

ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW ROZWIJAJĄCYCH **AI** W POLSCE

Raport miesięczny o trendach technologicznych



Raport Miesięczny

EDYCJA 2

Kwiecień 2026



Instytut Łączności
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

AUTORZY

**Przemysław
Broniszewski**

**dr inż. Joanna
Kołodziejczyk**

Tomasz Melaniuk

Paulina Obara

Zofia Ragankiewicz



Redakcja:

Roman Młodkowski

Opiekun merytoryczny:

Marcin Klepacki

Projekt graficzny:

Kinga Graczyk

Skład:

Kinga Graczyk

Korekta:

**Joanna Dubel,
Anna Maraszek,
Paweł Waszczyk**

Copyright @ Instytut Łączności - Państwowy Instytut Badawczy
04-894 Warszawa, ul. Szachowa 1

SPIIS TREŚCI

01 Wstęp

02 Streszczenie
 menedżerskie

03 Analiza potencjału
 ośrodków rozwoju
 Sztucznej Inteligencji
 w Polsce

49 Energia: klucz do
 skalowania AI

64 Podsumowanie

65 Dodatek specjalny:
 Miesięczny przegląd
 trendów

69 Bibliografia

73 Tabele i wykresy

1. WSTĘP



Głównym tematem kolejnego raportu miesięcznego Instytutu Łączności - PIB jest analiza potencjału ośrodków rozwijających sztuczną inteligencję w Polsce. Punktem wyjścia dla przeprowadzonej analizy są krajowe ośrodki miejskie, uporządkowane zgodnie z typologią przyjętą w „Polityce rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce do 2030 roku”, obejmującą ośrodki wiodące, wspierające oraz regionalne (które będą analizowane w kolejnych raportach). Dla każdego z nich przeanalizowano dostępne zasoby — w szczególności infrastrukturę centrów danych oraz potencjał naukowy i biznesowy — a także oceniono możliwości dalszego rozwoju AI, identyfikując kluczowe szanse i bariery systemowe (Rozdział 3: Analiza potencjału ośrodków rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce, s. 3). Istotnym uzupełnieniem tej analizy jest zagadnienie dostępności energii, która coraz częściej stanowi jedno z głównych ograniczeń dalszego rozwoju sztucznej inteligencji. Poszczególne ośrodki mierzą się z odmiennymi wyzwaniami energetycznymi, wynikającymi zarówno z lokalnych uwarunkowań infrastrukturalnych, jak i skali planowanych inwestycji w centra danych oraz klastry obliczeniowe. Problem ten nie ma jednak charakteru wyłącznie krajowego — podobne bariery obserwowane są na bardziej dojrzałych rynkach, takich jak Irlandia czy Holandia. Analizie energii poświęcono osobny rozdział raportu (Rozdział 4: Energia: klucz do skalowania AI, s. 49). Zwieńczeniem publikacji jest Dodatek specjalny, który pełni funkcję miesięcznego przeglądu trendów globalnych. Ostatni rozdział raportu koncentruje się na syntetycznym omówieniu kluczowych zjawisk technologicznych, regulacyjnych i rynkowych, które w kwietniu kształtowały międzynarodowy ekosystem AI i technologii cyfrowych. Część ta osadza krajową analizę w szerszym kontekście globalnym, pozwalając lepiej zrozumieć zewnętrzne uwarunkowania wpływające na tempo i kierunki rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce (Rozdział 6: Dodatek specjalny – Miesięczny przegląd trendów. Podsumowanie kwietnia, s. 71).

2. STRESZCZENIE MENEDŻERSKIE

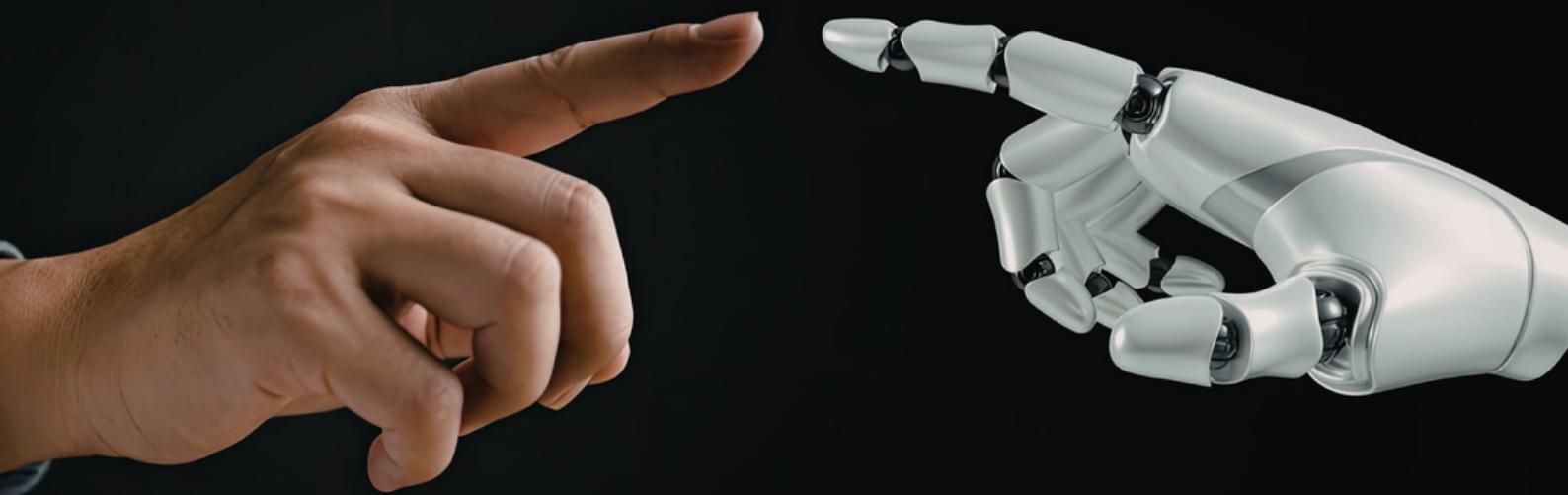
AI w Polsce to ekosystem rozproszony – oparty na wyspecjalizowanych ośrodkach, suwerennej mocy obliczeniowej i integracji z infrastrukturą energetyczną. Polski ekosystem sztucznej inteligencji rozwija się jako system rozproszony i komplementarny, oparty nie na jednym dominującym ośrodku, lecz na sieci wyspecjalizowanych metropolii, miast, ośrodków regionalnych oraz wspólnej infrastruktury obliczeniowej. Warszawa pełni funkcję węzła chmurowego regionu, jednak istotne kompetencje technologiczne, naukowe i przemysłowe znajdują się nie tylko w stolicy, ale również w innych miastach, m.in. w Krakowie, Wrocławiu i Poznaniu – tworząc mapę wzajemnie uzupełniających się specjalizacji w obszarach chmury, suwerennej mocy obliczeniowej, DeepTech, Industrial AI, zielonej infrastruktury oraz telekomunikacji nowej generacji. Spójność tego systemu zapewnia infrastruktura PLGrid, pełniąca rolę cyfrowego kręgosłupa państwa. Rozproszone superkomputery, zasoby GPU oraz dostęp do europejskich i kwantowych mocy obliczeniowych funkcjonują jako suwerenna chmura badawczo-rozwojowa, która demokratyzuje dostęp do zaawansowanych obliczeń i umożliwia skalowanie AI w nauce, administracji i przemyśle. Na tym fundamencie rozwija się nie tylko elita metropolitalna, ale również sieć średnich miast wyspecjalizowanych sektorowo, pełniących kluczowe role wdrożeniowe. W tym ekosystemie ważną rolę odgrywają również Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych (EDIH), wspierające firmy we wdrażaniu technologii cyfrowych – od diagnozy potrzeb po testowanie i szkolenia. Działając w oparciu o sieć ekspertów z nauki i biznesu,

zapewniają kompleksowe wsparcie, szczególnie dla MŚP. Dzięki ogólnopolskiemu zasięgowi wzmacniają spójność systemu innowacji i dostęp do kompetencji. Innym ważnym filarem ekosystemu są Regionalne Centra Medycyny Cyfrowej (RCMC), które rozwijają infrastrukturę i kompetencje w zakresie gromadzenia oraz analizy danych zdrowotnych, wspierając badania kliniczne i wdrażanie sztucznej inteligencji w ochronie zdrowia (rola RCMC i EDIH zostanie szerzej opisana w kolejnym raporcie).

Dobrym przykładem projektów o skali krajowej jest inicjatywa PLLuM (Polish Large Language Model) – polskiego modelu językowego rozwijanego przez konsorcjum wiodących ośrodków naukowych we współpracy z GovTech. Projekt ten, finansowany ze środków publicznych, ma na celu wsparcie administracji publicznej oraz budowę krajowych kompetencji w obszarze sztucznej inteligencji, w tym zwiększenie niezależności technologicznej od rozwiązań zagranicznych. Oprócz rozwoju zaawansowanych modeli językowych, przedsięwzięcie to wpisuje się w szersze działania o znaczeniu strategicznym dla państwa.

Rozwój AI w Polsce wchodzi w fazę ograniczeń infrastrukturalno-energetycznych, co – jak pokazują inne rynki – grozi przeciążeniami sieci i barierami rozwojowymi.

Transformacja cyfrowa Polski staje się nierozzerwalnie związana z transformacją energetyczną i infrastrukturalną, a zdolność kraju do budowy suwerennego, skalowalnego ekosystemu AI będzie zależna od koordynacji polityki technologicznej, regionalnej i energetycznej.



03

3. ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW ROZWOJU SZTUCZNEJ INTELIGENCJI W POLSCE

Rozwój sztucznej inteligencji w Polsce zależy od współdziałania wyspecjalizowanych ośrodków, a nie od jednego centrum dominującego. Rozdział przedstawia ich rolę, przewagi i ograniczenia w kontekście infrastruktury, rynku i energii.

Raport koncentruje się na potencjale ośrodków rozwoju sztucznej inteligencji, wskazanych w dokumencie strategicznym „Polityka rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce do 2030 roku”. Opracowanie opiera się na mapowaniu kluczowych zasobów, m.in. infrastrukturalnych i rynkowych. Identyfikuje także najważniejsze szanse rozwojowe oraz bariery ograniczające dalszy rozwój w poszczególnych lokalizacjach.



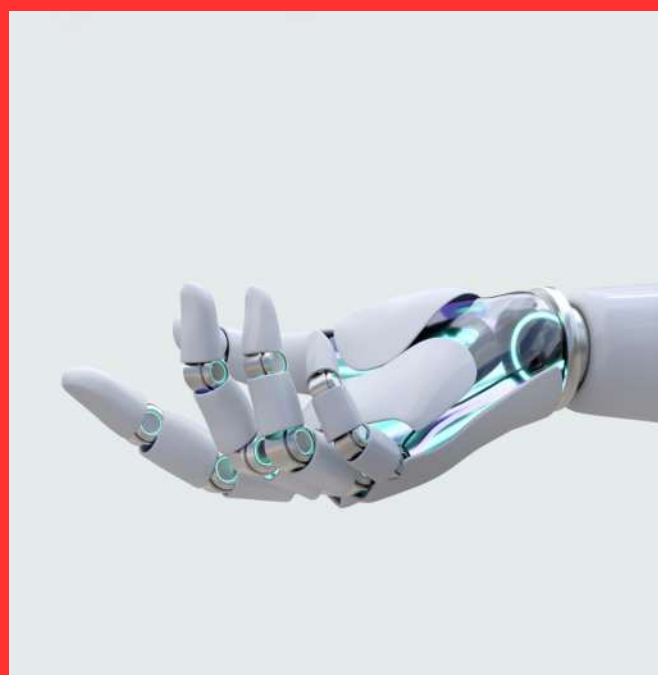
Rozwój sztucznej inteligencji wchodzi obecnie w fazę, w której o przewadze konkurencyjnej nie decyduje już wyłącznie jakość algorytmów czy innowacyjność startupów, lecz dostęp do twardej infrastruktury: wysokiej mocy obliczeniowej uczenia głębokiego oraz stabilnego, niskoemisyjnego zasilania. W szczególności trening dużych modeli językowych oraz techniki uczenia głębokiego wiążą się z bardzo wysokimi wymaganiami sprzętowymi. Polska, jako największy rynek Europy Środkowo-Wschodniej (CEE), zbudowała w tym obszarze unikalny ekosystem. Stanowi on zróżnicowaną sieć wyspecjalizowanych ośrodków miejskich, z których każdy pełni odmienną, a zarazem krytyczną rolę w łańcuchu wartości technologii AI.

Struktura ośrodków rozwoju AI w Polsce

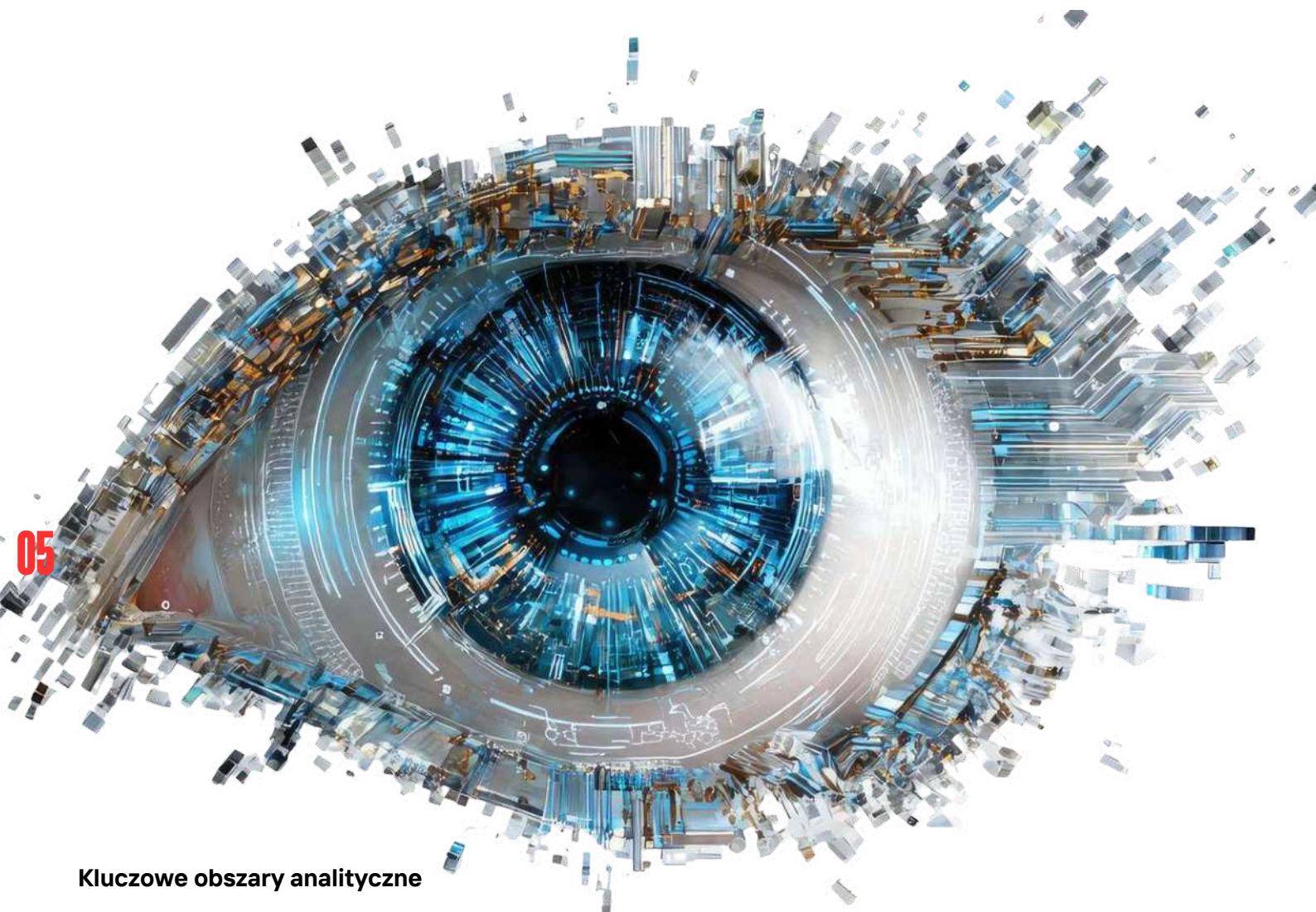
Zgodnie z krajową strategią, wybrane miasta zostały podzielone na grupy ośrodków, które poddano analizie:

Ośrodki wiodące: Warszawa, Kraków, Wrocław, Poznań, Metropolia Pomorska, Łódź (od 2027) oraz Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (od 2027) . Są to kluczowe huby o najwyższej koncentracji mocy obliczeniowej, projektów badawczo-rozwojowych oraz kapitału.

04



Ośrodki wspierające (10 miast): **Białystok, Szczecin, Lublin, Rzeszów, Bydgoszcz, Toruń, Gorzów Wielkopolski, Kielce, Opole oraz Olsztyn.**



Kluczowe obszary analityczne

Opis każdego ośrodka opiera się na czterech komplementarnych filarach, co umożliwia spójne porównanie ich roli w skali kraju:

- Zasoby obliczeniowe i IT – inwentaryzacja infrastruktury fizycznej, obejmującej m.in. superkomputery (takie jak Helios, Kraken, Lem, ARUZ), klastry GPU oraz centra danych;
- Biznes i rynek – ocena dojrzałości lokalnego ekosystemu gospodarczego, skali obecności międzynarodowych centrów R&D oraz dynamiki rozwoju sektora startupowego w obszarze DeepTech;
- Specjalizacje regionalne – identyfikacja nisz technologicznych, w których dany ośrodek buduje przewagi konkurencyjne (m.in. MedTech, Maritime AI, Przemysł 4.0, gaming);
- Fundament energetyczny – analiza zapotrzebowania na moc, zużycia energii, oraz dostępności odnawialnych źródeł energii, stanowiących kluczowy warunek rozwoju wielkoskalowych modeli AI.

ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW ROZWIJAJĄCYCH AI W POLSCE



Raport kładzie szczególny nacisk na fakt, że w perspektywie najbliższych lat głównym wyzwaniem dla rozwoju sektora AI w Polsce nie będzie niedobór kapitału ani zasobów kadrowych, lecz fizyczna przepustowość sieci elektroenergetycznej oraz dostęp do zielonej energii, coraz istotniejsze w kontekście wymogów ESG. Podczas gdy tradycyjne centra danych zużywają zazwyczaj 5–10 kW mocy na szafę serwerową, wysokonakładowe klastry GPU przeznaczone do trenowania modeli AI podnoszą te wymagania do poziomu 40–100 kW.

Ten gwałtowny wzrost zapotrzebowania redefiniuje atrakcyjność inwestycyjną poszczególnych lokalizacji, faworyzując ośrodki zdolne do szybkiego zabezpieczenia długoterminowych kontraktów typu cPPA (Corporate Power Purchase Agreements) oraz sprawnej realizacji nowych przyłączy i stacji elektroenergetycznych (GPZ). Klasyczne inwestorskie hasło „show me the money” w przypadku projektów technologicznych coraz częściej ustępuje miejsca innemu: „show me the energy”. Szczegółowe omówienie zagadnień energetycznych zawarto w Rozdziale 4 (Energia: klucz do skalowania AI, s. 49).

**Czynnik krytyczny:
zasilanie jako „wąskie
gardło”**

3.1. OŚRODKI WIODĄCE





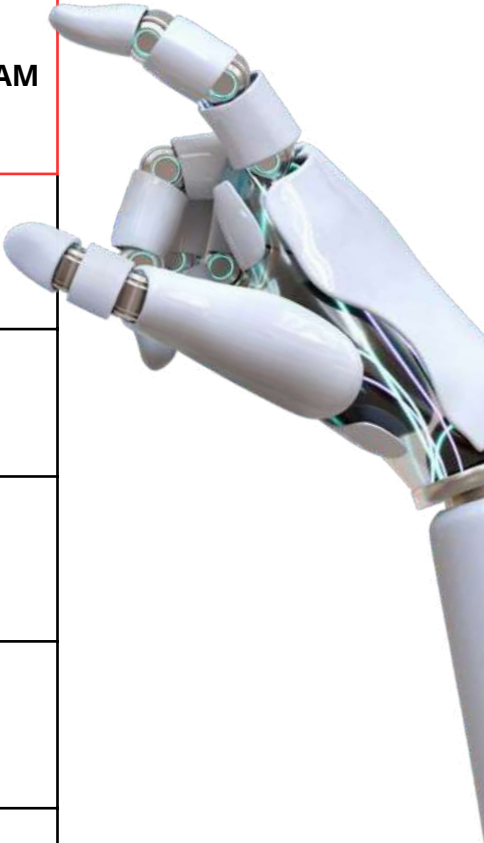
Ośrodki wiodące:

- Kraków (PLGrid),
- Poznań (PLGrid),
- Metropolia Pomorska (PLGrid),
- Warszawa (PLGrid),
- Wrocław (PLGrid),
- Łódź (od 2027 r.),
- Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (od 2027 r.).

PLGRID – INFRASTRUKTURA (SUPERKOMPUTERY)

09

Nazwa superkomputera	Lokalizacja/ Ośrodek	Moc obliczeniowa	Pamięć RAM
Helios	Kraków (ACK Cyfronet AGH)	ok. 35 PFLOPS	300 TB
Lem	Wrocław (WCSS)	20,37 PFLOPS	279 TB
Athena	Kraków (ACK Cyfronet AGH)	7,7 PFLOPS	48 TB
Ares	Kraków (ACK Cyfronet AGH)	4,0 PFLOPS	204 TB
Bem 2	Wrocław (WCSS)	2,2 PFLOPS	141 TB
Tryton Plus	Gdańsk (CI TASK Politechnika Gdańska)	3,8 PFLOPS	166 TB
LUMI (Zasób europejski)	Kajaani, Finlandia (w Polsce koordynacja: Cyfronet AGH)	375 PFLOPS	-



PLGrid umożliwia również przeprowadzanie obliczeń na fizycznym komputerze kwantowym.



Ośrodki wiodące to siedem ekosystemów napędzających polską transformację cyfrową. Warszawa pełni rolę swoistej „cyfrowej bramy” regionu, jednak kluczowe innowacje technologiczne, naukowe i przemysłowe rozwijają się prężnie także w innych aglomeracjach, tworząc komplementarną mapę kompetencji.

Warszawa (dominacja regionalna i chmura):

Lider regionu, wpisujący się w europejski rdzeń FLAP-W: Frankfurt, Londyn, Amsterdam, Paryż, Warszawa. To tutaj swoje regiony chmurowe ulokowali najwięksi dostawcy, w tym Google i Microsoft, rozwinął się także silny rynek kolokacji. Aglomeracja dysponuje największą mocą, rzędu 160–180 MW, stając się naturalnym centrum dla sektora finansowego i handlu internetowego, choć mierzy się z wysokim zapotrzebowaniem na zieloną energię.

10

Kraków (suwerenność obliczeniowa i zielona AI):

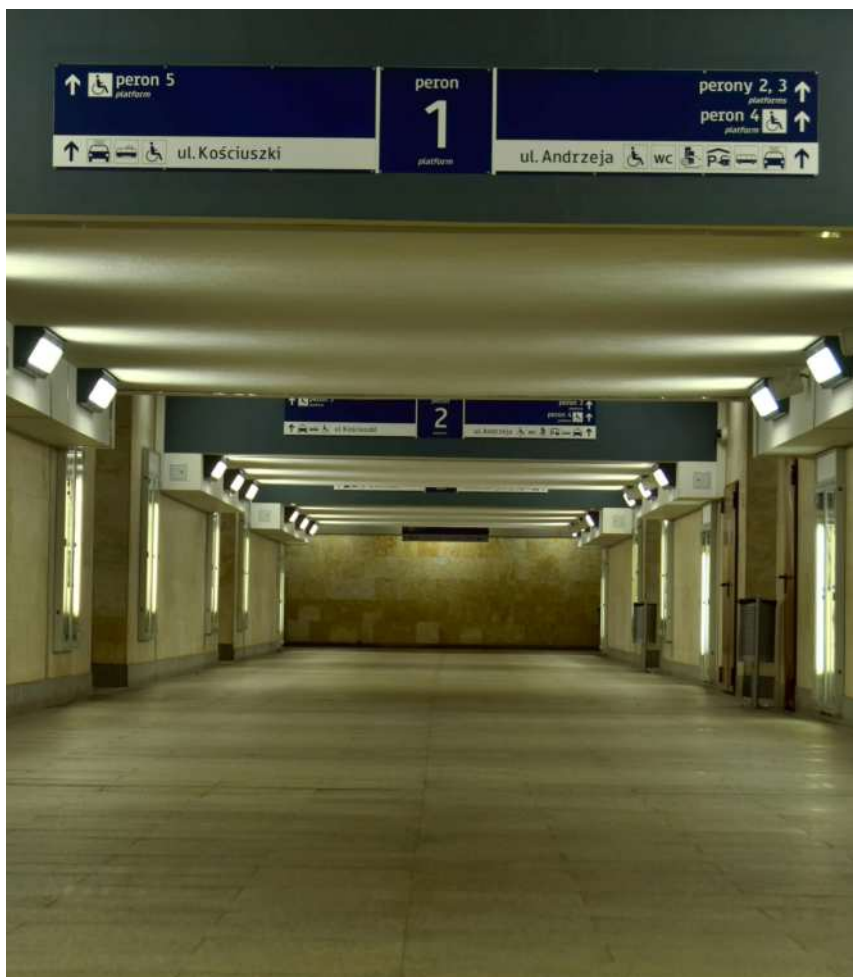
Cyfrowe centrum polskiej nauki, napędzane przez Cyfronet AGH. Kraków nie opiera się wyłącznie na zewnętrznych chmurach, lecz oferuje wielkoskalową infrastrukturę obliczeniową bezpośrednio w tkance miejskiej. Dzięki superkomputerowi Helios, jednemu z najbardziej energooszczędnych systemów na świecie, miasto buduje przewagę w technologiach medycznych i cyberbezpieczeństwie.

Wrocław (badania i zaawansowane technologie):

Polskie centrum Przemysłu 4.0 i technologii głębokich. Rozwinięta sieć laboratoriów sprzętowych oraz obecność superkomputerów, w tym klastra GPU we Wrocławskim Centrum Sieciowo-Superkomputerowym, wspierają projekty z zakresu AI brzegowej oraz silną scenę wrocławskich startupów o globalnych ambicjach.

Metropolia Pomorska (zielona infrastruktura i AI morska):

Gdańsk i okolice pozycjonują się jako rosnący ośrodek infrastrukturalnego IT. Dzięki inwestycjom takim jak Centrum STOS z superkomputerem Kraken oraz bliskości bałtyckich farm wiatrowych Pomorze przyciąga projekty wymagające zasilania z OZE. Specjalizacją regionu staje się cyfryzacja przemysłu morskiego.



Górnśląsko-Zagłębiowska Metropolia – GZM (transformacja przemysłu):

Region wykorzystuje rozbudowaną infrastrukturę energetyczną po przemyśle ciężkim do zasilania nowych technologii, w tym przetwarzania brzegowego. Śląsk wdraża rozwiązania AI bezpośrednio w fabrykach, optymalizując procesy przemysłowe, a jednocześnie rozwija nowe specjalizacje: zaawansowane technologie medyczne w Gliwicach oraz silny sektor gier i technologii kosmicznych.

Poznań (architektura hybrydowa i niskie opóźnienia):

Poznań (architektura hybrydowa i niskie opóźnienia): strategiczny pomost o opóźnieniach transmisji rzędu zaledwie 4 ms do Warszawy i Berlina. Poznań łączy moc ośrodków przetwarzania danych z wymogami suwerenności oraz regulacjami europejskimi, w tym AI Act, stając się ważnym klastrem wzrostu w rankingu EMEA Tech Cities. Strategiczny pomost o opóźnieniach transmisji rzędu zaledwie 4 ms do Warszawy i Berlina. Poznań łączy moc ośrodków przetwarzania danych z wymogami suwerenności oraz regulacjami europejskimi, w tym AI Act, stając się ważnym klastrem wzrostu w rankingu EMEA Tech Cities.

Łódź (5G i przewaga kosztowa):

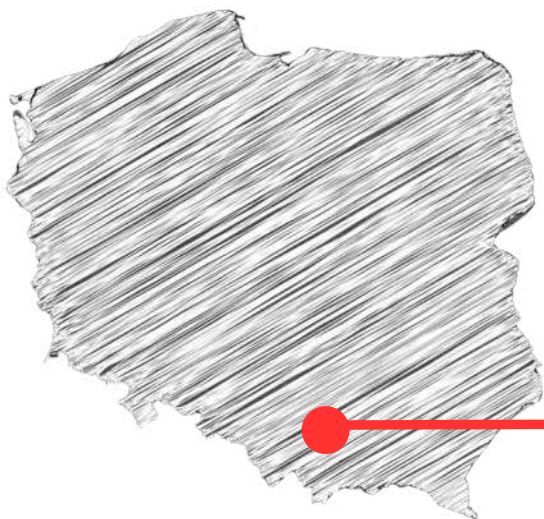
Łódź (5G i partnerstwo): ośrodek oferujący nowoczesne laboratoria telekomunikacyjne oraz unikalny symulator ARUZ, oparty na układach FPGA. Silny potencjał miasta wynika z rozwoju kompetencji AI na łódzkich uczelniach, współpracy w ramach Łódzkiego Partnerstwa Akademickiego oraz aktywnego zaangażowania samorządu. Ekosystem wzmacniają m.in. Invest in Łódź, Łódzki Klaster ICT oraz FinTech Central Poland.

Choć poszczególne aglomeracje rozwijają własne, unikalne kompetencje, ich potencjał nie funkcjonuje w próżni. Wspólnym mianownikiem łączącym zasoby wiodących ośrodków – m.in. Krakowa, Wrocławia, Poznania, Gdańska i Warszawy – jest infrastruktura PLGrid. W jej skład wchodzi także Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w Otwocku-Świerku, które nie jest przedmiotem niniejszego opracowania.



PLGRID: CYFROWY KRĘGOSŁUP POLSKIEJ INFRASTRUKTURY OBLICZENIOWEJ

Zgodnie z oficjalną ofertą konsorcjum, PLGrid stanowi rozproszoną infrastrukturę obliczeniową, udostępniającą środowiskom naukowemu oraz biznesowemu wysokowydajne klastry HPC, w tym specjalistyczne architektury oparte na procesorach graficznych ogólnego przeznaczenia (GPGPU), kluczowe dla rozwoju sztucznej inteligencji oraz przetwarzania dużych zbiorów danych (np. z wykorzystaniem platform takich jak Spark). Infrastruktura ta nie tylko demokratyzuje dostęp do mocy obliczeniowej poprzez system elastycznych grantów – w tym także mechanizmy komercyjnego dostępu dla MŚP i przemysłu – lecz pełni również funkcję „okna na świat”. PLGrid umożliwia polskim badaczom dostęp do europejskich megaprojektów, takich jak superkomputer LUMI w Finlandii, a od 2023 roku również prowadzenie obliczeń na fizycznych komputerach kwantowych (m.in. za pośrednictwem platformy D-Wave Leap). W praktyce oznacza to, że rozproszone lokalnie superkomputery funkcjonują jako zintegrowana, suwerenna chmura badawczo-rozwojowa, stanowiąca jeden z kluczowych fundamentów trenowania i wdrażania modeli AI nowej generacji. Na tym wspólnym fundamencie infrastrukturalnym opiera się rozwój poszczególnych ośrodków, których charakterystykę otwiera przykład Krakowa.

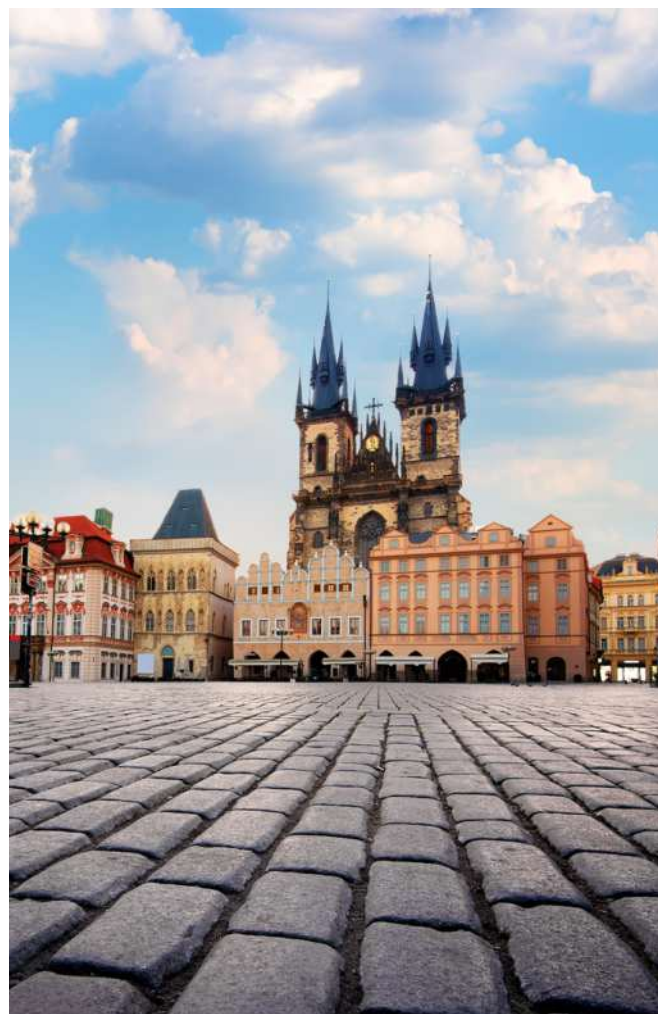


KRAKÓW – SUWERENNA INFRASTRUKTURA OBLICZENIOWA

13 Kraków z roku na rok umacnia swoją pozycję jako jedno z najważniejszych centrów rozwoju sztucznej inteligencji w Europie Środkowo-Wschodniej. Sukces ten nie jest dziełem przypadku, lecz wynikiem unikalnej synergii pomiędzy potężnym zapleczem naukowo-badawczym, dynamicznym środowiskiem biznesowym oraz ogromną pulą wysoko wykwalifikowanych specjalistów.

Technologiczne serce miasta

Fundamentem krakowskiego ekosystemu AI jest zaawansowana infrastruktura obliczeniowa, której rdzeń stanowi Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet AGH. To właśnie tam bije technologiczne serce miasta w postaci superkomputera Helios. Maszyna ta, dysponująca imponującą mocą 36 PFLOPS, napędzana przez 440 innowacyjnych układów NVIDIA Grace Hopper, stawia Kraków w europejskiej awangardzie. Uzupełniany przez superkomputery Athena i Ares, Cyfronet staje się bazą dla ambitnego projektu „Gaia AI Factory”. Inicjatywa ta ma na celu nie tylko wsparcie lokalnych badaczy i start-upów, ale docelowo stworzenie europejskiej, bezpiecznej przystani technologicznej, niezależnej od globalnych gigantów chmurowych. Dodatkowo Cyfronet AGH w Krakowie jest podłączony przez sieć HPC z komputerem kwantowym w Ostrawie (IQM 5 kubitów).



Potężna infrastruktura przyciąga biznes. Na krakowskim rynku swoje centra badawczo-rozwojowe ulokowali giganci technologiczni tacy jak Cisco, Comarch, Aptiv, Motorola czy IBM, zatrudniający łącznie tysiące inżynierów. Kraków odpowiada za około 14% wszystkich polskich start-upów związanych z AI (a Polska za niemal jedną czwartą tego typu podmiotów w całym regionie CEE). Sektor IT błyskawicznie adaptuje się do nowych trendów, przesuwając ciężar z tradycyjnego oprogramowania na wdrażanie zaawansowanych algorytmów uczenia maszynowego i analizy danych. Praktyczne zastosowanie tych technologii widać między innymi w projektach UJ Collegium Medicum skupiających się na medycynie cyfrowej, czy w inicjatywach z zakresu Przemysłu 4.0 wspieranych przez Krakowski Park Technologiczny.

Paliwem napędzającym ten rozwój są ludzie. Kraków dysponuje imponującą pulą około 62 tysięcy specjalistów IT, z których zdecydowana większość posiada wyższe wykształcenie. To kadra o wysokich kompetencjach i niskim wskaźniku rotacji, dobrze wynagradzana, ale też świadoma wyzwań, takich jak konieczność redukcji błędów poznawczego (biasu) w projektowanych modelach. Ich pracę aktywnie wspierają organizacje pozarządowe. Doskonałym przykładem jest Fundacja SpeakLeash, stojąca za stworzeniem imponującego, polskiego modelu językowego Bielek o wielkości 11 miliardów parametrów. Potencjał AI dostrzega również miejska administracja, która z powodzeniem wdraża inteligentne systemy transportowe (ITS) i algorytmy analizy obrazu w celu optymalizacji ruchu drogowego.

Rozwój AI pociąga za sobą gigantyczne zapotrzebowanie na moc serwerową i energię. Krakowski rynek odpowiada na to siecią nowoczesnych Data Centers w standardzie Tier III i IV, należących m.in. do firm Comarch, Polcom czy Netia. Stale rosnące zapotrzebowanie na energię, szacowane obecnie na 25–35 MW z kilkunastoprocentowym wzrostem rocznym, stymuluje branżę do poszukiwania innowacji. Zwiększająca się gęstość mocy w szafach serwerowych wymusza przejście na systemy chłodzenia cieczą (Direct Liquid Cooling). Zrównoważony rozwój tego sektora wymaga dążenia do wysokiej efektywności energetycznej i maksymalizacji wykorzystania odnawialnych źródeł energii.

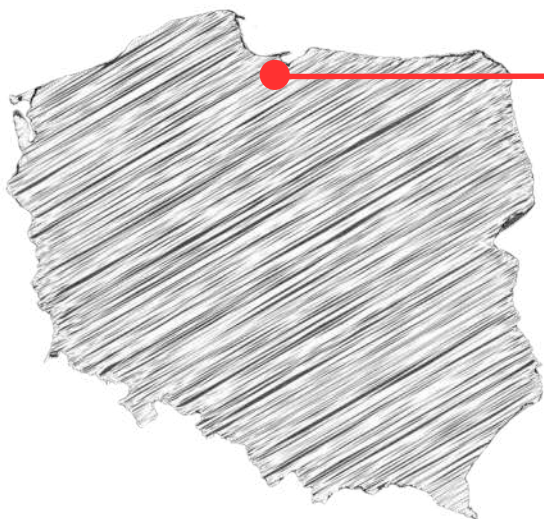
Mimo optymistycznych perspektyw, Kraków musi zmierzyć się z istotnymi wyzwaniami. Jednym z nich jest ryzyko odpływu talentów. Znaczna ich część pracuje dla zagranicznego kapitału w modelu „Branch Economy” (model, w którym lokalne zespoły realizują projekty dla zagranicznych central, przy ograniczonej autonomii decyzyjnej). Dodatkowo, brakuje lokalnego kapitału podwyższonego ryzyka („Smart Money”) w fazach wczesnego wzrostu startupów, co nierzadko zmusza najbardziej obiecujące projekty do relokacji za granicę. Jeśli jednak miastu uda się przezwyciężyć te bariery i w pełni wykorzystać swoje unikalne specjalizacje – takie jak MedTech, cyberbezpieczeństwo oraz tzw. Green AI, czyli zrównoważoną i odporną ekologicznie sztuczną inteligencję – Kraków ma szansę trwale zapisać się na mapie jako jeden z najważniejszych i najbardziej innowacyjnych ośrodków technologicznych Starego Kontynentu.

Biznes i transfer wiedzy

Kapitał ludzki i wsparcie lokalnego ekosystemu

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania



METROPOLIA POMORSKA: INFRASTRUKTURA ZIELONEJ ENERGII I DANYCH

15 Metropolia Pomorska wyrasta na jeden z najbardziej unikalnych hubów innowacji w Europie Środkowo-Wschodniej. Sukces tego nadmorskiego ekosystemu nie opiera się wyłącznie na tworzeniu oprogramowania, ale na silnej specjalizacji w tzw. obszarze „Hard IT” – łączeniu zaawansowanej infrastruktury fizycznej, globalnego kapitału R&D oraz naturalnych predyspozycji regionu do wdrażania sztucznej inteligencji w sektorach morskich i logistycznych.

Technologiczne serce miasta

Fundamentem pomorskiego ekosystemu jest supernowoczesna infrastruktura obliczeniowa, której centrum znajduje się w Centrum Kompetencji STOS na Politechnice Gdańskiej. To potężna inwestycja o wartości 156 mln zł, w której sercu bije Kraken – jeden z najnowocześniejszych superkomputerów w regionie, zarządzany przez CI TASK. Obiekt ten, zbudowany w standardzie niezawodnego „bunkra” IT, zapewnia warunki brzegowe dla rozwoju najbardziej zaawansowanych klastrów obliczeniowych. Zaplecze akademickie, wspierane m.in. przez Uniwersytet Gdański czy Gdański Uniwersytet Medyczny (GUMed), napędza interdyscyplinarne innowacje, od analizy danych po zastosowanie sieci neuronowych w diagnostyce medycznej.



Metropolia Pomorska to arena, na której spotykają się światowi giganci technologiczni z potężnymi, lokalnymi liderami gospodarczymi. Z jednej strony mamy tu ogromne centra badawczo-rozwojowe: Intel (zatrudniający w Gdańsku ponad 4 tys. inżynierów i specjalizujący się w rozwiązaniach chmurowych oraz Edge AI), Amazon (rozwijający m.in. technologie głosowe jak Alexa) czy Dynatrace. Z drugiej strony, region generuje potężny popyt na AI dzięki obecności takich potęg jak odzieżowe LPP (zaawansowana analityka Big Data i e-commerce), Baltic Hub (automatyzacja logistyki morskiej) czy Ergo Hestia (cyfryzacja w ubezpieczeniach).

Paliwem napędzającym ten mechanizm są ludzie. Trójmiasto dysponuje silną podażą talentów kształconych na: Politechnice Gdańskiej, Uniwersytecie Gdańskim oraz Gdańskim Uniwersytecie Medycznym (GUMed) – wspieranym przez Centrum Transferu Technologii (powołane do komercjalizacji wyników badań i prac rozwojowych uczelni). Na rynku widać ogromny popyt nie tylko na klasycznych analityków danych, ale – w związku z obecnością firm takich jak Intel – na ekspertów od systemów wbudowanych (Embedded C/C++) oraz Cloud Architectów. Ekosystem ten jest integrowany i stymulowany przez prężnie działające NGO i inicjatywy, na czele z konferencją Infoshare (gromadzącą co roku rzesze ekspertów i łączącą start-upy z kapitałem VC) czy przestrzeniami takimi jak O4 Coworking. Potencjał danych dostrzega również administracja publiczna, z sukcesem wdrażająca inteligentne algorytmy w transporcie i usługach miejskich (systemy FALA i TRISTAR).

Sztuczna inteligencja wymusza technologiczny skok w architekturze serwerowej. Gęstość mocy w szafach wyposażonych w procesory graficzne (GPU) do treningu AI sięga już 30-80 kW, co sprawia, że tradycyjne systemy stają się niewydolne i wymuszają przejście na chłodzenie cieczą (Direct Liquid Cooling – stosowane m.in. w STOS). Metropolia Pomorska ma jednak unikalnego asa w rękawie: bezpośrednio, podmorskie połączenia kablowe ze Skandynawią zapewniające ekstremalnie niskie opóźnienia (low latency) oraz status rodzącej się „stolicy polskiego offshore”. Planowane przyłączenie 6 GW bezemisyjnej mocy z morskich farm wiatrowych do 2030 roku czyni region idealnym miejscem dla energochłonnych Centrów Danych poszukujących zasilania w 100% z OZE. Wyzwaniem pozostają jednak wąskie gardła w sieciach przesyłowych (KSE) i konkurencja o przydziały mocy z rozrastającymi się portami.

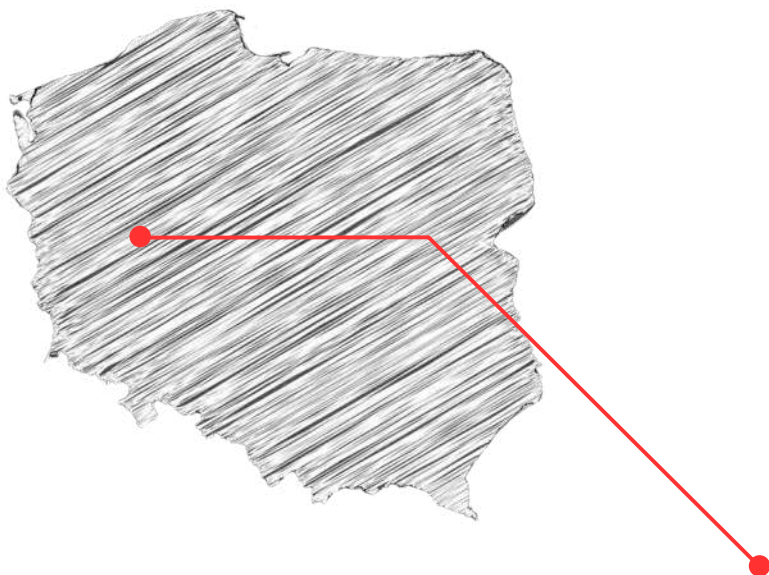
Rozwój pomorskiego AI napotyka też bariery infrastrukturalne – przede wszystkim brak fizycznych regionów chmurowych globalnych hyperscalerów (AWS, Google, Microsoft), co może opóźnić realizację niektórych projektów. Bolączką pozostaje również drenaż najwyższej klasy specjalistów przez rynki zachodnie. Jednak strategiczne szanse regionu są niepodważalne, tym bardziej, opiera się on na daleko idącej specjalizacji. Region jest mocny dzięki Maritime AI (unikalna szansa na dominację w obszarze analityki dla portów morskich, stoczni i obsługi farm wiatrowych), Edge AI (napędzane bliskością laboratoriów Intela i rosnącym Przemysłem 4.0) oraz MedTech AI, rozwijanym dzięki bliskiej współpracy środowiska inżynierskiego z gdańskim ośrodkiem medycznym. Te trzy filary mogą na stałe uczynić Metropolię Pomorską najważniejszym ośrodkiem wdrażania fizycznej sztucznej inteligencji w tej części Europy.

Biznes i transfer wiedzy

Kapitał ludzki i wsparcie lokalnego ekosystemu

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania



POZNAŃ: KRAJOWY WĘZEL MOCY OBLICZENIOWEJ

Poznański ekosystem sztucznej inteligencji wyróżnia się na tle kraju unikalnym profilem. To środowisko, w którym światowej klasy infrastruktura obliczeniowa (w tym rodzące się technologie kwantowe) spotyka się z ogromnym rynkiem usług biznesowych (BPO/SSC), e-commerce oraz zaawansowanym przemysłem. Poznań nie tylko tworzy algorytmy, ale przede wszystkim dostarcza potężnej mocy obliczeniowej dla całego regionu.

Technologiczne serce miasta i skok kwantowy

Fundamentem wielkopolskiego ekosystemu jest infrastruktura, na czele której stoi Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (PCSS). To właśnie tam funkcjonują akceleratorzy NVIDIA H100, a prawdziwym przełomem jest komputer kwantowy PIASt-Q – oparty na technologii pułapek jonowych, będący pierwszym tego typu urządzeniem w Polsce, stawiającym Poznań w europejskiej awangardzie technologicznej. PCSS jest również sercem planowanej „Fabryki AI” (projekt PIASt-AI). Inwestycja, wspierana przez ogólnopolską sieć PIONIER, ma docelowo zaoferować moc ponad 1000 procesorów GPU, stając się suwerennym fundamentem technologicznym dla polskich badaczy i biznesu. W Poznaniu jest też inny fotoniczny komputer kwantowy ORCA Computing PT-1 (wykorzystywany jako akcelerator kwantowy w pracach nad biologią, chemią i uczeniem maszynowym).



Zaplecze sprzętowe współgra z lokalnym biznesem. Poznań to polska stolica e-commerce i handlu detalicznego – to stąd operuje technologiczne ramie Grupy Allegro oraz Żabka Polska, która ze swoimi autonomicznymi sklepami i analizą danych w czasie rzeczywistym jest w istocie gigantem technologicznym. Zapotrzebowanie na sztuczną inteligencję generuje również potężny sektor usług wspólnych (SSC/BPO), poszukujący optymalizacji procesów księgowych czy HR, a także zaawansowany przemysł. Przykłady to fabryki Volkswagen Poznań wdrażające standardy Przemysłu 4.0 czy działania R&D globalnych marek, takich jak Samsung Electronics. Na te potrzeby płynnie odpowiadają lokalne software house'y (np. STX Next, Apzumi) oraz start-upy z obszaru DeepTech.

Biznes, e-commerce i przemysł 4.0

Rozwój ambitnych projektów wymaga najwyższej klasy specjalistów. Poznań czerpie z puli ponad 111 tysięcy studentów, a rzesze inżynierów kształcą Politechnika Poznańska oraz Uniwersytet im. Adama Mickiewicza (dysponujący silnym Centrum Sztucznej Inteligencji specjalizującym się w analizie języka naturalnego - NLP). Lokalny rynek pracy to ponad 30 tysięcy wykwalifikowanych pracowników IT, wśród których ogromnym popytem cieszą się architekci chmurowi oraz specjaliści od analizy danych. Środowisko to jest aktywnie integrowane przez organizacje takie jak Wielkopolski Klaster Teleinformatyczny oraz wspierane przez Miasto Poznań, które samo wdraża innowacje w ramach koncepcji Smart City i platform edukacyjnych (POZAI).

Kapitał ludzki i integracja środowiska

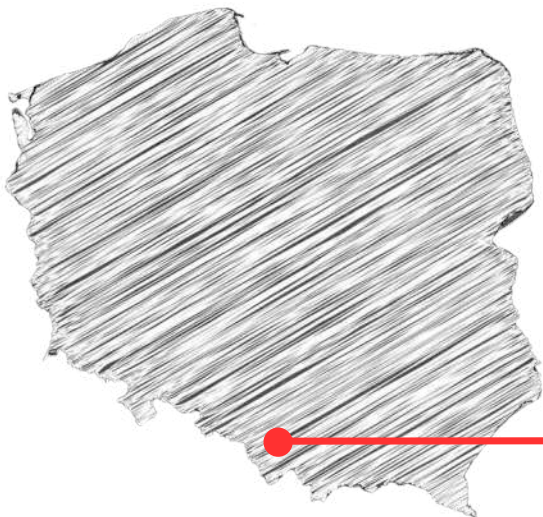
Fizycznym domem dla poznańskiej sztucznej inteligencji są Centra Danych, wśród których wartym zwrócenia uwagi jest znaczący w skali Europy Środkowej kampus Beyond.pl. Jako jedyny obiekt w regionie i jeden z niewielu w Unii Europejskiej, spełnia on rygorystyczne normy bezpieczeństwa certyfikacji ANSI/TIA-942 Rated 4. Beyond.pl nie tylko planuje osiągnąć docelową moc 150 MW, ale już teraz jest w 100% zasilany energią odnawialną (rozliczaną poprzez gwarancje pochodzenia, a nie kontrakty typu cPPA). Wysoka gęstość mocy wymuszana przez akceleratorzy AI (powyżej 50 kW na szafę) wymaga stosowania zaawansowanych systemów chłodzenia cieczą (Direct Liquid Cooling). Głównym wąskim gardłem dla dalszej rozbudowy tej infrastruktury pozostają jednak ograniczenia Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE) i konieczność ogromnych inwestycji w sieci przesyłowe.

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

18

Mimo statusu potęgi infrastrukturalnej, Poznań boryka się z wyzwaniami. Do głównych barier należy wysoki koszt utrzymania technologii, zależność sprzętowa od globalnych monopolistów oraz drenaż talentów, które często wybierają pracę zdalną dla ośrodków z Warszawy lub zagranicy. Ekosystem ten ma jednak przed sobą strategiczne szanse. Inwestycje w technologie kwantowe i „Suwerenne AI” mogą uczynić z Poznania kluczowego dostawcę bezpiecznej mocy obliczeniowej dla rządu i europejskiego biznesu. Zacieśnianie integracji na linii GovTech - BizTech sprawia, że stolica Wielkopolski ma wszelkie predyspozycje, by stać się centralnym, fizycznym węzłem dla polskiej rewolucji sztucznej inteligencji.

Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania

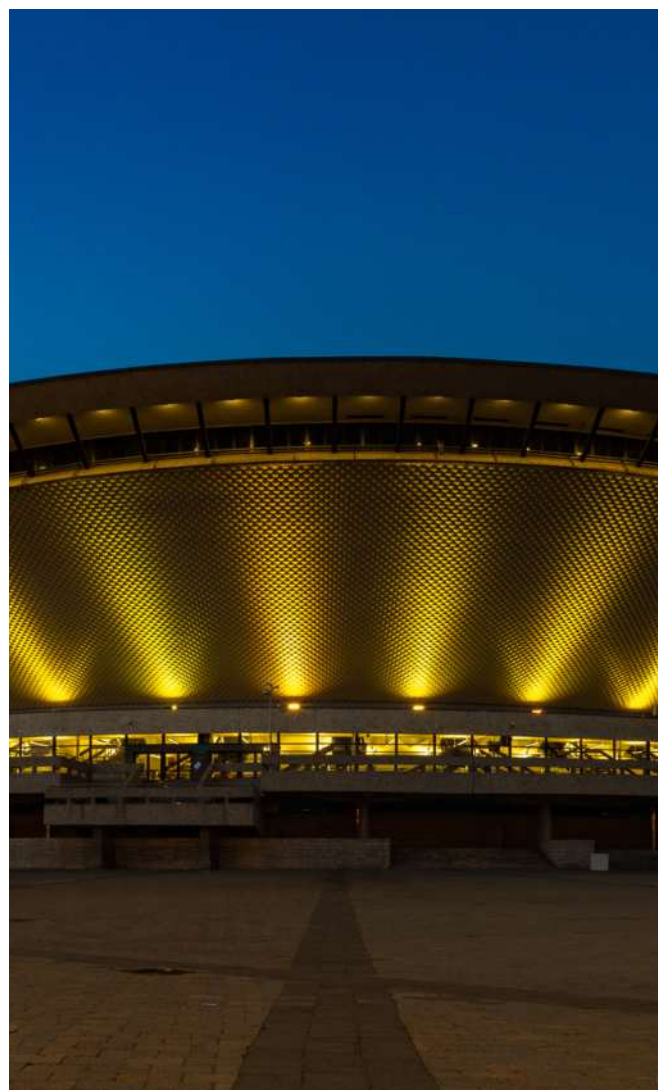


GÓRNOŚLĄSKO-ZAGŁĘBIOWSKA METROPOLIA (GZM) - TRANSFORMACJA PRZEMYSŁOWA

Ekosystem sztucznej inteligencji w Górnym Śląsku i Zagłębiu definiuje głęboka transformacja. Region, który przez dekady kojarzony był z przemysłem ciężkim, wydobywaniem węgla i hutnictwem, ewoluje w kierunku centrum zaawansowanych technologii. Śląsk i Zagłębie nie próbują konkurować z innymi miastami w tworzeniu modeli językowych (LLM); zamiast tego stawiają na „AI fizyczną” – głęboką integrację sztucznej inteligencji z Przemysłem 4.0, robotyką, automatyką oraz koncepcją Smart City.

Technologiczne serce miasta i infrastruktura brzegowa

Fundamentem śląskiego ekosystemu innowacji są wielomilionowe inwestycje w infrastrukturę. Sztandarowym projektem jest Katowicki Hub Gamingowo-Technologiczny, inwestycja o wartości ponad 300 mln złotych, zlokalizowana na zrewitalizowanych terenach kopalni Wieczorek, która ma integrować środowisko e-sportu, gamedevu i nowoczesnego IT. GZM to także ważny punkt tzw. Polskiego Trójkąta ICT (Katowice – Wrocław – Łódź). Jednak prawdziwą specyfiką regionu jest infrastruktura rozproszona – Edge Computing (obliczenia na krawędzi sieci). Ze względu na ogromne nasycenie zakładami przemysłowymi, kluczowa staje się instalacja serwerów i urządzeń IoT bezpośrednio w fabrykach, co pozwala na analitykę i podejmowanie decyzji przez algorytmy w czasie rzeczywistym, bez opóźnień chmurowych. Równolegle, administracja GZM napędza rozwój AI poprzez Platformę Otwartych Danych oraz inteligentne systemy zarządzania transportem publicznym.



Popyt na rozwiązania AI w GZM ma charakter zdecydowanie infrastrukturalno-przemysłowy. Spotykają się tu dwa światy. Z jednej strony mamy tradycyjne potęgi przemysłowe, energetyczne i motoryzacyjne (np. Grupa PGG, Tauron, Węglukoks, ArcelorMittal, JSW, Famur czy fabryka Stellantis), które przechodzą potężną transformację i zgłaszają zapotrzebowanie na predykcyjne utrzymanie ruchu, cyfrowe bliźniaki (Digital Twins) oraz optymalizację łańcuchów dostaw. Z drugiej strony na te potrzeby odpowiada silnie rozwinięty sektor IT i BPO/SSC, reprezentowany przez globalnych graczy takich jak Capgemini, IBM/Kyndryl, Accenture czy Fujitsu, a także potężne centra inżynieryjne (np. rozbudowujące się ING Hubs Poland). Ten mariaż generuje unikalne środowisko do testowania rozwiązań z zakresu analityki wideo (Computer Vision) na liniach produkcyjnych czy optymalizacji zużycia energii.

Przekucie tego potencjału w sukces nie byłoby możliwe bez wysoce wyspecjalizowanej kadry. Uczelnie takie jak Politechnika Śląska czy Uniwersytet Śląski wypuszczają na rynek tysiące absolwentów o profilu mocno inżynieryjnym, świetnie przygotowanych do pracy z robotyką, automatyką, elektroniką czy systemami SCADA. Region dysponuje również cennym wsparciem Sieci Badawczej Łukasiewicz, która specjalizuje się w cyberbezpieczeństwie i rozwiązaniach dla Przemysłu 4.0. Coraz śmielsze kroki w obszarze AI stawia również medycyna, m.in. dzięki badaniom Śląskiego Uniwersytetu Medycznego nad analityką danych klinicznych i bioinformatyką.

Ekosystem AI wymaga bardzo dużej mocy. Na Śląsku obsługują ją zaawansowane Centra Danych, takie jak infrastruktura 3S Data Center czy katowicki obiekt Atmana. Największym wyzwaniem, ale i szansą regionu, jest jednak transformacja energetyczna. GZM jako pierwszy tak wyraźnie stawia na rewitalizację – „Brownfields” (tereny poprzemysłowe i pokopalniane) stają się idealnymi lokalizacjami pod nowe serwerownie oraz zasilające je farmy fotowoltaiczne. Pojawiają się także innowacyjne koncepcje gospodarki obiegu zamkniętego, zakorzenione w dziedzictwie regionu – ciepło odpadowe generowane przez Centra Danych może być wykorzystywane do zasilania rozbudowanych, miejskich sieci ciepłowniczych, co w czasach dekarbonizacji stanowi potężny atut.

Rozwój AI na Śląsku i w Zagłębiu napotyka specyficzne przeszkody. To przede wszystkim rozproszenie decyzyjne wynikające z podziału administracyjnego na 41 miast i gmin GZM. Problemem jest również luka kompetencyjna – brakuje tu specjalistów zajmujących się głębokimi badaniami naukowymi (R&D) nad klasycznym AI i modelami językowymi, a część talentów odpływa do Krakowa czy Warszawy. Lokalny sektor MŚP nadal wykazuje relatywnie niską gotowość do adopcji zaawansowanych algorytmów.

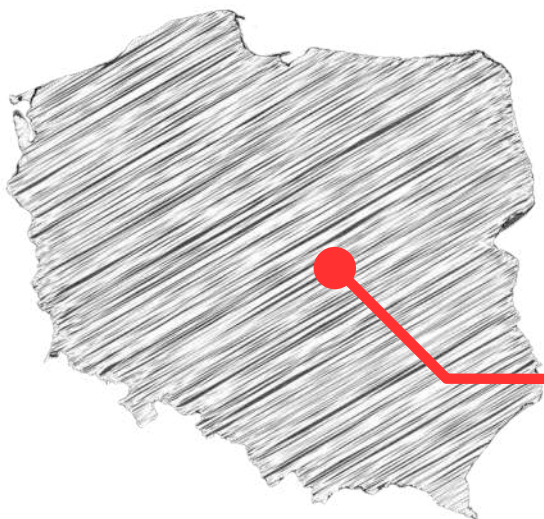
Niemniej jednak, metropolia ma przed sobą dużą szansę. Stawiając na rozwój „AI fizycznej”, cyfrowych bliźniaków dla fabryk, cyberbezpieczeństwo infrastruktury krytycznej oraz wykorzystanie terenów poprzemysłowych pod nową energetykę, GZM może stać się czołowym europejskim poligonem doświadczalnym dla Przemysłu 4.0, z powodzeniem eksportującym swoje rozwiązania na rynki globalne.

Biznes: mariaż przemysłu ciężkiego z globalnym IT

Kapitał ludzki i nauka w służbie przemysłu

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania



ŁÓDŹ TECHNOLOGIE BRZEGOWE I LOGISTYKA CYFROWA

Łódzki ekosystem sztucznej inteligencji to ciekawy przykład udanej transformacji. Miasto, niegdyś zdominowane przez tradycyjny przemysł włókienniczy, dziś definiuje swoją tożsamość poprzez logistykę, zaawansowaną analitykę danych, Przemysł 4.0 oraz udane wdrażanie sieci 5G. Specyfika Łodzi polega na tym, że zamiast ściągać się w obszarze potężnych, scentralizowanych modeli chmurowych, miasto stało się liderem w obszarze Edge AI – sztucznej inteligencji działającej na krawędzi sieci.

Technologiczne serce miasta i unikalna infrastruktura

Fundamentem łódzkiego zaplecza nie są klasyczne superkomputery oparte na kartach GPU, lecz unikalny w skali Europy ARUZ (Analizator Rzeczywistych Układów Złożonych) zlokalizowany w Bionanoparku. To potężny cyfrowy symulator oparty na układach FPGA, dedykowany do przeprowadzania gigantycznych symulacji chemicznych, fizycznych i molekularnych. Łódź to także dom dla Suwerennej Chmury AI (CloudFerro) o docelowej przestrzeni dyskowej rzędu 1 eksabajta. Potężnym poligonem doświadczalnym dla sztucznej inteligencji są również duże centra badawczo-rozwojowe: np. centrum R&D Ericsson, zatrudniające blisko 1800 inżynierów i programistów pracujących nad optymalizacją sieci 5G i 6G, oraz fabryka „Factory of the Future” firmy Dell Technologies.



Dzięki centralnemu położeniu Łódź generuje silny popyt na rozwiązania AI w logistyce i produkcji. Działające tu centra dystrybucyjne i firmy e-commerce (m.in. Rossmann) wykorzystują automatyzację magazynów oraz wizję komputerową do kontroli jakości i monitorowania łańcuchów dostaw. Popyt w obszarze Przemysłu 4.0 napędzają globalne firmy (m.in. Philips, Whirlpool), wdrażające systemy predykcyjnego utrzymania ruchu, a także silny sektor usług – od analityki i autonomicznej mobilności (TomTom), przez chmurowe IT i modele językowe (Fujitsu), po wykrywanie nadużyć w bankowości (mBank). Warto jednocześnie odnotować unikalną specyfikę regionu, jaką jest rozwój tekstroniki (wearables) – na Politechnice Łódzkiej rozwijane są inteligentne tekstylia integrujące elektronikę (IoT, sensory, zasilanie), znajdujące zastosowanie w komunikacji radiowej oraz w medycynie, rehabilitacji i odzieży ochronnej.

Biznes, logistyka i Przemysł 4.0

Paliwem łódzkiego ekosystemu jest solidna baza akademicka kształcąca około 65-70 tysięcy studentów. Główne zaplecze technologiczne regionu stanowią Politechnika Łódzka (m.in. specjalizująca się w grafice i grach komputerowych) oraz Uniwersytet Łódzki – ważne centrum badań nad wpływem AI na prawo i społeczeństwo (warto również odnotować projekt vnLab – Laboratorium Narracji Wizualnych, w ramach którego łódzkie uczelnie opracowują rekomendacje dotyczące etycznego i odpowiedzialnego wykorzystania AI w edukacji i kulturze); natomiast kluczowym wyróżnikiem regionu pozostaje silna synergia IT z medycyną. Uniwersytet Medyczny w Łodzi (UMed) realizuje gigantyczny projekt MULDIMedIC (Regionalne Centrum Medycyny Cyfrowej) o wartości blisko 30 mln zł, w którym uczenie maszynowe wykorzystywane jest do analizy ogromnych zbiorów danych medycznych i bioinformatyki. Kadra inżynierska w Łodzi mocno specjalizuje się w systemach wbudowanych, telekomunikacji oraz automatyzacji (RPA), co jest kluczowe w obliczu procesów demograficznych – starzejące się społeczeństwo i braki rąk do pracy fizycznej w regionie stymulują firmy do jeszcze szybszej robotyzacji i wdrażania AI.

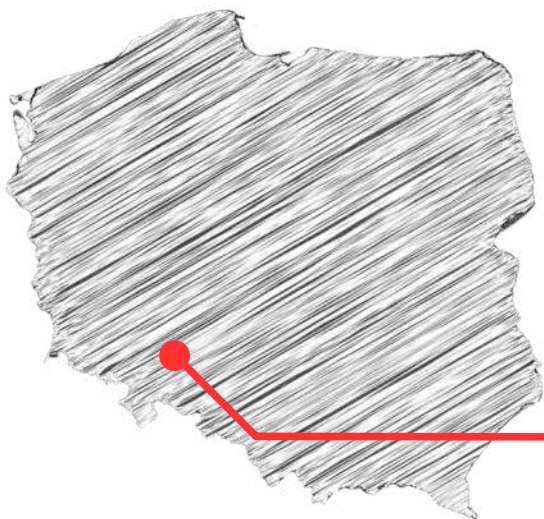
Kapitał ludzki i nauka na styku z medycyną

Architektura serwerowa w Łodzi znacząco różni się od tej w Warszawie czy Krakowie. Ze względu na profil gospodarczy miasta, kluczowa staje się infrastruktura rozproszona (Edge Computing / On-Premise). Centra logistyczne i potężne fabryki wymagają przetwarzania danych w czasie rzeczywistym z minimalnymi opóźnieniami (low latency) w celu np. sterowania autonomicznymi wózkami widłowymi i ramionami robotycznymi. Z tego powodu ekosystem wspierany jest przez rozproszone Data Centers mniejszych pojemności (takie jak Comarch, Toya czy obiekty TPnets), które umiejscowione są w pobliżu węzłów komunikacyjnych i hal produkcyjnych. Główne zapotrzebowanie energetyczne skupia się tu nie na wielkich kampusach, lecz na stabilnym i rozproszonym zasilaniu hubów logistycznych.

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

Największą barierą dla Łodzi pozostaje zjawisko odpływu talentów. Bliskość Warszawy z jednej strony ułatwia biznes, z drugiej – wysysa najwyższej klasy specjalistów z obszaru Machine Learning oraz start-upy poszukujące kapitału wysokiego ryzyka (którego w Łodzi brakuje). Region odczuwa również brak fizycznych regionów chmurowych hyperscalerów. Pomimo tych wyzwań, Łódź ma do dyspozycji silne dźwignie rozwoju. To przede wszystkim status nieformalnej „stolicy Edge AI”, unikalne kompetencje w obszarze MedTech (napędzane przez Bionanopark i UMed) oraz przewaga kosztowa. Niższe koszty życia i prowadzenia biznesu w porównaniu do Warszawy czy Krakowa, połączone z aktywnie wspierającą inwestycje Łódzką Specjalną Strefą Ekonomiczną (ŁSSE), stanowią magnes dla korporacji poszukujących efektywnej bazy do wdrażania innowacji na skalę europejską.

Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania



WROCLAW ZAPLECZE INŻYNIERYJNE I BADAWCZE

Wrocławski ekosystem sztucznej inteligencji
Klasyfikowany jest w pierwszej trójce największych
rynków IT w Polsce. Dolny Śląsk nie skupia się na
masowym outsourcingu prostych usług.
To potężne centrum R&D (Research & Development),
którego tożsamość definiuje „Applied AI” – sztuczna
inteligencja aplikowana bezpośrednio w
zaawansowanym przemyśle, motoryzacji,
telekomunikacji oraz głębokich technologiach
(DeepTech).

Technologiczne serce miasta i unikalne laboratoria

Fizycznym fundamentem wrocławskiego środowiska AI
jest infrastruktura Wrocławskiego Centrum Sieciowo-
Superkomputerowego (WCSS). To tam pracuje
superkomputer Bem oraz dedykowane klastry GPU
służące do zaawansowanych obliczeń z zakresu uczenia
maszynowego, przetwarzania języka naturalnego (NLP)
i Big Data. W ośrodku znajduje się również 5-kubitowy
komputer kwantowy firmy IQM Odra 5. Jednak
prawdziwą przewagą Wrocławia są unikalne środowiska
testowe. Miasto dysponuje najnowocześniejszymi
poligonami testowymi dla sieci 5G i 6G, które stanowią
swoisty układ nerwowy dla rozwiązań z zakresu Smart
City i autonomicznych pojazdów.



Wrocław to także bezapelacyjny magnes dla zagranicznych inwestycji bezpośrednich (FDI) w sektorze badawczo-rozwojowym. Aż 19% lokalnych podmiotów działa w sekcji M (działalność profesjonalna, naukowa i techniczna), co czyni miasto polskim liderem w obszarze inżynierii. Na tym fundamencie wyrosły centra R&D. To tutaj Nokia posiada jedno ze swoich największych na świecie laboratoriów rozwijających standardy 5G/6G przy użyciu AI. Tu Volvo Polska projektuje oprogramowanie dla autonomicznych pojazdów, a LG Energy Solution napędza elektromobilność w największej w Europie fabryce baterii EV. Równolegle ekosystem ten napędzają globalni gracze z sektora finansów i IT (BNY Mellon, UBS, Kyndryl, Capgemini) oraz potęgi Gamedevu, na czele z Techlandem.

Zasilanie tak wymagającego rynku opiera się na potężnej bazie akademickiej. Politechnika Wrocławska (lider w kształceniu inżynierów i specjalistów od algorytmiki) oraz Uniwersytet Wrocławski (dostarczający ekspertów od matematyki i NLP) co roku wypuszczają na rynek tysiące absolwentów. Specyfika profilu gospodarczego miasta wygenerowała na rynku pracy zjawisko określane mianem „Wrocławskiej anomalii”. Polega ona na gigantycznym zapotrzebowaniu na specjalistów łączących kompetencje z zakresu klasycznej sztucznej inteligencji (Data Science) z niskopoziomowym programowaniem systemów wbudowanych (Embedded C/C++). To efekt bezpośredniego zapotrzebowania ze strony branży Automotive, robotyki i IoT.

Zaawansowane obliczenia wymagają odpowiedniego zaplecza. Wrocławski rynek Data Center opiera się na certyfikowanych obiektach klasy Tier 3, takich jak Korbank czy Flowberg IT, oraz na akademickim WCSS, które pioniersko wdraża chłodzenie cieczą (Direct Liquid Cooling). Zapotrzebowanie energetyczne wrocławskich serwerowni jest znaczące i stale rośnie, wymuszając poszukiwanie ekologicznych źródeł zasilania (tzw. Green AI) poprzez umowy cPPA na energię z farm fotowoltaicznych. Region napotyka jednak na energetyczny „szklany sufit”, który ogranicza budowę obiektów klasy Hyperscale. To z kolei idealnie pozycjonuje miasto w kierunku rozwoju energooszczędnych i zdecentralizowanych rozwiązań Edge Computing (przetwarzania brzegowego), krytycznych dla lokalnego przemysłu.

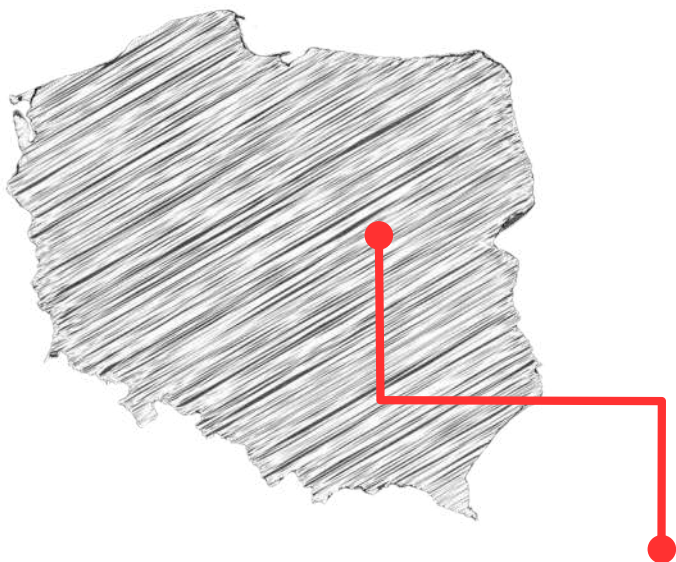
Wrocław musi mierzyć się z wyzwaniami typowymi dla dojrzałych rynków. Zjawisko „złotych kajdanek” sprawia, że potężne korporacje R&D drenują rynek z najlepszych talentów, co utrudnia rozwój lokalnych, niezależnych start-upów. Ponadto, innowacje DeepTech (łącznie zaawansowany hardware z AI) napotyka na twarde bariery w pozyskiwaniu wczesnego finansowania (VC). Niemniej jednak, Wrocław charakteryzuje się ponadprzeciętnymi przewagami strategicznymi. Obecność firm takich jak Infermedica (globalny gracz w diagnostyce medycznej AI), SatRev (wykorzystujący AI do analizy danych satelitarnych) czy Surfer (AI w SEO) udowadnia, że wrocławski DeepTech potrafi skalować się globalnie. Miasto staje się, otwartym laboratorium dla „Applied AI”, gdzie algorytmy płynnie łączą się z inżynierią fizyczną, produkcją i medycyną, tworząc ekosystem o niezrównanej odporności i potencjale intelektualnym.

Biznes, R&D i globalne innowacje

Kapitał ludzki i „Wrocławska anomalia”

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania



WARSZAWA CENTRUM CHMUROWO-INSTYTUCJONALNE

Warszawski ekosystem sztucznej inteligencji należy do najbardziej dojrzałych w Polsce i stanowi jeden z kluczowych ośrodków rozwoju AI w regionie Europy Środkowo-Wschodniej (CEE). W odróżnieniu od wielu innych miast, które koncentrują się na wybranych niszach, stolica działa w szerokim spektrum zastosowań, a jej profil technologiczny opiera się na trzech głównych filarach: obecności globalnych dostawców chmury (hyperscalerów), rozwiniętym sektorze finansowym (BFS) oraz administracji centralnej (GovTech).

Technologiczne serce miasta i dominacja chmurowa

Infrastrukturalny obraz Warszawy definiują inwestycje gigantów. To tutaj zlokalizowane są dedykowane, fizyczne regiony chmurowe Google Cloud oraz Microsoft Azure, które stanowią fundament dla cyfrowej transformacji polskiego biznesu. Infrastruktura ta jest wspierana przez potężne węzły wymiany ruchu internetowego (m.in. Equinix) oraz zaplecze badawcze, takie jak Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego (ICM UW) dysponujące superkomputerami, a także CEZAMAT PW i instytuty badawcze NASK oraz OPI.



Popyt na rozwiązania AI w stolicy jest napędzany przede wszystkim przez sektor bankowości i finansów (BFS), który generuje aż 64% rynkowego zapotrzebowania, oraz przez obszar cyberbezpieczeństwa. Warszawa to polska stolica „Smart Money” i siedziba największych korporacji (m.in. ORLEN, PKO Bank Polski, PGE). Równolegle funkcjonują tu globalne centra R&D, na czele z ośrodkiem Samsunga (lidera w NLP i Computer Vision) czy technologicznymi hubami gigantów finansowych jak JPMorgan. Taki ekosystem stwarza idealne warunki dla rozwoju innowacji skalujących się globalnie. To w stolicy wyrosły technologiczne wizytówki Polski – globalny lider AI audio ElevenLabs (posiadający status jednorożca), gigant rezerwacji Booksy, fintech PayPo czy wywodzący się z sektora DeepTech/Space ICEYE, dostarczający mikro satelity radarowe do obserwacji Ziemi.

Biznes, „Smart Money” i narodziny jednorożców

Fundamentem kadrowym Warszawy jest absolutnie bezprecedensowa w skali kraju baza edukacyjna. Ponad 240 tysięcy studentów kształci się na wiodących uczelniach, takich jak Uniwersytet Warszawski (europejski lider w obszarze NLP i uczenia maszynowego), Politechnika Warszawska, Wojskowa Akademia Techniczna czy SGH. Rozwój talentów stymulują również ośrodki badawcze, takie jak Instytut Badawczy IDEAS, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR). Warszawski rynek pracy boryka się jednak z unikalnym problemem tzw. „Złotej Klatki Finansowej”. Potężny sektor bankowy i korporacyjny kusi najwyższej klasy programistów i ekspertów Data Science ponadprzeciętnie wysokimi wynagrodzeniami. W efekcie utrudniając pozyskiwanie talentów przez mniejsze start-upy i spowalnia rozwój niezależnych innowacji DeepTech.

Kapitał ludzki i pułapka „Złotej Klatki Finansowej”

W stolicy skupia się znacząca infrastruktura kolokacyjna i komercyjna, zdominowana przez graczy takich jak Vantage Data Centers, Atman, Equinix czy Netia. Całkowite zapotrzebowanie mocowe warszawskiego rynku przekracza już 120-150 MW i dynamicznie rośnie, wymuszając implementację zaawansowanych systemów chłodzenia (Direct Liquid Cooling) w szafach serwerowych wysokiej gęstości dedykowanych pod AI. Największym wyzwaniem dla dalszej ekspansji tych obiektów stają się „wąskie gardła” sieci przesyłowej (KSE). Brak przyłączeniowej dostępności mocy staje się główną barierą hamującą rozwój infrastruktury hiperskalowej, co wymusza poszukiwanie alternatyw w postaci zielonej energii i umów cPPA.

Infrastruktura krytyczna i wyzwania energetyczne

26

Warszawski ekosystem AI nie jest wolny od wyzwań. Główne bariery to jedno z najwyższych w regionie kosztów pracowniczych (które zrównują stolicę z miastami Europy Zachodniej), wspomniane ograniczenia energetyczne oraz obciążenia regulacyjne (np. AI Act), które najbardziej uderzają w silnie reprezentowany tu sektor finansowy. Warto zauważyć, że stolica jest też domem dla prężnego sektora NGO (m.in. Fundacja Panoptykon), który aktywnie kształtuje etyczne standardy wdrażania tych regulacji. Z czasem miasto ma szansę stać się centralnym europejskim graczem w obszarze GovTech, SecurityTech i FinTech. Synergia potężnej infrastruktury chmurowej, nieograniczonego popytu ze strony instytucji centralnych i giełdowych oraz dostępności kapitału venture sprawia, że Warszawa będzie nie tylko konsumować owoce, ale przede wszystkim nadawać tempo rewolucji AI w tej części świata.

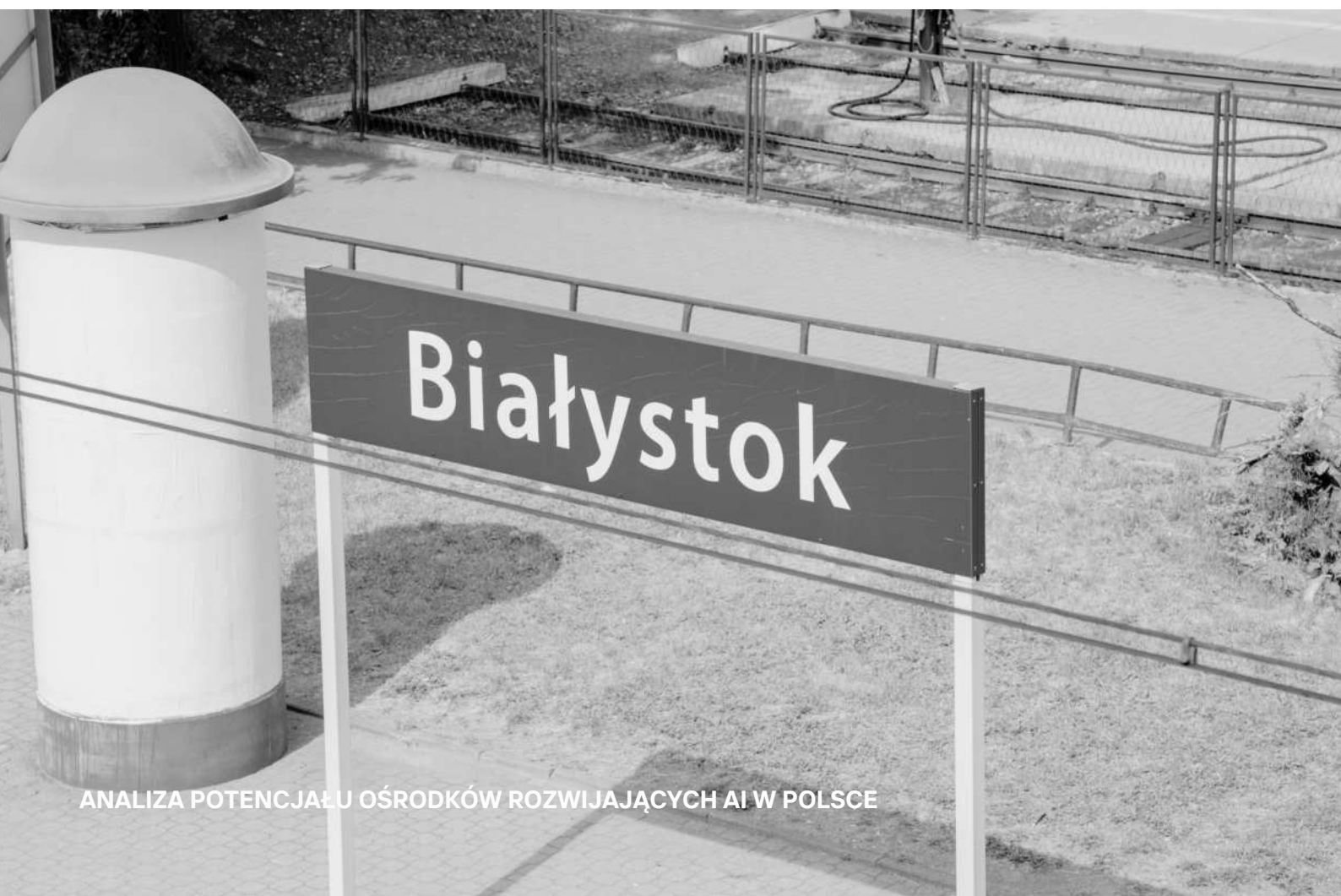
Szanse na horyzoncie i bariery do pokonania

3.2 ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW WSPIERAJĄCYCH

Rozwój sztucznej inteligencji w Polsce to nie tylko domena największych metropolii, lecz także sieci średniej wielkości miast wyspecjalizowanych sektorowo (ośrodków wspierających), które przejmują istotne role wdrożeniowe, infrastrukturalne i badawcze. W ramach efektywnego ekosystemu AI są one również odpowiedzialne za realizację zadań wskazanych w Polityce AI. Analiza dziesięciu miast przedstawionych w niniejszym rozdziale ukazuje funkcje oraz potencjalne role, jakie pełnią — lub mogą pełnić — w rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce.



27



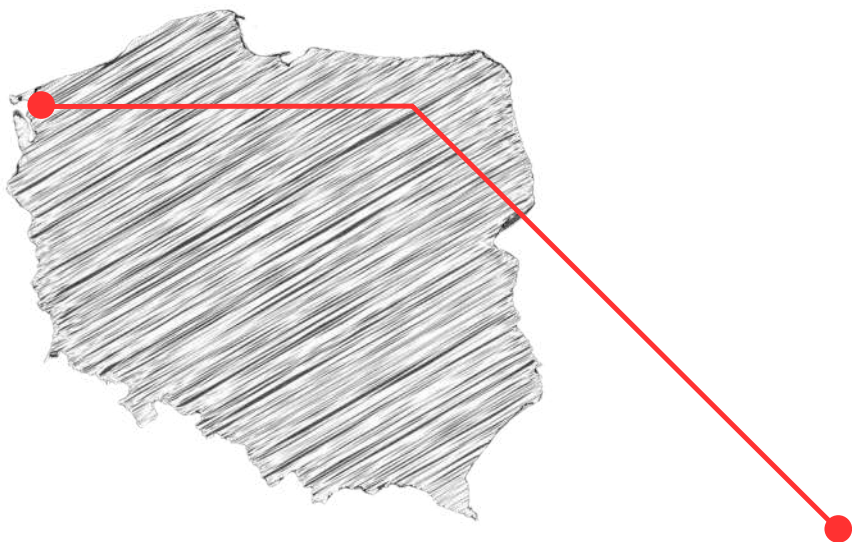
Każdy z analizowanych ośrodków pełni inną, jasno określoną funkcję systemową. **Rzeszów** i **Bydgoszcz** są przykładami miast, w których AI rozwija się w ścisłym sprzężeniu z przemysłem ciężkim, lotnictwem, obronnością i infrastrukturą krytyczną – tam algorytmy są trenowane na danych z maszyn, silników, sieci 5G czy systemów wojskowych. Z kolei **Białystok** i **Lublin** koncentrują się na analityce medycznej, biologicznej i genomice, opierając się na unikalnych zbiorach danych klinicznych, obrazowych i populacyjnych, których nie posiadają nawet duże metropolie.

Inne miasta, takie jak Toruń czy Szczecin, pełnią funkcję węzłów infrastrukturalnych i transgranicznych – **Toruń** dzięki Exea Data Center oraz zaplecza radioastronomicznego UMK stał się jednym z kluczowych krajowych punktów przetwarzania Big Data, natomiast **Szczecin** wykorzystuje swoje położenie portowe, offshore i energetyczne do rozwoju AI dla gospodarki morskiej i logistyki.

Opole, Gorzów Wielkopolski i Kielce to z kolei miasta, w których AI funkcjonuje głównie jako narzędzie automatyzacji i optymalizacji Przemysłu 4.0, testowane bezpośrednio na liniach produkcyjnych, w hutach, cementowniach, fabrykach elektroniki czy kolei.

Celem tej analizy nie jest porównanie miast w sensie rankingowym, lecz pokazanie, że potencjał sztucznej inteligencji w Polsce ma charakter rozproszony i komplementarny. Każde z miast wnosi do systemu inne zasoby: dane, infrastrukturę, energię, kadry lub środowiska testowe. Dopiero ich łączne funkcjonowanie pozwala mówić o realnym, operacyjnym ekosystemie AI, zdolnym do skalowania technologii w gospodarce.





SZCZECIN: ZIELONY WĘZŁ INFRASTRUKTURALNY ORAZ CENTRUM ANALITYKI DLA GOSPODARKI MORSKIEJ I TRANSGRANICZNEJ

Szczecin łączy zaawansowaną infrastrukturę cyfrową, nadwyżkowy potencjał zielonej energii oraz silne zakorzenienie w gospodarce morskiej, offshore i logistyce. Jako miasto portowe o wyraźnie transgranicznym charakterze, pełni rolę północno-zachodniej bramy technologicznej kraju – spinającej polski ekosystem cyfrowy z rynkiem niemieckim i skandynawskim. Pełni też rolę naturalnego zaplecza infrastrukturalnego dla przemysłu morskiego nowej generacji.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Sercem ekosystemu jest Technopark Pomerania, który konsekwentnie rozwija własne centra danych i zaplecze infrastrukturalne zdolne do obsługi nowoczesnych usług chmurowych oraz środowisk wysokiej dostępności. Kluczowym atutem Szczecina są bezpośrednie, niskolatencyjne połączenia światłowodowe z Berlinem oraz hubami danych w Skandynawii (kable podmorskie na Bałtyku), które tworzą warunki do realizacji operacji obliczeniowych i analitycznych w transgranicznych architekturach rozproszonych. Unikalną cechą miasta jest także fizyczna infrastruktura testowa, niedostępna dla większości ośrodków lądowych: port morski, stocznie, terminale przeładunkowe i huby logistyczne funkcjonują jako rzeczywiste „poligony wdrożeniowe” dla systemów autonomii, nawigacji, wizji komputerowej oraz optymalizacji procesów w środowisku otwartym.



Popyt technologiczny w Szczecinie generowany jest przede wszystkim przez sektor Maritime & Offshore, obsługę morskich farm wiatrowych, logistykę portową oraz globalny e-commerce. Obecność podmiotów takich jak Demant (R&D systemów akustycznych), Zalando/Amazon (zaplecze logistyczne), Asseco Data Systems, Tietoevry, GlobalLogic czy home.pl tworzy silny, stabilny rynek wdrożeń analitycznych i systemowych.

Jednocześnie struktura podaży wskazuje na dominację software house'ów i centrów R&D realizujących projekty usługowe, przy relatywnym niedoborze firm produktowych rozwijających własną, skalowalną własność intelektualną. Oznacza to bardzo wysoki poziom kompetencji inżynierskich i wdrożeniowych, lecz ograniczoną akumulację kapitału technologicznego w regionie.

Szczecin jest silnym ośrodkiem akademickim, kształcącym ok. 30 tysięcy studentów, z wyjątkowo mocnym profilem technicznym i medycznym. Fundament zaplecza inżynierskiego tworzą Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny oraz Politechnika Morska, które dostarczają specjalistów w obszarach informatyki, automatyki, robotyki, teleinformatyki i technologii morskich. Szczególną wartość stanowią wysokospecjalistyczne symulatory nawigacyjne i infrastruktura laboratoryjna, idealne do rozwoju systemów autonomicznych i obliczeń brzegowych.

Wyraźnym wyróżnikiem Szczecina jest Pomorski Uniwersytet Medyczny, dysponujący rozbudowanymi zasobami danych klinicznych, genomiki, obrazowania medycznego i telemedycyny. Dzięki temu miasto posiada bardzo silny potencjał w obszarze analityki medycznej i przetwarzania danych zdrowotnych. Uzupełnieniem ekosystemu są uczelnie niepubliczne (WSB Merito), zapewniające masową podaż praktycznych kadr dla sektora IT, e-commerce, finansów i logistyki.

Największym strategicznym atutem Szczecina jest energetyka. Województwo zachodniopomorskie jest krajowym liderem produkcji energii z odnawialnych źródeł w relacji do własnego zużycia, co czyni region rynkiem nadwyżkowym i wyjątkowo atrakcyjnym dla infrastruktury energochłonnej. Rozwijane farmy wiatrowe – lądowe i offshore – zapewniają dostęp do rzeczywiście zielonej energii, spełniającej rygorystyczne wymagania ESG. Dodatkowo nowoczesne sieci ciepłownicze zarządzane przez SEC tworzą pełny potencjał gospodarki obiegu zamkniętego, umożliwiając odzysk ciepła odpadowego z węzłów obliczeniowych i jego wykorzystanie w skali miejskiej.

Głównym ograniczeniem rozwojowym Szczecina pozostaje odpływ kompetencji do Berlina oraz praca zdalna dla rynków zachodnich, co utrudnia budowę lokalnych zespołów produktowych. Dodatkowym problemem jest niedobór lokalnego kapitału finansowego podwyższonego ryzyka, co zmusza innowacyjne podmioty do poszukiwania pieniędzy poza regionem.

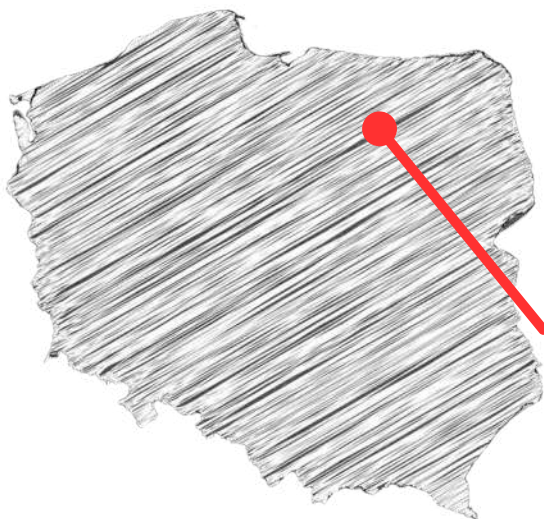
Jednocześnie Szczecin jest aktywny w unikalnych niszach w skali Europy Środkowej: Maritime & Offshore, synergii z analityką medyczną oraz potencjałem transgranicznego nearshoringu. W połączeniu z infrastrukturą EDIH („test before invest”) i nadwyżkami zielonej energii, miasto ma realne predyspozycje, by stać się jednym z ważnych krajowych ośrodków rozwoju infrastruktury obliczeniowej, analityki przemysłowej i technologii cyfrowych nowej generacji.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Nauka i kapitał ludzki

Energetyka i przewagi ESG

Bariery i perspektywy rozwoju



OLSZTYN: OŚRODEK ANALITYKI ŚRODOWISKOWEJ I ZRÓWNOWAŻONEGO PRZEMYSŁU

Olsztyn pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę wyspecjalizowanego ośrodka przetwarzania danych środowiskowych, rolniczych i biologicznych, ściśle powiązanego z sektorem AgriTech, FoodTech oraz nowoczesnym przemysłem przetwórczym. Charakter miasta i regionu – oparty na gospodarce rolno-spożywczej, przemyśle lekkim i zasobach naturalnych – sprawia, że Olsztyn nie konkuruje z metropoliami w zakresie hyperskalowej infrastruktury, lecz buduje przewagi w obszarze zastosowań obliczeń i analityki w świecie fizycznym.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Centralnym punktem wsparcia technologii w Olsztynie jest Olsztyński Park Naukowo-Technologiczny (OPNT), który pełni funkcję integratora infrastruktury badawczej, biznesowej oraz miejskich wdrożeń cyfrowych. Miasto konsekwentnie rozwija rozwiązania Smart City, w tym zmodernizowany Inteligentny System Transportowy (ITS), który generuje strumienie danych przestrzennych i ruchowych przetwarzanych w środowiskach chmurowych. Zaplecze obliczeniowe ma charakter zdecentralizowany i opiera się na zasobach akademickich Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (sieć PIONIER) oraz komercyjnym Sprint Data Center, które zapewnia stabilne usługi kolokacji i chmurowe średniej gęstości. Taki model infrastrukturalny dobrze odpowiada potrzebom przetwarzania danych sektorowych i wdrożeń przemysłowych, choć ogranicza możliwość realizacji energochłonnych obliczeń wysokiej gęstości w skali komercyjnej.



Popyt na zaawansowaną analitykę w regionie generowany jest przede wszystkim przez przemysł nowoczesny (Przemysł 4.0), sektor rolno-spożywczy oraz rolnictwo precyzyjne. Przykładem jest wysoko zautomatyzowana fabryka Michelin Polska, która stanowi naturalne środowisko dla predykcyjnego utrzymania ruchu, analizy jakości i optymalizacji procesów. Unikalnym zasobem Olsztyna są także zautomatyzowane linie rozlewnicze lokalnych gigantów mleczarskich i spożywczych. Generują one gigantyczne wolumeny danych sensorycznych, tworząc fizyczną bazę do rozwoju algorytmów monitorowania jakości wód, środowiska oraz predykcji awarii maszyn. Strona podaźowa rynku opiera się na sprawdzonych integratorach systemowych (Sprint, ZETO Software) oraz lokalnych software house'ach, natomiast wyraźnie widoczny jest deficyt firm produktowych budujących własną własność intelektualną w obszarze zaawansowanej analityki.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Kluczowym filarem Olsztyna jest Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, stanowiący jeden z najsilniejszych w kraju ośrodków nauk przyrodniczych, rolniczych, weterynaryjnych i środowiskowych. UWM wraz z instytutami PAN generuje unikalne, wysokiej jakości zbiory danych biologicznych, przestrzennych i medycznych, które stanowią naturalne paliwo dla algorytmów analitycznych i uczenia maszynowego.

Nauka i kapitał danych

Szczególną przewagą regionu jest geoinformatyka – analiza danych satelitarnych, przestrzennych i fotogrametrycznych – wykorzystywana w rolnictwie precyzyjnym, monitorowaniu środowiska i planowaniu przestrzennym. Potężnym atutem jest także zaplecze weterynaryjne i medyczne, umożliwiające rozwój analityki behawioralnej zwierząt, bioinformatyki oraz systemów predykcyjnych w ochronie zdrowia. Kapitał ludzki ma charakter stabilny ilościowo, jednak region zмага się z ucieczką najbardziej zaawansowanych kompetencji technicznych do Trójmiasta i Warszawy, szczególnie w obszarach deep-tech i algorytmiki.

Olsztyn posiada ponadprzeciętnie silne fundamenty energetyczne. Dzięki Instalacji Termicznego Przekształcania Odpadów (ITPO) oraz wysokiemu udziałowi energii z OZE, miasto dysponuje stabilnym, przewidywalnym zasilaniem elektrycznym i ciepłym. Nowoczesna sieć ciepłownicza zarządzana przez MPEC stwarza pełną gotowość do wdrażania modeli gospodarki obiegu zamkniętego, w tym odzysku ciepła z infrastruktury obliczeniowej. Jednocześnie brak komercyjnych obiektów klasy High-Density sprawia, że Olsztyn pełni raczej rolę ośrodka wdrożeniowego i danych sektorowych, niż miejsca koncentracji energochłonnych klastrów obliczeniowych.

Energetyka i zrównoważony rozwój

Głównymi barierami rozwoju są odpływ najbardziej zaawansowanych kadr technicznych oraz niemal całkowity brak lokalnego kapitału wysokiego ryzyka zdolnego finansować projekty deep-tech. Ograniczenia infrastrukturalne w obszarze wysokiej gęstości obliczeń wymuszają korzystanie z zewnętrznych zasobów chmurowych lub akademickich.

Bariery i perspektywy

Z drugiej strony Olsztyn dysponuje wyjątkową w skali kraju niszą: AgriTech, FoodTech, analityka środowiskowa i weterynaryjna, wzmocnione silnym zapleczem naukowym. Dodatkowym atutem jest potencjał „lifestyle nearshoringu” – połączenie niższych kosztów życia z wysoką jakością środowiska naturalnego, które predestynuje miasto do roli zaplecza analityczno-wdrożeniowego dla Skandynawii i północnej Europy.



LUBLIN: CENTRUM AI DLA ROLNICTWA I CYFROWEGO ZDROWIA

Lublin pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę wielowymiarowego ośrodka akademicko-wdrożeniowego, w którym skala kapitału ludzkiego, gęstość uczelni wyższych oraz dojrzały rynek usług IT tworzą unikalne warunki do rozwoju i zastosowania zaawansowanych technologii w gospodarce realnej. Miasto stanowi kluczowy punkt ciężkości dla Polski Wschodniej, łącząc funkcję zaplecza badawczo-rozwojowego, przemysłowego oraz nearshoringowego dla największych centrów decyzyjnych kraju i Europy.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Centralnym węzłem infrastrukturalnym Lublina jest Lubelski Park Naukowo-Technologiczny (LPNT), który oprócz funkcji inkubacyjnych i integracyjnych dysponuje własnymi serwerowniami badawczymi, obsługującymi projekty z obszaru przemysłu, rolnictwa oraz administracji publicznej. Kluczową rolę w cyfryzacji miasta pełni również ekosystem „Lubelska Wyżyna IT” (LWIT) – jeden z najbardziej rozwiniętych i sformalizowanych klastrów technologicznych w Polsce – który skutecznie łączy uczelnie, biznes i samorząd w realizacji projektów Smart City, w tym zaawansowanego Systemu Zarządzania Ruchem (CSR). Zaplecze obliczeniowe miasta ma charakter hybrydowy i rozproszony, oparty o zasoby akademickie (klastry Politechniki Lubelskiej i UMCS połączone siecią PIONIER) oraz mniejsze, prywatne serwerownie zlokalizowane w nowoczesnych biurowcach. Taki model dobrze wspiera projekty analityczne, przemysłowe i badawczo-rozwojowe, choć nie sprzyja koncentracji obciążeń typu hyperscale.



Popyt na rozwiązania cyfrowe i analityczne generowany jest przez kilka silnych filarów gospodarki: przemysł przetwórczy i maszynowy (m.in. Aliplast, Perła, zakłady Ursus), rolnictwo i sektor rolno-spożywczy (AgriTech i FoodTech) oraz bardzo dynamicznie rozwijający się sektor BPO/SSC i IT. Duże, wielkoobszarowe uprawy rolne oraz zaplecze logistyczne regionu tworzą naturalne środowisko do wdrażania rozwiązań opartych na analityce danych, wizji komputerowej i automatyzacji procesów. Strona podaźowa rynku jest jedną z najmocniejszych wśród ośrodków regionalnych. Lublin posiada ponadprzeciętnie rozwinięty sektor software house'ów i centrów R&D, z obecnością zarówno krajowych, jak i międzynarodowych graczy (Asseco, Sii, DataArt, Lingaro, Billennium, Transition Technologies). Dominującym modelem są wdrożenia, integracje i skalowanie istniejących architektur, przy wyraźnym niedoborze firm produktowych budujących własną własność intelektualną.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Lublin jest jednym z największych ośrodków akademickich w Europie Wschodniej, kształcącym ponad 60 tysięcy studentów. Wyjątkowa koncentracja uczelni – technicznych, klasycznych, medycznych i przyrodniczych – tworzy środowisko generujące ogromne wolumeny danych badawczych w dziedzinach takich jak rolnictwo precyzyjne, biotechnologia, bioinformatyka, fizyka, medycyna i nauki społeczne. Szczególną rolę pełni Instytut Agrofizyki PAN, oferujący unikalne zaplecze do rozwoju algorytmów analitycznych wspierających AgriTech oraz optymalizację procesów biologicznych i środowiskowych. Równolegle Politechnika Lubelska i UMCS dostarczają bardzo dużą liczbę inżynierów, analityków i specjalistów Data Science, natomiast Uniwersytet Medyczny w Lublinie zapewnia jedną z największych w kraju baz danych klinicznych i obrazowych, tworząc wyjątkowe warunki dla rozwoju Digital Health. Istotnym wyróżnikiem Lublina jest również silne zaplecze humanistyczne i społeczne (kognitywistyka, lingwistyka, AI w mediach i badaniach społecznych), co umożliwia rozwój kompetencji z obszaru etyki, regulacji i interakcji człowiek–technologia.

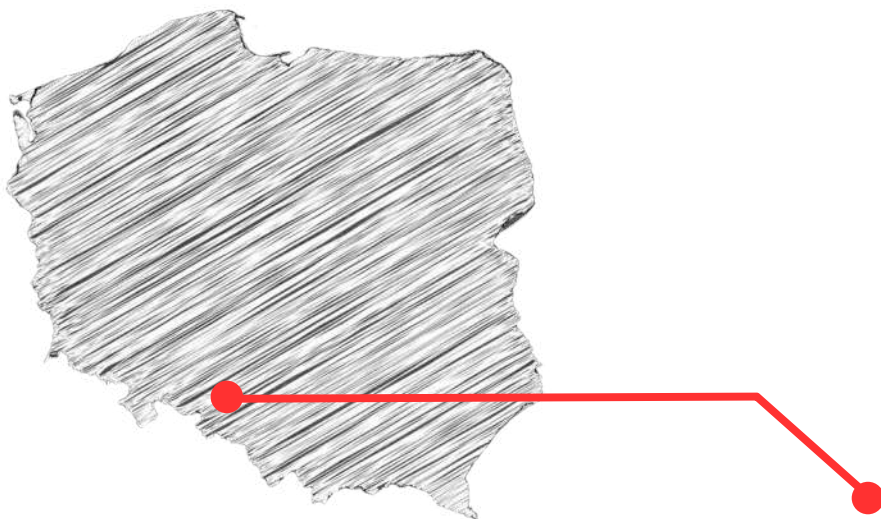
Nauka i kapitał danych

Lublin posiada bardzo stabilne zaplecze dystrybucji energii, wynikające z lokalizacji węzła PGE Dystrybucja oraz zaplecza surowcowego (Bogdanka). Jednocześnie region aktywnie zwiększa udział OZE w miksie energetycznym poprzez rozwój farm fotowoltaicznych oraz instalacji opartych o biomasę. Mimo dobrych parametrów przestrzennych i infrastrukturalnych, lokalne centra danych funkcjonują głównie w standardach średniej gęstości mocy (5–8 kW/rack). Brak istniejących obiektów klasy High-Density sprawia, że projekty najbardziej energochłonne realizowane są w modelu hybrydowym, z wykorzystaniem zasobów zewnętrznych chmur lub infrastruktury akademickiej.

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Najpoważniejszą barierą rozwojową Lublina jest efekt „S17” – odpływ najbardziej doświadczonych specjalistów do Warszawy, wzmacniany przez model pracy zdalnej i hybrydowej. Drugim istotnym ograniczeniem pozostaje niemal całkowity brak regionalnego kapitału typu Smart Money, co utrudnia komercjalizację badań i powstawanie spółek produktowych typu spin-off. Jednocześnie Lublin posiada unikalne w skali kraju okno rozwojowe: multidyscyplinarny hub łączący medycynę, technologię i nauki przyrodnicze oraz doskonale zorganizowany ekosystem „Lubelskiej Wyżyny IT”, współpracujący z samorządem. Miasto ma wszelkie predyspozycje, by pełnić rolę strategicznego zaplecza developerskiego, badawczego i wdrożeniowego dla projektów z pogranicza AgriTech, Digital Health i zaawansowanych usług analitycznych, szczególnie w modelach nearshoringowych i „human-in-the-loop”.

Barierzy i perspektywy rozwoju



OPOLE: AUTOMATYKA PRZEMYSŁOWA I PRZEMYSŁ 4.0

Opole pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę wysoko wyspecjalizowanego, kompaktowego ośrodka wdrożeń przemysłowych, skoncentrowanego na automatyzacji, systemach wbudowanych oraz zarządzaniu energią. Miasto nie buduje skali poprzez liczbę start-upów czy hyperskalowe centra danych, lecz poprzez bezpośrednie osadzenie technologii w realnym przemyśle, ścisłą współpracę uczelni z fabrykami oraz dostęp do jednego z najsilniejszych punktów zasilania w kraju.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Osią technologiczną miasta jest Park Naukowo-Technologiczny w Opolu (PNT Opole), który integruje infrastrukturę badawczą, komercyjne centrum przetwarzania danych oraz zaplecze dla przemysłowych wdrożeń IT. Istotnym elementem ekosystemu jest również Centrum Projektowe Fraunhofer (FPC ALD) działające przy Politechnice Opolskiej – unikalna w skali regionu jednostka badawcza łącząca inżynierię materiałową, symulacje i uczenie maszynowe z praktyką przemysłową. Zaplecze obliczeniowe Opola opiera się na certyfikowanym Data Center w PNT oraz zasobach uczelnianych połączonych siecią PIONIER. Infrastruktura ta została zaprojektowana pod realne potrzeby MŚP i zakładów produkcyjnych, a nie pod obciążenia hyperskalowe, co sprzyja szybkim wdrożeniom i testom w środowisku przemysłowym.



Popyt technologiczny w Opolu ma wyraźnie przemysłowy charakter. Region jest silnie nasycony przedsiębiorstwami z branż automotive, metalowej, chemicznej, spożywczej oraz logistyczno-transportowej (m.in. Polaris, Nutricia, Sindbad), funkcjonującymi w otoczeniu Specjalnych Stref Ekonomicznych. W naturalny sposób generuje to zapotrzebowanie na rozwiązania z zakresu Przemysłu 4.0, predykcyjnego utrzymania ruchu, wizji maszynowej oraz optymalizacji zużycia energii.

Strona podaźowa rynku jest zasilana przez oddziały globalnych integratorów IT i konsultingu (Capgemini, Eviden/Atos) oraz lokalne software house'y. Dominującym modelem pozostaje wdrażanie i utrzymanie systemów dla przemysłu, przy wyraźnym deficycie spółek produktowych rozwijających własne, skalowalne technologie oparte o AI generatywną.

Opole jest kameralnym, lecz bardzo efektywnym ośrodkiem akademickim, kształcącym ok. 15–16 tysięcy studentów. Kluczową rolę odgrywa Politechnika Opolska, której profil silnie ukierunkowany jest na automatykę, robotykę, mechatronikę, systemy wbudowane oraz energetykę rozproszoną. Uczelnia dostarcza corocznie znaczącą pulę inżynierów gotowych do pracy bezpośrednio na liniach produkcyjnych i w zespołach wdrożeniowych. Uniwersytet Opolski uzupełnia ten ekosystem o kompetencje z zakresu analityki danych, statystyki oraz medycyny, rozwijając m.in. projekty z obszaru telemedycyny i analizy danych kardiologicznych. Charakterystyczną cechą opolskiego systemu edukacyjnego jest ściśle powiązanie kierunków studiów z realnymi potrzebami przemysłu, co przekłada się na wysoką „wdrażalność” absolwentów.

Największym strategicznym atutem Opola jest energetyka. Miasto znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie jednego z największych i najnowocześniejszych punktów zasilania w krajowym systemie elektroenergetycznym – Elektrowni Opole (bloki 5 i 6). Zapewnia to wyjątkowo wysoką stabilność i dostępność mocy, kluczową dla przemysłu oraz infrastruktury cyfrowej. Równocześnie województwo rozwija fotowoltaikę i biogazownie rolnicze, choć miks energetyczny pozostaje wciąż silnie oparty o węgiel. Istotnym wyróżnikiem Opola jest nowoczesna, rozbudowana sieć ciepłownicza (ECO SA), która stwarza bardzo dobre warunki do wdrażania modeli gospodarki obiegu zamkniętego i odzysku ciepła z infrastruktury serwerowej.

Kluczowym ograniczeniem rozwoju Opola jest ucieczka kompetencji do pobliskich, silnych hubów technologicznych – Wrocławia oraz konurbacji górnośląskiej – który szczególnie dotyczy doświadczonych specjalistów i kadr szczebla senior. Drugą barierą pozostaje brak lokalnego kapitału typu Smart Money, ograniczający powstawanie niezależnych spółek technologicznych. Z drugiej strony Opole posiada wyjątkowo klarowną specjalizację: przemysł, energetyka i automatyzacja. Otoczenie nowoczesnych fabryk, stabilność energetyczna oraz bliska współpraca nauki z przemysłem czynią miasto idealnym miejscem dla wdrożeń Przemysłu 4.0, przemysłowego IoT oraz niszowych centrów R&D typu „boutique nearshoring”, oferujących wysoką jakość pracy przy niższych kosztach i większej stabilności kadrowej niż w dużych metropoliach.

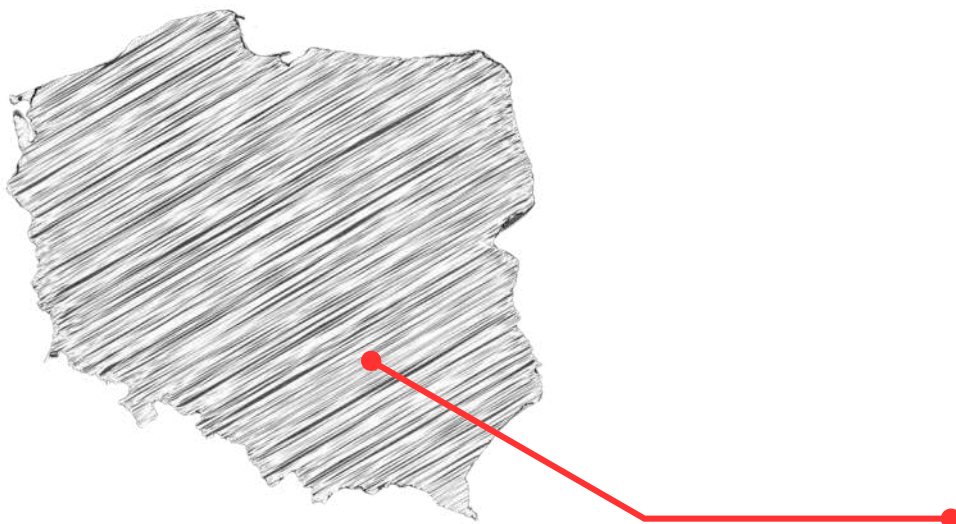
Rynek i specjalizacje gospodarcze

Nauka i kapitał techniczny

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

36

Barierzy i perspektywy

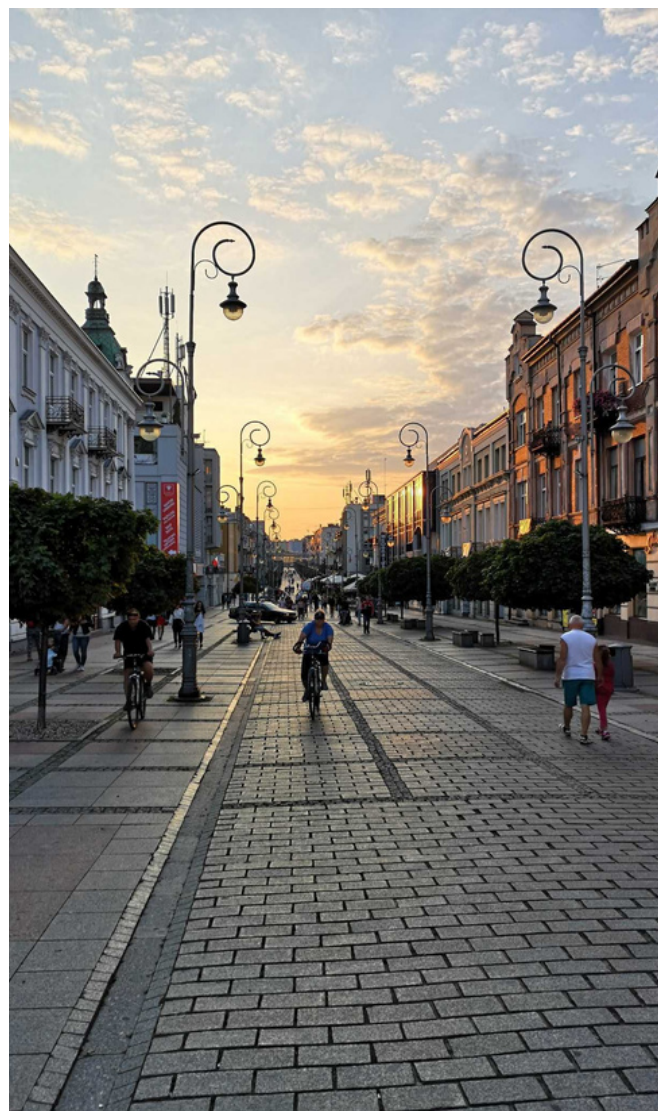


KIELCE: OŚRODEK METROLOGII I SPECJALISTYCZNYCH WDROŻEŃ PRZEMYSŁOWYCH

Kielce zajmują w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych pozycję wyspecjalizowanego ośrodka wdrożeń przemysłowych i badawczych, skoncentrowanego wokół metrologii, przemysłu ciężkiego, obronności oraz zaawansowanych zastosowań analityki danych w środowisku fizycznym. Miasto nie konkuruje skalą kapitału ludzkiego z metropoliami, lecz buduje przewagę poprzez dostęp do unikalnych, precyzyjnych danych referencyjnych oraz realnych poligonów testowych, niedostępnych w innych regionach Polski.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Centralnym punktem ekosystemu technologicznego Kielc jest Kielecki Park Technologiczny (KPT), pełniący rolę integratora przedsiębiorstw IT, laboratoriów badawczych oraz infrastruktury komercyjnej. Unikalnym w skali kraju zasobem jest Świętokrzyski Kampus Laboratoryjny Głównego Urzędu Miar (GUM) – nowoczesny kompleks badawczy, generujący ogromne wolumeny wysokiej jakości, ustandaryzowanych danych metrologicznych, idealnych do walidacji i trenowania algorytmów przemysłowych. Uzupełnieniem infrastruktury są lokalne centra przetwarzania danych (KPT, Infover) oraz zaplecze akademickie oparte o sieć PIONIER. Dodatkową przewagą regionu jest fizyczne otoczenie: kopalnie odkrywkowe, zakłady ciężkiego przemysłu i trudne środowiska terenowe, które tworzą gotowe warunki do testów autonomii, robotyki i systemów sterowania w rzeczywistych warunkach operacyjnych.



Popyt na zaawansowane technologie w Kielcach generowany jest przez wąską, ale bardzo wyraźną grupę sektorów. Są to przede wszystkim przemysł ciężki i wydobywczy (Holcim/Lafarge, Cersanit), gospodarka obiegu zamkniętego (Vive Textile Recycling), sektor obronny (Mesko) oraz Targi Kielce – jeden z największych w Europie Środkowej ośrodków wystawienniczych B2B, generujący unikalne zbiory danych behawioralnych i logistycznych.

Strona podaźowa rynku IT opiera się na solidnych oddziałach integratorów systemowych (Comarch, Transition Technologies PSC) oraz lokalnych software house'ach (Infover, Altar). Dominującym modelem pozostają wdrożenia przemysłowe i systemowe, przy wyraźnym deficycie startupów produktowych opartych na własnym IP.

Kielce są ośrodkiem akademickim średniej wielkości (ok. 15–18 tys. studentów), ale o rosnącej specjalizacji. Politechnika Świętokrzyska dostarcza inżynierów automatyki, robotyki, teleinformatyki i elektromobilności, bezpośrednio zasilających lokalny przemysł ciężki i produkcyjny. Istotnym wyróżnikiem są kompetencje z zakresu informatyki przemysłowej i Edge Computing, kluczowe dla wdrożeń AI bezpośrednio na liniach technologicznych.

Z kolei Uniwersytet Jana Kochanowskiego tworzy silny filar medyczny we współpracy ze Świętokrzyskim Centrum Onkologii, generując bardzo zaawansowane bazy danych obrazowych do analiz diagnostycznych. Połączenie tych zasobów z precyzyjną metrologią GUM tworzy w Kielcach unikalną w skali kraju synergię danych fizycznych i medycznych, szczególnie cenną dla rozwoju algorytmów Computer Vision.

Region świętokrzyski charakteryzuje się wysoką stabilnością energetyczną, wynikającą z bliskości Elektrowni Połaniec – jednego z filarów Krajowego Systemu Elektroenergetycznego. Stanowi to solidne zaplecze dla przemysłu oraz infrastruktury IT wymagającej pracy w trybie ciągłym 24/7.

Jednocześnie województwo dynamicznie rozwija instalacje OZE (głównie fotowoltaikę), choć twardy miks energetyczny wciąż opiera się na biomasie i węglu. Lokalna sieć ciepłownicza (MPEC Kielce) daje realny potencjał wdrażania modeli odzysku ciepła z przyszłych centrów danych.

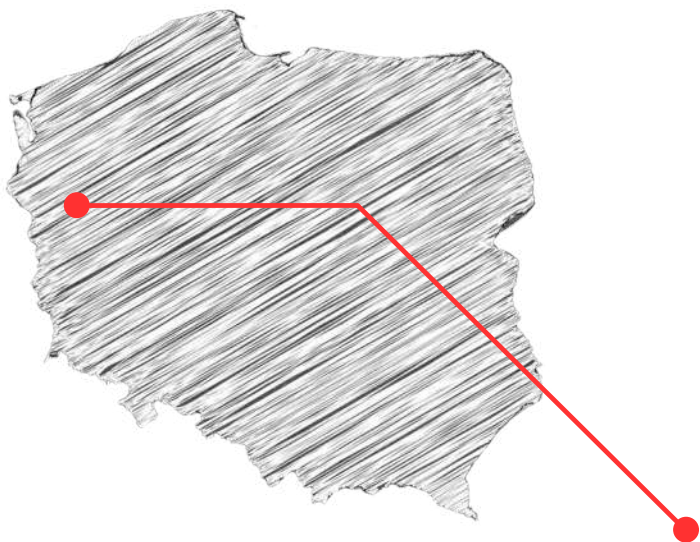
Głównym ograniczeniem rozwojowym Kielc jest „syndrom korytarza S7” – silny odpływ najbardziej doświadczonych specjalistów do Krakowa i Warszawy, ułatwiony nową infrastrukturą drogową i modelem pracy hybrydowej. Drugą barierą pozostaje brak lokalnego kapitału typu Smart Money, co utrudnia komercjalizację badań prowadzonych w PŚk i GUM. Jednocześnie Kielce posiadają bezkonkurencyjne nisze rozwojowe: metrologię przemysłową, dane referencyjne GUM, analitykę wydarzeń B2B (Targi Kielce) oraz medycynę onkologiczną opartą o obrazowanie. Te zasoby czynią miasto idealnym miejscem do rozwoju wyspecjalizowanych, niszowych technologii przemysłowych i badawczych, które nie wymagają masowej skali, lecz wysokiej precyzji, wiarygodności i bliskiego kontaktu z fizycznym środowiskiem testowym.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Nauka i kapitał danych

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Barierzy i perspektywy rozwoju



GORZÓW WIELKOPOLSKI – ZAPLECZE WDROŻEŃ PRZEMYSŁU 4.0

Gorzów Wielkopolski pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę wyspecjalizowanego ośrodka wdrożeń przemysłowych o bardzo silnym zakotwiczeniu w produkcji masowej, w szczególności w sektorach automotive, elektroniki użytkowej i przemysłu chemicznego. Miasto nie rozwija zaawansowanych kompetencji badawczo-algorytmicznych w skali metropolitalnej, lecz stanowi naturalny poligon wdrożeniowy dla rozwiązań Przemysłowego IoT, wizji maszynowej i algorytmów decyzyjnych działających blisko linii produkcyjnych (Edge AI).

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Osią środowiska technologicznego jest Gorzowski Ośrodek Technologiczny – Park Naukowo-Przemysłowy (GOT PNP), wspierający innowacje lokalnych przedsiębiorstw. Miasto wdraża podstawowe elementy Smart City, m.in. Inteligentny System Zarządzania Transportem (ITS), geoportale i e-administrację.

Zaplecze obliczeniowe ma charakter ograniczony i rozproszony – obejmuje niewielkie zasoby serwerowe w GOT PNP oraz węzeł sieci PIONIER przy Akademii im. Jakuba z Paradyża, wystarczające głównie dla projektów edukacyjnych i MŚP.

Kluczowym atutem Gorzowa jest środowisko przemysłowe: zautomatyzowane fabryki elektroniki i automotive generujące duże wolumeny danych produkcyjnych, sprzyjające wdrożeniom systemów Computer Vision i automatycznej kontroli jakości w czasie rzeczywistym.



Popyt na rozwiązania cyfrowe w Gorzowie generowany jest niemal wyłącznie przez Przemysł 4.0. Dominującą rolę odgrywają montownie elektroniki (TPV Displays), sektor automotive (Faurecia/Forvia, SEBN – Sumitomo Electric), a także przemysł chemiczny i weterynaryjny (Silcare, Vetoquinol Biowet). Firmy te poszukują przede wszystkim automatyzacji, predykcyjnego utrzymania ruchu oraz wizji maszynowej wykrywającej defekty produkcyjne. Strona podażowa rynku IT jest skrajnie ograniczona. Lokalne podmioty pełnią głównie funkcje integratorów ERP/CRM, instalatorów systemów automatyki oraz agencji cyfrowych. Zaawansowane rozwiązania analityczne i algorytmiczne dostarczane są niemal wyłącznie przez zewnętrznych dostawców spoza regionu, co skutkuje brakiem lokalnej akumulacji własności intelektualnej.

Ośrodek akademicki Gorzowa jest jednym z najmniejszych wśród miast wojewódzkich w Polsce, skupiając ok. 3–4 tys. studentów. Akademia im. Jakuba z Paradyża (AJP) pełni funkcję uczelni stricte utylitarnej, kształcącej podstawowe kadry inżynierskie, medyczne i zarządcze na potrzeby lokalnego rynku pracy.

Oferta edukacyjna obejmuje informatykę, automatykę i robotykę oraz studia podyplomowe z zakresu automatyki przemysłowej i integracji systemów PLC/SCADA. Kierunki te przygotowują absolwentów do pracy wdrożeniowej w zakładach produkcyjnych, jednak nie tworzą krytycznej masy badawczej zdolnej do samodzielnego rozwoju algorytmów Machine Learning. W obszarze ochrony zdrowia pojawiają się pierwsze inicjatywy analityczne (telemedycyna, Voice AI dla ratownictwa i opieki nad seniorami), mające potencjał lokalnych pilotaży, lecz nie stanowią jeszcze dojrzałego ekosystemu badawczo-wdrożeniowego.

Gorzów charakteryzuje się wysoką stabilnością zasilania energetycznego, dzięki nowoczesnej Elektrociepłowni Gorzów (PGE Energia Ciepła) opartej na blokach gazowo-parowych. Zapewnia to bezpieczne warunki dla przemysłu oraz ewentualnych stref technologicznych. Jednocześnie miasto nie dysponuje żadną publicznie dostępną infrastrukturą Data Center klasy Tier III, ani ofertą usług kolokacji typu High-Density. Duże obciążenia sprzętowe realizowane są głównie w modelu on-premise bezpośrednio w fabrykach lub poza regionem. Nowoczesna sieć ciepłownicza stwarza potencjał pod przyszły odzysk ciepła, jednak na dziś brak inwestycji, które mogłyby go wykorzystać.

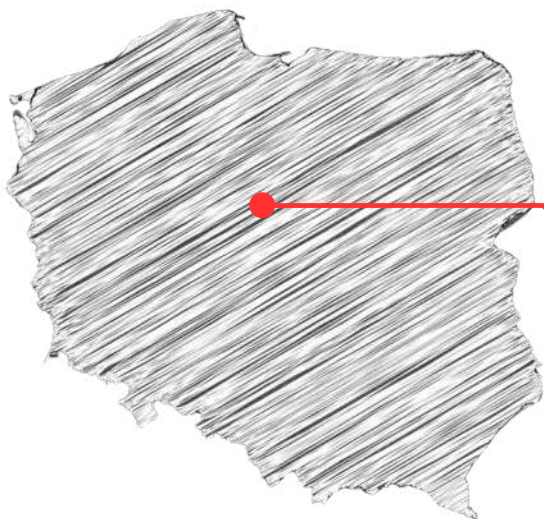
Najpoważniejszą barierą rozwoju Gorzowa jest brak krytycznej masy kompetencji i kapitału. Skrajnie silny drenaż mózgów do Poznania, Szczecina i Berlina, w połączeniu z nieobecnością lokalnego „Smart Money”, sprawia, że miasto nie jest w stanie samodzielnie inicjować ani skalować projektów DeepTech. Z drugiej strony Gorzów posiada bardzo jasno zdefiniowaną niszę systemową: wdrożenia Edge AI i automatyki bezpośrednio w środowisku masowej produkcji. Potężne fabryki w Kostrzyńsko-Słubickiej Specjalnej Strefie Ekonomicznej stanowią znakomite pole testowe dla systemów wizji maszynowej, robotyki i przemysłowego IoT. Dodatkowym atutem jest cross-border nearshoring – dobre skomunikowanie i bliskość Niemiec czynią z Gorzowa tanie, stabilne zaplecze wdrożeniowe dla zachodnioeuropejskich MŚP.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Nauka i kapitał danych

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Barieri i perspektywy rozwoju



TORUŃ – CENTRUM BIG DATA I MOCY OBLICZENIOWEJ

Toruń zajmuje w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych pozycję jako ośrodek infrastrukturalno-badawczy, łączący silne zaplecze akademickie, zaawansowaną infrastrukturę obliczeniową oraz dojrzały rynek wdrożeń dla dużych podmiotów przemysłowych i usługowych. Miasto nie jest klasycznym hubem startupowym, lecz stabilnym węzłem mocy obliczeniowej i danych, zdolnym obsługiwać wymagające projekty analityczne w skali regionalnej i krajowej.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Środowisko technologiczne Torunia koncentruje się wokół Toruńskiego Parku Technologicznego (TPT), zarządzanego przez Toruńską Agencję Rozwoju Regionalnego (TARR), który integruje firmy technologiczne, infrastrukturę badawczą oraz komercyjne centra danych. Miasto rozwija także rozwiązania Smart City, zwłaszcza w obszarze danych przestrzennych i inteligentnego oświetlenia. Kluczowym atutem Torunia jest Exea Data Center – jeden z najnowocześniejszych obiektów w Polsce północno-centralnej, certyfikowany w standardzie Tier III Facility, oferujący zaawansowane usługi chmurowe i kolokacji. Obiekt jest w pełni skomercjalizowany i przygotowany do obsługi klastrów obliczeniowych o wysokiej gęstości mocy, co wyróżnia miasto na tle większości średnich ośrodków. Istotnym elementem infrastruktury jest także Centrum Radioastronomii UMK z 32-metrowym radioteleskopem w Piwnicach. Generuje ono ogromne wolumeny danych astrofizycznych wymagających zaawansowanej filtracji i analizy sygnału, tworząc naturalny poligon dla rozwiązań Big Data i analityki wysokiej złożoności.



Popyt na rozwiązania analityczne i obliczeniowe w Toruniu generowany jest przez duże, dojrzałe podmioty o skali ogólnopolskiej i międzynarodowej. Kluczową rolę odgrywa farmacja i logistyka (Grupa NEUCA), sektor higieny i medycyny (TZMO), energetyka i systemy pomiarowe (Apator – Smart Grid), a także potężne centra logistyczno-handlowe zlokalizowane w strefie inwestycyjnej w Łysomicach, wspierane przez lokalny hub Allegro. Strona podaźowa rynku technologicznego jest relatywnie silna i obejmuje zarówno oddziały globalnych firm technologicznych (m.in. ThyssenKrupp IT Services, Allegro Tech), jak i dojrzałe lokalne software house'y oraz komercyjne usługi chmurowe. Jednocześnie widoczny jest niedobór niezależnych, produktowych startupów DeepTech, co sprawia, że większość innowacji ma charakter wdrożeniowy lub korporacyjny.

Fundamentem pozycji Torunia jest Uniwersytet Mikołaja Kopernika – jeden z najmocniejszych uniwersytetów klasycznych w Polsce, kształcący ok. 18–20 tysięcy studentów. Szczególnie silna jest baza nauk ścisłych: matematyki, informatyki, fizyki, astronomii oraz kognitywistyki. Wydział Matematyki i Informatyki UMK dostarcza wysoko wyselekcjonowaną kadrę specjalistów od algorytmiki, modelowania matematycznego i analityki danych. Równolegle Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej tworzy zaplecze dla zastosowań AI w przetwarzaniu sygnałów, automatyce i robotyce. Toruń jest również kolebką polskiej kognitywistyki, co zapewnia unikalne połączenie twardej matematyki i wiedzy o procesach poznawczych. Uzupełnieniem ekosystemu jest Uniwersytet WSB Merito, który dostarcza masowo praktycznych programistów, analityków biznesowych i logistyków, skutecznie zasypując lukę między akademicką elitą a rynkiem wdrożeniowym.

Toruń dysponuje bardzo wysoką stabilnością energetyczną, dzięki nowoczesnej elektrociepłowni PGE opartej na kogeneracji gazowej. W połączeniu z polityką operatorów takich jak Exea, deklarujących zasilanie z 100% odnawialnych źródeł energii (gwarancje pochodzenia), miasto posiada jedno z najlepszych w Polsce warunków ESG dla infrastruktury obliczeniowej. Exea Data Center oferuje architekturę umożliwiającą obsługę środowisk High-Density (15–20+ kW/rack) w wydzielonych strefach, a zmodernizowane sieci ciepłownicze tworzą realną możliwość wdrażania odzysku ciepła odpadowego w przyszłych projektach.

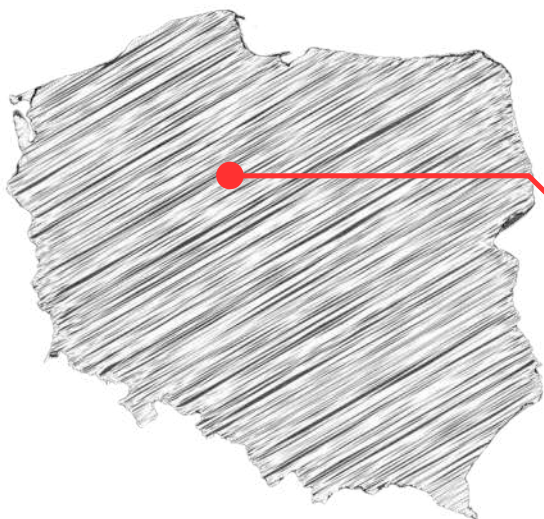
Głównym ograniczeniem rozwojowym Torunia jest bliskość konkurencyjnych rynków pracy – Trójmiasta i Warszawy – które skutecznie przyciągają najbardziej doświadczonych specjalistów szczebla senior. Drugim czynnikiem hamującym jest brak lokalnego kapitału Venture Capital wyspecjalizowanego w finansowaniu projektów DeepTech na wczesnym etapie. Jednocześnie Toruń posiada wyjątkowy potencjał długofalowy, wynikający z połączenia trzech zasobów: zaawansowanej infrastruktury Data Center, elitarnego zaplecza matematyczno-fizycznego oraz unikalnych źródeł danych (radioastronomia, farmacja, logistyka). Predestynuje to miasto do pełnienia roli regionalnego centrum Big Data, obliczeń wysokiej mocy oraz infrastrukturalnego zaplecza AI, uzupełniającego większe metropolie.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Nauka i kapitał intelektualny

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Bariery i perspektywy rozwoju



BYDGOSZCZ – OŚRODEK INŻYNIERII DANYCH I EDGE COMPUTING

Bydgoszcz pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę silnego węzła inżynieryjno-przemysłowego, gdzie zaawansowana infrastruktura telekomunikacyjna, kompetencje korporacyjnych centrów R&D oraz duża skala przemysłu ciężkiego tworzą dogodne warunki dla rozwoju Edge Computing, analityki czasu rzeczywistego oraz zastosowań AI w przemyśle, obronności i sektorze Telco. Miasto nie jest klasycznym hubem startupowym, lecz

43

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Środowisko innowacji w Bydgoszczy koncentruje się wokół Bydgoskiego Parku Przemysłowo-Technologicznego (BPPT) oraz nowoczesnych centrów biurowych, takich jak IDEA Przestrzeń Biznesu, które łączą zaplecze IT z przemysłem. Miasto intensywnie rozwija rozwiązania Smart City, w tym systemy ITS oraz monitoring wizyjny wspierany analityką czasu rzeczywistego, generując stałe miejskie strumienie danych. Kluczowym atutem są zaawansowane zasoby obliczeniowe dużych korporacji technologicznych. Kampus Nokia Bydgoszcz dysponuje rozbudowanym zapleczem Edge Cloud i laboratoriów rozwijających technologie 5G/6G, natomiast Eviden (Atos) operuje infrastrukturą globalnych systemów przetwarzania danych. Uzupełnieniem są węzły miejskiej sieci światłowodowej oraz krajowej sieci PIONIER, wspierające naukę i administrację. Unikalnym zasobem miasta jest także środowisko przemysłowe: zakłady zbrojeniowe, lotnicze i produkcji taboru szynowego, generujące ogromne wolumeny danych wibracyjnych, akustycznych i telemetrycznych. Tworzy to idealne warunki do trenowania modeli predykcyjnego utrzymania ruchu i analizy anomalii w czasie rzeczywistym.



Popyt technologiczny w Bydgoszczy generowany jest przez najbardziej wymagające sektory gospodarki. Obejmuje on telekomunikację (optymalizacja sieci 5G/6G, Edge AI), transport i kolej (PESA Bydgoszcz – analityka stanu taboru), przemysł obronny i chemiczny (PGZ – Nitro-Chem, WZL nr 2), a także zaawansowaną logistykę i przetwórstwo (NEUCA, Abramczyk). Strona podażowa rynku jest wyjątkowo silna – miasto posiada jedno z największych w Polsce zagęszczeń centrów kompetencyjnych globalnych korporacji IT i Telco (Nokia, Eviden, Sii, Asseco). Dodatkowo działa tu rozbudowana sieć niezależnych software house’ów oraz firm inżynierskich świadczących usługi B2B. Jednocześnie struktura rynku powoduje, że innowacja koncentruje się na integracji i usługach korporacyjnych, a nie na rozwoju lokalnych startupów produktowych z własnym IP.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Bydgoszcz to silny ośrodek akademicki (ok. 25 tys. studentów) o profilu inżynieryjno-technicznym i medycznym. Kadry dla automatyki, elektroniki, telekomunikacji, mechatroniki, biomedycyny i AgriTech zapewnia Politechnika Bydgoska, która jako pierwsza w kraju, pozyskała 15 mln zł z KPO (via BGK) na przyspieszenie transformacji cyfrowej i AI. Inwestycja obejmuje zakup wysokowydajnych serwerów do trenowania modeli AI i analityki Big Data, budowę centrum cyberbezpieczeństwa oraz modernizację sieci. Dzięki tej infrastrukturze PBS radykalnie przyspieszy badania i stanie się kluczowym ogniwem komercjalizacji rozwiązań AI dla lokalnego przemysłu oraz sektora obronnego. Uniwersytet Kazimierza Wielkiego uzupełnia zaplecze „miękkiego” AI o kompetencje w informatyce, cyberbezpieczeństwie, kognitywistyce i analizie danych społecznych. Kluczowym wyróżnikiem jest Collegium Medicum UMK, którego bazy danych klinicznych wspierają rozwój algorytmów radiomiki i Computer Vision. Dzięki obecności centrów R&D, miasto posiada stabilną i lojalną pulę inżynierów, szybko osiągających poziom zaawansowanych specjalistów w strukturach korporacyjnych.

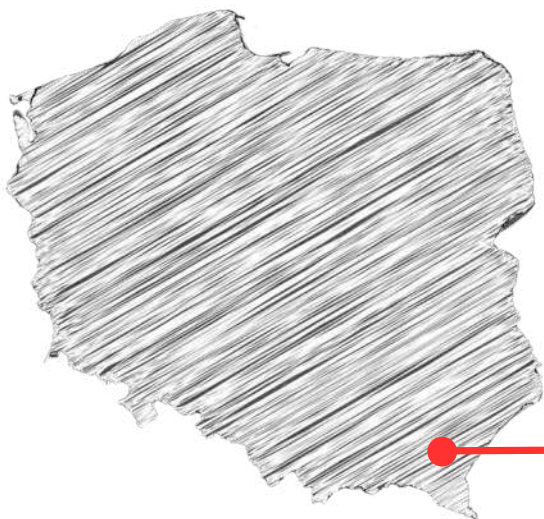
Nauka i kapitał ludzki

Miasto charakteryzuje się wzorową stabilnością energetyczną, opartą na nowoczesnym Zespole Elektrociepłowni Bydgoszcz (kogeneracja gazowa) oraz innowacyjnym Zakładzie Termicznego Przekształcania Odpadów Pronatura, stanowiącym jeden z najlepszych w Polsce przykładów miejskiej energetyki obiegu zamkniętego. Choć publiczny rynek usług kolokacji oferuje głównie standardowe moce (do ok. 10 kW/rack), Bydgoszcz posiada zamknięte wyspy High-Density wewnątrz centrów badawczych Nokii i Eviden, gdzie intensywnie wykorzystywane są systemy chłodzenia i infrastruktury klasy Edge Computing. Dodatkowym atutem jest doskonale rozwinięta sieć ciepłownicza KPEC, gotowa do przyjęcia ciepła odpadowego z przyszłych instalacji serwerowych.

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Główną barierą rozwoju Bydgoszczy jest „uberyzacja” rynku IT – dominacja globalnych centrów usługowych skutecznie ogranicza powstawanie niezależnych, lokalnych firm technologicznych budujących własne AI. Drugim wyzwaniem pozostaje rozproszenie ekosystemu medycznego na linii Bydgoszcz–Toruń, które komplikuje transfer własności intelektualnej w projektach MedTech. Jednocześnie Bydgoszcz posiada jedną z najsilniejszych w Polsce nisz strategicznych: Telco AI & Edge Computing oraz Military AI & CyberSec. Obecność globalnego R&D Nokii, przemysłu obronnego, JFTC NATO oraz zaawansowanych kompetencji z zakresu cyberbezpieczeństwa czyni miasto naturalnym kandydatem do roli narodowego centrum technologii dual-use, łączącego bezpieczeństwo, infrastrukturę krytyczną i zaawansowaną analitykę.

Bariery i perspektywy rozwoju



RZESZÓW – HUB PRZEMYSŁOWO LOTNICZY I MILITARY AI

Rzeszów pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę strategicznego ośrodka inżynierii lotniczej, systemów autonomicznych oraz zastosowań AI o charakterze przemysłowym i dual-use. Połączenie globalnego klastra Dolina Lotnicza, silnych uczelni technicznych, central największych polskich firm IT oraz wyjątkowo wysokiej retencji talentów sprawia, że miasto należy do najbardziej dojrzałych i samowystarczalnych technologicznie ośrodków regionalnych w Polsce.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Sercem infrastruktury innowacyjnej regionu jest Podkarpacki Park Naukowo-Technologiczny AEROPOLIS w Jasionce oraz Podkarpackie Centrum Innowacji (PCI) w Rzeszowie, które wspólnie pełnią funkcję integratora nauki, przemysłu i administracji. Miasto dysponuje jednym z najlepiej wdrożonych w Polsce systemów zarządzania ruchem i transportem publicznym – Rzeszowskim Inteligentnym Systemem Transportowym, generującym zaawansowane strumienie danych miejskich. Zaplecze obliczeniowe Rzeszowa jest ponadprzeciętne jak na miasto regionalne. Kluczową rolę odgrywa infrastruktura Grupy Asseco Poland – największej polskiej firmy IT – obejmująca własne centra danych i środowiska chmurowe. Uzupełnieniem są zasoby akademickie (węzeł sieci PIONIER Politechniki Rzeszowskiej) oraz serwerownie dostępne dla firm i laboratoriów w AEROPOLIS. Unikalnym wyróżnikiem Rzeszowa jest realne środowisko testowe dla autonomii i robotyki: lotnisko Jasionka, poligony dronowe oraz zaplecze produkcyjne „Doliny Lotniczej”, w których na bieżąco testowane są systemy bezzałogowe, wizyjne i nawigacyjne w warunkach zbliżonych do operacyjnych.



Popyt na rozwiązania AI w Rzeszowie generowany jest przez jedną z najsilniejszych koncentracji przemysłu lotniczego i obronnego w Europie Środkowej. Klaster Dolina Lotnicza (m.in. Pratt & Whitney, MTU Aero Engines, BorgWarner, PZL Mielec) tworzy stałe zapotrzebowanie na algorytmy Predictive Maintenance, optymalizację procesów produkcyjnych, analizę materiałową i zaawansowaną kontrolę jakości. Dynamicznie rośnie również sektor technologii dual-use, obsługujący zarówno rynek cywilny, jak i wojskowy. Strona podaźowa rynku jest fenomenalnie silna jak na miasto tej wielkości. Rzeszów jest siedzibą Asseco Poland oraz globalnej platformy G2A, a także miejscem działalności zaawansowanych software house'ów (Xebia/PGS, Ideo, SoftSystem – lider rozwiązań MedTech). Oznacza to zdolność miasta do realizacji pełnego cyklu: od badań i prototypu po skalowalne wdrożenia rynkowe.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Rzeszów jest najsilniejszym akademickim ośrodkiem technologicznym ściany wschodniej, kształcącym ok. 35 tysięcy studentów. Fundament stanowi Politechnika Rzeszowska, której oferta w zakresie informatyki, automatyki, robotyki, inżynierii danych, mechatroniki i elektromobilności pozostaje w ścisłej symbiozie z przemysłem lotniczym. Uniwersytet Rzeszowski uzupełnia ten ekosystem o kompetencje z zakresu analityki danych, informatyki środowiskowej, AgriTech oraz – co coraz ważniejsze – medycyny i diagnostyki wspomaganej algorytmami. Kluczowym elementem systemu jest również Wyższa Szkoła Informatyki i Zarządzania (WSliZ) – jedna z najpotężniejszych i najlepiej sprofilowanych uczelni niepublicznych w kraju, masowo dostarczająca wysokiej jakości kadr IT, Data Science i cyberbezpieczeństwa. Ewenementem w skali kraju jest bardzo wysoka retencja talentów. Dzięki obecności centrali Asseco, globalnych firm lotniczych oraz dobrej jakości życia, Rzeszów skutecznie zatrzymuje absolwentów, a dodatkowo w ostatnich latach stał się jednym z głównych ośrodków wykazującym duże zapotrzebowanie na wysoko wykwalifikowanych specjalistów IT z Ukrainy.

Nauka i kapitał ludzki

Rozwój przemysłowy i wojskowo-logistyczny regionu znacząco zwiększył zapotrzebowanie energetyczne, na które PGE Dystrybucja odpowiada rozbudową GPZ-ów i infrastruktury przesyłowej – szczególnie w rejonie Jasionki. Zapewnia to wysoką stabilność zasilania dla przemysłu i infrastruktury krytycznej. Publiczny rynek usług kolokacji oferuje standardowe moce (ok. 5–7 kW/rack), natomiast wysokie zagęszczenia mocy obliczeniowej funkcjonują głównie w architekturach zamkniętych dużych podmiotów (Asseco, jednostki badawcze AEROPOLIS, PCI). Zmodernizowana sieć ciepłownicza oraz dynamicznie rozwijane strefy inwestycyjne stwarzają realny potencjał dla wdrażania przyszłych „zielonych” centrów danych.

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Głównym ograniczeniem rozwojowym Rzeszowa pozostaje brak lokalnego kapitału Venture Capital wyspecjalizowanego w projektach DeepTech i hardware'owych, a także czynnik geopolityczny, który może wpływać na decyzje dotyczące lokowania dużej, sztywnej infrastruktury chmurowej. Miasto nie posiada również publicznego, komercyjnego Data Center klasy Tier III, dostępnego dla mniejszych firm i startupów. Jednocześnie Rzeszów dysponuje jedną z najsilniejszych nisz strategicznych w Polsce. Położenie na wschodniej flance NATO, lotnisko Jasionka jako hub wojskowo-logistyczny oraz potęga Doliny Lotniczej czynią miasto najlepszym w kraju miejscem do rozwoju Military AI, systemów autonomicznych, dronowych i zaawansowanej analityki w lotnictwie oraz medycynie pola walki. W długiej perspektywie Rzeszów ma potencjał pełnienia roli narodowego centrum technologii lotniczych i dual-use.

Bariery i perspektywy rozwoju



BIAŁYSTOK – CENTRUM MEDYCZNEJ AI I GENOMIKI

Białystok pełni w krajowym ekosystemie technologii cyfrowych rolę wysoko wyspecjalizowanego ośrodka analityki medycznej, genomiki i sztucznej inteligencji w naukach o życiu, uzupełnianego przez silne kompetencje inżynierskie i przemysłowe. Miasto nie konkuruje skalą rynku IT z metropoliami, lecz oferuje unikalne zasoby danych biologicznych i klinicznych, które czynią je jednym z najważniejszych miejsc w Polsce do rozwoju Medical AI, Drug Discovery oraz precyzyjnej diagnostyki.

Infrastruktura i zaplecze technologiczne

Sercem środowiska innowacji w Białymstoku jest Białostocki Park Naukowo-Technologiczny (BPNT), integrujący laboratoria ICT, usługi Data Center oraz zaplecze dla firm technologicznych. Miasto konsekwentnie rozwija rozwiązania Smart City – w szczególności System Zarządzania Ruchem BKM, oparty na analityce wideo z kamer miejskich oraz dynamiczną informację pasażerską, co generuje stałe strumienie danych miejskich. Zaplecze obliczeniowe regionu ma charakter wysokospecjalistyczny. Oprócz certyfikowanego Data Center w BPNT, kluczową rolę odgrywa zaawansowana infrastruktura Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku, obejmująca dedykowane klastry do przetwarzania danych genomowych i obrazowych. Miasto jest również wpięte w krajową sieć szerokopasmową PIONIER (węzeł BIAMAN), zapewniającą wysoką przepustowość dla badań naukowych. Unikalnym zasobem infrastrukturalnym są także rozległe obszary leśne oraz zewnętrzna granica UE, które tworzą rzeczywisty poligon dla testowania systemów wizyjnych, termowizyjnych i satelitarnych – od monitoringu środowiskowego po koncepcje Smart Border AI.



Popyt na rozwiązania AI w Białymstoku generowany jest przez dwa bardzo silne filary regionalne. Pierwszym jest AgriTech i FoodTech, reprezentowany przez największe w kraju koncerny mleczarskie i maszynowe (Mlekovita, Mlekpól, Pronar), gdzie algorytmy wspierają optymalizację produkcji, przetwórstwa i łańcuchów dostaw. Drugim filarem jest sektor wyrobów i technologii medycznych, szczególnie implantologia i medycyna precyzyjna (ChM), silnie powiązana z lokalnym zapleczem naukowym. Strona podażowa rynku IT jest stabilna i dojrzała. Działają tu zarówno ogólnopolscy liderzy technologiczni, jak i prężne, lokalne grupy kapitałowe (TenderHut, Transition Technologies, Infinity Group, Elastic Cloud Solutions). Dominują modele usługowe i wdrożeniowe, natomiast widoczny jest deficyt startupów produktowych DeepTech, zdolnych do samodzielnego skalowania innowacji opartych na AI.

Rynek i specjalizacje gospodarcze

Białystok jest ośrodkiem akademickim o skali ok. 25 tysięcy studentów, wyróżniającym się wyjątkową koncentracją kompetencji na styku inżynierii i medycyny. Politechnika Białostocka dostarcza bardzo solidne kadry w zakresie informatyki, robotyki, mechatroniki, Data Science oraz cyfryzacji przemysłu, w tym rozpoznawalne w skali europejskiej projekty z obszaru wizji komputerowej i autonomii. Kluczowym, bezprecedensowym atutem miasta jest Uniwersytet Medyczny w Białymstoku wraz z Centrum Bioinformatyki i Analizy Danych – Krajowym Naukowym Ośrodkiem Wiodącym. Dysponuje on jednymi z największych w Polsce zasobów danych genomowych i klinicznych, uczestnicząc w projektach takich jak „10 000 Polskich Genomów” oraz „Białystok Plus”. Tworzy to unikalne środowisko do trenowania algorytmów AI na danych biologicznych, farmaceutycznych i obrazowych, stanowiących fundament dla MedTechu nowej generacji. Ekosystem akademicki uzupełniają kompetencje „miękkie” – prawo nowych technologii, kognitywistyka, komunikacja i zarządzanie – co pozwala rozwijać rozwiązania AI w zgodzie z regulacjami, etyką i potrzebami użytkowników.

Nauka i kapitał danych

Miasto posiada stabilne i bezpieczne zaplecze energetyczne, obsługiwane przez nowoczesną infrastrukturę zarządzaną przez Eneę, w tym elektrociepłownię miejską. Region podlaski wyróżnia się bardzo szybkim rozwojem instalacji OZE – fotowoltaiki i biogazowni – silnie powiązanych z rolnictwem. Rynek komercyjny oferuje głównie standardowe moce obliczeniowe (5–7 kW/rack), natomiast środowiska High-Density funkcjonują w praktyce wyłącznie w zamkniętym ekosystemie badawczym UMB, zaprojektowanym pod analizę genomiki i Big Data. Zmodernizowana sieć ciepłownicza (Enea Ciepło) tworzy jednocześnie bardzo dobre warunki do przyszłego wdrażania odzysku ciepła z infrastruktury serwerowej.

Energia i uwarunkowania infrastrukturalne

Do najistotniejszych barier rozwojowych należy odpływ talentów do Warszawy („syndrom S8”), który utrudnia zatrzymanie najbardziej doświadczonych specjalistów IT, oraz brak lokalnego kapitału Venture Capital typu Smart Money, zdolnego komercjalizować przełomowe badania biologiczne i medyczne. Dodatkowym czynnikiem są obawy inwestorów infrastrukturalnych związane z położeniem geopolitycznym regionu. Jednocześnie Białystok posiada jedną z najsilniejszych nisz strategicznych w Europie Środkowej: Medical AI, genomikę i bioinformatykę. Synergia Uniwersytetu Medycznego, kompetencji inżynierskich Politechniki oraz potężnego zaplecza AgriFoodTech tworzy fundament pod globalnie konkurencyjne projekty z obszaru analizy DNA, odkrywania leków (Drug Discovery), diagnostyki obrazowej i rolnictwa precyzyjnego. To ośrodek o ogromnym potencjale jakościowym, którego pełne wykorzystanie wymaga przede wszystkim wzmocnienia mechanizmów finansowania i skalowania DeepTech.

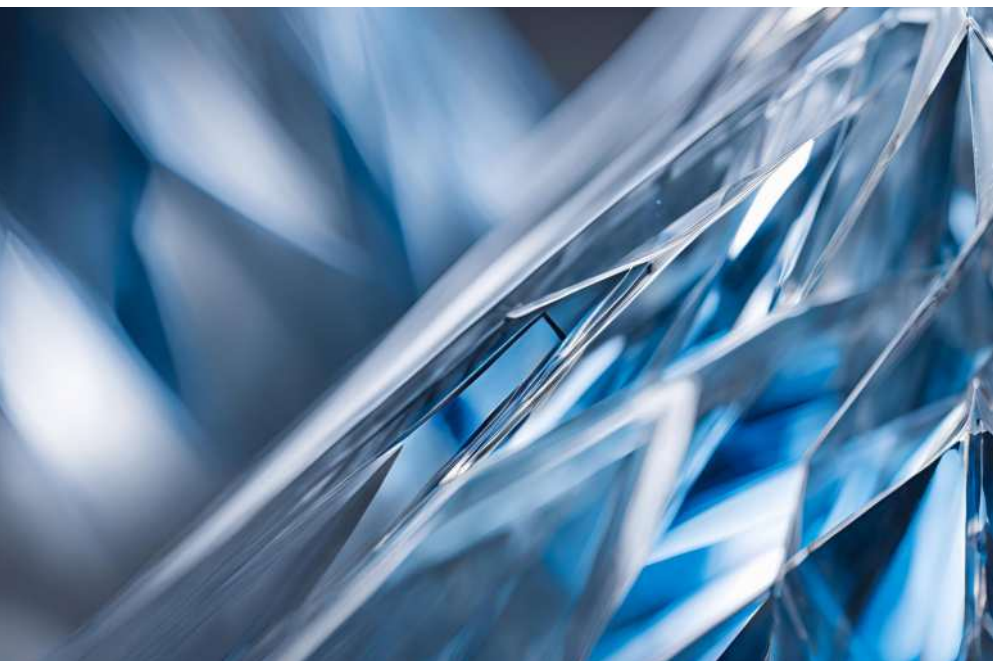
Bariery i perspektywy rozwoju

4. ENERGIA: KLUCZ DO SKALOWANIA AI



Sztuczna inteligencja przekształca energię w kluczowy czynnik rozwoju infrastruktury cyfrowej, a centra danych stają się nowym „przemysłem ciężkim”. Polska znajduje się dziś na wczesnym etapie tej transformacji, jednak doświadczenia Holandii i Irlandii pokazują, że bez szybkiej adaptacji systemu energetycznego bariery wzrostu pojawiają się gwałtownie.

Rozwój sztucznej inteligencji w Polsce osiągnął punkt krytyczny. Analiza najnowszych trendów infrastrukturalnych oraz danych z rynku energetycznego (m.in. prognoz branżowych i danych operacyjnych) wskazuje, że kraj stoi dziś przed jednym z największych wyzwań logistyczno-energetycznych od czasów elektryfikacji. Sztuczna inteligencja staje się nową formą „przemysłu ciężkiego” – sektorem, który nie tylko zużywa energię elektryczną, lecz także w istotny sposób zmienia strukturę i charakter krajowego zapotrzebowania na energię.



Największym konsumentem energii w Polsce pozostaje przemysł, odpowiadający za ponad jedną trzecią całkowitej konsumpcji energii elektrycznej. Dominującą rolę odgrywają tu przetwórstwo przemysłowe, hutnictwo (przy czym KGHM jest największym pojedynczym odbiorcą energii w kraju), a także górnictwo i przemysł chemiczny. Na kolejnych pozycjach plasują się sektor usług – w tym dynamicznie rosnący sektor IT – oraz gospodarstwa domowe.

50

Obecnie szacuje się, że sektor centrów danych odpowiada za około 1–2% całkowitego zużycia energii elektrycznej w Polsce.

Prognozy na rok 2030 wskazują jednak na wzrost tego udziału do poziomu około 5%, a w bardziej dynamicznych scenariuszach nawet do 6%. Niezależnie od tego, który wariant okaże się bliższy rzeczywistości, panuje konsensus co do jednego: wzrost ten będzie miał charakter skokowy, a nie stopniowy.

Podobna dynamika dotyczy zapotrzebowania na moc. Obecna łączna moc komercyjnych centrów danych w Polsce wynosi około 200 MW. Zgodnie z prognozami – nawet tymi najbardziej ostrożnymi – do 2030 roku rynek ten niemal potroi swoje zasoby, osiągając poziom około 500 MW. Oznacza to pojawienie się nowej, silnie skoncentrowanej grupy odbiorców energii o znaczeniu systemowym. Jeszcze bardziej istotnym sygnałem jest pojawienie się projektów planowanych już nie w skali megawatowej, lecz gigawatowej. Przykładem jest Metropolia Pomorska oraz koncepcja Baltic Data Center Campus, której docelowa moc – rzędu kilku gigawatów – jest bezpośrednio powiązana z rozwojem morskiej energetyki wiatrowej na Bałtyku. Oznacza to przejście od modelu „podłączania się do sieci” do podejścia, w którym lokalizacja centrów danych jest projektowana równolegle z nowymi źródłami wytwarzania energii. Dodatkowym czynnikiem wzmacniającym presję energetyczną jest wymóg suwerenności obliczeniowej. Rozwój rodzimych modeli językowych oraz infrastruktury AI – takich jak PLLuM czy Bielik – ogranicza możliwość delegowania kluczowych obliczeń poza jurysdykcję Unii Europejskiej. W praktyce oznacza to konieczność utrzymywania w Polsce klastrów obliczeniowych o najwyższej gęstości mocy, opartych na akceleratorach GPU, co bezpośrednio przekłada się na wzrost zapotrzebowania na energię oraz infrastrukturę chłodzenia.



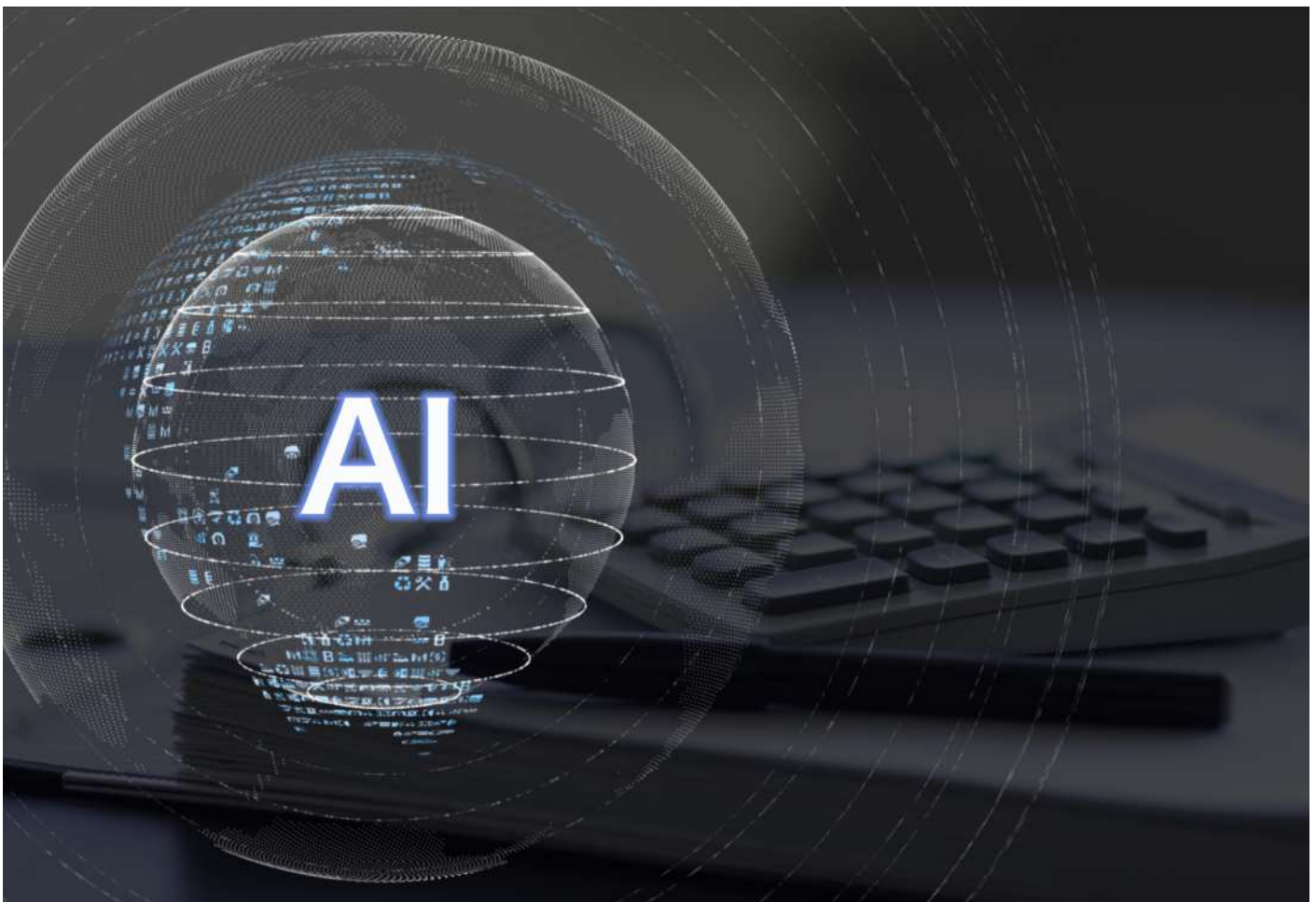
Kluczowe różnice: tradycyjna infrastruktura DC vs. obciążenia AI

Kategoria / Obszar Wpływu	Tradycyjne Centra Danych (Status Quo)	Wymagania Sztucznej Inteligencji (High-Density)	Wpływ rynkowy na aglomerację warszawską
Zapotrzebowanie na moc (Pobór szafy)	5 kW – 10 kW na szafę serwerową (rack).	40 kW – 100 kW + na szafę (klastry GPU).	Przejście z małych przyłączy na gigantyczne, dedykowane linie zasilające o mocy 50-100+ MW dla nowych kampusów wokół miasta.
Przepustowość sieci (KSE / Stoen)	Standardowe procedury przyłączeniowe.	Szok popytowy; zapotrzebowanie drastycznie przewyższa możliwości starych sieci.	Wąskie gardło: Czas oczekiwania na budowę Głównego Punktu Zasilającego (GPZ) wydłużył się do 3-5 lat.
Ekologia i źródła energii (Wymogi ESG)	Pobór prądu z ogólnego miksu KSE (w Polsce ok. 60% to węgiel).	Korporacje Big Tech wymagają zasilania w 100% zieloną energią (OZE).	Konieczność omijania węglowego miksu poprzez droższe, bezpośrednie kontrakty z farmami wiatrowymi/fotowoltaicznymi (umowy cPPA).
Chłodzenie i ciepło odpadowe	Chłodzenie powietrzem (klimatyzatory); ciepło wypuszczane w atmosferę.	Chłodzenie cieczą (Liquid Cooling); serwery AI generują potężne ilości darmowego ciepła.	Szansa biznesowa: Integracja kampusów Data Center z warszawską siecią miejską (Veolia) w celu ekologicznego ogrzewania osiedli mieszkaniowych.

Zestawione powyżej różnice pokazują, że rozwój infrastruktury AI nie jest prostym zwiększeniem skali dotychczasowych modeli centrów danych, lecz jakościową zmianą ich funkcjonowania. W praktyce przekłada się to na szereg skutków systemowych, których znaczenie wykracza daleko poza sam sektor IT.



- Skokowa zmiana zapotrzebowania energetycznego sprawia, że dotychczasowy model projektowania centrów danych oraz planowania przyłączy przestaje być wystarczający. Przejście od klasycznych obciążeń IT do klastrów GPU powoduje gwałtowny wzrost gęstości mocy – z kilku kilowatów do kilkudziesięciu, a nawet ponad stu kilowatów na pojedynczą szafę serwerową. W rezultacie energia przestaje być zasobem „w tle”, a staje się parametrem krytycznym decydującym o lokalizacji i skali inwestycji.
- Strukturalne ograniczenia sieci elektroenergetycznych ujawniają się w warunkach koncentracji bardzo dużych mocy w pojedynczych lokalizacjach. Zapotrzebowanie rzędu dziesiątek lub setek megawatów generuje szok popytowy, którego nie są w stanie obsłużyć ani standardowe procedury przyłączeniowe, ani sieci projektowane z myślą o rozproszonym, liniowo rosnącym zużyciu. W efekcie dostępność i przepustowość sieci stają się jednym z głównych wąskich gardeł rozwoju infrastruktury AI.
- Zaostrzenie wymogów dotyczących źródeł energii powoduje rosnącą niekompatybilność wysokoemisyjnego miksu energetycznego z korporacyjnymi standardami ESG. Podczas gdy tradycyjne centra danych mogły funkcjonować w oparciu o ogólny miks KSE, inwestycje AI – szczególnie realizowane przez globalne podmioty technologiczne – wymagają zasilania w 100% zieloną energią. Oznacza to wzrost znaczenia kontraktów PPA, lokalnych źródeł OZE oraz presję na przyspieszenie transformacji energetycznej.
- Zmiana podejścia do chłodzenia i zagospodarowania ciepła odpadowego przekształca centra danych z biernych konsumentów energii w potencjalne elementy lokalnych systemów energetyczno-ciepłowniczych. Wysokie gęstości mocy sprawiają, że chłodzenie powietrzem traci efektywność, a standardem stają się rozwiązania oparte na chłodzeniu cieczą. Jednocześnie generowane ciepło odpadowe zaczyna być postrzegane jako zasób możliwy do wykorzystania w systemach miejskich.



Polski rynek centrów danych to nie tylko Warszawa (choć to właśnie tam zlokalizowanych jest około 70% dostępnej mocy). Poniższe zestawienie uwidacznia, że rozwój centrów danych oraz obciążeń AI w Polsce napotyka na odmienne bariery regionalne. W jednych ośrodkach kluczowym ograniczeniem staje się dostępność mocy i przepustowość sieci elektroenergetycznej, w innych – dostęp do zielonej energii lub zdolność obsługi wysokich gęstości mocy charakterystycznych dla infrastruktury AI. Tabela pokazuje, że nie istnieje jeden uniwersalny model rozwoju data center, a wyzwania energetyczne mają wyraźnie lokalny charakter.

Ośrodek/Region	Moc operacyjna/ Zapotrzebowanie	Gęstość mocy (pod AI)	Zielona energia (OZE) i źródła zasilania	Kluczowe przewagi i specyfika technologiczna
Warszawa	160–180 MW (dąży do >200 MW)	40–100+ kW/ szafę	Presja na 100% OZE (umowy cPPA) z uwagi na wymogi ESG Hyperscalerów. Boryka się z 60% udziałem węgla w KSE.	Wąskie gardła przesyłowe (3-5 lat oczekiwania na przyłącze GPZ). Hub gigantów chmurowych. Potencjał odzysku ciepła do sieci Veolii.
Wrocław	10–15 MW (mniejsze obiekty komercyjne)	Min. 8 kW (komercja), kilkadziesiąt kW (R&D)	Duży boom na farmy fotowoltaiczne w regionie oraz zawieranie umów cPPA na 100% OZE.	Hub Edge Computing i R&D. Środowiska akademickie (WCSS) pioniersko wdrażają chłodzenie cieczą (DLC) wprost na procesory.
Poznań	Docelowo ok. 150 MW (Kampus Beyond.pl)	Ekstremalna: >130–140 kW/ szafę	Obiekty takie jak Beyond.pl jako pierwsze w kraju zadeklarowały 100% zasilania z OZE (rozliczanego poprzez gwarancje pochodzenia, a nie kontrakty typu cPPA)	AI Ready Data Center. Chłodzenie cieczą, wybitne PUE 1.2 , obieg zamknięty (potencjał 30 MW ciepła odpadowego dla osiedli).

Ośrodek/ Region	Moc operacyjna/ Zapotrzebowanie	Gęstość mocy (pod AI)	Zielona energia (OZE) i źródła zasilania	Kluczowe przewagi i specyfika technologiczna
GZM (Śląsk)	40–50 MW (zapotrzebowanie na kolejne 100-150 MW)	Zróźnicowana (wymagająca w AI przemysłowym)	Transformacja postindustrialna – budowa farm PV i wiatrowych na zamykanych hałdach i terenach kopalnianych.	Gęsta sieć przesyłowa po przemśle ciężkim ułatwiająca szybkie przyłącza. Unikalny potencjał chłodzenia serwerowni wodami kopalnianymi.
Kraków	20–30 MW	25–40 kW (komercja), 60+ kW (HPC/Cyfronet)	Dążenie do zielonej energii (PPA). Silny nacisk na niskie PUE (1.25 - 1.35) ze względu na wysokie ceny energii.	Superkomputer Helios w czołówce najbardziej energooszczędnych na świecie (Top 7 Green500). Wykorzystanie Direct Liquid Cooling .
Łódź	12–18 MW (architektura rozproszona)	Od kilkunastu do kilkudziesięciu kW w R&D	Omijanie „czarnego prądu” (Bełchatów) poprzez masowe instalacje fotowoltaiczne na płaskich dachach hal logistycznych.	Stolica Edge AI. Pionier gospodarki obiegu zamkniętego – nowe serwerownie projektowane jako „ciepłownie” uodporniające sieć miejską.
Metropolia Pomorska	25–35 MW (potencjał na Gigawaty)	30–80 kW/ szafę z GPU	Budowa strategii wokół dostępu do gigantycznych mocy z morskich farm wiatrowych (Offshore) .	„Zielony Hub”. Naturalne chłodzenie dzięki klimatowi (free cooling). Główne wyzwanie to konkurencja o moc z rozwijającymi się portami.



Rozwój rynku centrów danych w Polsce wchodzi w fazę, w której skala inwestycji zaczyna być liczona w setkach megawatów, a nie w pojedynczych, miejskich przyrostach mocy. Najbardziej wymownym symbolem tej zmiany jest planowana inwestycja hyperskalowego kampusu data center w rejonie Bełchatowa, o docelowej mocy około 500 MW, projektowana z myślą o obsłudze chmury obliczeniowej oraz sztucznej inteligencji. Lokalizacja tej inwestycji w sercu regionu przez dekady utożsamianego z największym w Europie kompleksem węglowym nadaje jej znaczenie wykraczające poza sektor cyfrowy – Bełchatów staje się materialnym przykładem transformacji „od węgla do infrastruktury cyfrowej”.

Równolegle rozbudowywane są największe istniejące ośrodki – zarówno kampusy globalnych hyperscalerów, takich jak Microsoft (Azure Poland Central), jak i wiodących operatorów usług kolokacji, w tym Atman, Beyond.pl, Data4 oraz Equinix – które zwiększają dostępne moce i dostosowują infrastrukturę do wysokich gęstości obciążeń AI.

Fakt, że zarówno nowe projekty o skali setek megawatów, jak i rozbudowy kluczowych kampusów data center coraz silniej uzależnione są od dostępności mocy, jasno pokazuje, iż dalszy rozwój infrastruktury cyfrowej staje się trwale powiązany ze zdolnością systemu energetycznego do zapewnienia dużych, stabilnych i niskoemisyjnych źródeł energii. To właśnie w tym punkcie cyfrowa transformacja Polski bezpośrednio styka się z koniecznością bezprecedensowych inwestycji w energetykę.

KLUCZOWE FILARY INWESTYCYJNE POLSKIEJ TRANSFORMACJI ENERGETYCZNEJ



58

Planowane inwestycje w polskiej energetyce oznaczają strukturalną przebudowę systemu, a nie jego stopniową modernizację.

Ich celem jest jednocześnie zapewnienie bezpieczeństwa dostaw, postępującej dekarbonizacji oraz zdolności do obsługi nowych, energochłonnych sektorów gospodarki – w tym centrów danych i sztucznej inteligencji.

Kluczowe projekty obejmujące energetykę jądrową, morską energetykę wiatrową, rozbudowę sieci przesyłowych, rozwój odnawialnych źródeł energii, technologii wodorowych oraz magazynowania energii tworzą spójną architekturę energetyczną nowej gospodarki. Bez ich równoległej i skoordynowanej realizacji nie będzie możliwe stabilne skalowanie przemysłu, procesów cyfryzacyjnych ani technologii AI.

Oto główne filary tej transformacji.

1. Energetyka Jądrowa

To najdroższy i najbardziej strategiczny punkt w planach transformacji:

- **Pierwsza polska elektrownia jądrowa (Wielkoskalowa):** Zlokalizowana na Pomorzu w gminie Choczewo (Lubiatowo-Kopalino). Szacowany koszt budowy to blisko 200 mld zł (w tym ok. 60 mld zł ze środków budżetowych, a reszta w formie finansowania zagranicznego, m.in. z amerykańskiego Exim Banku). Zgodnie z harmonogramami, pierwszy blok ma zostać oddany do eksploatacji do 2033–2036 r.
- **Małe reaktory modułowe (SMR):** Równolegle prowadzone są prace przygotowawcze przez gigantów przemysłowych (m.in. Orlen, Synthos, KGHM) mające na celu budowę flotylli małych reaktorów (np. w technologii BWRX-300). Mają one docelowo zastępować wygaszane bloki węglowe i dostarczać energię oraz ciepło dla przemysłu.



2. Morskie Farmy Wiatrowe (Offshore)

Bałtyk staje się jednym z największych „placów budowy” zielonej energii w Europie. Łączne nakłady inwestycyjne w offshore mogą sięgnąć w najbliższych latach nawet 130–250 mld zł.

- Rozwój pierwszych faz Offshore: Projekty realizowane m.in. przez Grupę Orlen (we współpracy z Northland Power - projekt Baltic Power), PGE (we współpracy z Ørsted - projekty Baltica 2 i 3) oraz Polenergię i Equinor.
- Integracja z lądem: Inwestycje w terminale instalacyjne (m.in. w Świnoujściu oraz plany dla portów Trójmiasta) niezbędne do obsługi morskiej energetyki.
- Zielone Huby Obliczeniowe: Budowa ogromnych morskich mocy przyciąga na polskie wybrzeże potężnych inwestorów planujących budowę kampusów Data Center zasilanych bezpośrednio w 100% z wiatru na morzu.

3. Wielka rozbudowa sieci przesyłowych (Plan PSE na lata 2025–2034)

Bez nowoczesnych sieci nie ma transformacji. Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) przyjęły uzgodniony pod koniec 2024 roku 10-letni plan inwestycji o wartości ponad 64 mld zł. Obejmuje on m.in.:

- Budowę 4700 km nowych linii najwyższych napięć (400 kV).
- Budowę 28 nowych i modernizację 110 istniejących stacji elektroenergetycznych.
- Realizację nowatorskiej na polskie warunki lądowej linii stałoprądowej (HVDC) do bezstratnego przesyłania prądu na duże odległości (np. z północy na południe kraju).
- Cel planu: Umożliwienie wyprowadzenia mocy z ok. 18 GW morskich farm wiatrowych, 45 GW fotowoltaiki, ponad 19 GW wiatru na lądzie oraz przygotowanie sieci na elektrownię jądrową. Do tego doliczyć trzeba szacunkowo 180–200 mld zł, które muszą zainwestować lokalni operatorzy systemów dystrybucyjnych (OSD).

4. Strategie Koncernów (Lądowe OZE, Biogaz, Wodór)

- Zielona strategia Grupy Orlen (do 2030 r.): Koncern zapowiedział wydanie ponad 85 mld zł na inwestycje czysto ekologiczne, w tym portfele lądowych farm wiatrowych, zaawansowaną fotowoltaikę, rozwój sieci stacji ładowania pojazdów elektrycznych, zielony wodór oraz biopaliwa.
- Wodór i Biometan: Trwają inwestycje w powstawanie tzw. „Dolin Wodorowych” (m.in. Śląsko-Małopolska, Podkarpacka), które integrują ośrodki naukowe i przemysł ciężki, celem dekarbonizacji z użyciem bezemisyjnego wodoru. Dodatkowo rozwija się program budowy biogazowni komunalnych i rolniczych.

5. Magazynowanie energii i ciepłownictwo

- Powszechna elektryfikacja i zmienność produkcji z OZE wymusza budowę wielkoskalowych magazynów energii. Pojawiają się pierwsze ogromne inwestycje komercyjne (np. przy dawnej elektrowni Żarnowiec) polegające na budowie magazynów bateryjnych, które wygrywają kontrakty na rynku mocy.
- Fundusz Modernizacyjny wspiera również potężne programy digitalizacji i dekarbonizacji sieci ciepłowniczych, promując kogenerację, instalację magazynów ciepła oraz wysokosprawne wykorzystanie odpadów niebezpiecznych i komunalnych.

ENERGIA A DATA CENTER

- PORÓWNIANIE Z INNYMI RYNKAMI

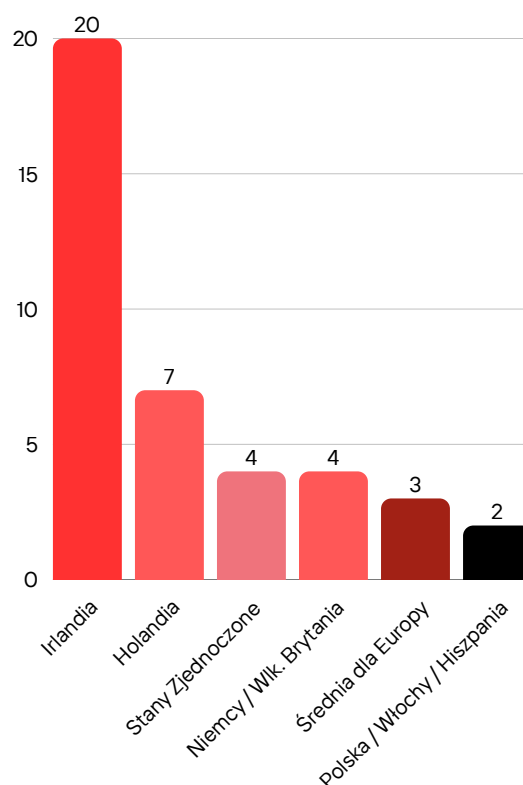
Porównując rynek polski z innymi krajami, widać wyraźnie, że udział energii zużywanej przez centra danych w Polsce pozostaje poniżej średniej Unii Europejskiej.

Wykres przedstawia udział sektora centrów danych w krajowym zużyciu energii elektrycznej w wybranych państwach, umożliwiając porównanie skali obciążenia systemów elektroenergetycznych w krajach, gdzie sektor ten odgrywa już istotną rolę systemową, z sytuacją państw znajdujących się na wcześniejszym etapie jego rozwoju. Zestawienie to ukazuje wyraźne zróżnicowanie pomiędzy analizowanymi rynkami. Zdecydowanie wyróżnia się Irlandia (18–22%), gdzie koncentracja globalnych firm technologicznych silnie obciąża krajowy system energetyczny. Europa jako całość (ok. 3,1%) przekracza średnią globalną (1,5%), przy czym kraje takie jak Polska, Włochy i Hiszpania znajdują się nadal poniżej tego poziomu, choć charakteryzują się bardzo dynamicznym tempem wzrostu sektora.

Doświadczenia innych krajów europejskich pokazują, że dynamiczny rozwój rynku centrów danych bardzo szybko zaczyna przekładać się na presję systemową w energetyce. Szczególnie dobrze widać to na przykładzie państw, które stosunkowo wcześniej stały się głównymi lokalizacjami dla infrastruktury data center.

Jednym z takich przypadków jest Holandia – jeden z najbardziej dojrzałych rynków w Europie – gdzie wysoka koncentracja centrów danych doprowadziła do trwałego przeciążenia sieci elektroenergetycznej i w konsekwencji do administracyjnych ograniczeń dla nowych inwestycji, mimo niemal pełnego wykorzystania dostępnych źródeł odnawialnych. Jeszcze bardziej skrajny scenariusz obserwujemy w Irlandii, gdzie centra danych odpowiadają już za ponad jedną piątą krajowego zużycia energii elektrycznej, co wymusiło selektywną reglamentację dostępu do sieci oraz stało się źródłem napięć społecznych i politycznych. Oba rynki stanowią doskonały punkt odniesienia, pozwalający czerpać z doświadczeń państw, w których sektor centrów danych osiągnął już skalę systemową. Dlatego warto przyjrzeć się im nieco bardziej szczegółowo.

Udział Data Center w krajowym zużyciu energii (%)





Holandia jest jednym z najbardziej rozwiniętych rynków data center w Europie, ale jednocześnie jednym z najbardziej obciążonych. W 2024 r. centra danych zużyły tam ok. 5,1 TWh energii elektrycznej, czyli 4,6% krajowego zapotrzebowania, przy czym około 45 największych obiektów odpowiada za niemal 90% zużycia sektora. Silna koncentracja inwestycji w aglomeracji amsterdamskiej doprowadziła do trwałej kongestii sieci elektroenergetycznej i wprowadzenia administracyjnych ograniczeń dla nowych projektów, w tym czasowych moratoriów. Co istotne, mimo niemal pełnego pokrycia zapotrzebowania centrów danych energią odnawialną, presja na sieci przesyłowe i dystrybucyjne nie została ograniczona, a dostępność infrastruktury sieciowej pozostaje głównym wąskim gardłem dalszego rozwoju rynku. Holandia stała się tym samym przykładem kraju, w którym tempo rozwoju infrastruktury cyfrowej wyprzedziło zdolność systemu energetycznego.





Irlandia jest najbardziej krańcowym przykładem wpływu centrów danych na krajowy system elektroenergetyczny w Europie. W 2024 r. data center zużyły tam ok. 6,97 TWh energii elektrycznej, co odpowiadało aż 22% całkowitego metrowanego zużycia energii w kraju – więcej niż pobierają wszystkie gospodarstwa domowe razem wzięte. Udział sektora wzrósł z ok. 5% w 2015 r. do ponad jednej piątej w niespełna dekadę.

Tak silna koncentracja popytu doprowadziła do realnych zagrożeń bezpieczeństwa energetycznego, czego efektem było wprowadzenie przez regulatora (CRU) i operatora sieci (EirGrid) jednych z najbardziej restrykcyjnych zasad przyłączania nowych centrów danych w Europie. Nowe projekty są dopuszczane selektywnie i wyłącznie pod warunkiem posiadania własnych źródeł energii, magazynów lub zdolności do elastycznego zarządzania poborem mocy. Przypadek Irlandii pokazuje, że szybki rozwój infrastruktury cyfrowej – mimo korzyści gospodarczych – może prowadzić do napięć społecznych i politycznych, gdy sektor data center zaczyna konkurować o energię z gospodarstwami domowymi i przemysłem.



Zarówno Holandia, jak i Irlandia pokazują, że wysoki udział centrów danych w krajowym zużyciu energii nie jest scenariuszem teoretycznym, lecz realnym etapem rozwoju dojrzałych rynków cyfrowych. Holandia ilustruje model „miękkiego limitu”, w którym dalszy rozwój sektora zaczyna być hamowany przez ograniczenia sieciowe i administracyjne, natomiast Irlandia stanowi przykład „twardego limitu”, gdzie centra danych stają się jednym z dominujących odbiorców energii w skali całego państwa. Dla Polski kluczowe znaczenie ma fakt, że obecny marginalny udział data center w zużyciu energii (<1%) nie oznacza trwałego bezpieczeństwa systemu, lecz raczej wczesną fazę krzywej wzrostu; dynamika inwestycji związanych z AI sugeruje, że bez skoordynowanego planowania sieci, źródeł wytwarzania i regulacji kraj może w ciągu jednej dekady podążyć ścieżką Holandii, a w dłuższym horyzoncie napotkać ograniczenia zbliżone do scenariusza irlandzkiego.

WNIOSKI DLA POLSKI

63 Na tej podstawie z doświadczeń obu państw można sformułować kilka lekcji istotnych z perspektywy Polski:

1. Centra danych bardzo szybko stają się odbiorcami systemowymi, a ich udział w krajowym zużyciu energii może wzrosnąć z poziomu marginalnego do kilku–kilkunastu procent w ciągu jednej dekady.
2. Wąskim gardłem rozwoju nie jest wytwarzanie energii, lecz infrastruktura sieciowa, która w dojrzałych hubach (Amsterdam, Dublin) stała się główną barierą dalszych inwestycji.
3. Brak wczesnej polityki regulacyjnej skutkuje działaniami reaktywnymi, takimi jak moratoria, reglamentacja przyłączy czy selektywne dopuszczanie nowych projektów.
4. Wysoki udział OZE nie eliminuje presji systemowej, jeśli rozwój centrów danych nie jest zsynchronizowany z rozbudową sieci przesyłowych i dystrybucyjnych.
5. Sektor data center zaczyna konkurować o energię z innymi odbiorcami, co w skrajnych przypadkach prowadzi do napięć społecznych i politycznych oraz kwestionowania społecznej równowagi kosztów i korzyści.





5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzona analiza potwierdza, że kluczową siłą polskiego ekosystemu sztucznej inteligencji jest jego zróżnicowanie funkcjonalne i komplementarność, a nie koncentracja w jednym dominującym ośrodku. Ośrodki wiodące – takie jak Warszawa, Kraków, Wrocław, Poznań, Metropolia Pomorska, GZM i Łódź – budują przewagi w odmiennych segmentach łańcucha wartości AI: od hyperskalowej chmury i GovTech, przez suwerenną infrastrukturę obliczeniową i DeepTech, po przemysłową oraz brzegową sztuczną inteligencję.

O ich przyszłej pozycji decydować będzie nie liczba projektów pilotażowych, lecz zdolność do zabezpieczenia długoterminowych fundamentów infrastrukturalnych, w szczególności mocy obliczeniowej, dostępu do energii oraz wykwalifikowanych kadr.

Ośrodki wspierające tworzą operacyjne zaplecze krajowego ekosystemu AI, w którym technologia styka się bezpośrednio z gospodarką realną. Miasta takie jak Rzeszów, Bydgoszcz, Białystok, Lublin czy Toruń pełnią wyspecjalizowane role w obszarach lotnictwa, obronności, Telco AI, medycyny, genomiki oraz infrastruktury obliczeniowej, natomiast Kielce, Opole i Gorzów Wielkopolski stanowią środowiska wdrożeniowe Przemysłu 4.0. Wspólnym wyzwaniem tych ośrodków pozostają bariery strukturalne – ograniczony dostęp do kapitału, odpływ kadr oraz niedostateczna dostępność infrastruktury o wysokiej gęstości mocy – przy jednoczesnym posiadaniu unikalnych, trudnych do replikacji przewag sektorowych.

Doświadczenia rynków bardziej zaawansowanych pokazują jednocześnie, że po przekroczeniu określonej skali infrastruktura energetyczna staje się głównym czynnikiem ograniczającym rozwój centrów danych i sztucznej inteligencji. Polska znajduje się dziś na wcześniejszym etapie tej ścieżki, jednak skala planowanych inwestycji w ośrodkach wiodących oraz rosnące zapotrzebowanie zgłaszane przez regiony oznaczają, że bez zdecydowanych działań w obszarze wytwarzania energii, rozbudowy sieci przesyłowych i dystrybucyjnych oraz rozwoju OZE rynek AI może napotkać trwałe bariery wzrostu.

Wniosek nadrzędny jest jednoznaczny: polityka sztucznej inteligencji, rozwój regionalny oraz transformacja energetyczna powinny być traktowane jako elementy jednego, spójnego projektu rozwojowego państwa. O konkurencyjności Polski w erze AI nie przesądzi pojedynczy hub technologiczny ani pojedyncza inwestycja, lecz zdolność do zbudowania odpornego ekosystemu, w którym infrastruktura cyfrowa, regionalna gospodarka i system energetyczny wzajemnie się wzmacniają, zamiast wzajemnie ograniczać.

6. DODATEK SPECJALNY:



MIESIĘCZNY PRZEGLĄD TRENDÓW – PODSUMOWANIE KWIETNIA

ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW ROZWIJAJĄCYCH AI W POLSCE

Analiza wydarzeń z okresu kwietnia 2026 r. (skonsolidowane wnioski z raportów T14–T17) wskazuje na wyraźne przejście sektora technologii zaawansowanych z fazy eksperymentalnej i regulacyjnej do etapu twardej integracji AI i technologii kwantowych z bezpieczeństwem państwowym, infrastrukturą krytyczną oraz gospodarką. Kluczową cechą tego miesiąca jest jednocześnie przyspieszenie postępu algorytmicznego oraz narastanie barier fizycznych, surowcowych i instytucjonalnych.



Na poziomie globalnym w całym analizowanym miesiącu obserwowany był bezprecedensowy poziom koncentracji kapitału i kompetencji w USA, gdzie w I kwartale 2026 r. do startupów AI trafiło ok. 242 mld USD, co utrwala technologiczną hegemonię Stanów Zjednoczonych (83% globalnych inwestycji) i systemowo marginalizuje Europę w wyścigu o wielkoskalowe modele fundamentalne. Równolegle opublikowany w kwietniu raport Stanford AI Index 2026 obnażył koszty tego modelu rozwoju: gwałtowny wzrost śladu środowiskowego, spadek transparentności największych systemów oraz stopniowe zacieranie się przewagi jakościowej pomiędzy najlepszymi modelami amerykańskimi i chińskimi. Dodatkowo w skali całego miesiąca narastała problematyka autonomicznych ekosystemów agentów AI (tzw. tożsamość maszynowa), ujawniając lukę dotyczącą wszystkich tożsamości, autoryzacji i audytowalności działania agentów w AI Act.

W kwietniu 2026 r. sztuczna inteligencja jednoznacznie ugruntowała swoją pozycję jako technologia dual-use. Przykłady z Wielkiej Brytanii (integracja modeli językowych w ochronie infrastruktury krytycznej) oraz Polski (powołanie Centrum Implementacji Sztucznej Inteligencji w strukturach Sił Zbrojnych RP) potwierdzają trwałe przesunięcie osi innowacji w stronę sektora obronnego. Trend ten zwiększa zdolności operacyjne państw i interoperacyjność w ramach NATO, jednak w ujęciu miesięcznym ujawnia także narastające ryzyko powstawania zamkniętych „silosów technologicznych”, potencjalnie słabo powiązanych z cywilną e-administracją i krajowym ekosystemem innowacji.

Równolegle w kwietniu obserwowano gwałtowną industrializację i militaryzację technologii kwantowych. Sukcesy w fotonicznym łączeniu dwóch niezależnych pułapek jonowych, testy kryptografii postkwantowej (PQC) na europejskich dronach wojskowych w warunkach zakłóceń (DDIL) oraz doniesienia o wykorzystaniu technologii kwantowych w warunkach bojowych w Iranie potwierdzają przejście QT z laboratoriów do realnych zastosowań operacyjnych i infrastrukturalnych. Państwa takie jak Niemcy, reagując na ten trend w perspektywie całego miesiąca, wzmacniają sprzętową suwerenność poprzez dywersyfikację platform kwantowych, co grozi ustanowieniem nowych europejskich standardów interoperacyjności poza aktywnym udziałem Polski.

W warstwie infrastrukturalnej kwiecień 2026 r. uwidocznił narastający konflikt między ambicjami rozwoju AI a ograniczeniami sprzętowymi. Europa przyspieszała prace w ramach inicjatyw EuroHPC JU (m.in. nowe superkomputery klasy AI), jednak w skali globalnej utrzymywały się strukturalne wąskie gardła łańcucha dostaw – w szczególności pogłębiający się deficyt wysokoprzepustowej pamięci RAM, który realnie spowalnia skalowanie systemów AI.

W Polsce analizowany miesiąc należy uznać za okres krytyczny dla pozycji kraju w obszarze AI i technologii kwantowych. Pomimo silnego zaplecza naukowego, rosnącego zainteresowania zakupem komputerów kwantowych przez jednostki naukowe i sektor prywatny oraz sukcesów rynkowych (np. debiut Creotech Quantum), brak stabilnego, długoterminowego finansowania oraz sformalizowanej strategii państwowej zwiększa ryzyko luki inwestycyjnej i trwałego uzależnienia od zagranicznych dostawców kluczowych technologii.

W ujęciu miesięcznym kwiecień 2026 potwierdza, że rywalizacja technologiczna przestaje dotyczyć wyłącznie modeli i algorytmów, a coraz silniej obejmuje suwerenność sprzętową, dostęp do kapitału, integrację z systemami bezpieczeństwa oraz zdolność państw do trwałego połączenia sfery wojskowej i cywilnej w jednym, spójnym ekosystemie innowacji.

KLUCZOWE TEZY – PODSUMOWANIE MIESIĄCA (KWIECIEŃ 2026)

1. Monopolizacja kapitałowa rynku AI zmienia logikę konkurencji

Skala finansowania AI oraz koncentracja największych rund po stronie podmiotów amerykańskich tworzą środowisko o bardzo wysokich barierach wejścia. Według danych OECD w 2025 r. firmy AI pozyskały 258,7 mld USD finansowania VC, co stanowiło 61% globalnego rynku venture capital. Dla Europy i Polski coraz bardziej uzasadnione staje się podejście oparte na strategicznej specjalizacji sektorowej, a nie bezpośredniej rywalizacji w segmencie modeli ogólnego przeznaczenia (FM).

2. Rozwój AI napotyka systemowe bariery fizyczne i środowiskowe

Najpotężniejsze modele fundamentowe stają się coraz bardziej zamknięte, energochłonne i kosztowne w utrzymaniu – do poziomu porównywalnego z zapotrzebowaniem energetycznym dużych regionów. Koszt energii, dostępność pamięci wysokoprzepustowej oraz ograniczenia infrastrukturalne zaczynają pełnić rolę strategicznych wąskich gardeł rozwojowych AI.

3. Cyberbezpieczeństwo wymaga aktywnej, państwowo-rynkowej integracji AI

Rosnąca asymetria między ofensywnym użyciem AI (spear-phishing, automatyzacja ataków) a zdolnościami defensywnymi wymusza bezpośrednią współpracę administracji publicznej z sektorem prywatnym oraz dostęp do wysokiej jakości danych telemetrycznych. Pasywne podejście regulacyjne przestaje być wystarczające.

4. Luka regulacyjna w obszarze tożsamości maszynowej narasta

Autonomiczne systemy agentowe, komunikujące się w modelach M2M i A2A, nie pozostają poza zakresem AI Act, ale obecne regulacje nie rozwiązują w pełni problemów tożsamości, delegowania uprawnień, audytu i odpowiedzialności. Z perspektywy administracji publicznej rodzi to istotne ryzyka związane z kontrolą działań systemów autonomicznych oraz rozliczalnością decyzji podejmowanych bez bezpośredniego udziału człowieka.

5. Komerccjalizacja modeli AI zwiększa ryzyka dla sektora publicznego

Wprowadzanie mechanizmów reklamowych do modeli językowych oraz podatność na ataki typu prompt injection

powodują, że dla administracji kluczowe stają się środowiska gwarantujące pełną poufność i separację danych, w tym architektury typu sovereign/GAAP-like.

6. Autonomizacja wojskowego sektora AI staje się trwałym trendem

Inicjatywy takie jak powołanie CISI w strukturach MON wpisują się w szerszy proces budowy systemów predykcyjnych i autonomicznych platform bezzałogowych. Może to stworzyć fundament pod przyszły ekosystem technologiczny państwa, pod warunkiem zachowania realnej synergii z sektorem cywilnym.

7. Synergia cywilno-wojskowa jest kluczowa dla odporności państwa

Rozwój chmur o wysokich klauzulach tajności w sektorze obronnym może stać się impulsem do wypracowania wspólnych krajowych standardów cyberbezpieczeństwa, w tym odporności modeli AI na manipulacje i ataki typu adversarial AI.

8. Technologie kwantowe osiągną gotowość operacyjną

Udane testy kryptografii postkwantowej (PQC) w systemach bezzałogowych, sieciowanie pułapek jonowych oraz wykorzystanie QT w środowiskach zakłóceń potwierdzają, że technologie kwantowe wychodzą z fazy badawczej i wchodzą do obszaru infrastruktury krytycznej i obronności.

9. Migracja na rozwiązania kwantoodporne staje się pilna

Sz szczególnie sektor publiczny powinien rozpocząć skoordynowaną migrację do kryptografii postkwantowej, zgodnie z wytycznymi Komisji Europejskiej plan migracji do PQC powinien powstać do końca roku 2026.

10. Polska stoi przed ryzykiem utraty przewagi w technologiach kwantowych

Bez szybkiej publikacji Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych, stabilnego finansowania oraz budowy hubów technologicznych, istnieje wysokie ryzyko drenażu kapitału intelektualnego i uzależnienia od zagranicznych dostawców kluczowych komponentów QT. Jednocześnie równolegle z koordynacją zakupów komputerów kwantowych w ramach spójnej polityki państwowej powinien powstać plan rozwoju własnych kompetencji technologicznych wzorem niemieckim, francuskim czy fińskim.



11. AI redefiniuje tempo rozwoju sprzętu

Zastosowanie generatywnej AI w projektowaniu półprzewodników (EDA) skraca cykle projektowe z miesięcy do dni, radykalnie zmieniając dynamikę inżynieriyną. Jednocześnie grozi to pogłębieniem asymetrii technologicznej między globalnymi gigantami a rynkami lokalnymi, w tym UE.

12. Powrót fizycznej izolacji danych jako ostatniej linii obrony

W odpowiedzi na rosnące zagrożenie ransomware i presję compliance obserwowany jest renesans nośników WORM (np. Blu-ray) w segmencie B2B, podkreślający znaczenie offline'owej odporności danych w infrastrukturze państwowej.

Kwiecień 2026 potwierdził, że AI i technologie kwantowe stają się obszarem twardej rywalizacji państwowej, determinowanej kapitałem, infrastrukturą i bezpieczeństwem. Rosnąca monopolizacja rynku, koszty energetyczne oraz luka regulacyjna wymuszają strategiczną specjalizację zamiast prostego „doganiania liderów”, a jednocześnie przyspieszają militaryzację i operacjonalizację technologii. Dla Polski kluczowe staje się szybkie połączenie potencjału cywilnego i wojskowego w spójny, suwerenny ekosystem technologiczny.



BIBLIOGRAFIA

ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW ROZWIJAJĄCYCH AI W POLSCE

- ABSL (Związek Liderów Sektora Usług Biznesowych) – Sektor nowoczesnych usług biznesowych w Polsce (raporty roczne), analizy struktury BPO i R&D w głównych aglomeracjach, w tym we Wrocławiu.
- ARAW (Agencja Rozwoju Aglomeracji Wrocławskiej) – Sektor IT we Wrocławiu (raporty cykliczne), oficjalne dane miasta dotyczące wielkości i struktury lokalnego rynku IT.
- Ministerstwo Cyfryzacji; Polska Agencja Inwestycji i Handlu (PAIH) – komunikaty prasowe dot. inwestycji półprzewodnikowych Intel'a w Miękinii (wrzesień 2024).
- Business Insider Polska; Puls Biznesu – analizy i artykuły branżowe dotyczące decyzji Intel'a oraz implikacji dla regionalnego ekosystemu technologicznego (2024).
- Volvo Cars – Global Newsroom, komunikaty dot. uruchomienia Volvo Tech Hub we Wrocławiu (2023).
- Nokia – Nokia Wrocław (nokiawroclaw.pl), informacje o działalności centrum R&D oraz projektach 5G/6G.
- BNY Mellon – komunikaty prasowe i materiały medialne dotyczące rozwoju zespołów analityki danych i AI we Wrocławiu.
- Startup Poland – Polskie Startupy (raporty roczne), analizy polskiego ekosystemu startupowego i studia przypadków firm z Wrocławia.
- Dealroom.co – globalna baza danych o startupach, informacje o rundach finansowania i wycenach spółek DeepTech/AI z Wrocławia.
- MamStartup.pl – artykuły i wywiady dotyczące wrocławskich startupów DeepTech i AI (m.in. Infermedica, Surfer, SatRevolution).
- System POL-on – Zintegrowany System Informacji o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, dane o liczbie studentów, absolwentów i kadrze akademickiej.
- Główny Urząd Statystyczny (GUS) – Bank Danych Lokalnych, statystyki edukacyjne, demograficzne i absolwenckie w ujęciu regionalnym.
- Perspektywy – Ranking Uczelni Technicznych oraz Ranking Kierunków Studiów IT, metryki jakości kształcenia i preferencji pracodawców.
- CEZAMAT Politechniki Warszawskiej – Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii, informacje o projektach R&D z zakresu mikroelektroniki i sensorów.
- Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego UW (ICM UW) – dane techniczne dotyczące infrastruktury superkomputerowej i zasobów HPC.
- NASK-PIB – Raporty i analizy z obszaru cyberbezpieczeństwa i sztucznej inteligencji.
- European Commission – EDIH Catalogue, oficjalna baza Europejskich Hubów Innowacji Cyfrowych.
- HPC4Poland – oficjalne materiały Konsorcjum HPC4Poland dotyczące usług „Test Before Invest”.
- Technopark Pomerania – portal Szczecińskiego Parku Naukowo-Technologicznego, dane o klastrze ICT i inkubacji firm IT.
- Google Cloud – Europe-central2 (Warsaw), dokumentacja techniczna regionu chmurowego.
- Microsoft – Azure Poland Central, komunikaty inwestycyjne i strategiczne (Microsoft News Center).
- Atman S.A. – materiały informacyjne i komunikaty rynkowe dotyczące centrów danych i rynku kolokacji w Polsce.
- No Fluff Jobs; Just Join IT – Raporty rynku pracy IT w Polsce, analizy płac i podaży specjalistów AI/ML.
- PMR Market Analyzers – Rynek ICT i Data Center w Polsce, prognozy popytu i wzrostu rynku chmurowego.
- Uptime Institute – Raporty dotyczące wpływu AI na infrastrukturę data center (Silicon & AI).
- Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) – Plan Rozwoju Sieci Przesyłowej (PRSP), dokumenty strategiczne dotyczące infrastruktury energetycznej.
- Stoen Operator – informacje o procedurach przyłączeniowych i budowie Głównych Punktów Zasilających (GPZ) w Warszawie.
- WysokieNapiecie.pl – analizy rynku energetycznego i infrastruktury sieciowej w Polsce.
- RE-Source Poland Hub – raporty dotyczące rynku kontraktów cPPA i zielonej energii dla przemysłu i data center.
- Google – 24/7 Carbon-Free Energy, raporty i metodologia ESG.
- Veolia Energia Warszawa – materiały dotyczące modernizacji sieci ciepłowniczej i odzysku ciepła odpadowego z infrastruktury data center.
- Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) – Electricity 2024 – 2024.
- Międzynarodowa Agencja Energetyczna (IEA) – Prognozy rynkowe sektora energii elektrycznej – 2024–2026.
- Independent Commodity Intelligence Services (ICIS) – Europe Data Centre Power Demand – 2024–2025.
- U.S. Department of Energy (DOE) – Raporty dotyczące infrastruktury energetycznej i sektora data center – 2023.
- Brookings Institution – Analizy infrastruktury technologicznej i energetycznej – 2023–2028.
- Ember – Grids for Data Centres – 2024–2025.
- Goldman Sachs Global Investment Research – Raporty dotyczące wpływu generatywnej AI na globalny rynek energii – 2023–2024.
- Electric Power Research Institute (EPRI) – Analizy energochłonności usług cyfrowych i modeli AI – 2023–2024.

- <https://calculatorshub.net/computing/fiber-latency-calculator/>
- <https://technopark-pomerania.pl/>
- https://www.zut.edu.pl/index.php?id=37729&prev_sd=we
- <https://kandydaci.usz.edu.pl/studia-i-stopnia-i-jm/>
- <https://kandydaci.usz.edu.pl/studia-ii-stopnia/>
- <https://rekrutacja.pm.szczecin.pl/pelna-oferta-kierunkow/wydzial-informatyki-i-telekomunikacji/>
- <https://rekrutacja.pm.szczecin.pl/pelna-oferta-kierunkow/wydzial-mechatroniki-i-elektrotechniki/>
- <https://www.merito.pl/szczecin/studia-i-szkolenia/studia-i-stopnia#studia-i-stopnia>
- <https://www.merito.pl/szczecin/studia-i-szkolenia/studia-ii-stopnia>
- <https://www.merito.pl/szczecin/studia-i-szkolenia/studia-ii-stopnia-z-podyplomowymi>
- <https://www.merito.pl/szczecin/studia-i-szkolenia/studia-podyplomowe>
- https://www.pum.edu.pl/po_studiach/szkola_doktorska/
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/lekarski/>
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/lekarsko-dentystyczny/>
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/pielęgniarstwo/>
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/ratownictwo-medyczne/>
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/fizjoterapia/>
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/farmacja/>
- <https://rekrutacja.pum.edu.pl/kierunki/analitka-medyczna/>
- <https://wseit.edu.pl/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/mechatronika/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/mechatronika-studia-ii-stopnia/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/informatyka/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/informatyka-studia-ii-stopnia/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/geoinformatyka/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/zarzadzanie/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/zarzadzanie-studia-ii-stopnia/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/psychologia/>
- <https://olsztyn.vistula.edu.pl/16775-2/>
- <https://szkoladoktorska.uwm.edu.pl/nauki-medyczne/?cn-reloaded=1>
- <https://szkoladoktorska.uwm.edu.pl/weterynaria/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/kierunek-lekarski/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/kierunek-lekarski-studia-realizowane-w-jezyku-angielskim/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/pielęgniarstwo/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/pielęgniarstwo-studia-ii-stopnia/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/ratownictwo-medyczne/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/fizjoterapia/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/weterynaria/>
- <https://rekrutacja.uwm.edu.pl/rekrutacja/weterynaria-studia-realizowane-w-jezyku-angielskim/>
- <https://www.sprintdatacenter.pl/>
- <https://weii.pollub.pl/kandydaci/o-studiach/informatyka>
- <https://weii.pollub.pl/kandydaci/o-studiach/mechatronika>
- <https://wm.pollub.pl/studenci/programy-studiow-i-sylabusy>
- <https://rekrutacja.pollub.pl/studia-1-stopnia/kierunki-studiow/sztuczna-inteligencja-w-biznesie/>
- https://irk.umcs.pl/pl/offer/rekrutacja-26-27/field/MFI_INF/
- https://irk.umcs.pl/pl/offer/rekrutacja-26-27/field/FIS_KOG/
- https://irk.umcs.pl/pl/offer/rekrutacja-26-27/field/EKO_AGO/
- https://irk.umcs.pl/pl/offer/rekrutacja-26-27/programme/FIS_SIB_S2/?from=field:FIS_SIB
- https://irk.umcs.pl/pl/offer/rekrutacja-26-27/programme/POL_SIM_S1/?from=field:POL_SIM
- <https://kandydat.kul.pl/kierunek/sztuczna-inteligencja/>
- <https://kandydat.kul.pl/informatyka-i/>
- <https://kandydat.kul.pl/en/informatics/>
- <https://kandydat.kul.pl/lingwistyka-stosowana-i-jez-angielski-i-jez-rosyjski-ukrainski/>
- <https://kandydat.kul.pl/lingwistyka-stosowana-ii/>
- <https://kognitywistyka.kul.pl/>
- <https://phd.kul.pl/>
- <https://www.wsei.pl/rekrutacja/studia-inzynierskie/informatyka-i-st/>
- <https://www.wsei.pl/rekrutacja/studia-inzynierskie/mechatronika-i-st/>
- <https://www.wsei.pl/rekrutacja/studia-inzynierskie/sztuczna-inteligencja-w-logistyce-i-transporcie/>

- <https://up.lublin.pl/rekrutacja/informatyka-przemyslowa/>
- <https://szkoladoktorska.umlub.pl/>
- <https://wydzialy.umlub.edu.pl/18>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/lekarski>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/lekarsko-dentystyczny>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/elektrodiagnostyka> <https://wydzialy.umlub.edu.pl/29>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/ratownictwo-medyczne>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/psychologia> <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/biomedycyna>
- <https://wydzialy.umlub.edu.pl/27> <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/pielęgniarstwo>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/fizjoterapia> <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/farmacja>
- <https://rekrutacja.umlub.edu.pl/analizyka-medyczna>
- https://www.kul.pl/kierunek-lekarski,art_101035.html
- <https://up.lublin.pl/weterynaria/kierunki-studiow/>
- <https://www.wsei.pl/rekrutacja/studia-jednolite-magisterskie/fizjoterapia-jednolite-magisterskie/>
- <https://www.wsei.pl/rekrutacja/studia-licencjackie/pielęgniarstwo-i-st/>
- <https://www.wsei.pl/rekrutacja/studia-magisterskie/pielęgniarstwo-ii-st/>
- <https://www.wsei.pl/szkola-doktorska/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/wydzial-nauk-o-zdrowiu/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/pielęgniarstwo-ist/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/pielęgniarstwo-iist/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/ratownictwo-medyczne/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/poloznictwo/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/dietetyka-2/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/dietetyka-magisterskie-iist/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/kosmetologia-i/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/kosmetologia-magisterskie-iist/>
- <https://www.akademia-pol.edu.pl/fizjoterapia/>
- <https://lwit.lublin.eu/> https://irk.po.edu.pl/pl/offer/REK_2025-26/field/JI/
- https://irk.po.edu.pl/pl/offer/REK_2025-26/field/EZ/
- https://irk.po.edu.pl/pl/offer/REK_2025-26/field/EA/
- https://irk.po.edu.pl/pl/offer/REK_2025-26/field/EN/
- https://irk.po.edu.pl/pl/offer/REK_2025-26/field/MZ/
- https://irk.po.edu.pl/pl/offer/REK_2025-26/field/IM/
- <https://uni.opole.pl/oferta/> <https://www.merito.pl/opole/studia-i-szkolenia/studia-i-stopnia>
- <https://www.merito.pl/opole/studia-i-szkolenia/studia-ii-stopnia>
- <https://www.merito.pl/opole/studia-i-szkolenia/studia-ii-stopnia-z-podyplomowymi>
- <https://www.wsia.opole.pl/produkt/cyfrowy-menedzer-sztuczna-inteligencja-w-zarzadzaniu/>
- <https://www.wsia.opole.pl/produkt/media-spolesnoscowe-i-komunikacja-wizerunkowa/>
- <https://www.wsia.opole.pl/produkt/artificial-intelligence-for-managers/>
- <https://szkoladoktorska.uni.opole.pl/>
- <https://wl.uni.opole.pl/>
- <https://www.bgk.pl/aktualnosc/cyfryzacja-uczelni-w-praktyce-15-mln-zl-pozyczki-z-kpo-dla-politechniki-bydgoskiej-1/>

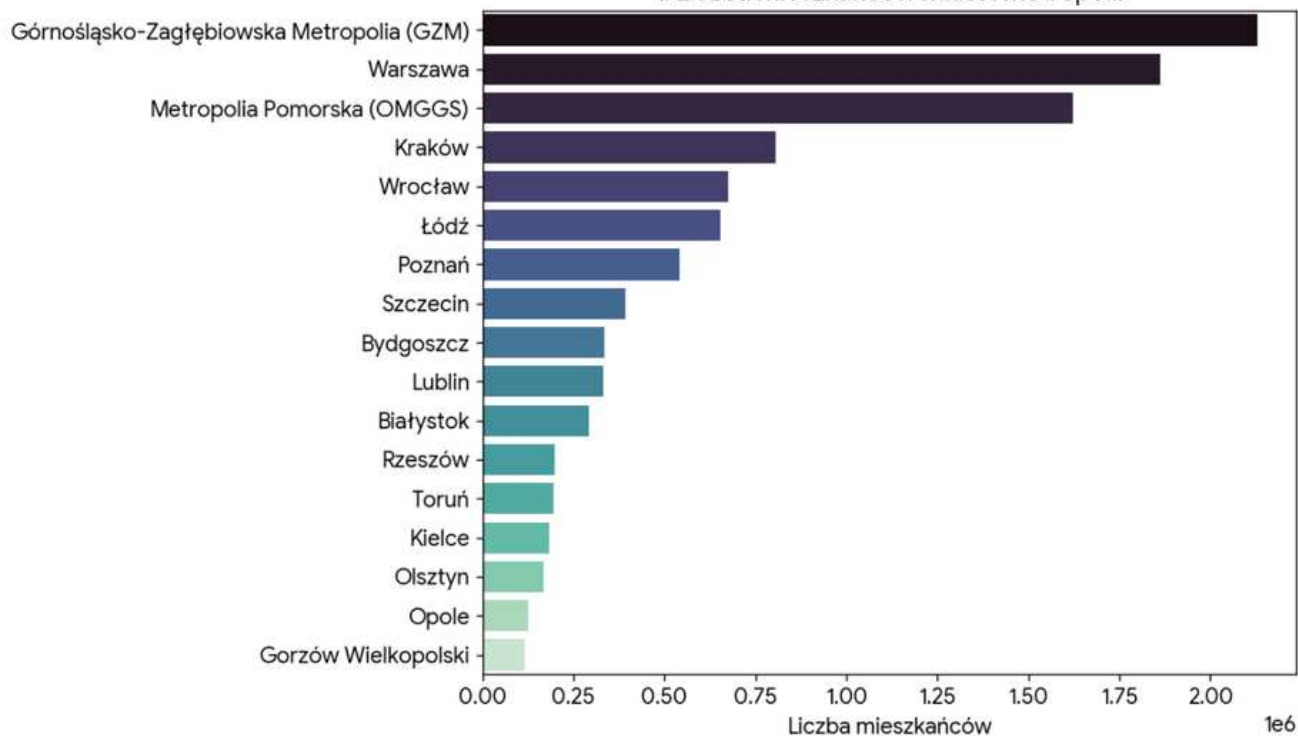


TABELE I WYKRESY

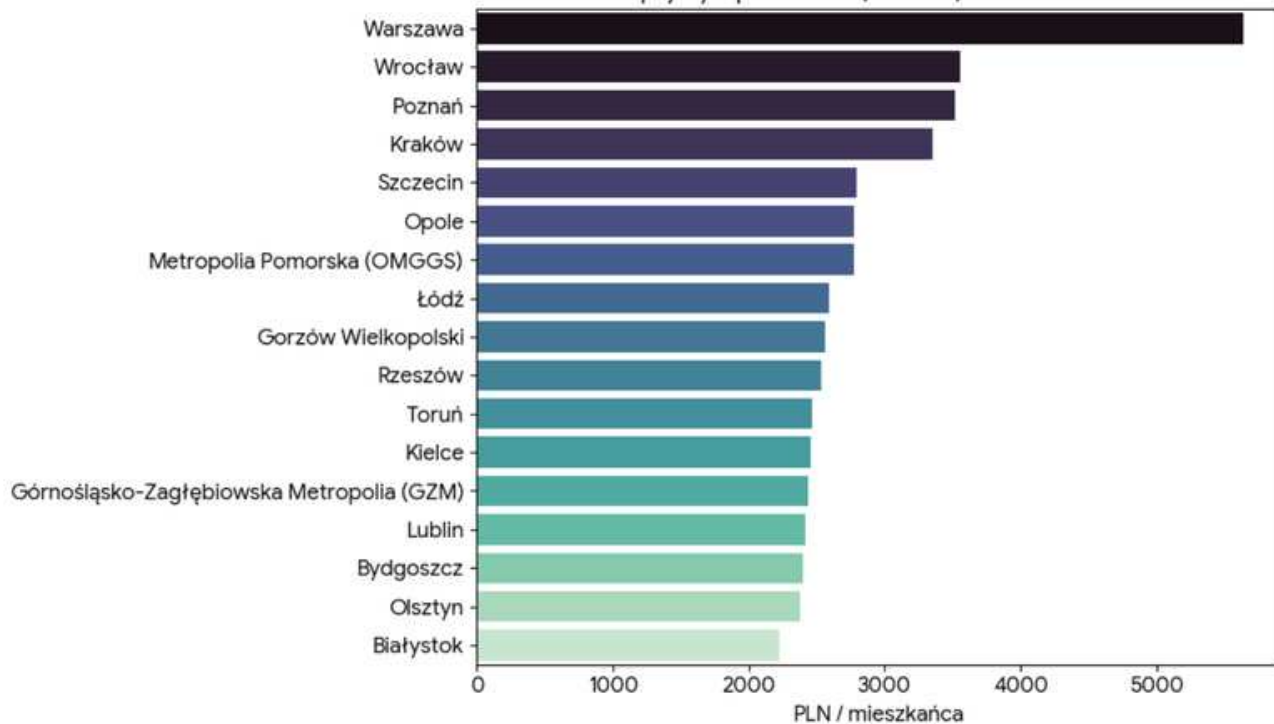
ANALIZA POTENCJAŁU OŚRODKÓW ROZWIJAJĄCYCH AI W POLSCE

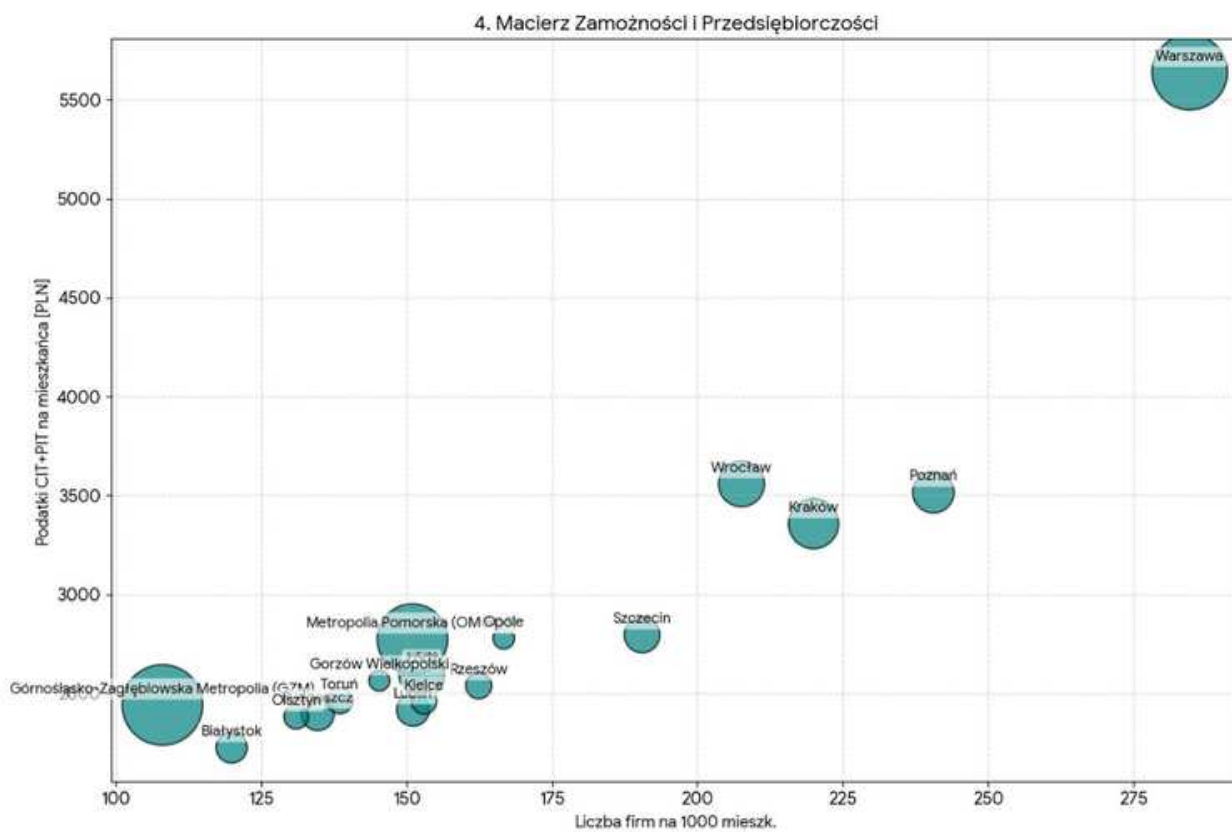
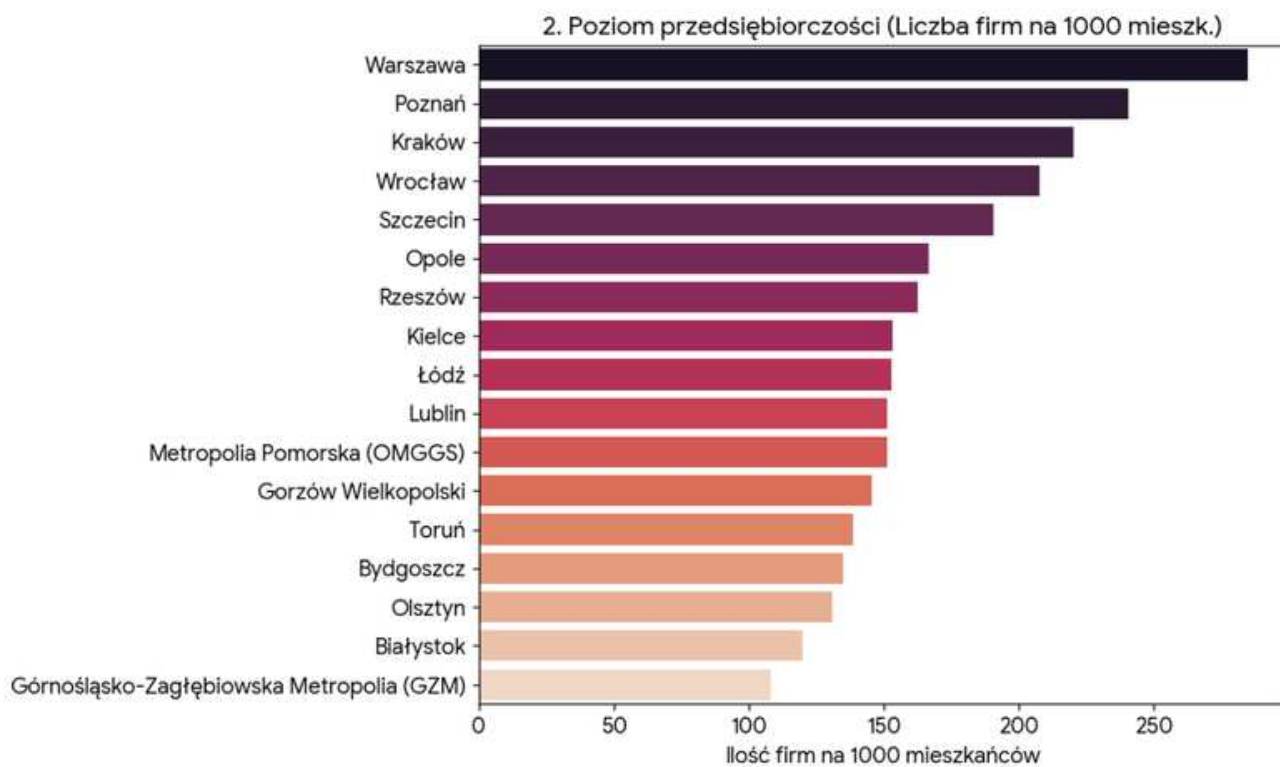
OŚRODKI AI: PODSTAWOWE DANE

1. Liczba mieszkańców miast i metropolii



Wpływy z podatków (CIT+PIT) na mieszkańca





ZESTAWIENIE PORÓWNAWCZE WIODĄCYCH OŚRODKÓW AI W POLSCE

Polska mapa sztucznej inteligencji charakteryzuje się wysokim stopniem specjalizacji regionalnej. Poszczególne aglomeracje nie konkurują ze sobą bezpośrednio na wszystkich polach, lecz wykształciły unikalne profile strategiczne (tzw. "strategie błękitnego oceanu"), silnie zakorzenione w lokalnej strukturze gospodarczej, akademickiej oraz infrastrukturalnej. Poniższa tabela stanowi syntetyczne podsumowanie i porównanie 7 kluczowych węzłów technologicznych.

OŚRODEK METROPOLITALNY	WIODĄCA SPECJALIZACJA (PROFIL AI)	GŁÓWNA PRZEWAGA KONKURENCYJNA (SZANSA)	KLUCZOWA BARIERA ROZWOJU
Warszawa	AI Agentyczne & FinTech	Największy hub infrastruktury chmurowej w CEE (serwerownie Google i Microsoft). Potężny popyt generowany przez dojrzały sektor finansowy (BFSI), GovTech oraz cyberbezpieczeństwo (65% dużych firm wdraża AI).	Drenaż i koszty talentów: Globalny Big Tech agresywnie przejmując najlepszych inżynierów, oferując stawki nieosiągalne dla rodzimych startupów. Wyzwaniem jest też energochłonność modeli.
Wrocław	Applied AI & DeepTech	Potęgą inżynieryjna blisko fizycznego sprzętu (Automotive/Volvo, Telco 5G/6G/Nokia). Transformacja Software House'ów w zaawansowane "AI House'y" i unikalne nisze rynkowe (MedTech/Infermedica, SpaceTech/SatRev).	Zaszufladkowanie Sprzętowe: Dominacja przemysłu i telekomunikacji utrudnia rozwój uniwersalnych, lekkich modeli Generatywnej AI. Kadry są sprofilowane pod zachodnie linie technologiczne.
Kraków	DeepTech & MedTech	Uruchomienie nowoczesnej „Fabryki AI” w strukturach ACK Cyfronet AGH (superkomputer Helios na 7. miejscu Green500). Ekosystem skupiający aż 23% startupów AI w regionie CEE, silne kompetencje algorytmiczne.	Drenaż "Branch Economy": Aż 40% zasobów kadrowych pracuje dla korporacji z USA, przez co wytworzona własność intelektualna (IP) jest patentowana i komercjalizowana za granicą.
Poznań	Suwerenna AI & Quantum	Pionierska architektura kwantowa (system PIAST-Q w 2026 r.) oraz bezpieczny, otwarty dostęp przez API do potężnych modeli otwartych chmury PCSS, chroniący własność intelektualną polskich firm (Sovereign AI).	Koszty infrastruktury i drenaż: Brak naturalnych przewag klimatyczno-energetycznych regionów północnych. Silny drenaż mózgów na rzecz rynku warszawskiego, berlińskiego oraz firm remote-first z USA.
Metropolia Pomorska	Maritime & Edge AI	Strategia „AI w fizycznym świecie”. Unikalny w skali Europy monopol kompetencyjny na styku algorytmów sztucznej inteligencji, automatyzacji portów morskich (Baltic Hub T3), logistyki oraz morskiej energetyki wiatrowej (Offshore).	Brak infrastruktury hyperscalerów: Brak fizycznych regionów chmurowych globalnych dostawców (koncentracja w Warszawie) rodzi ryzyko opóźnień operacyjnych w najbardziej krytycznych systemach.
Łódź	Edge AI & Przemysł 4.0	Bezapelacyjna dominacja w integracji AI z fizyczną logistyką i halami produkcyjnymi (systemy wizyjne, zarządzanie zautomatyzowanymi hubami magazynowymi w Strykowie). Unikalny w Europie cyfrowy symulator ARUZ (27 tys. FPGA).	Cień Warszawy i marginalizacja VC: Bliskość stolicy (1,5h drogi) skutkuje permanentnym drenażem inżynierów w szczybla Senior/Principal. Prywatny kapitał inwestycyjny wykazuje dużą niechęć do ryzyka.
GZM	Industrial AI & Smart City	Ekstremalna koncentracja przemysłu ciężkiego, automotive i logistyki generuje masowe wolumeny danych („blisko fizyki”) pod predykcyjne utrzymanie ruchu. Budowa potężnego Hubu Gamingowo-Technologicznego w Katowicach.	Rozproszenie i fragmentacja: Wieloośrodkowa struktura metropolii (41 gmin) utrudnia jednolitą strategię cyfrową. Odczuwalny jest niedobór wielkoskalowej infrastruktury obliczeniowej klasy AI.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – POZNAŃ

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

Dynamiczne przejście od rozwiązań chmurowych ogólnego przeznaczenia w stronę wdrażania dedykowanych, spersonalizowanych modeli sztucznej inteligencji. Wymiana generacyjna narzędzi – od prostych chatbotów w stronę autonomicznych agentów oraz kognitywnej automatyzacji procesów (Cognitive RPA). Rynek silnie stymulowany przez unijne dofinansowania oraz imperatywy podnoszenia produktywności wobec wysokich kosztów pracy.

POPYT	Ewolucja Zapotrzebowania: Rynek przeżywa wstrząs jakościowy wymuszony przez rozwój Generatywnej Sztucznej Inteligencji (GenAI). Popyt na "szeregowych" programistów na poziomie Junior ulega zamrożeniu, ponieważ asystenci pisania kodu wspierani przez AI (np. GitHub Copilot, Cursor) zdołali zautomatyzować rutynowe czynności kodowania. W efekcie korporacje technologiczne agresywnie rywalizują (rozpętlując wojnę o talenty – "war for talent") o wyspecjalizowanych ekspertów z dziedzin wysoce inżynierskich: MLOps (Machine Learning Operations) – specjalistów potrafiących spiąć matematyczne modele AI z infrastrukturą chmurową i zapewnić ich bezawaryjne działanie na milionach zapytań (scalability); Inżynierów Danych (Data Engineers) projektujących skomplikowane rurociągi informacyjne (data pipelines) zdolne nakarmić algorytmy terabajtami czystych danych; Architektów Chmurowych (Cloud Architects) zawiadujących hybrydowymi środowiskami obliczeniowymi. Gigantyczny popyt utrzymuje się również w sektorze cyberbezpieczeństwa oraz w branżach wymagających znajomości sprzętowej (hardware) i programowania niskopoziomowego (C/C++), co jest kluczowe w sektorze telekomunikacyjnym (rozwój sieci 5G) oraz motoryzacyjnym (automotive)
PODAŻ	(1) Podaż jest zdyspersyfikowana i obejmuje zarówno "surową" infrastrukturę (GPU as a Service), jak i gotowe rozwiązania aplikacyjne. Lokalny rynek obfituje w software house'y dostarczające usługi budowy modeli językowych i integracji API. Wyjątkowym produktem podażowym jest otwarty dostęp (poprzez API) do potężnych modeli otwartych (DeepSeek, Llama3.3, Qwen) udostępnianych przez PCSS w bezpiecznym, w pełni polskim środowisku chmurowym, co chroni własność intelektualną lokalnych przedsiębiorstw. Widoczna jest też podaż głębokich innowacji (DeepTech) z nisz takich jak medycyna (diagnostyka oddechowa, bionika) (2) Studenti i Absolwenci: Z populacją akademicką rzędu 111 000 studentów, Poznań stanowi wybitny hub talentów. Każdego roku rynek pracy zasila jest przez około 30 000 absolwentów różnorodnych kierunków, co zapewnia niezwykłą odporność lokalnej gospodarki na zatory kadrowe. Na rynku funkcjonuje już około 22 000 deweloperów oprogramowania i analityków oraz ponad 10 000 szeroko pojętych profesjonalistów z dziedziny ICT. Ta masa krytyczna specjalistów pozwala firmom niemal natychmiastowo skalować zespoły po wygraniu dużego przetargu. Podaż jest stabilizowana poprzez wysoki poziom nauczania w naukach ścisłych na Politechnice Poznańskiej i UAM, a wspierana przez ciągły napływ migrantów zarobkowych i zagranicznych specjalistów (expatów) poszukujących w Poznaniu wysokiego standardu życia w konkurencyjnych kosztach, w porównaniu z ośrodkami w Berlinie, Paryżu czy Londynie.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

Pomimo spektakularnego rozkwitu technologicznego i strukturalnej zwartości gospodarki, poznański potencjał ekspansji w sferze sztucznej inteligencji spotyka się z kilkoma makroekonomicznymi i rynkowymi siłami hamującymi (wąskimi gardłami). Zarazem jednak wylaniają się perspektywy o charakterze kontynentalnym, mogące definitywnie przenieść pozycję aglomeracji do pierwszej ligi innowacji na globie.

SZANSE	Opis (Mechanizm rynkowy)
Koncepcja i Eksport "Suwerennej AI" (Sovereign AI) z Poznania	Unijny projekt tworzenia regionalnych "AI Factories" oraz wdrażane przepisy ochronne "AI Act" faworyzują lokalną infrastrukturę i stają się gigantyczną dźwignią rynkową dla obiektów klasy poznańskiej. Lokalne modele generatywne wdrażane i utrzymywane na terytorium Unii uwalniają lokalny biznes od lęku przed przekazywaniem własności patentowej poza obręb UE, m.in. dostarczając niezależnych narzędzi (jak modele PLASMA) wyciągających lokalną analitykę, optymalizujących medycynę i sektor publiczny przy zachowaniu najwyższych europejskich gwarancji tajności i kryptografii sieci.
Pionierska Architektura Kwantowa (Quantum Computing)	Akceleratory GPU mogą spotkać się w niedalekiej przyszłości z fizyczną barierą postępu przewidzianą empirycznym "prawem Moore'a". Uruchomiony u schyłku drugiego kwartału 2026 r. we współpracy z paneuropejską inicjatywą system kwantowy PIAST-Q umieszcza poznańskich naukowców i laboratoria w awangardzie prac nad nowymi typami symulacji. Rozbudowa komunikacji z użyciem kwantowej dystrybucji klucza (PIONIER-Q i współpraca Niemcy-Polska-Czechy) zapewni najwyższy osiągalny, fizyczny stopień bezpiecznej transmisji, absolutnie i udowodnienie matematycznie odporny na próby przechwytywania danych (hacking). Jest to gigantyczna pożywka do powstawania wokół tego jądra dziesiątek zyskownych przedsięwzięć typu Spin-off.
Zacieśnianie Integracji: "GovTech" z "BizTech"	Ekosystemy Miejskie ewoluujące in kierunku GovTechu zacierają mur między administracją państwową (stereotypowo powolną i biurokratyczną) a zwinnym, technologicznym start-upem (agile). Poprzez inicjatywy otwartych danych i laboratoriów cyfrowych (CityLab i platforma POZnAI) Miasto samo w sobie służy innowacyjnej mniejszości za przestrzeń walidacyjną oraz klienta zlecającego pilotaże, dając realne zlecenia i budując referencje dla poznańskich producentów inteligentnych algorytmów analitycznych. To ułatwia firmom zdobywanie zagranicznych rynków i potężnych rund finansowania
BARIERY	Opis (Mechanizm rynkowy)
Zależność sprzętowa, monopol krzemowy i łańcuchy dostaw	Polskie firmy deweloperskie bazują na fizycznym sprzęcie sprowadzanym z innych kontynentów. Brak fundamentalnego, europejskiego rynku wydajnych półprzewodników sprawia, że rozwój algorytmiczny jest wrażliwy i całkowicie uzależniony od polityk dyktowanych przez technologicznych gigantów amerykańskich czy zjawisk politycznych w rejonach Azji i Pacyfiku, w tym dostaw kluczowych mikroukładów dla AI (jak układy Nvidia). Uzależnienie od zewnętrznych technologii może w skrajnych scenariuszach skutkować brakami mocy do obsłużenia wyrafinowanych projektów naukowych.
Koszty operacyjne infrastruktury na południu i centrum Europy	W stosunku do regionów nordyckich, gdzie chłodzenie naturalne (free-cooling lodowatym strumieniem wiatru czy z lodowców) oraz masowa produkcja darmowej energii hydroelektrycznej dają olbrzymią, naturalną przewagę finansową w podtrzymywaniu klastrów o skali tysięcy Petaflopsów, centralnie położona Polska z drogim systemowo miksem węglowym wciąż wypadła drożej w rachunku operacyjnym dla gigantycznych farm chmurowych (hyperscale). Tylko obiekty wyspowe – jak w całości czerpiący prąd z OZE kampus poznański – są w stanie podjąć z nimi równorzędną walkę o klienta pod kątem rygorystycznych analiz finansowych i środowiskowych.
Bezpośredni i wirtualny "Drenaż Mózgów" (Drenaż Warszawski)	Wysoka dostępność wykwalifikowanych zasobów informatycznych generowanych przez poznański ośrodek naukowy boryka się z podbieraniem (headhuntingiem) experts, inżynierów języków niskopoziomowych oraz architektów sieci neuronowych. Pakiety kompensacyjne proponowane przez warszawskie czy berlińskie oddziały korporacji technologicznych – a po pandemii firmy z USA w wariacie pełnej pracy zdalnej (remote-first) – wysuszają płytki polski rynek pracy z najbardziej uzdolnionych specjalistów, obniżając szansę mniejszych inicjatyw regionalnych i przedsiębiorców na tworzenie własnych, zaawansowanych rdzeni algorytmicznych.

11

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – GZM

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

Specyfikarynksztucznejinteligencji naŚląsku i w Zagłębiu jest zdominowana przez potrzeby wielkiego przemysłu, medycyny oraz wyzwania związane z zarządzaniem potężną, zintegrowaną infrastrukturą miejską

POPYT	Popyt wGZMmawdużej mierzecharakterinfrastrukturalno-przemysłowy. Władzemetropolitalnezgłaszają gigantyczne zapotrzebowaniena algorytmy optymalizujące transport publiczny i usługi komunalne dla ponad 2 milionów mieszkańców. Z kolei lokalny przemysł (w tym automotive oraz sektor energetyczny) poszukuje systemów do automatyzacji produkcji, predykcyjnego utrzymania ruchu (Predictive Maintenance) oraz wdrażania robotyki.
PODAŻ	Odpowiedzią na to zapotrzebowanie są rozwiązania dostarczane przez lokalne spółki IT, software house'y oraz środowisko akademickie. Podaż na Śląsku wyróżnia się wysoce utilitarnym podejściem – powstają tu gotowe systemy kognitywne dla medycyny, systemy zarządzania flotą czy narzędzia cyberbezpieczeństwa. Ekosystem ten potrafi tworzyć nowatorskie metody przetwarzania danych i wdrażać technologie bezpośrednio w przemyśle i usługach.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Opis (Mechanizm rynkowy)
Duża i zróżnicowana baza przemysłowa (AI „blisko fizyki”)	GZM posiada unikalną w skali kraju koncentrację przemysłu ciężkiego, energetyki, logistyki i produkcji, co stwarza naturalne warunki do rozwoju AI przemysłowej (Industrial AI). Zastosowania obejmują m.in. predykcyjne utrzymanie ruchu, optymalizację zużycia energii, sterowanie jakością produkcji czy cyfrowe bliźniaki infrastruktury. Daje to przewagę nad regionami opartymi niemal wyłącznie na usługach IT.
Duży rynek wewnętrzny i skala danych	GZM to jedna z największych metropolii w Europie Środkowej pod względem ludności i liczby podmiotów gospodarczych. Skala ta generuje ogromne wolumeny danych miejskich, przemysłowych i transportowych, które mogą stanowić paliwo dla rozwiązań AI z obszaru smart city, mobilności, zarządzania energią i administracji publicznej.
Silne zaplecze akademicko-techniczne	Obecność uczelni technicznych i badawczych, w szczególności specjalizujących się w inżynierii, automatyce, górnictwie i energetyce, sprzyja rozwojowi AI inżynierskiej, robotyki oraz systemów cyber-fizycznych. Region ma potencjał, by rozwijać kompetencje AI w połączeniu z hardware’em i systemami wbudowanymi, a nie wyłącznie na poziomie software’u.
Transformacja postindustrialna jako katalizator innowacji	Proces wygaszania tradycyjnych branż (górnictwo, energetyka konwencjonalna) tworzy presję, ale też przestrzeń do innowacji, w tym wdrażania AI w procesach transformacyjnych: rekultywacji terenów, zarządzaniu sieciami energetycznymi, optymalizacji ciepłownictwa czy rewitalizacji infrastruktury.
Relatywnie niższe koszty operacyjne	W porównaniu z Warszawą czy Krakowem, GZM oferuje niższe koszty pracy i powierzchni, co może przyciągać centra R&D, pilotażowe inwestycje AI oraz projekty wymagające dużej powierzchni (np. laboratoria robotyki, edge computing).
Hub gamingowo-technologiczny i sektor kosmiczny	Katowice rozpoczęły proces budowy gigantycznego Hubu Gamingowo-Technologicznego, który ma stanowić architektoniczny i biznesowy magnes na innowacyjne spółki z całego świata. Co więcej, region silnie lobbjuje za utworzeniem na Śląsku centrum technologicznego Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), wykorzystując swoje świetne kadry i dokonania lokalnych podmiotów (jak KP Labs) w sektorze sztucznej inteligencji zasilającej mikrosatelity.
BARIERY	Opis (Mechanizm rynkowy)
Rozproszenie zarządcze i brak jednego centrum decyzyjnego	GZM jest strukturą wielośrodkową, co utrudnia szybkie podejmowanie decyzji strategicznych. Brak silnego, jednego „AI champions’a” na poziomie metropolitalnym ogranicza zdolność do realizacji dużych, spójnych projektów AI (np. platform danych czy wspólnej chmury miejskiej).
Niedobór wyspecjalizowanej kadry AI	Choć region dysponuje dużą liczbą inżynierów, najbardziej zaawansowani specjaliści AI (ML research, LLM, GenAI) są silnie konkurencyjni na rynku krajowym i międzynarodowym. Odpływ talentów do Warszawy, Krakowa lub zagranicy pozostaje istotnym wyzwaniem.
Ograniczona infrastruktura obliczeniowa klasy AI	Rozwój zaawansowanych systemów AI wymaga dostępu do wysokowydajnej infrastruktury obliczeniowej (HPC, GPU clusters, data centers). W GZM skala tej infrastruktury jest wciąż niewystarczająca w stosunku do potencjału przemysłowego regionu.
Niska gotowość części MŚP do adopcji AI	Znaczna część lokalnych przedsiębiorstw, zwłaszcza z sektora MŚP, charakteryzuje się niską dojrzałością cyfrową. Brakuje kompetencji, kapitału oraz świadomości biznesowej, jak realnie wdrażać AI poza prostą automatyzacją.
Wyzwania energetyczne i środowiskowe	AI, szczególnie w skali przemysłowej, jest energochłonna. Region GZM stoi przed wyzwaniem zapewnienia stabilnej, niskoemisyjnej energii oraz modernizacji infrastruktury energetycznej, bez czego rozwój centrów danych i AI na większą skalę będzie utrudniony.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – ŁÓDŹ

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

Łódzki rynek sztucznej inteligencji jest ściśle skorelowany z makroekonomicznym profilem regionu. Przesunięcie paradygmatu w kierunku czwartej rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0) wykreowało środowisko, w którym wdrożenia AI nie są traktowane jako eksperymenty wizerunkowe, lecz jako twarde narzędzia do optymalizacji łańcuchów wartości, redukcji błędów ludzkich oraz kompensacji niedoborów na rynku pracy.

POPYT	Popyt w Łodzi jest zdeterminowany centralnym położeniem geograficznym miasta. Gigantyczne zapotrzebowanie na technologie kognitywne generują ogromne centra logistyczne i magazynowe (np. huby w Strykowie). Poszukują one zaawansowanych algorytmów do zrobotyzowanego zarządzania flotą, predykcyjnego prognozowania popytu na towary oraz nawigacji autonomicznych wózków magazynowych. Równolegle, potężny popyt płynie z globalnych centrów R&D (takich jak Ericsson czy TomTom), które pochłaniają algorytmy niezbędne do optymalizacji ruchu w sieciach telekomunikacyjnych oraz zaawansowanej, trójwymiarowej nawigacji dla pojazdów. Dodatkowo obserwuje się dynamiczny wzrost zapotrzebowania ze strony sektora FinTech oraz MedTech na systemy Computer Vision (analiza obrazów medycznych) oraz wykrywanie anomalii
PODAŻ	Lokalna podaż charakteryzuje się bardzo silną reprezentacją firm integratorskich, tzw. software house'ów oraz dostawców wdrażających rozwiązania klasy ERP wzbogacone o moduły uczenia maszynowego. Choć podaż w zakresie tworzenia fundamentalnych dużych modeli językowych (LLM) zarysowuje się tu słabiej niż we Wrocławiu, Łódź bezapelacyjnie dominuje w podaży rozwiązań Edge Computing oraz AI przemysłowego. Firmy płynnie integrują technologie chmurowe z gotowymi rozwiązaniami analitycznymi, dostarczając zaawansowane systemy RPA (Robotic Process Automation) wspierane przez sztuczną inteligencję, które automatyzują procesy back-office w rozsianych po mieście centrach usług wspólnych

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

Ostateczny rachunek potencjału Łódzkiej sztucznej inteligencji pozycjonuje to miasto z dala od medialnych zmagani o największe instalacje serwerowe czy abstrakcyjne modele kreujące tekst. Jest to jednak ośrodek charakteryzujący się najsilniejszą integracją rozwiązań cyfrowych z fizycznym przemysłem w Polsce. Zastosowanie analityki wideo na taśmach produkcyjnych elektroniki, algorytmiczne prognozowanie potrzeb farmaceutycznych, predykcyjne zarządzanie magazynami e-commerce w sercu Europy, czy optymalizacja ruchu drogowego to wdrożenia, w których AI bezbłędnie kompensuje braki zasobów ludzkich, nadając Łodzi unikalną tożsamość stolicy utylitarnej, brzegowej sztucznej inteligencji.

SZANSE	Kategoria	Opis (Mechanizm rynkowy)
Stolica "Edge AI" (Sztuczna Inteligencja Brzegowa)	Absolutna dominacja w centralnej Polsce jako kluczowy hub dla wdrożeń modeli w punktach krytycznych fizycznego biznesu.	Nie rywalizując na polu abstrakcyjnych rozwiązań chmurowych, Łódź stworzyła idealne otoczenie do utrzymywania modeli, które analizują logistykę tu i teraz. To w węzłach telekomunikacyjnych 5G i na taśmociągach hal produkcyjnych rozstrzygnie się fizyczny sukces sztucznej inteligencji, czyniąc Łódź niepodważalnym laboratorium Przemysłu 4.0, z gigantyczną przewagą doświadczeń takich korporacji jak Dell czy Ericsson. ¹
Medycyna Cyfrowa (BioTech i MedTech)	Budowa regionalnego imperium badawczego zintegrowanego z analityką danych onkologicznych i genetycznych.	Spektakularne wdrożenie projektu Regionalnego Centrum Medycyny Cyfrowej (MULDiMediC) przez Uniwersytet Medyczny, opiewające na blisko 30 mln zł wsparcia, przy współpracy z AGH, pozwoli przetworzyć miliony nieustrukturyzowanych do tej pory danych z kart pacjentów na zbiory uczące dla sieci neuronowych. Posiadanie tak zintegrowanego, anonimizowanego biobanku czyni z Łodzi mekkę dla startupów poszukujących algorytmicznych innowacji w diagnostyce całogenomowej. ¹
Przewaga Kosztowa w Walce o Kontrakty	Korzystanie z niższych progów wejścia kosztowego (living costs) przy utrzymywaniu wysokiej jakości oprogramowania.	Zauważalnie niższe koszty wynajmu powierzchni biurowych, przestrzeni w zrewitalizowanych obszarach (np. Manufaktura, Monopolis) oraz niższe koszty życia ekspertów niż w Warszawie sprawiają, że potężne średnie firmy (software house'y jak Transition Technologies PSC czy Liki Mobile Solutions) mogą zaoferować zachodnim korporacjom znacznie atrakcyjniejsze marże wdrożeniowe. To napędza potężny sektor outsourcingu nowoczesnych, szytych na miarę narzędzi AI dla Europy i Skandynawii. ¹
BARIERY	Opis (Mechanizm rynkowy)	
Zasoby Kadrowe	Drenaż "Cienia Warszawy" i odpływ ekspertów: Uwarunkowania komunikacyjne działają na szkodę najwyższych struktur łódzkiego IT. Najzdolniejsi absolwenci Politechniki oraz architektki uczenia maszynowego (ML), osiągający seniorskie doświadczenie, masowo relokują się lub podejmują pracę zdalną dla globalnych centrów znajdujących się w oddalonej o niecałą godzinę Warszawie. Zjawisko to potężnie wysusza łódzki rynek z wiedzy specjalistycznej niezbędnej do zakładania własnych, głębokich innowacji. ¹ Zasyłanie studentów: Politechnika Łódzka to elitarna kuźnia inżynierów, jednak najbystrzejsze umysły często traktują dyplom PŁ jako odskocznię do budowania ścieżek awansu w obcych aglomeracjach. ¹	
Finansowanie Innowacji	Marginalizacja Rynku Venture Capital (VC): Przepływ prywatnego kapitału inwestycyjnego charakteryzuje się silną niechęcią do ryzyka w tym regionie. Inwestorzy poszukujący agresywnych, rewolucyjnych spółek DeepTech omijają Łódź, kierując miliony dolarów do pobliskiej Warszawy lub Krakowa. Zmusza to lokalnych naukowców i innowatorów do szukania trudnego finansowania poprzez unijne granty PARP czy NCBR dystrybuowane przez Strefę (ŁSSE), co znacząco wydłuża proces wchodzenia z produktem na rynek globalny. ¹	

79

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – METROPOLIA POMORSKA

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Rośnie zapotrzebowanie na AI w logistyce morskiej (cyfrowe bliźniaki portów, predykcja łańcucha dostaw) oraz e-commerce (LPP). Olbrzymi popyt generują też globalne centra BPO/SSC poszukujące inżynierów MLOps i RPA.
PODAŻ	Mocna reprezentacja globalnych graczy R&D (Intel, Amazon) oraz lokalnych software house'ów transformujących się w kierunku dostawców modeli AI (m.in. rozpoznawanie obrazu dla przemysłu).

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

Metropolia Pomorska nie musi konkurować z Warszawą w obszarze horyzontalnych zastosowań AI (np. chatboty dla bankowości). Jej „strategią błękitnego oceanu” jest „AI w fizycznym świecie” – zintegrowana ze statkami, portami, układami scalonymi, turbinami wiatrowymi oraz sprzętem medycznym.

Strategiczne szanse	Opis (Mechanizm rynkowy)
Maritime AI	Unikalna szansa na uzyskanie dominującej pozycji w inteligentnych systemach dla portów morskich, stoczni oraz budowy i eksploatacji morskich farm wiatrowych na Bałtyku. Połączenie przemysłu morskiego i AI stanowi potencjalny monopol kompetencyjny regionu.
Edge AI (Przemysł 4.0)	Bliskość zaplecza badawczo-rozwojowego globalnych firm technologicznych (np. Intel) sprzyja rozwojowi startupów tworzących lekkie, wyspecjalizowane modele AI integrowane bezpośrednio z fizycznymi urządzeniami przemysłowymi.
MedTech AI	Bardzo dobre warunki do testowania i wdrażania algorytmów AI na danych klinicznych, wynikające z bezpośredniej współpracy lekarzy i inżynierów oraz relatywnie krótkich ścieżek decyzyjnych między nauką a praktyką medyczną.

Główne bariery	Opis (Mechanizm rynkowy)
Brak infrastruktury hyperscalerów	W Trójmieście brak jest fizycznych regionów chmurowych globalnych dostawców (AWS, Google Cloud, Microsoft), które obecnie koncentrują się głównie w rejonie Warszawy. Przy najbardziej krytycznych projektach AI może to powodować opóźnienia operacyjne, ograniczenia architektoniczne lub problemy zgodności regulacyjnej.
Drenaż najwyższej klasy kadr	Region skutecznie przyciąga juniorów i inżynierów średniego szczebla, jednak najwyższej klasy specjaliści (Senior AI Researchers) wciąż często migrują do Warszawy lub ośrodków zachodnioeuropejskich, oferujących większe budżety badawcze i lepszy dostęp do międzynarodowych projektów.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – KRAKÓW

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

Krakowski rynek sztucznej inteligencji osiągnął punkt krytyczny, w którym to zaawansowany popyt korporacyjny spotyka się z potężną, wysoce innowacyjną podażą ze strony lokalnego ekosystemu startupowego. Rynek ten uniezależnił się od prostego wdrażania gotowych rozwiązań (tzw. "wrapperów" na API z Doliny Krzemowej) na rzecz budowy rdzennych algorytmów.

POPYT	Popyt na rozwiązania AI w Krakowie jest gigantyczny i wielopłaszczyznowy. Zasadniczym generatorem tego popytu są zlokalizowane w mieście centra R&D największych światowych korporacji. Obecność ponad 200 międzynarodowych liderów technologicznych wytwarza nieustanną presję na absorpcję innowacji. Giganci tacy jak Google, IBM, ABB, Ericsson, Motorola Solutions oraz GE HealthCare prowadzą tu globalnie istotne projekty z zakresu Enterprise AI, robotyzacji procesów, analizy danych telekomunikacyjnych oraz zaawansowanej diagnostyki medycznej. Zatrudnienie w krakowskim IT jest silnie skorelowane ze strategicznymi interesami kapitału amerykańskiego – aż 40% z całkowitej puli specjalistów IT realizuje projekty bezpośrednio dla firm z USA. Taka struktura popytu wymusza na lokalnym rynku pracy dostosowanie się do najbardziej rygorystycznych standardów technologicznych. Zgodnie z najnowszymi badaniami, blisko 40% krakowskich firm IT prowadzi aktywną rekrutację w niszach AI i Machine Learning, poszukując nie tylko "teoretyków" danych (Data Scientists), ale przede wszystkim inżynierów operacyjnych (MLOps), ekspertów od inżynierii danych w chmurze (Cloud) oraz specjalistów ds. cyberbezpieczeństwa. Świadomość konieczności wykorzystywania AI przeniknęła już do kultury organizacyjnej – aż 95% krakowskich pracodawców z sektora technologicznego oddało w ręce swoich zespołów inżynieryjnych profesjonalne narzędzia wspierane przez algorytmy (np. asystentów kodowania), co drastycznie podnosi ich globalną produktywność
PODAŻ	Odpowiedzią na ten popyt jest bezprecedensowy rozkwit krakowskiego ekosystemu innowacji. Kraków ma 14% polskich startupów AI, posiadając w swoich granicach ponad 250 podmiotów startupowych. Najważniejszym wskaźnikiem świadczącym o specjalizacji miasta jest fakt, że ponad 50 z nich (dokładnie 54 zidentyfikowane podmioty) deklaruje Sztuczną Inteligencję jako rdzeń swojego produktu. W ujęciu regionalnym oznacza to, że Polska posiada blisko 25% rynku CEE.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Opis (Mechanizm rynkowy)
Pionierska Rola AI Factory w Europie	Powołanie w strukturach AGH Fabryki Sztucznej Inteligencji i zintegrowanie tak gigantycznej mocy obliczeniowej (Helios, Athena) kreuje z Krakowa punkt docelowy nie tylko dla polskiego, ale i europejskiego biznesu. Miasto może pełnić rolę "safe haven" (bezpiecznej przystani) dla startupów z całego kontynentu, poszukujących suwerennej mocy obliczeniowej pozbawionej ingerencji oraz restrykcyjnej analityki amerykańskich gigantów chmurowych.
Specjalizacja: MedTech i Cyberbezpieczeństwo	Obecność niszowych innowatorów takich jak AILIS Care (analiza nowotworów) czy Mentalio dowodzi, że Kraków posiada absolutnie unikalny na skalę Europy potencjał łączenia inżynierii programowania z wysokospecjalistyczną wiedzą medyczną i biologiczną. Wspierane algorytmicznie laboratoria mogą uczynić miasto globalnym centrum projektowania oprogramowania dla ochrony zdrowia nowej ery.
Ekologiczna Odporność (Green AI)	Wobec rosnących restrykcji Unii Europejskiej z tytułu emisyjności, lokalizacja ekosystemu wokół jednego z dziesięciu najbardziej energooszczędnych superkomputerów na świecie (Helios-GPU na 7. miejscu w The Green500) stwarza doskonały wehikuł marketingowy i operacyjny. Rozwój w stronę bezemisyjnego wdrażania sztucznej inteligencji stanowić będzie o strategicznej przewadze Krakowa nad przestarzałymi centrami obliczeniowymi w innych aglomeracjach
BARIERY	Opis (Mechanizm rynkowy)
Drenaż "Branch Economy" i Eksport Własności Intelektualnej	Aż 40% z krakowskiego, 62-tysięcznego zasobu talentów IT zasila korporacje z kapitałem amerykańskim, podczas gdy zaledwie 16% wspiera rdzennie polskie firmy. Sytuacja ta generuje ogromne ryzyko systemowe. Wybitni krakowscy inżynierowie AI, pracujący dla takich potentatów jak IBM, Aptiv czy Cisco, projektują rewolucyjne rozwiązania, które są ostatecznie patentowane i komercjalizowane za granicą. Zysk wynikający z własności intelektualnej nie akumuluje się zatem w pełni w krakowskiej gospodarce. Dodatkowo tak silne uzależnienie od jednego rynku sprawia, że ewentualne polityczne decyzje o "reshoringu" technologicznym w USA mogłyby doprowadzić do radykalnej destabilizacji lokalnego rynku pracy.
Deficyt Lokalnego "Smart Money" w fazie Growth	Krakowski rynek doskonale radzi sobie z inkubacją startupów i zdobywaniem inwestycji na etapie załazkowym (Seed/Series A), co pokazuje przykład kwoty 12,5 mln Euro pozyskanej przez Synerise i Digital First AI. Jest to jednak środowisko wyjątkowo z funduszy typu Mega-VC. Kiedy krakowski projekt przekracza fazę początkową i wymaga setek milionów dolarów na podbój globalnego rynku, z reguły zmuszony jest do relokacji swojej centrali zarządzającej (HQ) lub przeniesienia struktur do Londynu bądź Doliny Krzemowej w celu pozyskania takiego kapitału, co skutecznie uszczupla rangę regionu jako matecznika globalnych "Jednorózców".
Konkurencja wewnętrzna na rynku nieruchomości i pracy	Gigantyczna aglomeracja biznesu (skupienie blisko 40% przedsiębiorczości całego województwa małopolskiego na bardzo małym terytorium) doprowadziło do przegrzania rynku najmu i rosnącej presji płacowej, co powoli zrównuje Kraków z niektórymi ośrodkami w Europie Zachodniej pod kątem obciążeń operacyjnych.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – WROCŁAW

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

- **Motoryzacja i Przemysł:** To tupowstają twarde, inżynieryjne algorytmy AI dla aut elektrycznych (Volvo) i globalnych sieci 5G/6G (Nokia).
- **Prawdziwy DeepTech:** Wrocławskie startupy rozwiązują poważne problemy – diagnozują pacjentów (Infermedica) i analizują zdjęcia satelitarne (SatRev), zamiast tworzyć proste chatboty.
- **Potężne Zaplecze Obliczeniowe:** Sukces opiera się na inżynierach z Politechniki Wrocławskiej oraz ogromnej mocy superkomputerów (klastr BEM z WCSS).
- **Nowy rynek pracy (MLOps):** Skończył się szat na "zwykłych" programistów i teoretyków Data Science. Firmy desperacko szukają inżynierów, którzy potrafią wziąć model AI, spiąć go z serwerami i utrzymać w działaniu.

POPYT	Generowany w dużej mierze przez międzynarodowe korporacje mające tu swoje centra R&D. Ogromne zapotrzebowanie dotyczy AI w automatyzacji testów, optymalizacji sieci telekomunikacyjnych, systemów wbudowanych (Embedded AI), Computer Vision (np. w pojazdach i medycynie) oraz w branży GameDev.
PODAŻ	Wrocław to zagłębie firm software'owych, które potrafią dostarczać gotowe modele AI do integracji z produktami klientów. Wyróżnia się tu wysoka zdolność do tworzenia oprogramowania blisko sprzętu (hardware), co jest unikalne na skalę kraju.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSA / OBSZAR	Mechanizm rynkowy (Pogłębiona analiza)	Wpływ na potencjał rozwoju AI we Wrocławiu
Europejski Hub "Applied AI"	Skupienie na AI wdrażanym do fizycznych maszyn (Przemysł 4.0 i Automotive).	Obecność Volvo Tech Hub, fabryk LG i stref ekonomicznych. Wrocław staje się laboratorium testowym dla algorytmów sterujących produkcją i logistyką.
Transformacja w "AI House"	Przejście z modelu sprzedaży roboczogodzin (Software House) na sprzedaż architektury i wdrożeń MLOps.	Potężny sektor MŚP zorientowany na nearshoring. Możliwość drastycznego podniesienia marż poprzez sprzedaż gotowych, zaawansowanych systemów AI dla Zachodu.
Akademickie Spin-offy	Wykorzystanie AI do przyspieszenia badań naukowych i komercjalizacji odkryć w formie startupów DeepTech.	Silne zaplecze naukowe (PWr, UWr, UP). AI skraca czas symulacji materiałowych i chemicznych, co ułatwia tworzenie innowacyjnych produktów.
Nisze: MedTech i SpaceTech	Budowanie globalnej dominacji w branżach wymagających analizy bardzo złożonych danych (zdrowie i kosmos).	Sukcesy rynkowe Infermediki i SatRev. Wrocław przyciąga kapitał VC, pozycjonując się jako ośrodek specjalistyczny dla "trudnych" danych.
Zielone AI i ESG	Wykorzystanie AI do optymalizacji zużycia energii i raportowania wpływu na środowisko (Smart Grids).	Dostęp do ogromnych funduszy UE na zieloną transformację. Lokalne firmy mogą tworzyć systemy optymalizujące inteligentne sieci energetyczne.

BARIERA / OBSZAR	Opis (Mechanizm rynkowy)
Zasoby Kadrowe	Blokada Własności Intelektualnej: Wybitni inżynierowie pracują w globalnych korporacjach, tworząc patenty dla central w innych krajach. Brakuje "głodu", by zakładać własne startupy AI.
Model Biznesowy	Zaszufladkowanie Sprzętowe: Rynek zdominowany przez Przemysł 4.0, telekomunikację i automotive. Trudniej tu o rozwój "lekkich" i uniwersalnych modeli Generatywnej AI.
Infrastruktura i Energia	Geograficzny "Sufit": Świetny ośrodek dla Edge Computing, ale brak centralnego położenia i daleko do morskiego zaplecza energetycznego (Offshore) eliminuje go z walki o wielkie kampusy Hyperscale.
Finansowanie Innowacji	Twarde konkurowanie z Big Tech: Rodzime podmioty i fundusze VC nie są w stanie przebić ofert wielkich centrów inżynieryjnych, co wysusza rynek wczesnych innowacji.
Współpraca Nauka-Biznes	Pragmatyzm: Uczelnie (PWr) blisko współpracują z biznesem, ale głównie z zachodnim, przygotowując kadry pod konkretne, zagraniczne linie technologiczne.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – WARSZAWA

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT W Warszawie generowany głównie przez sektory o wysokim stopniu ucyfrowienia. Stolica skupia się na AI agent ycznym.	Sektor Finansowy i Bankowy (BFSI)	Ponad 64% dyrektorów finansowych w Warszawie planuje na 2026 r. zwiększenie wydatków na AI. Popyt dotyczy głównie automatyzacji raportowania, wykrywania nadużyć oraz zautomatyzowanego doradztwa inwestycyjnego.
	Cyberbezpieczeństwo	Aż 65% dużych firm w Warszawie wdraża AI w systemach obronnych. Popyt na algorytmy monitorujące ruch w sieci w czasie rzeczywistym jest najwyższy w historii.
	Compliance i Regulacje	Nowym źródłem popytu jest potrzeba dostosowania systemów do AI Act. Firmy poszukują audytorów AI oraz rozwiązań typu RegTech.
	Podaż w Warszawie ma charakter dwubiegunowy: świetna infrastruktura (sprzęt), ale deficyt specjalistów (ludzi).	
PODAŻ	Podaż Talentów (Luka kompetencyjna)	Liczba ofert pracy w IT (z akcentem na AI) wzrosła o ponad 120% r/r, podczas gdy liczba dostępnych kandydatów rośnie o ok. 20%. Największy deficyt dotyczy Machine Learning Engineers oraz AI Architects.
	Podaż Infrastruktury	Dzięki regionom chmurowym Google i Microsoftu, Warszawa ma nadwyżkę mocy obliczeniowej. Barierą nie są serwery, lecz dostęp do zielonej energii niezbędnej do ich zasilania (rosnące koszty operacyjne centrów danych).

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

Warszawa ma ogromny potencjał, by stać się głównym centrum rozwoju sztucznej inteligencji w Europie Środkowo-Wschodniej (CEE). Ewoluuje z roli zaplecza outsourcingowego do miejsca, gdzie powstają innowacyjne produkty i zaawansowane badania.

SZANSA / OBSZAR	Mechanizm rynkowy (Pogłębiona analiza)	Wpływ na potencjał rozwoju AI w Warszawie
Infrastruktura Chmurowa	Fizyczna obecność serwerowni Google i Microsoft w regionie warszawskim zapewnia minimalne opóźnienia i zatrzymanie danych w granicach RP.	Warszawa naturalnie staje się hubem wdrożeniowym dla sektorów silnie regulowanych (bankowość, medycyna, wojsko), które priorytetyzują suwerenność danych.
GovTech / SecurityTech	Siedziba Frontexu, obecność urzędów centralnych i bliskość wschodniej flanki NATO generują popyt na algorytmy podwójnego zastosowania.	Szansa na rozwój wysoce rentownych warszawskich „jednorożców” w branży obronnej (OSINT, cyberbezpieczeństwo), zasilanych z budżetów państw.
Kapitał Intelktualny AI	Stołeczne uczelnie (UW, PW) oraz inne ośrodki (m.in. Instytut Badawczy IDEAS, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju - NCBR) kształcą specjalistów zdolnych tworzyć innowacje od zera (DeepTech, kryptografia).	Ekosystem ma potencjał do budowy własnych, trudnych do skopiowania technologii bazowych i ich globalnego licencjonowania.
Popyt FinTech	Skoncentrowany w Warszawie sektor bankowy dysponuje potężnymi budżetami na innowacje i szuka narzędzi m.in. do oceny ryzyka.	Sektor finansowy pełni rolę stabilnego „sponsora”, gwarantując lokalnym software house'om stały dopływ kapitału na wdrożenia.
BARIERA / OBSZAR	Mechanizm rynkowy (Pogłębiona analiza)	Wpływ na potencjał rozwoju AI w Warszawie
Koszty Talentów - Drenaż	Obecny na miejscu Big Tech z łatwością przejmując najlepszych inżynierów i badaczy, oferując stawki i pakiety akcji.	Warszawskie startupy muszą walczyć o talenty udziałami (ESOP), misją i elastycznością, aby nie zredukować się do roli podwykonawców.
Luka Wdrożeniowa - MLOps	Brakuje inżynierów danych i specjalistów MLOps, modele AI grzęzną na etapie podłączania do starszych systemów IT.	Wymuszona zmiana strategii biznesowych i edukacyjnych: przejście od „tworzenia modeli” na umiejętność ich integracji i skalowania.
Bariera Energetyczna	Rozwój i trenowanie modeli wymaga gigantycznej mocy obliczeniowej, a oparty na węglu miks energetyczny pogarsza wskaźniki ESG.	Bez dostępu do taniej, zielonej energii, Warszawa ryzykuje utratą największych projektów obliczeniowych na rzecz innych krajów.
Bariery regulacyjne (PZP)	Prawo Zamówień Publicznych kładzie nacisk na zakup z góry zdefiniowanego produktu, co kłóci się ze zwinny charakterem uczenia maszynowego.	Ograniczony rozwój innowacji w sektorze publicznym bez pilnej popularyzacji elastycznych narzędzi do testowania AI.

ZESTAWIENIE PORÓWNAWCZE OŚRODKÓW WSPIERAJĄCYCH AI W POLSCE

Poza głównymi metropoliami, polski ekosystem sztucznej inteligencji opiera się na 10 ośrodkach wspierających. Charakteryzują się one silnym dopasowaniem do lokalnego dziedzictwa przemysłowego i akademickiego. Choć zmagają się z powszechnym problemem drenażu kadr do największych aglomeracji, kreują absolutnie unikalne na skalę europejską "wąskie nisze" – od analityki kosmicznej i technologii wojskowych (Dual-Use) po wysoce precyzyjne rozwiązania AgriTech i Maritime.

OŚRODEK MIEJSKI	WIODĄCA SPECJALIZACJA (PROFIL)	GLÓWNA PRZEWAGA KONKURENCYJNA (SZANSA)	KLUCZOWA BARIERA ROZWOJU
Białystok	MedTech AI & Genomika	Złota Era Medycznej AI: Synergia UMB i inżynierii PBS do budowy startupów wokół analizy DNA, detekcji nowotworów (Computer Vision) i Drug Discovery.	Ryzyko Geopolityczne & Brak VC: Położenie (Przesmyk Suwalski) zniechęca fundusze infrastrukturalne. Brak agresywnego kapitału na lokalny DeepTech.
Rzeszów	Military AI & Aviation 4.0	Technologie Dual-Use: Hub na wschodniej flance NATO to idealne miejsce do wdrażania AI w dronach. "Dolina Lotnicza" generuje rynek na Predictive Maintenance.	Ostrożność Kapitałowa: Bezpośrednie sąsiedztwo trwającego konfliktu może odstraszać zachodni kapitał od budowy sztywnej infrastruktury chmurowej w regionie.
Szczecin	Maritime & Offshore AI	Nisza Gospodarki Morskiej: Popyt na rozwiązania AI w logistyce portowej, autonomicznej nawigacji statków i utrzymaniu bałtyckich farm wiatrowych.	Outsourcing i Drenaż Berliński: Rynek zdominowany przez wdrożeniowców bez budowy własnego IP, ubożający o kadrę transferującą się w trybie zdalnym za granicę.
Lublin	Digital Health & AgriTech	Multidyscyplinarny Hub: Unikalne skumulowanie wiedzy klinicznej (UMed), technologii (PL) i przyrody (UP) pozwalające trenować precyzyjne modele AI na pograniczu branż.	Efekt "S17": Bardzo szybki dojazd do Warszawy i tryb zdalny powodują bezlitosny drenaż stanowisk "Senior", skazując lokalny rynek na zespoły "Junior/Mid".
Bydgoszcz	Telco AI & Edge Computing	Strategiczna Przewaga Telco: Obecność globalnego R&D Nokii pozwala na rozwój sztucznej inteligencji sterującej 5G/6G i uczenia maszynowego na brzegach sieci.	Uberyzacja Rynku IT: Gigantyczne, globalne Centra Usług Wspólnych wypłukują talenty, co blokuje organiczny wzrost niezależnych bydgoskich startupów AI.
Toruń	Space Analytics & Supply Chain	Big Data z Kosmosu i Farmacji: Poligon dla sieci neuronowych w Centrum Radioastronomii UMK. Potężne zbiory danych o popycie od gigantów E-Commerce i Farmacji (NEUCA).	Efekt "A1" i drenaż kapitałowy: Bliskość Trójmiasta i Łodzi utrudnia utrzymanie w mieście Architektów AI. Całkowity brak funduszy Venture Capital we wczesnej fa zie.
Gorzów Wielkopolski	Industrial Edge AI	Poligon Przemysłu 4.0: Potężne zakłady motoryzacyjne (Faurecia) i elektroniczne w SSE to idealne miejsce do wdrażania sztucznej inteligencji w robotyce i IoT.	Słabość Ośrodka Akademickiego: Niska liczba studentów IT powoduje brak krytycznej masy talentów koniecznej do budowy innowacyjnych projektów w regionie.
Kielce	Event-Tech & Heavy Industry	Silos Danych "Targi Kielce": Zjazdy z całego świata to unikalna platforma do wykorzystania AI w Matchmakingu B2B, analizie behawioralnej i logistyce.	Syndrom korytarza S7: Masowa ucieczka kadr Data Science i Machine Learning do bliskiego Krakowa i Warszawy, uniemożliwiająca budowę mocnych zespołów DeepTech.
Opole	Przemysł 4.0 & Industrial IoT	Poligon Linii Produkcyjnych: Otoczenie najnowocześniejszych fabryk (automotive, logistyka) daje szanse na testowanie analizy obrazu (Computer Vision) na halach.	Czarna Dziura Autostrady A4: Szybki dojazd do Wrocławia i Katowic wysysa z Opola wysoce wykwalifikowanych Senior Developerów do innych central R&D.
Olsztyn	AgriTech & FoodTech AI	Dziedzictwo Naukowo-Przyrodnicze: Bezkonkurencyjna szansa na wdrażanie AI w rolnictwie precyzyjnym dzięki zapleczu eksperckiemu UWM i bliskości instytutów PAN.	Praca w 100% Zdalna: Utrata inżynierów (Data Science / ML) zasilających zdalnie większe, krajowe i zagraniczne metropolie bez budowy własnego IP w regionie.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – BIAŁYSTOK

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Potężny popyt kreowany przez dwa gigantyczne rynki województwa podlaskiego: AgriTech i FoodTech (Mlekovita, Mlekpol, Pronar), gdzie optymalizuje się zbiory i przetwórstwo rolno-spożywcze, a także przez prężnie rosnący sektor urządzeń medycznych i implantologii (ChM).
PODAŻ	Rynek dysponuje solidną reprezentacją ogólnokrajowych liderów software'owych oraz prężnych, wyrastających stąd grup kapitałowych (TenderHut, Transition Technologies, Infinity Group, Elastic Cloud Solutions). Przeważają spółki usługowe i wdrożeniowe, zauważalny deficyt startupów z własnym IP w zakresie głębokiego uczenia.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Złota Era Medycznej AI & Genomiki – bezwzględnie unikalna przewaga regionu w skali całej Europy. Ośrodek UMB w synergii z wiedzą inżynierską PBŚ pozwala na natychmiastowe budowanie najwyższej klasy startupów skupionych na uczeniu maszynowym w analizie DNA, Drug Discovery i detekcji nowotworów (Computer Vision).
BARIERY	Ryzyko geopolityczne (Przesmyk Suwalski) – skrajnie bliskie położenie względem zewnętrznej granicy i obawy o bezpieczeństwo regionu stanowią psychologiczną i prawną barierę dla potężnych zachodnich funduszy infrastrukturalnych przy planowaniu długofalowych lokalizacji budowy Big Data Centers na Podlasiu.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – RZESZÓW

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Gigantyczny popyt generowany jest przez klaster "Dolina Lotnicza" (Pratt & Whitney, MTU, BorgWarner, PZL Mielec) w zakresie Predictive Maintenance, inżynierii materiałowej, logistyki lotniskowej (hub Jasionka) oraz prężnie rosnącego sektora obronnego (technologie Dual-Use).
PODAŻ	Fenomenalna podaż jak na miasto tej wielkości. Rzeszów to globalna centrala największej polskiej firmy IT (Asseco Poland) oraz gamingowego giganta G2A. Silnie reprezentowane są zaawansowane software house'y (np. Xebia/PGS, Ideo, SoftSystem) oferujące autorskie systemy ERP i MedTech.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Military AI & Dual-Use Tech – strategiczne położenie Rzeszowa jako logistycznego hubu dla wschodniej flanki NATO sprawia, że jest to absolutnie najlepsze miejsce w Polsce do rozwijania, testowania i wdrażania sztucznej inteligencji w lotnictwie, dronach, cyberbezpieczeństwie i medycynie pola walki.
BARIERY	Ryzyko geopolityczne (Infrastruktura twarda) – bezpośrednie sąsiedztwo trwającego za wschodnią granicą konfliktu może, w perspektywie inwestycyjnej, odstraszać zagraniczny kapitał od lokowania w Rzeszowie długoterminowej, sztywnej infrastruktury chmurowej (Big Data Centers).

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – SZCZECIN

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Ogromny popyt ze strony sektora Maritime & Offshore, globalnego rynku e-commerce (bliskość bazy logistycznej Zalando/Amazon), liderów rozwiązań akustycznych i aparatów słuchowych (Demant) wymagających zaawansowanej analityki dźwięku (DSP) oraz silnego e-biznesu (IdoSell).
PODAŻ	Ekosystem zdominowany przez solidne Software House'y i korporacyjne R&D (np. Tietoevry, GlobalLogic). Brakuje szczecińskich "jednorożców" produktowych, które generowałyby i zatrzymywałyby w regionie własność intelektualną (IP) wysoce innowacyjnych, samodzielnych modeli AI.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Nisza Maritime & Offshore – unikalna przewaga w skali Europy Środkowej. Generuje popyt na rozwiązania AI w logistyce portowej, nawigacji autonomicznej statków oraz przewidywaniu awarii (Predictive Maintenance) na bałtyckich farmach wiatrowych.
BARIERY	Outsourcing usług vs. Brak własnego IP – ekosystem zdominowany przez solidne Software House'y i korporacyjne R&D. Brakuje szczecińskich "jednorożców" produktowych, które generowałyby i zatrzymywałyby w regionie własność intelektualną (IP) modeli AI.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – LUBLIN

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Wysoki popyt zgłaszany przez zaawansowany przemysł maszynowy i przetwórczy w regionie (np. Ursus w restrukturyzacji, Perła, Aliplast), sektor rolno-spożywczy (AgriTech i FoodTech) oraz intensywnie rozwijający się w Lublinie sektor nowoczesnych usług dla biznesu (BPO/SSC).
PODAŻ	Znakomicie rozwinięta podaż za sprawą potężnych krajowych i zagranicznych software house'ów oraz centrów R&D (Asseco, Billennium, Sii, DataArt, Lingaro, Transition Technologies). Rynek skupia się na wdrażaniu i modyfikacji gotowych architektur AI (integratorzy), brakuje "jednorożców" z własnym IP (spółki produktowe AI).

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Multidyscyplinarny Hub Akademicki – niezwykle skumulowanie blisko siebie zaawansowanego szpitalnictwa klinicznego (UMed), technologii (Politechnika) i przyrody (UP, PAN) pozwala na kreowanie wyjątkowych środowisk do trenowania modeli AI na pograniczu Digital Health, Bioinformatyki i AgriTechu (rolnictwo precyzyjne).
BARIERY	Efekt "S17" (drenaż mózgów) – niezwykle bliska odległość drogowa do Warszawy połączona z trybem hybrydowym/ zdalnym i wyższymi stawkami w stolicy wysysa z Lublina najbardziej doświadczonych inżynierów szczebla "Senior Data Scientist" / "AI Architect", skazując miasto często na środowisko stanowisk "Junior/Mid".

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – BYDGOSZCZ

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Popyt w Bydgoszczy kreowany jest przez potężnych graczy przemysłowych i technologicznych: branżę telekomunikacyjną (optymalizacja sieci 5G i Edge AI), przemysł transportowy (PESA Bydgoszcz – Predictive Maintenance dla taboru), zbrojeniowy (Nitro-Chem, WZL nr 2) oraz zaawansowaną logistykę (Keeza, Abramczyk).
PODAŻ	Znakomita podaż usług inżynierskich, zdominowana przez centra kompetencyjne globalnych korporacji IT/Telco (Nokia R&D, Eviden, Sii, Asseco). Lokalny rynek posiada również silne, niezależne software house'y wspierające transformację cyfrową. Skupienie podaży wokół usług outsourcingowych i integracji korporacyjnej.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Telco AI & Edge Computing – wyłączna, strategiczna wręcz przewaga Bydgoszczy. Obecność globalnego R&D Nokii pozwala na testowanie i rozwijanie modeli sztucznej inteligencji, które sterują autonomicznymi sieciami 5G/6G i wdrażają szybkie uczenie maszynowe na "brzegach" sieci (Smart Factories).
BARIERY	Uberyzacja rynku pracy IT – dominacja ogromnych, globalnych Centrów Usług Wspólnych i Delivery Centers skutecznie wypłukuje (przez wysokie wynagrodzenia) talenty z rynku lokalnego, bardzo mocno utrudniając organiczny wzrost rdzennie bydgoskich, niezależnych startupów technologicznych tworzących własne AI.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – TORUŃ

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Potężny popyt generowany jest przez liderów branży farmaceutycznej i logistycznej (Grupa NEUCA – łańcuchy dostaw, przewidywanie popytu na leki), medycznej (TZMO), energetycznej (Apator – Smart Grid) oraz wielkie centra logistyczno-handlowe z pobliskiej strefy w Łysomicach (oraz lokalny hub Allegro).
PODAŻ	Sektor dostawców technologii jest solidny i opiera się o oddziały globalnych firm (ThyssenKrupp IT Services, Allegro Tech), prężne lokalne software house'y oraz zaawansowane komercyjne usługi chmurowe. Brakuje niezależnych startupów produktowych z wyłącznym IP w obszarze głębokiego uczenia.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Analityka Kosmiczna i Big Data – unikalny w Polsce potencjał Centrum Radioastronomii UMK. Potężne ilości trudnych, fizycznych danych z radioteleskopów stanowią jeden z najdoskonalszych poligonów do trenowania i optymalizowania najbardziej zaawansowanych sieci neuronowych.
BARIERY	Efekt "A1" i drenaż kapitałowy – bliskość Trójmiasta oraz Łodzi utrudnia lokalnym hubom rekrutowanie programistów najwyższego szczebla (Senior AI Architects). Brak lokalnych funduszy Venture Capital z wiedzą i chęcią ryzyka w finansowaniu spółek DeepTech we wczesnej fazie.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – GORZÓW WIELKOPOLSKI

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Popyt generowany jest niemal w 100% przez potężny przemysł produkcyjny (Przemysł 4.0): montownie elektroniki, branżę motoryzacyjną (automotive) oraz przemysł chemiczny, które poszukują automatyzacji i wizyjnej kontroli jakości (Computer Vision).
PODAŻ	Lokalna podaż systemów AI jest znikoma. Rynek IT składa się z małych integratorów oprogramowania ERP/CRM, lokalnych agencji cyfrowych oraz zewnętrznych dostawców obsługujących zakłady zlokalizowane w strefie ekonomicznej. Skrajny deficyt spółek z własnym IP w zakresie AI.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Poligon dla Przemysłu 4.0 (Edge AI) – potężne fabryki motoryzacyjne (Faurecia) i elektroniczne (TPV) w Kostrzyńsko-Słubickiej Specjalnej Strefie Ekonomicznej (podstrefa Gorzów) to idealne obiekty do wdrażania sztucznej inteligencji w robotyce i przemysłowym Internecie Rzeczy (IoT).
BARIERY	Słabość ośrodka akademickiego – bardzo niska liczba studentów kierunków informatycznych i ścisłych powoduje, że brakuje krytycznej masy talentów do budowania i rozwoju zaawansowanych startupów z dziedziny sztucznej inteligencji.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – KIELCE

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Główny popyt płynie z unikalnych dla Kielc nisz: przemysłu ciężkiego i wydobywczego regionu (Lafarge/Holcim, Cersanit), potentatów obiegu zamkniętego (Vive Textile Recycling), sektora obronnego (Mesko) oraz giganta analityki wystawienniczej B2B – Targów Kielce.
PODAŻ	Rynek dostawców IT bazuje na solidnych oddziałach firm wdrożeniowych (Comarch, Transition Technologies PSC) i kieleckich software house'ach (Infover, Altar). Widoczny jest rynkowy deficyt wysoce innowacyjnych spółek z własnym IP (startupów AI).

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Silos Danych "Targi Kielce" (Event-Tech) – gigantyczne, coroczne zjazdy setek tysięcy wystawców i klientów z całego świata dają unikalną w Polsce platformę do wykorzystania AI w systemach Matchmakingu B2B, analizie behawioralnej i optymalizacji logistyki eventowej.
BARIERY	"Syndrom korytarza S7" – ucieczka wysoce wyspecjalizowanych kadr Data Science i Machine Learning do bliskiego Krakowa i Warszawy, uniemożliwiająca zmontowanie na miejscu silnych zespołów "Seniorów" do trudnych projektów DeepTech.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – OPOLE

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

POPYT	Popyt w Opolu jest wybitnie przemysłowy (Przemysł 4.0) z racji olbrzymiego nasycenia regionu firmami z branży automotive (np. Polaris), metalowej, chemicznej oraz potentatami branży logistyczno-transportowej (Sindbad) i spożywczej (Nutricia).
PODAŻ	Sektor zasilany w dużej mierze przez oddziały globalnych firm świadczących usługi zarządzania IT i konsultingu (Capgemini, Eviden/Atos) oraz świetnie prosperujące mniejsze software house'y. Znaczny deficyt spółek produktowych opierających swoje usługi strictly o generatywną sztuczną inteligencję.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Bezkonkurencyjny potencjał we wdrożeniach "Przemysłu 4.0" – otoczenie setek najnowocześniejszych fabryk produkcyjnych i przemysłowych leżących w Specjalnych Strefach Ekonomicznych województwa to idealny poligon wdrożeniowy dla Przemysłowego IoT i inteligentnej analizy obrazu linii produkcyjnych.
BARIERY	"Czarna dziura autostrady A4" (potężny drenaż mózgów) – niezwykle bliska odległość i łatwość dojazdu (ok. 1h) do Wrocławia oraz Katowic bezlitośnie wysysa z Opola wysoce wykwalifikowanych "Senior Developerów" i specjalistów od Machine Learningu do zagranicznych centrali badawczych R&D.

POTENCJAŁ ROZWOJU AI – OLSZTYN

2. RYNEK AI (POPYT / PODAŻ)

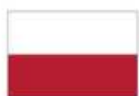
POPYT	Stale zapotrzebowanie ze strony dużego przemysłu (Przemysł 4.0 – np. Michelin Polska) oraz podmiotów z obszaru rolnictwa precyzyjnego (AgriTech) i przetwórstwa rolno-spożywczego (FoodTech), co wynika z charakterystyki regionu.
PODAŻ	Rynek dostawców bazuje na sprawdzonych integratorach systemów i oprogramowania (np. ZETO Software, Sprint S.A.) i lokalnych software house'ach. Deficyt spółek produktowych opierających swoje usługi na własnym IP w zakresie AI.

10. BARIERY & SZANSE (ROZWÓJ AI)

SZANSE	Bezkonkurencyjna w skali kraju szansa na wdrażanie AI w sektorach AgriTech (rolnictwo precyzyjne) i FoodTech ze względu na potężne dziedzictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego (nauki rolniczo-przyrodnicze i weterynaryjne) oraz bliskość instytutów badawczych PAN.
BARIERY	Utrata zaawansowanych kadr inżynierskich (specjalizacje Data Science / Machine Learning) na rzecz większych, zagranicznych i krajowych metropolii, co jest dodatkowo stymulowane powszechnością pracy w 100% zdalnej.



Projekt finansowany ze środków Ministerstwa Cyfryzacji.
Publikacja wyraża jedynie poglądy autora/ów i nie może być
utożsamiana z oficjalnym stanowiskiem Ministerstwa
Cyfryzacji.



Projekt finansowany ze środków Ministerstwa Cyfryzacji

