. [Online]. Available: <https://www.fool.com/investing/2026/02/04/how-openais-revenue-growth-could-make-these-3-ai-i/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [4] OpenAI, „Research,” OpenAI, 2026. [Online]. Available: <https://openai.com/research/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [5] OpenAI, „Documentation Overview,” OpenAI Developer Platform, 2026. [Online]. Available: <https://platform.openai.com/docs/overview>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [6] OpenAI, „Products,” OpenAI, 2026. [Online]. Available: <https://openai.com/product>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [7] NVIDIA Corporation, „Financial Reports,” NVIDIA Investor Relations, 2026. [Online]. Available: <https://investor.nvidia.com/financial-info/financial-reports/default.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [8] NVIDIA Corporation, „NVIDIA Announces Financial Results for Fourth Quarter and Fiscal 2026,” NVIDIA Newsroom, Feb. 2026. [Online]. Available: <https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-announces-financial-results-for-fourth-quarter-and-fiscal-2026>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [9] NVIDIA Corporation, „GTC 2026 News,” NVIDIA Blog, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://blogs.nvidia.com/blog/gtc-2026-news/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [10] NVIDIA Corporation, „NVIDIA Kicks Off the Next Generation of AI With Rubin — Six New Chips, One Incredible AI Supercomputer,” NVIDIA Investor Relations, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://investor.nvidia.com/news/press-release-details/2026/NVIDIA-Kicks-Off-the-Next-Generation-of-AI-With-Rubin--Six-New-Chips-One-Incredible-AI-Supercomputer/default.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [11] NVIDIA Corporation, „Data Center,” NVIDIA, 2026. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/data-center/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [12] NVIDIA Corporation, „CUDA Zone - Platform for Massively Parallel Computing,” NVIDIA Developer, 2026. [Online]. Available: <https://developer.nvidia.com/cuda-zone>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [13] NVIDIA Corporation, „NVIDIA Omniverse,” NVIDIA, 2026. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/omniverse/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [14] NVIDIA Corporation, „Networking Solutions,” NVIDIA, 2026. [Online]. Available: <https://www.nvidia.com/en-us/networking/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [15] Bloomberg, „Microsoft Corp - Company Profile and News,” Bloomberg, 2026. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/quote/MSFT:US>. [Accessed: 27-Mar-2026].

- [16] Microsoft, „Azure AI Solutions,” Microsoft Azure, 2026. [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/en-us/solutions/ai/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [17] Reuters, „Microsoft earnings highlight cloud and AI growth,” Reuters, 2026. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/technology/microsoft-earnings-cloud-ai-growth/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [18] Microsoft, „Microsoft Cloud for Sovereignty,” Microsoft News Center, 2026. [Online]. Available: <https://news.microsoft.com/cloud-for-sovereignty/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [19] Microsoft, „Microsoft AI,” Microsoft, 2026. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/ai>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [20] Microsoft, „Azure AI Services Documentation,” Microsoft Learn, 2026. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [21] Microsoft, „AI in Security,” Microsoft Security, 2026. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/security/business/ai>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [22] Bloomberg, „Alphabet Inc - Company Profile and News,” Bloomberg, 2026. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/quote/GOOG:US>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [23] Alphabet Inc., „Investor Relations,” Alphabet, 2026. [Online]. Available: <https://abc.xyz/investor/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [24] Google, „Google AI,” Google, 2026. [Online]. Available: <https://ai.google/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [25] Google Cloud, „Vertex AI,” Google Cloud, 2026. [Online]. Available: <https://cloud.google.com/vertex-ai>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [26] Google Cloud, „Cloud TPU,” Google Cloud, 2026. [Online]. Available: <https://cloud.google.com/tpu>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [27] Google DeepMind, „About,” Google DeepMind, 2026. [Online]. Available: <https://deepmind.google/about/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [28] Google Research, „Google Research,” Google, 2026. [Online]. Available: <https://research.google/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [29] Google, „AI Technology Blog,” The Keyword, 2026. [Online]. Available: <https://blog.google/technology/ai/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [30] Amazon, „Amazon Investor Relations - Overview,” Amazon, 2026. [Online]. Available: <https://ir.aboutamazon.com/overview/default.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [31] Amazon Web Services, „About AWS,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/about-aws/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [32] Amazon Web Services, „Machine Learning on AWS,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/machine-learning/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [33] Amazon Web Services, „Artificial Intelligence (AI) on AWS,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/ai/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [34] Amazon Web Services, „Amazon EC2 Instance Types,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/ec2/instance-types/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [35] Amazon Web Services, „Amazon Bedrock,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/bedrock/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [36] Amazon Web Services, „Amazon Nova,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/nova/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [37] Amazon Web Services, „Amazon SageMaker,” AWS, 2026. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/sagemaker/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [38] Meta, „About Meta,” Meta, 2026. [Online]. Available: <https://about.meta.com/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [39] Meta Platforms, Inc., „Meta Reports Fourth Quarter and Full Year 2025 Results,” Meta Investor Relations, Feb. 2026. [Online]. Available: <https://investor.atmeta.com/investor-news/press-release-details/2026/Meta-Reports-Fourth-Quarter-and-Full-Year-2025-Results/default.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [40] Meta, „Meta Newsroom,” Meta, 2026. [Online]. Available: <https://about.fb.com/news/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [41] Meta AI, „Llama,” Meta AI, 2026. [Online]. Available: <https://ai.meta.com/llama/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [42] Meta AI, „Artificial Intelligence at Meta,” Meta AI, 2026. [Online]. Available: <https://ai.facebook.com/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [43] PyTorch, „PyTorch,” PyTorch Foundation, 2026. [Online]. Available: <https://pytorch.org/>. [Accessed: 27-Mar-2026].

- [44] Bloomberg, „International Business Machines Corp - Company Profile and News,” Bloomberg, 2026. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/quote/IBM:US>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [45] IBM, „IBM Newsroom,” IBM, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.ibm.com/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [46] IBM, „watsonx - AI and Data Platform,” IBM, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/watsonx>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [47] IBM, „Artificial Intelligence on IBM Cloud,” IBM Cloud, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/cloud/ai>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [48] IBM, „IBM Granite Models,” IBM, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/granite>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [49] IBM, „Quantum Safe Security,” IBM Security, 2026. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/security/quantum-safe>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [50] Bloomberg, „SAP SE - Company Profile and News,” Bloomberg, 2026. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/quote/SAP:GR>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [51] SAP SE, „About SAP,” SAP, 2026. [Online]. Available: <https://www.sap.com/about/company.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [52] SAP SE, „Artificial Intelligence (AI) for Business,” SAP, 2026. [Online]. Available: <https://www.sap.com/products/artificial-intelligence.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [53] SAP SE, „SAP Joule,” SAP News Center, 2026. [Online]. Available: <https://news.sap.com/tags/sap-joule/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [54] SAP SE, „Data and Analytics,” SAP Enterprise Intelligence, 2026. [Online]. Available: <https://www.sap.com/products/enterprise-intelligence.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [55] SAP SE, „SAP Business Technology Platform,” SAP Cloud Platform, 2026. [Online]. Available: <https://www.sap.com/products/cloud-platform.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [56] SAP SE, „SAP Investor Relations,” SAP, 2026. [Online]. Available: <https://www.sap.com/investors/en.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [57] Intel Corporation, „Quarterly Results,” Intel Investor Relations, 2026. [Online]. Available: <https://www.intc.com/financial-info/quarterly-results>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [58] Intel Corporation, „Artificial Intelligence Overview,” Intel, 2026. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/artificial-intelligence/overview.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [59] Intel Corporation, „18A High-Volume Production Update,” Intel Newsroom, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.intel.com/foundry/18a-high-volume-production-update/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [60] U.S. Department of Defense, „Secure Enclave CHIPS Act Award,” U.S. DoD News, 2026. [Online]. Available: <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3906926/secure-enclave-chips-act-award/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [61] Intel Corporation, „Advanced Packaging,” Intel Architecture and Technology, 2026. [Online]. Available: <https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/advanced-packaging.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [62] Warsaw Business Journal, „Intel cancels Miękinia investment: 2025 report,” WBJ, 2025. [Online]. Available: <https://wbj.pl/intel-cancels-miekinia-investment-2025-report/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [63] Accenture, „Fact Sheet,” Accenture Newsroom, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.accenture.com/fact-sheet>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [64] Accenture, „Accenture Named a Leader in Gartner Magic Quadrant for Digital Technology and Business Consulting Services,” Accenture Newsroom, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.accenture.com/news/2026/accenture-named-a-leader-in-gartner-magic-quadrant-for-digital-technology-and-business-consulting-services>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [65] Accenture, „Accenture Invests in DaVinci Commerce to Advance Agentic AI-Led Shopping,” Accenture Newsroom, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.accenture.com/news/2026/accenture-invests-in-davinci-commerce-to-advance-agentic-ai-led-shopping>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [66] Accenture, „Artificial Intelligence Services,” Accenture, 2026. [Online]. Available: <https://www.accenture.com/us-en/services/ai>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [67] Accenture, „Artificial Intelligence Case Studies,” Accenture, 2026. [Online]. Available: <https://www.accenture.com/us-en/case-studies/artificial-intelligence>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [68] Accenture, „Accenture Completes Acquisition of Faculty,” Accenture Newsroom, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.accenture.com/news/2026/accenture-completes-acquisition-of-faculty>. [Accessed: 27-Mar-2026].

- [69] Accenture, „Accenture Announces Reinvention Services Leadership,” Accenture Newsroom, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.accenture.com/news/2026/accenture-announces-reinvention-services-leadership>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [70] World Governments Summit, „World Governments Summit & Accenture Launch Experience Paradox,” World Governments Summit Media Hub, 2026. [Online]. Available: <https://www.worldgovernmentssummit.org/media-hub/news/detail/world-governments-summit-accenture-launch-experience-paradox>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [71] Accenture, „Pulse of Change,” Accenture Insights, 2026. [Online]. Available: <https://www.accenture.com/us-en/insights/pulse-of-change>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [72] Accenture, „Notice of Annual Meeting of Shareholders and Proxy Statement,” Accenture Investor Relations, 2026. [Online]. Available: https://investor.accenture.com/~/_media/Files/A/accenture-v4/investors/annual-shareholder-meeting/2026/accenture-proxy-statement-2025.pdf. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [73] Accenture, „Integrated Reporting & Financials,” Accenture, 2026. [Online]. Available: <https://www.accenture.com/us-en/about/company/integrated-reporting-financial>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [74] Anthropic, „Company,” Anthropic, 2026. [Online]. Available: <https://www.anthropic.com/company>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [75] TechCrunch, „Amazon increases Anthropic investment,” TechCrunch, Nov. 2025. [Online]. Available: <https://techcrunch.com/2025/11/amazon-increases-anthropic-investment/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [76] Bloomberg, „Anthropic Revenue Growth Highlights AI Safety Focus,” Bloomberg, Jan. 2026. [Online]. Available: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2026-01-15/anthropic-revenue-growth-ai-safety-focus>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [77] Anthropic, „Claude for Enterprise,” Anthropic News, 2026. [Online]. Available: <https://www.anthropic.com/news/claude-for-enterprise>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [78] Anthropic, „Constitutional AI,” Anthropic Research, 2026. [Online]. Available: <https://www.anthropic.com/research/constitutional-ai>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [79] Anthropic, „Research,” Anthropic, 2026. [Online]. Available: <https://www.anthropic.com/research>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [80] Anthropic, „Put Claude to work on your computer,” Claude Blog, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://claude.com/blog/dispatch-and-computer-use>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [81] MIT Technology Review, „Inside Anthropic's AI safety models,” MIT Technology Review, Dec. 2025. [Online]. Available: <https://www.technologyreview.com/2025/12/19/anthropic-ai-safety-models>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [82] Salesforce, Inc., „Our Story,” Salesforce, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/company/our-story/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [83] Salesforce, Inc., „Financial Services,” Salesforce Solutions, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/solutions/industries/financial-services/overview/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [84] Salesforce, Inc., „State and Local Government,” Salesforce Public Sector, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/public-sector/state-and-local/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [85] Salesforce, Inc., „Artificial Intelligence for Government,” Salesforce EU, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/eu/government/artificial-intelligence/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [86] Salesforce, Inc., „Agentforce for Government Guided Tour,” Salesforce, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/government/guided-tours/agentforce/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [87] Salesforce, Inc., „Einstein AI Overview,” Salesforce, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/products/einstein/overview/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [88] Salesforce, Inc., „Data Cloud,” Salesforce, 2026. [Online]. Available: <https://www.salesforce.com/products/data-cloud/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [89] Cisco Systems, Inc., „Investor Relations,” Cisco, 2026. [Online]. Available: <https://investor.cisco.com/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [90] Cisco Systems, Inc., „What Is a Smart City?,” Cisco, 2026. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/networking/what-is-a-smart-city.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [91] Cisco Systems, Inc., „Why Cisco for Government,” Cisco, 2026. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/site/us/en/solutions/industries/government/why-cisco-for-government.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].

- [92] Cisco Systems, Inc., „Artificial Intelligence Solutions,” Cisco, 2026. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/site/us/en/solutions/artificial-intelligence/index.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [93] Cisco Systems, Inc., „AI-Driven Threat Intelligence,” Cisco Security, 2026. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/ai-driven-threat-intelligence.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [94] Cisco Systems, Inc., „Cisco Newsroom,” Cisco, 2026. [Online]. Available: <https://newsroom.cisco.com/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [95] Cisco Systems, Inc., „AI Networking,” Cisco Enterprise Networks, 2026. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/enterprise-networks/ai-networking.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [96] Cisco Systems, Inc., „Cisco Hypershield,” Cisco Security, 2026. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/security/hypershield.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].

Rozdział 3.

1. <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/the-year-of-quantum-from-concept-to-reality-in-2025>
2. <https://www.quantumbasel.com/blog/quantum-investments-stats-2025/>
3. <https://cdn.digitaleurope.org/uploads/2025/12/FINAL-position-Quantum-Act-CfE.pdf>
4. <https://cdn.digitaleurope.org/uploads/2025/06/1-DIGITALEUROPEs-recommendations-for-the-EU-Quantum-Strategy.pdf>
5. <https://www.european-quantum-act.com/>
6. <https://www.nordforsk.org/2025/nordic-quantum-technology-research-co-operation>
7. https://www.eurohpc-ju.europa.eu/quantum-grand-challenge_en
8. SpinQ Quantum Computing Funding Report, 2025 <https://www.spinquanta.com/news-detail/quantum-computing-funding-explosive-growth-strategic-investment-2025>
9. <https://qt.eu/about-quantum-flagship/>
10. <https://www.digitaleurope.org/resources/quantum-act-making-europe-a-quantum-industrial-powerhouse/>
11. <https://www.csis.org/blogs/perspectives-innovation/quick-take-quantum-technology-global-competition>
12. <https://pionierq.pionier.net.pl/>
13. <https://thequantuminsider.com/>
14. Research and Markets: Quantum Computing Market - Global Forecast 2026-2032
15. https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/draghi-report_en
16. <https://thequantuminsider.com/2026/02/27/french-national-quantum-update-february-2026/>
17. <https://qbn.world/intelligence/global-quantum-initiatives/>
18. M. Muradoglu, M. T. Johnsson, N. M. Wilson et al. Quantum-assured magnetic navigation achieves positioning accuracy better than a strategic-grade INS in airborne and ground-based field trials. <https://arxiv.org/html/2504.08167v1>
19. <https://sciencecluster.dk/partner/nqcp/>
20. <https://quantumcomputingreport.com/finland-launches-new-national-quantum-technology-strategy-to-strengthen-global-leadership/>
21. <https://quantumcomputingreport.com/uk-government-commits-2-billion-2-67-billion-usd-to-national-quantum-scaling-and-procurement/>
22. <https://www.sitra.fi/en/publication/finland-in-the-race-for-quantum-advantage/>
23. <https://www.nordforsk.org/2025/nordic-quantum-technology-research-co-operation>
24. <https://mapadotacji.gov.pl/projekty/786419/>
25. <https://www.mikok.pl/>
26. <https://www.pcss.pl/rozwoj-europejskich-technologii-obliczen-kwantowych-podpisanie-umowy-na-instalacje-komputera-kwantowego-euroqcs-poland/>
27. <https://www.gov.pl/web/kas/pfr-deep-tech-600-mln-zl-na-inwestycje-w-zaawansowane-technologie>
28. <https://naukaibiznes.rzeczniemsp.gov.pl/pfr-ventures-inwestuje-w-fundusz-innowacji-nato-wsparcie-dla-polskich-start-upow-dual-use/>
29. Projekty - Sonovero R&D
30. <https://www.resquant.com/>
31. <https://www.uw.edu.pl/uw-w-narodowym-laboratorium-fotoniki-i-technologii-kwantowych/>

Rozdział 4

- [1] Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, “Branża półprzewodników w polsce 2025,” Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Warszawa, 2025. Available: <https://imif.lukasiewicz.gov.pl/wp-content/uploads/2025/09/Branza-polprzewodnikow-w-Polsce-2025.pdf>
- [2] SIA, “Miesięczne raporty o sprzedarzy półprzewodników na podstawie danych dostarczanych przez world semiconductor trade statistics (WSTS),” The Semiconductor Industry Association (SIA), 2205-20026. Available: <https://www.semiconductors.org/>
- [3] Statcounter Global Stats, “Operating system market share in poland – february 2026.” [Online]. Available: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/all/poland>
- [4] Statcounter Global Stats, “Operating system market share worldwide – february 2026.” [Online]. Available: <https://gs.statcounter.com/os-market-share>
- [5] Statcounter Global Stats, “FAQ / about – methodology of global stats.” [Online]. Available: <https://gs.statcounter.com/faq>
- [6] internet.gov.pl, “Statystyki.” [Online]. Available: <https://internet.gov.pl/stats/>
- [7] European Commission, “Digital decade 2025 country report: poland,” European Commission, 2025. Available: <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-10407-2025-ADD-53/en/pdf>
- [8] Główny Urząd Statystyczny, “Społeczeństwo informacyjne w polsce w 2025 r.” Główny Urząd Statystyczny, 2025. Available: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5497/2/15/1/spoleczenstwo_informacyjne_w_polsce_w_2025_r..pdf
- [9] Synergy Research Group, “European cloud providers’ local market share now holds steady at 15%.” Accessed: Jul. 24, 2025. [Online]. Available: <https://www.srgresearch.com/articles/european-cloud-providers-local-market-share-now-holds-steady-at-15>
- [10] Information Technology and Innovation Foundation, “The EU’s cloud service restrictions.” [Online]. Available: <https://itif.org/publications/2025/05/25/eu-cloud-service-restrictions/>
- [11] Polska Chmura - jedyny na krajowym rynku związek polskich dostawców usług chmurowych [Online] <https://polska-chmura.pl>
- [12] European Commission, “Open source software strategy 2020–2023,” European Commission, 2020. Available: https://commission.europa.eu/system/files/2023-02/en_ec_open_source_strategy_2020-2023.pdf
- [13] European Commission, “European digital identity.” [Online]. Available: https://commission.europa.eu/topics/digital-economy-and-society/european-digital-identity_en
- [14] Eurostat, “ICT usage in enterprises (isoc_e) - metadata.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/isoc_e_esms.htm
- [15] Eurostat, “Cloud computing - statistics on the use by enterprises.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?oldid=207501&title=Cloud_computing_-_statistics_on_the_use_by_enterprises
- [16] J. Kopeć, “Zamówienia na pozór otwarte. Nierówne szanse producentów oprogramowania w zamówieniach publicznych polskiej administracji,” Fundacja Instrat, Warszawa, 02-2025, Dec. 2025. Available: <https://www.instrat.pl/zamowienia-na-pozor-otwarte>
- [17] M. Kuśmierek, “Rząd nie chce być zależny od Microsoftu. Płaci potężne pieniądze za licencje.” [Online]. Available: {<https://spidersweb.pl/2026/02/rzadowy-pakiet-biurowy-zamiast-office.html>}
- [18] Fundacja Digital Poland, “Suwerenność technologiczna polski i europy. Raport z badania opinii społecznej. Edycja 2026,” Fundacja Digital Poland, Warszawa, Mar. 2026.

Rozdział 5

- [1] Tech Policy Press, „Are AI systems incompatible with data privacy?,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/are-ai-systems-incompatible-with-data-privacy/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [2] Preprints, „Machine Unlearning in Large Language Models: A Survey of Challenges and Methods,” Preprints.org, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://www.preprints.org/manuscript/202603.0114>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [3] European Commission, „Artificial Intelligence in Health,” European Commission Policies, 2026. [Online]. Available: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/artificial-intelligence-health>. [Accessed: 27-Mar-2026].

- [4] Kapa3, „Digital health technologies in Europe: New European Commission report highlights opportunities and challenges,” Kapa3, 2026. [Online]. Available: <https://www.kapa3.gr/en/digital-health-technologies-in-europe-new-european-commission-report-highlights-opportunities-and-challenges/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [5] Kapa3, „Observatory for digital health technologies in Europe,” Kapa3 Report, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://www.kapa3.gr/wp-content/uploads/2026/03/observatory-for-digital-health-technologies-in-europe-KK0125152ENN-1.pdf>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [6] ESC, „ACVC Press Releases,” European Society of Cardiology, 2026. [Online]. Available: <https://www.escardio.org/news/press/press-releases/acvc-press/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [7] Tech Policy Press, „Trump and GOP Lawmakers Push for New National AI Legislation,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/trump-and-gop-lawmakers-push-for-new-national-ai-legislation/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [8] Tech Policy Press, „Europe is looking to water down AI protections, it should reinforce them,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/europe-is-looking-to-water-down-ai-protections-it-should-reinforce-them/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [9] Tech Policy Press, „Brazil is preparing for its first real AI election, but is it ready?,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/brazil-is-preparing-for-its-first-real-ai-election-but-is-it-ready/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [10] De Rebus, „Virality of deepfake technology in the upcoming South African elections,” De Rebus, 2026. [Online]. Available: <https://www.derebus.org.za/virality-of-deepfake-technology-in-the-upcoming-south-african-elections/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [11] Tech Policy Press, „Anthropic is becoming the backbone of Rwanda's government, but who is accountable?,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/anthropic-is-becoming-the-backbone-of-rwandas-government-but-who-is-accountable/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [12] Tech Policy Press, „The high stakes of Pakistan's push for AI sovereignty,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/the-high-stakes-of-pakistans-push-for-ai-sovereignty/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [13] Global Policy Watch, „MEPs Adopt Joint Position on Proposed Digital Omnibus on AI,” Global Policy Watch, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://www.globalpolicywatch.com/2026/03/meps-adopt-joint-position-on-proposed-digital-omnibus-on-ai/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [14] Tech Policy Press, „Japan's Team Mirai Uses Tech to Bolster Democracy, Not Undermine It,” Tech Policy Press, 2026. [Online]. Available: <https://www.techpolicy.press/japans-team-mirai-uses-tech-to-bolster-democracy-not-undermine-it/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [15] The White House, „National Policy Framework for Artificial Intelligence: Legislative Recommendations,” White House Documents, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2026/03/03.20.26-National-Policy-Framework-for-Artificial-Intelligence-Legislative-Recommendations.pdf>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [16] THE Journal, „White House Issues National Policy Framework for AI,” THE Journal, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://thejournal.com/articles/2026/03/23/white-house-issues-national-policy-framework-for-ai.aspx>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [17] Pinsent Masons, „US child safety measures set out in new AI policy framework,” Out-Law News, 2026. [Online]. Available: <https://www.pinsentmasons.com/out-law/news/us-child-safety-measures-set-out-new-ai-policy-framework>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [18] M. Blackburn, „Blackburn Releases Discussion Draft of National Policy Framework for Artificial Intelligence,” Senator Marsha Blackburn Press, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://www.blackburn.senate.gov/2026/3/technology/blackburn-releases-discussion-draft-of-national-policy-framework-for-artificial-intelligence/3b3b6458-b6c7-478b-9859-374949586765>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [19] OpenAI, „Japan Teen Safety Blueprint,” *OpenAI Blog*, 2026. [Online]. Available: <https://openai.com/index/japan-teen-safety-blueprint/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [20] Data Center Dynamics, „Australian govt publishes expectations for data centers and AI infrastructure projects,” *DCD News*, 2026. [Online]. Available: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/australian-govt-publishes-expectations-for-data-centers-and-ai-infrastructure-projects/>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [21] LuatVietnam, „Promoting investment in AI infrastructure and national data on AI,” *LuatVietnam Legal Updates*, 2026. [Online]. Available: <https://english.luatvietnam.vn/legal-updates/promoting-investment-in-ai-infrastructure-and-national-data-on-ai-892-107731-article.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].

- [22] EuroHPC JU, „EuroHPC JU Signs Contract to Deploy AI Supercomputer HammerHAI,” EuroHPC JU Press, Mar. 2026. [Online]. Available: https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-signs-contract-deploy-ai-supercomputer-hammerhai-2026-03-16_en. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [23] Hindustan Times, „AI can aid judiciary but not replace judges: SC Justice Vikram Nath,” Hindustan Times, 2026. [Online]. Available: <https://www.hindustantimes.com/india-news/ai-can-aid-judiciary-but-not-replace-judges-sc-justice-vikram-nath-101774185596888.html>. [Accessed: 27-Mar-2026].
- [24] Simmons & Simmons, „AI View: March 2026,” Simmons & Simmons Publications, Mar. 2026. [Online]. Available: <https://www.simmons-simmons.com/en/publications/cmmvt9ow200l8tvk49kbfu1nv/ai-view-march-2026>. [Accessed: 27-Mar-2026].



BIURO WSPARCIA PROJEKTÓW INWESTYCYJNYCH W DZIEDZINIE NOWYCH TECHNOLOGII MINISTERSTWA CYFRYZACJI

Autorzy: Przemysław Broniszewski, dr inż. Joanna Kołodziejczyk,
Tomasz Melaniuk, Paulina Obara, Zofia Ragankiewicz

Redakcja: Roman Młodkowski

Opiekun merytoryczny: Marcin Klepacki

Projekt graficzny: Kinga Graczyk, Anna Maraszek

Skład: Kinga Graczyk, Anna Maraszek

Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa, ul. Szachowa 1

Warszawa, marzec 2026 r.





PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
Instytut Łączności



PROJEKT FINANSOWANY ZE ŚRODKÓW
MINISTERSTWA CYFRYZACJI. PUBLIKACJA
WYRAŻA JEDYNIĘ POGLĄDY AUTORA/ÓW I NIE
MOŻE BYĆ UTOŻSAMIANA Z OFICJALNYM
STANOWISKIEM MINISTERSTWA CYFRYZACJI.



Projekt finansowany ze środków Ministerstwa Cyfryzacji

