Luka Eksaskalowa

Analiza braków infrastrukturalnych Polski wobec wymogów AI Act i wyzwań frontier AI

NAJWAŻNIEJSZE LICZBY

Wskaźnik	Co oznacza dla Polski
35 PFLOPS	Moc najszybszego polskiego superkomputera (Helios). Europejski system exascale JUPITER ma ~28× więcej (1 000 PFLOPS). [6][8]
5,9 %	Odsetek polskich firm używających AI (2024). Średnia UE — 13,5%, Dania — 27,6%. Polska jest druga od końca w całej UE. [5]
€200 mld vs ~€0,4 mld	Unijny pakiet InvestAI wobec sumy bezpośrednich polskich instrumentów — różnica rzędu setek razy. [12][4]
~4,4× / rok	Tempo wzrostu mocy potrzebnej do trenowania modeli AI. Polityka przewiduje przegląd raz w roku. [9][4]
€35 mln / 7%	Maksymalna kara z AI Act (lub 7% globalnego obrotu). Obowiązki dla systemów wysokiego ryzyka — od 2.08.2026. [1][2]
415 → 945 TWh	Globalne zużycie energii przez centra danych do 2030 r. (×2,3). Napięcie z unijną polityką klimatyczną. [15]

Tempo rozwoju sztucznej inteligencji w ciągu ostatnich dwóch lat zmieniło globalny układ sił gospodarczych i politycznych. AI Act wszedł w życie 1 sierpnia 2024 r., a państwa członkowskie Unii Europejskiej przechodzą z fazy deklaracji do fazy realnych wdrożeń — pierwsze zakazy obowiązują od lutego 2025 r., a obowiązki dla systemów wysokiego ryzyka zaczną obowiązywać 2 sierpnia 2026 r. [1]. W tym kontekście Polska stoi przed koniecznością przedstawienia spójnej, wykonalnej i opartej na faktach strategii rozwoju AI. Skala wyzwania jest wykładnicza: według Epoch AI moc obliczeniowa potrzebna do trenowania czołowych modeli rośnie około 4,4-krotnie rocznie, co oznacza, że nawet roczne opóźnienie przekłada się na utratę przewagi mierzonej rzędami wielkości [9].

Symboliczny jest zbieg dat. 17 listopada 2025 r. — w dniu, w którym Ministerstwo Cyfryzacji opublikowało „Politykę rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce do 2030 r.” [4] — EuroHPC ogłosiło, że niemiecki JUPITER stał się pierwszym europejskim superkomputerem klasy exascale (1,0 EFLOPS, 4. miejsce na świecie) [7]. Najszybsza polska maszyna, Helios, oferuje 35 PFLOPS i zajmuje 155. pozycję na liście TOP500 [6][8]. Dokument rządowy zawiera ambitne deklaracje i podział kompetencji, lecz ujawnia szereg luk systemowych: brak operacyjnego harmonogramu, niewystarczającą — i nieprecyzyjnie zdefiniowaną — moc obliczeniową, rozproszone mechanizmy koordynacji oraz system monitoringu nieodpowiadający dynamice zmian w AI.

Celem niniejszego referatu jest przedstawienie analizy kluczowych luk występujących w dokumencie rządowym oraz zaproponowanie realistycznych, natychmiast wykonalnych działań. Każdą tezę opatrzono danymi liczbowymi ze źródeł publicznych (Eurostat, EuroHPC/TOP500, IEA, Epoch AI, Stanford HAI, Komisja Europejska). Fundamentem propozycji są: ciągły monitoring i ewaluacja polityk, mierzalne zwiększenie mocy

obliczeniowej, powołanie zespołu młodych ekspertów technologicznych, system przeciwdziałania emigracji talentów oraz precyzyjne budżety i terminy. Polska ma realny potencjał, by wykorzystać obecną transformację — lecz wymaga to strategii opartej na danych, tempie i odpowiedzialności za przyszłe pokolenia.

Część I — Analiza luk systemowych w polskiej polityce AI

1.1. Luka strategiczna: brak operacyjnego harmonogramu

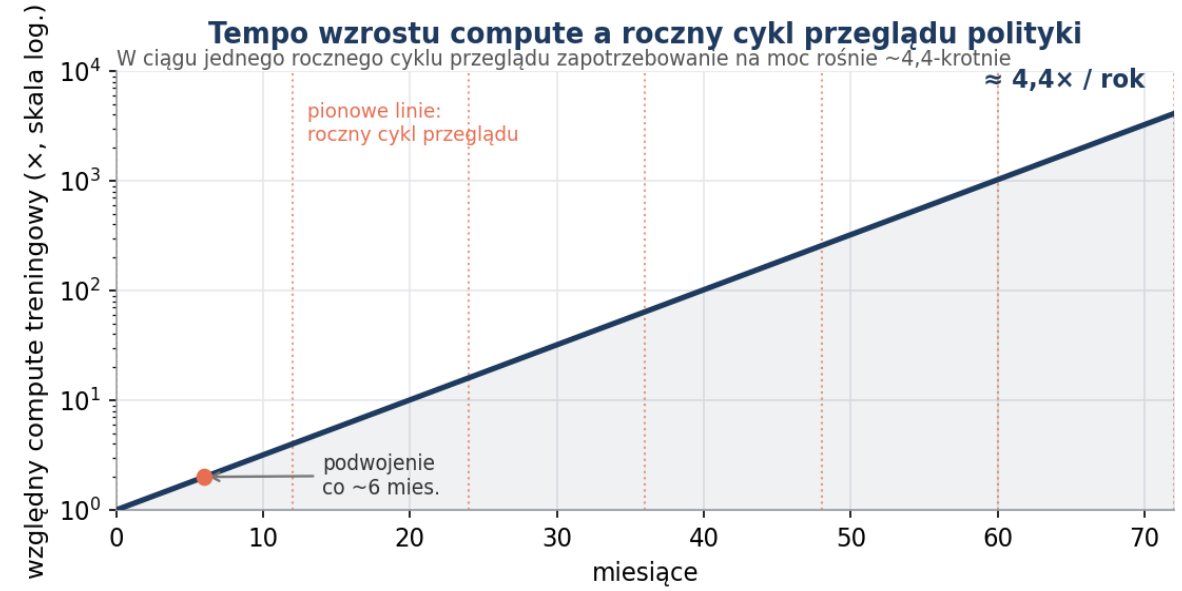
W opublikowanej w listopadzie 2025 r. Polityce rozwoju AI do 2030 r. pojawia się kluczowe stwierdzenie, że „harmonogram działań zostanie dopiero opracowany w ciągu 3 miesięcy od przyjęcia dokumentu" [4]. Oznacza to, że w momencie publikacji strategii nie istnieje operacyjna mapa drogowa określająca:

- daty realizacji i kamienie milowe
- odpowiedzialne jednostki i mierniki postępu
- zależności między projektami
- priorytety inwestycyjne
- wycenę poszczególnych etapów

Z punktu widzenia zarządzania projektami publicznymi cały dokument ma więc charakter deklaratywny, a nie wykonawczy. W praktyce prowadzi to do opóźnień, braku spójności i ryzyka utraty środków unijnych, które wymagają precyzyjnych planów i rozliczeń. Ryzyko jest podwójne: opóźnienie całego ekosystemu (działania downstream — Fabryki AI, programy talentowe, inwestycje w HPC — przesuwają się o kolejne kwartały) oraz brak odpowiedzialności za wyniki (bez publicznego kalendarza niemożliwy jest monitoring postępów). Przy tempie ~4,4× rocznie [9] każde sześciomiesięczne przesunięcie oznacza ponad dwukrotny wzrost dystansu, jaki trzeba nadrobić względem państw realizujących już swoje mapy drogowe (Francja, Niemcy, Estonia, Wielka Brytania).

1.2. Luka wykonawcza: roczny monitoring wobec miesięcznego tempa przełomów

Dokument rządowy przewiduje coroczną ewaluację i aktualizację polityki AI [4]. Tymczasem compute treningowy czołowych modeli językowych rośnie ok. 5-krotnie rocznie (podwojenie co ~5,2 miesiąca), a dla ogółu znaczących modeli — ok. 4,4× rocznie [9]. Roczny cykl przeglądów sprawdza się przy infrastrukturze drogowej czy ochronie zabytków, ale nie przy technologii, której możliwości zmieniają się w skali tygodni. W ciągu jednego rządowego cyklu przeglądowego globalne zapotrzebowanie na moc obliczeniową rośnie kilkukrotnie — system, który „patrzy" raz w roku, strukturalnie nie nadąża.

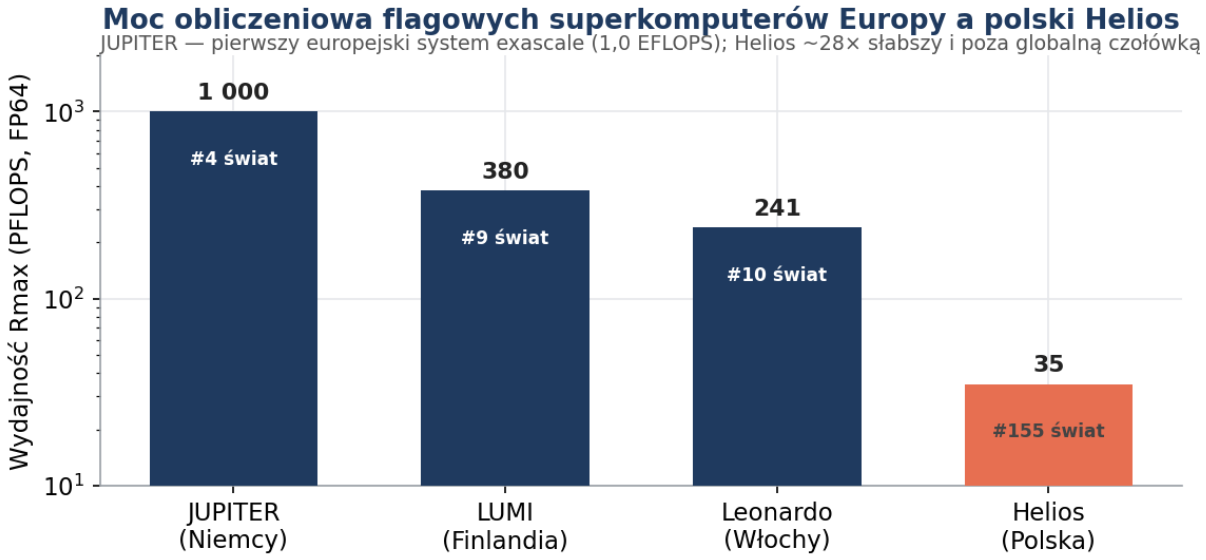


Wykres 1. Wykładnicze tempo wzrostu compute a roczny cykl przeglądu polityki. Źródło: Epoch AI.

W konsekwencji rządowy system monitoringu reaguje zbyt wolno, nie wychwytuje nowych ryzyk i nie pozwala adaptować polityk do dynamiki rynku. Rozwiązaniem jest wprowadzenie stałego monitoringu (continuous assessment) opartego na dashboardach i comiesięcznej ewaluacji wskaźników, zespołu młodych analityków technologicznych oraz Rapid-Response Units — małych grup decyzyjnych reagujących natychmiast na przełomy (pojawienie się nowych modeli frontier, technik optymalizacji, zmian w alokacji compute). To model stosowany przez państwa o wysokiej gotowości cyfrowej [17].

1.3. Luka infrastrukturalna: moc obliczeniowa bez specyfikacji

Moc obliczeniowa to kluczowy zasób strategiczny XXI wieku. Polityka AI 2030 deklaruje wprawdzie wzrost mocy dostępnej dla firm z 3 do 40 eksaflopsów za pośrednictwem sieci PLGrid (system voucherów) [4] — co należy odnotować jako postęp względem wcześniejszych wersji — jednak nie precyzuje najważniejszego: rodzaju precyzji obliczeń (FP64 czy AI-owe FP16/FP8?), architektury, generacji układów (H100/H200, B200, Gaudi?), wymagań energetycznych ani planu zapewnienia GPU. Bez tych parametrów liczba „40 eksaflopsów” pozostaje hasłem, a nie projektem inżynierskim. Dla porównania skali: dzisiejszy flagowiec, Helios, to 35 PFLOPS w trybie FP64 i 1,8 EFLOPS w trybie AI [8].



Wykres 2. Wydajność flagowych superkomputerów Europy a polski Helios (PFLOPS, FP64). Źródło: TOP500 / EuroHPC, XI 2025.

Najlepiej skalę problemu pokazuje zestawienie punktów odniesienia — od regulacyjnej granicy „ryzyka systemowego", przez koszt treningu pojedynczego modelu, po pojedynczą europejską gigafabrykę:

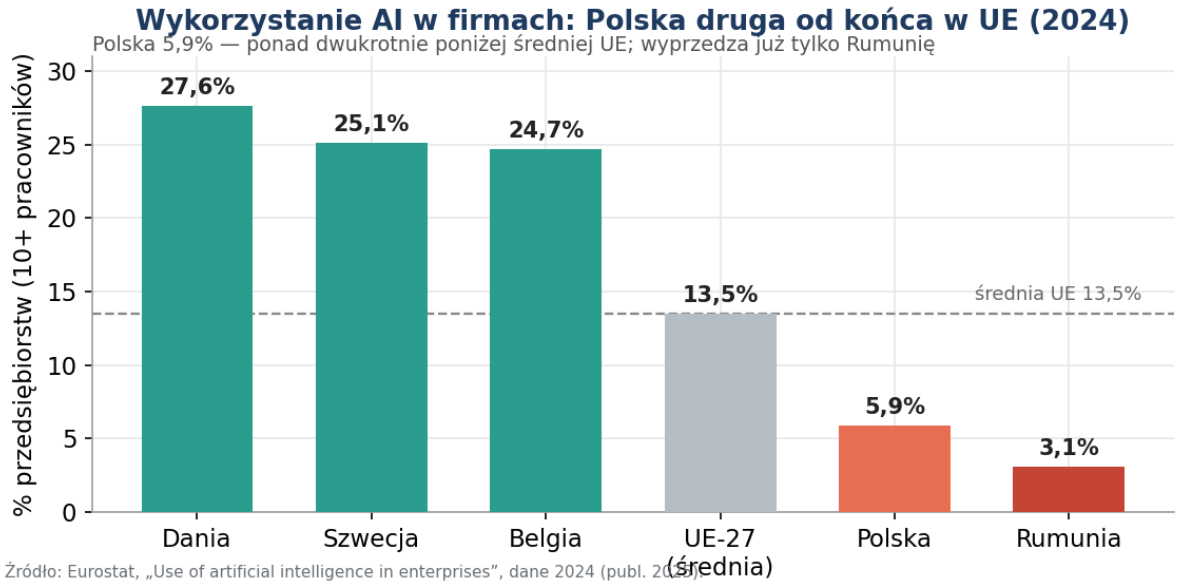
Punkt odniesienia	Skala	Znaczenie
Próg „ryzyka systemowego" w AI Act	10^{25} FLOP (trening)	Regulacyjna granica modeli frontier; ~11 dostawców na świecie ją przekracza [3]
Trening modelu klasy GPT-4o	~3,8 × 10^{25} FLOP	~4× próg systemowy (szacunek Epoch AI) [9]
Helios — tryb AI (Polska)	1,8 EFLOPS	Trening modelu klasy GPT-4o ≈ 8 mies. przy teoretycznym szczycie; realnie ponad rok, blokując krajowy flagowiec [8]
Cel krajowy 2030 (PLGrid)	3 → 40 EFLOPS	Deklarowany skok mocy dla firm; brak określenia precyzji i architektury [4]
Jedna gigafabryka AI (UE)	~100 000 GPU najnowszej generacji	Rzędu setek–tysięcy EFLOPS w trybie AI — wielokrotność dzisiejszej mocy krajowej [12][14]

Tabela 1. Drabina mocy obliczeniowej — od progu regulacyjnego do gigafabryki AI.

Bez infrastruktury HPC odpowiedniej skali Polska nie jest w stanie trenować własnych modeli językowych, rozwijać deep techu, konkurować z globalnym sektorem prywatnym ani w pełni wykorzystać unijnych programów (AI Factories, AI Continent). Co istotne, trzy europejskie systemy w światowej pierwszej dziesiątce — JUPITER (1 000 PFLOPS, Niemcy), LUMI (380 PFLOPS, Finlandia) i Leonardo (241 PFLOPS, Włochy) — goszczą Niemcy, Finlandia i Włochy; Polska nie gości żadnego z nich [6][7]. Strategia AI bez precyzyjnej sekcji o mocy obliczeniowej jest jak strategia militarna bez informacji o armii.

1.4. Luka kompetencyjna: niska adopcja AI i emigracja talentów

Dokument deklaruje rozwój kompetencji, lecz nie docenia dwóch sprzężonych zjawisk: bardzo niskiej adopcji AI w polskich firmach oraz odpływu najzdolniejszych inżynierów. Według Eurostatu w 2024 r. AI wykorzystywało zaledwie 5,9% polskich przedsiębiorstw (10+ pracowników) wobec średniej UE 13,5% i 27,6% w Danii; w 2025 r. wskaźniki te wzrosły odpowiednio do 8,4% i 20,0% — lecz dystans pozostał [5].



Wykres 3. Odsetek przedsiębiorstw używających AI, 2024. Źródło: Eurostat.

Wymaga to istotnej korekty tezy obecnej we wcześniejszych wersjach analizy: Polska **nie jest „za Rumunią"** — to Rumunia zamyka stawkę (3,1% w 2024 r.), a Polska jest druga od końca. Różnica jest jednak symboliczna; obie należą do ogona UE. Po stronie kadr polski sektor ICT to ok. 250 tys. specjalistów, przy szacowanym niedoborze 40–50 tys. osób [18]. Lukę pogłębia emigracja: różnica wynagrodzeń wobec Europy Zachodniej sprawia, że najlepiej wykwalifikowani specjaliści wybierają pracę w USA, Wielkiej Brytanii, Holandii czy Niemczech [18]. Bez ekosystemu, który zatrzyma talenty, deklaracje o rozwoju kompetencji pozostają fikcją.

1.5. Luka technologiczna: GigaFactory — od ogólników do twardych KPI

Polityka wskazuje konkretne kwoty bezpośrednie: 60 mln zł w 2025 r., 162 mln zł w 2026 r., 300 mln zł w PFR Ventures (plus co najmniej tyle samo kapitału prywatnego) oraz środki na modele językowe [4]. Flagowym projektem infrastrukturalnym jest Baltic AI GigaFactory — i tu, wbrew wcześniejszej ocenie o „braku konkretów", część parametrów jest już znana: to wniosek złożony do Komisji Europejskiej w ramach InvestAI (2025) przez konsorcjum pod przewodnictwem Polski (z Litwą, Łotwą i Estonią), o szacowanej wartości ok. 3 mld € (65% kapitału prywatnego, 35% środki UE i krajowe), zakładający do 100 000 GPU najnowszej generacji i trenowanie modeli powyżej biliona parametrów (m.in. polskie PLLuM i Bielik.AI) [14].

Problemem nie jest zatem brak ambicji, lecz brak wykonawczej precyzji i pewności finansowania. Dla projektu tej klasy wciąż brakuje publicznie określonych:

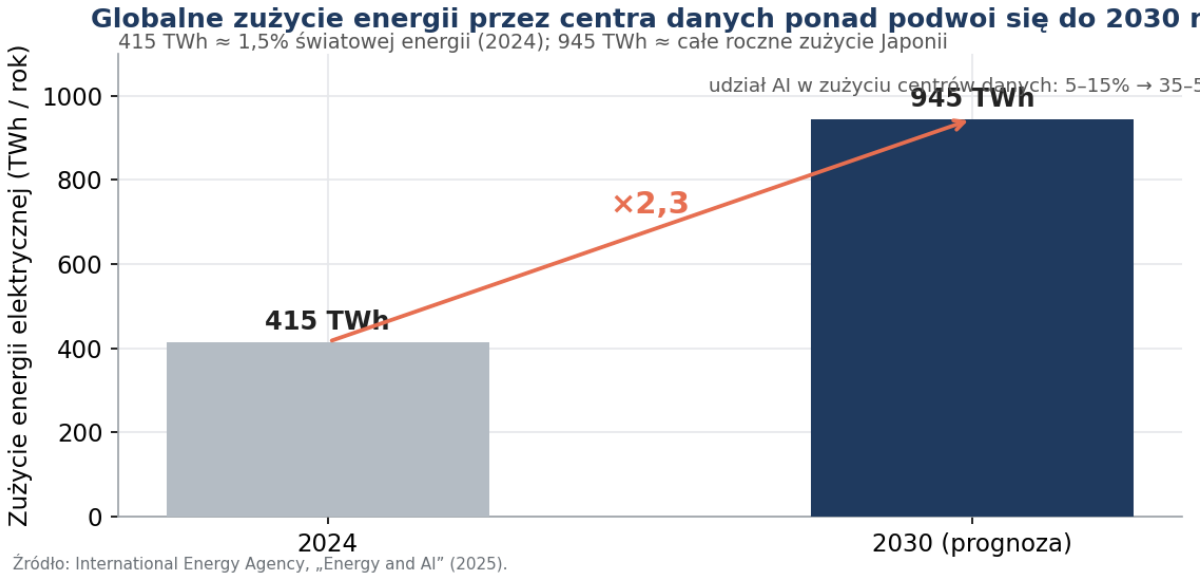
- docelowej liczby FLOPS i generacji układów (nie tylko orientacyjnej liczby GPU)
- wiążącego harmonogramu i etapów (kamienie milowe, ryzyka, koszt całkowity)
- zapotrzebowania energetycznego (MW) i modelu chłodzenia
- modelu dostępu (API, priorytetowe sektory: nauka, MŚP, przemysł)
- integracji z AI Act Service Desk
- statusu finansowania — projekt pozostaje wnioskiem do KE, a 65% budżetu zależy od kapitału prywatnego [14]

Inwestycja w gigafabrykę bez wiążącej specyfikacji technicznej i zabezpieczonego finansowania pozostaje — na gruncie naukowym — deklaracją polityczną, a nie projektem technologiczno-infrastrukturalnym [11].

Część II — Analiza ryzyk politycznych i regulacyjnych

2.1. Zielona polityka UE a zapotrzebowanie energetyczne HPC

Rozwój modeli generatywnych i frontierowych wymaga ogromnych zasobów obliczeniowych, a te — energii. Według Międzynarodowej Agencji Energetycznej centra danych zużyły w 2024 r. ok. 415 TWh (≈1,5% światowej energii elektrycznej), a do 2030 r. zapotrzebowanie ponad podwoi się do ok. 945 TWh — tyle, ile dziś zużywa cała Japonia. Zużycie centrów zoptymalizowanych pod AI ma wzrosnąć ponad czterokrotnie, a udział AI w poborze mocy centrów danych — z 5–15% do 35–50%. W Europie przyrost wyniesie ok. +45 TWh (+70%) [15].



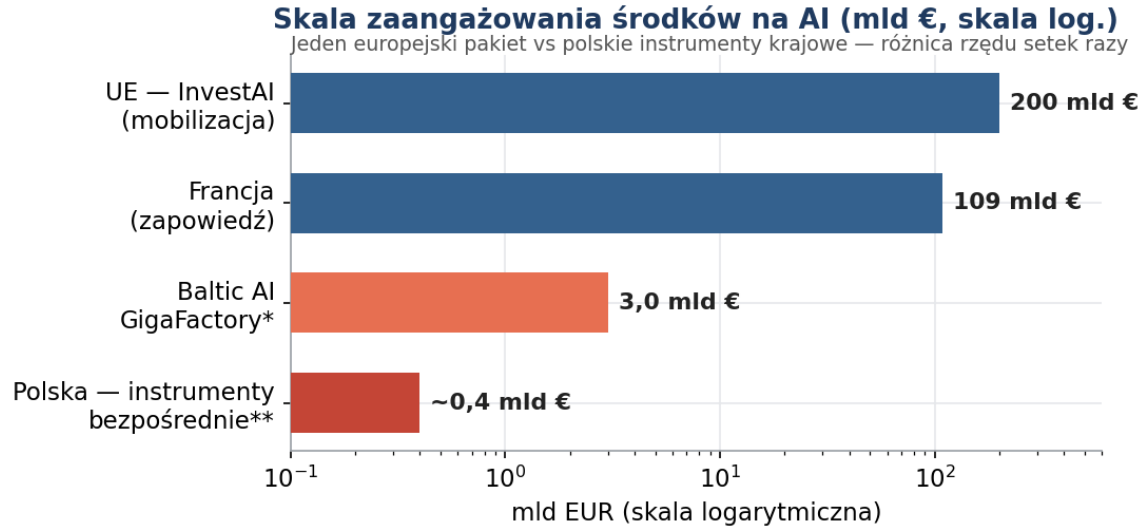
Wykres 4. Globalne zużycie energii przez centra danych, 2024 vs 2030. Źródło: IEA, „Energy and AI" (2025).

Powstaje strukturalny konflikt interesów: AI potrzebuje ekstremalnej mocy, a UE wymaga ograniczania emisji. Dokument rządowy wskazuje na „zieloną infrastrukturę AI", lecz nie

precyzuje, jak zapewnić moc na poziomie konkurencyjnym wobec USA i Chin, pozostając w zgodzie z regulacjami klimatycznymi. Brak tej precyzji to realne ryzyko strategiczne — tym bardziej że atutem Polski (i lokalizacji Baltic AI GigaFactory) może być właśnie dostęp do zielonej energii i chłodzenia cieczą, o ile zostanie to zaplanowane liczbowo, a nie hasłowo.

2.2. Rozdrobnienie finansowania wobec skali konkurencji

Finansowanie AI w Polsce jest silnie rozproszone — odpowiadają za nie m.in. NCBR, NCN, PARP, PFR, BGK, programy regionalne, fundusze unijne, KPO i PFR Deep Tech. Oznacza to brak centralnej koordynacji, brak wspólnego pipeline'u projektów, dublowanie działań i trudność w ustaleniu priorytetów. Problem nabiera wagi w zestawieniu ze skalą konkurencji: na szczycie AI Action Summit w Paryżu (luty 2025) Komisja Europejska uruchomiła InvestAI o wartości 200 mld € (w tym 20 mld € na 4–5 gigafabryk AI po ~100 tys. układów każda), a Francja zapowiedziała 109 mld € [12]. Suma bezpośrednich polskich instrumentów to rząd setek milionów złotych — różnica liczona w setkach razy.



Źródła: KE InvestAI (€200 mld, w tym €20 mld na gigafabryki AI); E. Macron / AI Action Summit (€109 mld).
*Baltic AI GigaFactory: €3 mld, 65% kapitału prywatnego, wniosek do KE (2025). **Polityka AI 2030: PFR Ventures 300 mln zł + środki 2025–2026 — rząd wielkości w przeliczeniu na EUR.

Wykres 5. Skala zaangażowania środków na AI (mld €, skala logarytmiczna). Źródła: KE InvestAI, AI Action Summit, konsorcjum Baltic AI GigaFactory, polityka AI 2030.

Dla pełni obrazu warto zestawić środki publiczne z prywatnymi przepływami kapitału, które ostatecznie decydują o lokalizacji talentu i mocy:

Podmiot / program	Kwota	Charakter
USA — inwestycje prywatne w AI	285,9 mld USD (2025) 109,1 mld USD (2024)	Roczne, prywatne; ~23× więcej niż Chiny [10]
Chiny — inwestycje prywatne	12,4 mld USD (2025)	Roczne, prywatne (bez funduszy państwowych) [10]
Wielka Brytania — prywatne	4,5 mld USD (2024)	Roczne, prywatne [10]
UE — InvestAI	200 mld € (w tym 20 mld € na gigafabryki)	Mobilizacja środków, 2025 [12]

Podmiot / program	Kwota	Charakter
Francja — zapowiedź	109 mld €	Wieloletnia, publ. + pryw., 2025 [12]
Baltic AI GigaFactory (PL-lider)	~3 mld € (65% pryw.)	Wniosek do KE, 2025 [14]
Polska — instrumenty bezpośrednie	60 mln zł (2025); 162 mln zł (2026); PFR 300 mln zł	Polityka AI 2030 [4]

Tabela 2. Środki publiczne i prywatne na AI — rzędy wielkości. USD/EUR wg źródeł.

Rekomendowanym kierunkiem jest konsolidacja przepływu środków w strukturze „AI Fund of Funds", opartej o kompetencje PFR Deep Tech, z jednolitym systemem zgłaszania i oceny projektów oraz publiczną mapą priorytetów (compute, med-tech, przemysł, bezpieczeństwo). Taki model redukuje dublowanie, zwiększa przejrzystość i skraca cykl inwestycyjny [16].

2.3. Wdrożenie AI Act bez przygotowanego ekosystemu krajowego

AI Act nakłada na państwa członkowskie obowiązki strukturalne: systemy rejestrów, procesy audytowe, raportowanie, nadzór nad zastosowaniami wysokiego ryzyka, wsparcie compliance oraz wdrożenie AI Act Service Desk. Kalendarz jest nieubłagany, a sankcje wysokie:

Obowiązek / naruszenie	Maksymalna kara	Wejście w życie
Zakazane praktyki (art. 5)	35 mln € lub 7% obrotu	od 2.02.2025
Modele ogólnego przeznaczenia (GPAI)	15 mln € lub 3% obrotu	od 2.08.2025
Systemy wysokiego ryzyka	15 mln € lub 3% obrotu	od 2.08.2026
Podanie błędnych / niepełnych informacji	7,5 mln € lub 1,5% obrotu	—
Pełne stosowanie rozporządzenia	—	2.08.2026 (wyjątki do 2027)

Tabela 3. AI Act — sankcje i kalendarz obowiązków. Źródło: Rozporządzenie (UE) 2024/1689, art. 99.

Tymczasem w Polsce nie istnieje jeszcze pełna obsada instytucjonalna i kadra regulacyjna do realizacji tych zadań, harmonogram implementacji dopiero ma powstać, brakuje zaplecza technicznego (compute) potrzebnego do zgodnego z prawem wdrażania AI, a system szybkiej ewaluacji ryzyka nie funkcjonuje. Powstaje poważna luka: regulacje wyprzedzą zdolność państwa do ich wdrożenia. Konsekwencjami mogą być opóźnienia we wdrażaniu polityk unijnych, problemy prawne przedsiębiorstw, odpływ biznesu do krajów o prostszym compliance oraz spadek atrakcyjności inwestycyjnej Polski — w sytuacji, gdy za niezgodność grożą kary sięgające 7% globalnego obrotu.

Część III — Rekomendacje

3.1. Powołanie Młodego Zespołu Monitoringu AI

Przy tempie ~4,4× rocznie Polska potrzebuje struktury zdolnej do szybkiej analizy i reagowania. Proponuje się Młody Zespół Monitoringu AI, złożony z najbardziej kompetentnych młodych ekspertów technologii, ekonomii i prawa, odpowiedzialny za: ciągły monitoring rynku AI i ocenę wpływu nowych technologii; raporty kwartalne (nie roczne),

zgodne z realnym tempem zmian; kontrolę wydatków i przepływu informacji między instytucjami; szybkie rekomendacje przy nowych przełomach. Taka struktura funkcjonuje w państwach o wysokiej odporności cyfrowej i skraca reakcję strategiczną z miesięcy do tygodni [17].

3.2. Mierzalne zwiększenie mocy obliczeniowej (HPC i GPU)

Konkurencyjność w AI wymaga przyspieszenia inwestycji w HPC. Rekomenduje się przede wszystkim określenie celu mocy w FLOPS wraz z precyzją (FP64/FP16/FP8) i generacją układów — a nie wyłącznie w kwotach budżetowych czy orientacyjnej liczbie GPU; stworzenie planu rozbudowy w perspektywie 24–36 miesięcy z kwartalnymi kamieniami milowymi; oraz integrację inwestycji z modelami energetycznymi zgodnymi z UE (OZE + chłodzenie cieczą), z podaną wartością MW. Punktem odniesienia powinna być nie dzisiejsza moc Heliosa, lecz skala pojedynczej europejskiej gigafabryki [12][14].

3.3. Uporządkowanie finansowania: model „AI Fund of Funds"

Konsolidacja przepływu środków (NCN, NCBR, PARP, BGK, PFR, programy regionalne) w jednej strukturze opartej o PFR Deep Tech, z jednolitym systemem zgłaszania i oceny projektów oraz mapą priorytetów finansowania. Cel: ograniczyć dublowanie, zwiększyć przejrzystość i skrócić cykl inwestycyjny, by krajowe środki — choć o rzędy wielkości mniejsze niż unijne — działały z maksymalną dźwignią [16].

3.4. Utrzymanie talentów w Polsce

Wobec niedoboru 40–50 tys. specjalistów ICT i presji płacowej z Zachodu [18] konieczne są: granty i stypendia dla studentów oraz doktorantów AI; szybka ścieżka udziału w projektach państwowych (wzorowana na modelach brytyjskim i holenderskim [19]); współpraca z uczelniami i centrami badawczymi; rozwój public-private AI labs. Zatrzymanie talentów jest warunkiem koniecznym realnego wdrożenia AI Act i budowy krajowego ekosystemu.

3.5. Twarde KPI dla Baltic AI GigaFactory

GigaFactory jest projektem flagowym — i właśnie dlatego wymaga najtwardszych wskaźników. Rekomenduje się: docelowe parametry mocy (FLOPS / liczba i generacja GPU / przepustowość); KPI projektowe (harmonogram, etapy, ryzyka, koszt całkowity i struktura finansowania, w tym warunki pozyskania 65% kapitału prywatnego); wskazanie sektorów z priorytetowym dostępem do mocy; oraz publiczne raporty kwartalne z realizacji. Bez jasnych parametrów projekt pozostanie deklaracją, a nie infrastrukturą.

Zakończenie

Dynamiczny rozwój AI potwierdza jej wykładniczy charakter: zmiany, które w klasycznych sektorach zajmowały dekadę, dziś zachodzą w skali miesięcy, a moc potrzebna do trenowania czołowych modeli rośnie ~4,4× rocznie [9]. W takim środowisku skuteczna polityka państwa nie może opierać się na statycznych dokumentach ani rocznych przeglądach — wymaga struktur zdolnych do stałego monitoringu i szybkiej reakcji.

Analiza „Polityki rozwoju AI do 2030 r.” pokazuje dokument, który jest ważnym krokiem naprzód (cel 3→40 EFLOPS, PFR Ventures, Baltic AI GigaFactory), lecz wciąż obarczony kluczowymi lukami: brakiem operacyjnego harmonogramu, nieokreśloną precyzją i architekturą mocy obliczeniowej, rozproszeniem finansowania o rzędy wielkości mniejszego niż unijne, niską adopcją AI (5,9% firm wobec 13,5% w UE [5]) i emigracją talentów. Jeśli pozostaną niezaadresowane, Polska ryzykuje trwałe zapóźnienie i utratę największej szansy rozwojowej najnowszej historii — przy karach z AI Act sięgających 7% globalnego obrotu jako tle regulacyjnym.

Wnioski są jednak optymistyczne pod jednym warunkiem. Polska może nie tylko dogonić, lecz wyprzedzić region Europy Środkowo-Wschodniej, o ile przyjmie podejście systemowe: wzmocni infrastrukturę HPC z mierzalnymi celami, wdroży ciągły monitoring, powoła interdyscyplinarny zespół ekspertów, uporządkuje finansowanie i stworzy warunki zatrzymujące talenty. Tylko taki model przekształci deklarację strategiczną w realne działania — a Polskę w znaczącego uczestnika europejskiego ekosystemu AI.

Bibliografia

[1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1689 (AI Act). Dz.U. UE, 2024. Wejście w życie: 1.08.2024; pełne stosowanie: 2.08.2026 (z wyjątkami).

[2] AI Act, art. 99 — kary administracyjne (do 35 mln € / 7% obrotu; 15 mln € / 3%; 7,5 mln € / 1,5%). artificialintelligenceact.eu/article/99

[3] AI Act, art. 51 oraz wytyczne Komisji Europejskiej dot. GPAI — próg ryzyka systemowego 10^{25} FLOP; obowiązek notyfikacji w ciągu 2 tygodni.

[4] Ministerstwo Cyfryzacji (2025). „Polityka rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce do 2030 r.” (wersja z 17.11.2025). ai.gov.pl

[5] Eurostat (2025). „Use of artificial intelligence in enterprises” — dane 2024 (PL 5,9%; UE 13,5%) i 2025 (PL 8,4%; UE 20,0%). ec.europa.eu/eurostat

[6] TOP500 (listopad 2025). The TOP500 List. top500.org/lists/top500/2025/11

[7] EuroHPC JU (2025). „JUPITER Officially Propels Europe into the Exascale Era” (1,0 EFLOPS, #4). eurohpc-ju.europa.eu

[8] ACK Cyfronet AGH / HPE (2024). Superkomputer Helios — 35 PFLOPS (FP64), 1,8 EFLOPS (AI), TOP500 #155. cyfronet.pl

[9] Epoch AI (2024–2025). „Trends in AI” / „Training compute” — podwojenie compute ~co 6 mies. (≈4,4×/rok); GPT-4o ~$3{,}8\times10^{25}$ FLOP. epoch.ai/trends

[10] Stanford HAI (2025; 2026). AI Index Report — Economy: inwestycje prywatne USA 109,1 mld USD (2024), 285,9 mld USD (2025); Chiny 12,4 mld USD; UK 4,5 mld USD. hai.stanford.edu

[11] McKinsey & Company (2023). „The Economic Potential of Generative AI” — 2,6–4,4 bln USD rocznie (63 zastosowania).

[12] European Commission (2025). InvestAI — mobilizacja 200 mld € (w tym 20 mld € na gigafabryki AI); Francja — 109 mld € (AI Action Summit, Paryż). digital-strategy.ec.europa.eu

[13] EuroHPC JU / KE (2025). AI Factories — polskie fabryki PIAST-AI (Poznań) i GAIA (Kraków) w sieci PLGrid. eurohpc-ju.europa.eu

[14] Konsorcjum Baltic AI GigaFactory / KE InvestAI (2025). Wniosek PL-LT-LV-EE: ~3 mld € (65% kapitał prywatny), do 100 000 GPU, modele >1 bln parametrów (PLLuM, Bielik.AI).

[15] International Energy Agency (2025). „Energy and AI" — centra danych 415 TWh (2024) → 945 TWh (2030); udział AI 5–15% → 35–50%. iea.org/reports/energy-and-ai

[16] PFR (2024–2025). PFR Deep Tech / PFR Ventures — struktura i instrumenty finansowania.

[17] OECD (2023). GovTech Maturity Index — modele ciągłego monitoringu i szybkiej reakcji.

[18] Eurostat / CEDEFOP (2024–2025). „ICT specialists in employment"; „Poland: skills mismatch" — sektor ICT ~250 tys. osób, niedobór 40–50 tys.

[19] The Alan Turing Institute (2023). Fellowship Structure and AI Talent Programmes — wzorce zatrzymywania talentów (UK, NL).