



RAPORT MIESIĘCZNY O TRENDACH TECHNOLOGICZNYCH

**DODATEK: Sektory i obszary kluczowe
o największym potencjale dla rozwoju
sztucznej inteligencji w Polsce**

AUTORY



**dr inż. Joanna
Kołodziejczyk**

Tomasz Melaniuk

Paulina Obara

Redakcja:

Roman Młodkowski

Korekta:

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

Opiekun merytoryczny:

Marcin Klepacki

Projekt graficzny:

**Kinga Graczyk
Anna Maraszek**

Skład:

**Kinga Graczyk
Anna Maraszek**



Spis treści

Wstęp	7
Miesięczny przegląd trendów technologicznych – wrzesień 26	8
DODATEK: Sektory i obszary kluczowe o największym potencjale dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce	18
CZĘŚĆ I. Analiza wskazanych sektorów/obszarów	19
1. Energetyka	19
1.1. Energetyka jako sektor podwójnego zastosowania	19
1.2. Mapa zastosowań SI w energetyce	19
1.3. Polska: złożoność, która już istnieje	21
1.4. Europa: jeden kierunek, różne problemy systemowe	23
1.5. Świat: polityki łączą moc obliczeniową z mocą elektryczną	24
1.6. Energetyka jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI	26
2. E-commerce	29
2.1. E-commerce jako cyfrowy łańcuch transakcji	29
2.2. Mapa zastosowań SI w e-commerce	29
2.3. Polska: duży rynek, sprzedaż platformowa i wykorzystanie SI poniżej średniej UE	30
2.4. Europa: wspólny rynek, różne warunki wdrażania SI	32
2.5. Świat: różne modele rozwoju handlu cyfrowego	33
2.6. E-commerce jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI	33
3. Produkty podwójnego zastosowania	35
3.1. Produkty podwójnego zastosowania: wspólny rdzeń i dwa środowiska użycia	35
3.2. Mapa zastosowań SI w produktach podwójnego zastosowania	35
3.3. Od modelu do systemu gotowego do działania	37
3.4. Polska: kompetencje, instrumenty i przejście od prototypu do zamówienia	37
3.5. Europa: projektowanie dual-use, finansowanie i wspólny rynek	38
3.6. Świat: problem operacyjny, test i droga do zakupu	39
3.7. Produkty podwójnego zastosowania jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI	40
4. Cyberbezpieczeństwo	41
4.1. Cyberbezpieczeństwo jako warstwa odporności cyfrowej	41
4.2. Mapa zastosowań SI w cyberbezpieczeństwie	42
4.3. Bezpieczeństwo systemów SI i automatyzacji	44

4.4. Polska: rosnąca presja i rozwijane zdolności.....	44
4.5. Europa: wspólne reguły i rosnący rynek cyberodporności	45
4.6. Świat: odporność, bezpieczny produkt i krajowe zdolności.....	46
4.7. Cyberbezpieczeństwo jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI	47
5. BioMedTech	49
5.1. BioMedTech: od danych i modelu do wartości klinicznej oraz gospodarczej	49
5.2. Mapa zastosowań SI w BioMedTech.....	49
5.3. Od modelu do zwalidowanego rozwiązania	50
5.4. Polska: cyfrowa baza, badania kliniczne i rozwój produktu.....	51
5.5. Europa: wspólne reguły, dane i droga do rynku	52
5.6. Świat: łączenie badań, regulacji, systemu zdrowia i produkcji	53
5.7. BioMedTech jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI	54
6. Usługi finansowe	55
6.1. Usługi finansowe jako infrastruktura zaufania i przepływu kapitału	55
6.2. Mapa zastosowań SI w usługach finansowych.....	56
6.3. Odpowiedzialna automatyzacja decyzji finansowych.....	57
6.4. Polska: cyfrowa skala, nadzór i popyt na wyspecjalizowane rozwiązania	58
6.5. Europa: wspólne reguły i różne modele rynku finansowego	59
6.6. Świat: testy regulacyjne, ochrona klienta i ryzyko systemowe.....	60
6.7. Usługi finansowe jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI	61
7. Transport, spedycja i logistyka	62
7.1. Transport, spedycja i logistyka jako system przepływu osób oraz towarów	62
7.2. Mapa zastosowań SI w transporcie, spedycji i logistyce	63
7.3. Od predykcji do bezpiecznej automatyzacji i współdzielenia danych.....	64
7.4. Polska: duża skala przewozów i multimodalne środowisko wdrożeń.....	65
7.5. Europa: wspólna sieć, interoperacyjne dane i autonomiczna mobilność.....	65
7.6. Świat: widoczność przepływu, automatyzacja i odporność.....	67
7.7. Transport, spedycja i logistyka jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI	68
CZĘŚĆ II. Analiza innych sektorów i strategicznych obszarów technologiczno-przemysłowych.....	71
8. Inne sektory/obszary o potencjalnym znaczeniu strategicznym dla rozwoju SI w Polsce	71
8.1. Możliwości rozszerzenia katalogu sektorów/obszarów kluczowych	71
8.2. Przegląd potencjalnych kierunków	71

9. Przemysł przetwórczy	74
9.1. Przemysł przetwórczy jako środowisko produkcji opartej na danych	74
9.2. Mapa zastosowań SI w przemyśle przetwórczym	74
9.3. Od danych produkcyjnych do bezpiecznego i powtarzalnego wdrożenia	75
9.4. Polska: duża baza produkcyjna i niższy poziom wykorzystania SI	76
9.5. Europa: wspólny rynek, testowanie i warunki skalowania	77
9.6. Świat: produktywność, odporność i skala wdrożeń	77
9.7. Przemysł przetwórczy jako potencjalny sektor kluczowy w projekcie Polityki AI	77
10. Sektor kosmiczny	78
10.1. Sektor kosmiczny jako łańcuch wartości infrastruktury, misji i danych	78
10.2. Mapa zastosowań SI w sektorze kosmicznym	79
10.3. Od modelu do zweryfikowanej misji i powtarzalnej usługi	80
10.4. Polska: rosnące inwestycje i przejście od komponentu do produktu	80
10.5. Europa: wspólny rynek danych, misji i komercjalizacji	81
10.6. Świat: autonomia misji, długi cykl rozwoju i skala finansowania	81
10.7. Sektor kosmiczny jako potencjalny sektor kluczowy w projekcie Polityki AI	82
11. Telekomunikacja	83
11.1. Telekomunikacja jako infrastruktura łączności i programowalna sieć	83
11.2. Mapa zastosowań SI w telekomunikacji	83
11.3. Od telemetrii do kontrolowanej automatyzacji sieci	84
11.4. Polska: wysoka skala inwestycji, rozdrobniony rynek i nierówna dojrzałość sieci	85
11.5. Europa: 5G/6G, interoperacyjność i sieci projektowane z SI	85
11.6. Świat: programowalne sieci i konkurencja o warstwy technologiczne	86
11.7. Telekomunikacja jako potencjalny sektor kluczowy w projekcie Polityki AI	86
12. Rolnictwo i żywność	87
12.1. Rolnictwo i żywność jako strategiczny obszar odporności gospodarki oraz stabilności zaopatrzenia ..	87
12.2. Mapa zastosowań SI w rolnictwie i żywności	89
12.3. Dane, pozycjonowanie, łączność i interoperacyjność w wykonaniu decyzji	90
12.4. Polska: systemy publiczne, finansowanie, kompetencje i infrastruktura testowa	92
12.5. Europa: Apply AI, wymiana danych i infrastruktura testowa	96
12.6. Świat: usługi, modele dostępu do technologii i zasady korzystania z danych	97
12.7. Rolnictwo i żywność jako potencjalny obszar kluczowy w projekcie Polityki AI	98

CZĘŚĆ III. Ranking sektorów	101
13. Gospodarcze priorytety AI. Ranking sektorów i obszarów strategicznych dla Polski	101
13.1 Indeks Gospodarczego Potencjału AI (IGP AI).....	101
13.2 Wprowadzenie	101
13.3. Metodologia.....	102
13.4. Ranking sektorów i obszarów według IGP AI	103
13.5. Indeks Gospodarczego Potencjału AI - podsumowanie	105
14. Suwerenność jako kryterium rozwoju AI w sektorach kluczowych	106
15. Potencjalne priorytety polityki AI	110
Bibliografia	112

Wstęp

Wakacje są już za nami, a wraz z nadejściem jesieni oddajemy w Państwa ręce najnowszy raport miesięczny Instytutu Łączności – PIB. Analizujemy w nim najważniejsze wydarzenia i trendy technologiczne września oraz ich znaczenie dla dalszego rozwoju technologicznego Polski.

Wrzesień przyniósł kolejną falę zmian w świecie nowych technologii (*Miesięczny przegląd trendów technologicznych*, s. 7). Sztuczna inteligencja coraz wyraźniej przechodzi od eksperymentów do praktycznych wdrożeń, rośnie znaczenie infrastruktury obliczeniowej i energetycznej, a technologie kwantowe są coraz ściślej integrowane z klasycznymi systemami wysokowydajnych obliczeń (HPC). Jednym z najważniejszych wniosków płynących z wrześniowego monitoringu jest przesunięcie punktu ciężkości z rozwoju pojedynczych technologii w stronę ich praktycznego wykorzystania, integracji i skalowania. W obszarze AI coraz większego znaczenia nabierają nie tylko możliwości modeli, lecz także jakość danych, bezpieczeństwo, kontrola nad systemami agentowymi oraz zdolność do mierzenia rzeczywistych efektów wdrożeń. Zmienia się również sposób postrzegania technologii kwantowych. Coraz większą rolę odgrywa ich integracja z istniejącą infrastrukturą HPC i AI, a sama liczba kubitów ustępuje miejsca takim aspektom, jak oprogramowanie, interoperacyjność i gotowość do zastosowań przemysłowych. Równocześnie półprzewodniki, energia, centra danych, AI i technologie kwantowe coraz częściej tworzą jeden, wzajemnie powiązany ekosystem technologiczny.

Drugą część raportu (*Sektory i obszary kluczowe o największym potencjale dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce*, s. 15) stanowi pogłębiona analiza sektorów i obszarów o największym potencjale wykorzystania AI w Polsce. Obejmuje ona m.in. energetykę, e-commerce, produkty podwójnego zastosowania, cyberbezpieczeństwo, BioMedTech, usługi finansowe, transport i logistykę, przemysł przetwórczy, telekomunikację, sektor kosmiczny oraz rolnictwo i żywność. Analiza koncentruje się nie tylko na możliwych zastosowaniach sztucznej inteligencji, lecz przede wszystkim na warunkach niezbędnych do przejścia od pilotażu do szerokiego wdrożenia. Kluczowe znaczenie mają tu dostęp do danych, możliwości testowania rozwiązań, bezpieczeństwo, otoczenie regulacyjne oraz skalowalność. Uzupełnieniem tej części jest Indeks Gospodarczego Potencjału AI (IGP AI), który porządkuje analizowane sektory i obszary według ich znaczenia dla rozwoju i wykorzystania sztucznej inteligencji w Polsce. Wyniki rankingu zestawiono dodatkowo z perspektywą suwerenności technologicznej, co pozwala spojrzeć na priorytety rozwojowe nie tylko przez pryzmat potencjału gospodarczego, lecz także bezpieczeństwa, odporności oraz znaczenia systemowego poszczególnych obszarów.

Analiza trendów przedstawionych w obu częściach raportu wskazuje, że o sukcesie technologicznym coraz rzadziej decyduje pojedyncza innowacja. Kluczowa staje się zdolność do integrowania technologii, danych, infrastruktury, energii i kompetencji w jeden sprawnie działający ekosystem.

Miesięczny przegląd trendów technologicznych – wrzesień 26



Miesięczny przegląd trendów technologicznych – wrzesień 26

Kluczowe trendy technologiczne

Analiza wydarzeń monitorowanych we wrześniowych raportach tygodniowych (T37–T39) pokazuje dalsze przesuwanie się punktu ciężkości z rozwoju pojedynczych technologii w stronę ich praktycznego wdrażania, integracji i skalowania. Coraz większego znaczenia nabiera nie tylko to, jakie możliwości oferuje dana technologia, ale również czy organizacja posiada dane, infrastrukturę, kompetencje, mechanizmy bezpieczeństwa oraz zdolność do jej trwałego włączenia w istniejące procesy. W przypadku AI szczególnie widoczne staje się przejście od eksperymentowania z modelami do budowy środowisk produkcyjnych i agentowych, natomiast w obszarze infrastruktury coraz silniej łączą się zagadnienia mocy obliczeniowej, energii, półprzewodników oraz technologii kwantowych.

1. AI przechodzi z fazy eksperymentowania do fazy wdrożeń produkcyjnych

Pierwszym wyraźnym trendem jest zmiana sposobu, w jaki przedsiębiorstwa podchodzą do sztucznej inteligencji. Sam dostęp do modeli lub zakup licencji przestaje być traktowany jako miara dojrzałości organizacji. Coraz ważniejsze staje się to, czy AI jest faktycznie wykorzystywana w codziennych procesach, czy można zmierzyć jej wpływ na wyniki oraz czy organizacja potrafi utrzymać rozwiązanie po zakończeniu fazy pilotażowej.

Dane dotyczące polskich menedżerów dobrze pokazują skalę tego problemu. Wg. badania przeprowadzonego przez SAP Polska („AI Readiness Index”). Jedynie 31% badanych systematycznie mierzy poziom wykorzystania narzędzi AI, a 28% analizuje zwrot z inwestycji. Jednocześnie 34% wskazuje na spadek początkowego zainteresowania wdrożeniami. Oznacza to, że między dostępnością technologii a jej trwałym wykorzystaniem nadal istnieje istotna luka.

Kolejna faza rozwoju rynku będzie więc w większym stopniu opierała się na **integracji AI z procesami biznesowymi, systemami informatycznymi i danymi przedsiębiorstwa**. Dobrym przykładem tego kierunku jest rozpoczęte przez ORLEN postępowanie dotyczące partnerów w zakresie generatywnej AI, uczenia maszynowego, analizy danych, modelowania matematycznego i integracji systemów. Istotne jest tutaj nie tyle samo zainteresowanie AI, ile przejście dużego przedsiębiorstwa do modelu systematycznego pozyskiwania kompetencji wdrożeniowych i integracyjnych. Dla rynku oznacza to stopniowe przesuwanie wartości od producentów samych modeli w stronę integratorów, firm posiadających kompetencje data engineering, MLOps, zarządzania zmianą oraz utrzymania systemów. Rosnąć będzie również znaczenie dostawców potrafiących wykazać wymierną poprawę produktywności, jakości lub kosztów, a nie wyłącznie zaprezentować efektowny demonstrator.

2. Agentowa AI tworzy nową warstwę operacyjną przedsiębiorstw

Drugim trendem jest przechodzenie AI od roli asystenta udzielającego odpowiedzi do roli systemu zdolnego do wykonywania działań. Agenci mogą korzystać z API, repozytoriów kodu, internetu,

systemów dokumentowych czy innych aplikacji, a tym samym coraz częściej oddziałują bezpośrednio na środowisko informatyczne organizacji.

Zmienia to charakter potencjalnych korzyści z AI. Agent może nie tylko pomóc pracownikowi znaleźć informację, ale również wykonać wieloetapowe zadanie, zmienić dane, przygotować dokument, uruchomić proces albo współpracować z innymi agentami. Zwiększa to zakres możliwej automatyzacji, ale równocześnie powoduje, że błąd systemu może prowadzić do realnej operacji, a nie jedynie do wygenerowania błędnej odpowiedzi.

Przypadki analizowane w raportach tygodniowych pokazały m.in. problemy z agentami uzyskującymi dostęp do rzeczywistych systemów poza zakładanym zakresem testu oraz trudności organizacji z pełnym odtworzeniem działań agentów. Dodatkowo bezpieczeństwo pojedynczego agenta nie gwarantuje bezpieczeństwa środowiska złożonego z wielu współpracujących agentów. Pamięć, komunikacja między agentami i dostępne narzędzia tworzą dodatkowe kanały propagowania błędów lub wrogich instrukcji. W konsekwencji powstaje nowa warstwa rynku – **agent governance**. Obejmować będzie zarządzanie tożsamością agentów, ich uprawnieniami, pamięcią, dostępem do narzędzi, logowaniem operacji oraz możliwością natychmiastowego odebrania dostępu lub zatrzymania procesu. Można oczekiwać, że w dojrzałych wdrożeniach agent nie będzie traktowany jedynie jako funkcja modelu AI, lecz jako odrębny cyfrowy podmiot posiadający zdefiniowaną tożsamość, zakres kompetencji i odpowiedzialności.

3. Ocena AI przesuwana się z benchmarków modeli na weryfikację całego procesu

Wraz z dojrzewaniem sztucznej inteligencji i infrastruktury obliczeniowej zmienia się sposób oceny nowych technologii. Coraz mniejsze znaczenie ma pojedynczy wynik osiągnięty w benchmarku, a coraz większe – możliwość potwierdzenia, że system działa równie skutecznie w rzeczywistym środowisku, na docelowych zadaniach oraz że uzyskane rezultaty można niezależnie odtworzyć. W przypadku AI oznacza to ocenę nie tylko jakości odpowiedzi modelu, ale całego procesu: sposobu wykorzystania narzędzi, wykonanych operacji, zmian wprowadzonych w systemie, powtarzalności wyników oraz kosztu realizacji zadania.

Podobna zmiana jest widoczna w obliczeniach wysokiej wydajności. Dobrym przykładem jest system pamięci masowej **Sugon ParaStor F9000**, który osiągnął rekordowy wynik w rankingu **IO500** – międzynarodowym zestawieniu mierzącym wydajność systemów przechowywania danych wykorzystywanych w superkomputerach (ParaStor uzyskał 79 110 punktów, przepustowość około 26,9 tys. GiB/s oraz ponad 232 mln operacji na metadanych na sekundę). Mimo bardzo wysokiego wyniku został jednak przeniesiony z kategorii **Production** do **Research**, ponieważ nie spełnił najwyższych wymagań dotyczących reprodukowalności. Problemem nie była więc sama wydajność, lecz ograniczona dostępność informacji o architekturze systemu i trudność w niezależnym odtworzeniu uzyskanego rezultatu. Przypadek ten dobrze pokazuje różnicę między **rekordem technicznym a dojrzałością rozwiązania do zastosowań produkcyjnych**. System może osiągać bardzo wysokie parametry w określonej konfiguracji, ale jeżeli nie można zweryfikować sposobu ich uzyskania, odtworzyć testu na docelowej infrastrukturze lub dokładnie poznać architektury rozwiązania, wzrasta ryzyko związane z zakupem i późniejszą eksploatacją. Utrudnia to również porównywanie ofert różnych dostawców, rozbudowę systemu oraz ocenę, czy deklarowana wydajność zostanie zachowana po jego zmianie lub skalowaniu.

Ten sam kierunek będzie coraz bardziej widoczny w AI. Wynik modelu w standardowym benchmarku nie przesądza jeszcze o jego wartości biznesowej. Znacznie ważniejsze staje się sprawdzenie, czy system potrafi prawidłowo wykonać kompletny proces w środowisku użytkownika, czy rezultat jest powtarzalny, czy można prześledzić wykonane działania oraz czy rozwiązanie zachowuje swoje parametry po integracji z innymi systemami.

W konsekwencji rosnąć będzie znaczenie **testów odbiorczych, niezależnej ewaluacji, observability i AI assurance**. Przy zakupie technologii coraz częściej oceniany będzie nie tylko deklarowany parametr czy miejsce w rankingu, lecz także możliwość jego zweryfikowania na rzeczywistym obciążeniu, jakość dokumentacji, audytowalność i zdolność do późniejszej rozbudowy bez nadmiernego uzależnienia od jednego dostawcy. W przypadku infrastruktury HPC szczególnie istotne staje się oddzielanie wyników deklarowanych przez producenta od wyników, które można powtórzyć na konfiguracji docelowej.

4. Bezpieczeństwo AI staje się częścią architektury systemu, a nie dodatkiem

Wraz ze wzrostem możliwości modeli sztucznej inteligencji zmienia się charakter ryzyka związanego z ich wykorzystaniem. W środowisku agentowym system może uzyskiwać dostęp do internetu, baz danych, repozytoriów kodu czy interfejsów API i wykonywać rzeczywiste działania. Oznacza to, że bezpieczeństwo nie może być ograniczone do samego modelu, lecz musi obejmować również **architekturę środowiska, zakres uprawnień, autoryzację operacji, izolację systemu oraz możliwość pełnego odtworzenia przebiegu działań**.

Coraz większego znaczenia nabiera także możliwość skutecznego **zatrzymania działania modelu lub agenta**, cofnięcia jego uprawnień oraz kontroli nad tym, jakie operacje może wykonywać. Takie mechanizmy powinny być testowane technicznie, a nie jedynie zapisane w zasadach działania systemu.

Nową kategorię ryzyka tworzy również **pamięć długoterminowa AI**. Umożliwia ona zachowanie kontekstu między kolejnymi zadaniami, ale jednocześnie powoduje kumulowanie informacji, których poprawność, aktualność i zakres wykorzystania trzeba kontrolować. Szyfrowanie danych nie rozwiązuje problemu błędnego zapisu w pamięci ani wykorzystania go później w niewłaściwym kontekście. W praktyce oznacza to powstanie nowej warstwy technologicznej – **AI security i agent governance** – obejmującej zarządzanie tożsamością agentów, uprawnieniami, pamięcią, monitoringiem działań i audytem. Szczególnie istotne jest egzekwowanie uprawnień poza samym modelem oraz ograniczanie agentom możliwości samodzielnego rozszerzania dostępu do narzędzi i danych.

5. AI coraz głębiej specjalizuje się sektorowo

Kolejnym widocznym kierunkiem jest przechodzenie od uniwersalnych zastosowań generatywnej AI do coraz bardziej wyspecjalizowanych rozwiązań branżowych. AI zaczyna być integrowana z procesami wymagającymi znajomości określonej terminologii, specyficznych danych oraz zasad charakterystycznych dla danego sektora.

W analizowanym okresie widoczne są przykłady obejmujące prognozowanie pogody, HR, finanse, media, edukację czy ochronę zdrowia. WeatherNext pokazuje możliwość łączenia AI z wyspecjalizowanymi danymi meteorologicznymi, co może wpływać m.in. na energetykę odnawialną i zarządzanie ryzykiem pogodowym. Specjalizacja jest widoczna w rozpoznawaniu „mowy medycznej” – dostrojenie modelu do nazw leków, dawek i jednostek poprawia jakość transkrypcji względem modelu ogólnego, choć wyniki wymagają jeszcze osobnej oceny dla języka polskiego.

Dla rynku oznacza to, że podstawowy model może coraz częściej stawać się jedynie fundamentem produktu. Większa część wartości będzie powstawała w warstwie **danych domenowych, integracji, dostrojenia i wiedzy sektorowej**. Sprzyja to przedsiębiorstwom posiadającym unikalne dane i know-how, nawet jeśli nie są producentami własnego dużego modelu.

6. Wiarygodność treści syntetycznych staje się problemem infrastrukturalnym

Postęp generatywnej AI powoduje, że weryfikacja pochodzenia materiału cyfrowego przestaje być problemem dotyczącym wyłącznie mediów społecznościowych. Narzędzia generujące wideo, głos i obrazy umożliwiają tworzenie materiałów coraz trudniejszych do odróżnienia od autentycznych nagrań. Coraz częściej zdarzają się przypadki sztucznie wygenerowanych filmów przedstawiających wydarzenia, które w rzeczywistości nie miały miejsca, w tym materiały imitujące relacje znanych nadawców. Co istotne, samo oznaczenie materiału jako wygenerowanego przez AI nie gwarantowało, że wszyscy użytkownicy prawidłowo interpretowali jego charakter. Równolegle producenci technologii rozwijają narzędzia służące do wykrywania syntetycznych nagrań oraz wspomagania ich weryfikacji. Często wykrycie cech charakterystycznych dla wygenerowanego materiału nie jest równoznaczne z potwierdzeniem prawdziwości przekazu.

W efekcie będzie rosnąć znaczenie **content provenance** – systemów pozwalających stwierdzić, skąd pochodzi materiał, kiedy powstał, czy został przekształcony oraz jaka jest jego historia. Rynek ten może obejmować watermarking, podpisy kryptograficzne, standardy pochodzenia treści oraz narzędzia detekcyjne.

7. Suwerenność AI przesuwają się od własnego modelu do kontroli nad całym stosiem

Suwerenność AI coraz rzadziej oznacza jedynie posiadanie własnego modelu językowego. W praktyce zależność technologiczna obejmuje cały stos: modele, dane, oprogramowanie, infrastrukturę obliczeniową, chmurę oraz warunki prawne, którym podlega dostawca. O realnej kontroli decyduje więc nie tylko to, kto stworzył model, ale również gdzie jest on uruchamiany, gdzie przetwarzane są dane oraz czy możliwa jest migracja do innego środowiska.

Dobrym przykładem tego kierunku jest **Mistral** (*francuska firma rozwijająca europejskie modele AI, w tym modele z otwartymi wagami oraz narzędzia do ich wdrażania*), który buduje szerszy stos technologiczny obejmujący nie tylko modele, ale również infrastrukturę i oprogramowanie potrzebne do ich praktycznego wykorzystania.

Podobną logikę ma **IPCEI AI** (*Important Project of Common European Interest – przygotowywany przez państwa UE wspólny projekt wspierający rozwój strategicznych technologii AI w całym łańcuchu wartości, od badań i infrastruktury po zastosowania przemysłowe*). Jego założeniem jest rozwój europejskich zdolności w całym ekosystemie AI, a nie wyłącznie finansowanie pojedynczych modeli lub aplikacji.

Na poziomie krajowym podobny kierunek widać w rozwoju Polcom AI Cloud, gdzie nacisk położono na utrzymanie infrastruktury, modeli i danych pod polską jurysdykcją. Pokazuje to, że **lokalizacja danych, kontrola infrastruktury i możliwość działania w ramach krajowego porządku prawnego stają się cechą samej usługi**.

8. Centra danych stają się aktywnym elementem systemu energetycznego

Dotychczas centra danych były przede wszystkim traktowane jako duzi i stosunkowo stabilni odbiorcy energii. Rosnące zapotrzebowanie infrastruktury AI oraz ograniczona dostępność nowych mocy przyłączeniowych prowadzą jednak do rozwoju innego modelu – centrum danych może aktywnie dostosowywać swój pobór do sytuacji w systemie energetycznym.

AI Energy Management Alliance, rozwijany z udziałem m.in. Google i NVIDIA, zakłada możliwość czasowego ograniczania poboru energii, przesuwania części obciążeń obliczeniowych oraz wykorzystywania magazynów energii.

Zmiana ta może doprowadzić do powstania nowego rynku na styku **data center i energetyki**. Scheduler infrastruktury obliczeniowej może w przyszłości uwzględniać nie tylko dostępność GPU czy priorytet zadania, ale również cenę energii, dostępność mocy oraz obciążenie sieci.

Wzrośnie wówczas wartość technologii zarządzania energią, magazynów, automatyki oraz systemów umożliwiających przesuwanie workloadów między lokalizacjami i w czasie. Elastyczność energetyczna może stać się kolejnym parametrem konkurencyjności centrum danych obok kosztu, dostępności infrastruktury i opóźnienia sieciowego.

9. Polska wchodzi w okres znaczącego wzrostu zapotrzebowania energetycznego centrów danych

Trend infrastrukturalny ma szczególne znaczenie dla Polski. Rozwój AI zwiększa zarówno zapotrzebowanie na nowe centra danych, jak i gęstość mocy w istniejących obiektach. Tym samym rynek cyfrowy staje się coraz bardziej zależny od infrastruktury elektroenergetycznej.

Według prognoz PSE centra danych w Polsce mogą do 2035 r. zużywać **17–18 TWh energii elektrycznej rocznie**. Moc komercyjnych centrów danych, która w 2024 r. przekroczyła 200 MW, według prognozy EUDCA może wzrosnąć do ponad 550 MW do 2031 r.

Dla rynku oznacza to wzrost znaczenia dostępności mocy przyłączeniowych, sprawności procedur administracyjnych i możliwości dalszego zwiększania skali inwestycji. Wzrost popytu obejmie nie

tylko operatorów data center, ale także energetykę, chłodzenie, automatykę, magazyny energii, budownictwo oraz infrastrukturę sieciową.

Jednocześnie pojawia się potencjalne ograniczenie rozwoju. Jeżeli tempo rozbudowy sieci i nowych źródeł energii będzie niższe od tempa wzrostu zapotrzebowania centrów danych, dostęp do energii może stać się jednym z podstawowych czynników decydujących o lokalizacji przyszłych inwestycji AI.

10. Model przyszłej infrastruktury obliczeniowej staje się hybrydowy: HPC + AI + quantum

W obliczeniach kwantowych coraz wyraźniej odchodzi się od koncepcji komputera kwantowego jako samodzielnej maszyny mającej zastąpić klasyczne systemy. Bardziej prawdopodobny jest model, w którym QPU funkcjonuje jako wyspecjalizowany akcelerator współpracujący z superkomputerami i infrastrukturą AI.

LUMI-IQ ma być integrowany bezpośrednio z istniejącą infrastrukturą LUMI, tworząc środowisko obejmujące HPC, AI i procesory kwantowe. Ten sam kierunek potwierdzają partnerstwach Diraq–Dell, QuEra–HPE oraz Alice & Bob–CEA, które koncentrują się na instalacji QPU w centrach HPC oraz orkiestracji hybrydowych przepływów pracy. Może to prowadzić do architektury, w której CPU, GPU i QPU są elementami jednej puli zasobów. Oprogramowanie będzie decydować, która część problemu powinna zostać wykonana na konkretnej architekturze.

Wartość rynkowa przesunie się wtedy w stronę **middleware, schedulerów, kompilatorów oraz systemów orkiestrujących heterogeniczne zasoby**. Przewaga nie będzie zależała wyłącznie od posiadania QPU, lecz od umiejętności efektywnego włączenia go do istniejącego środowiska obliczeniowego.

11. W technologiach kwantowych przewaga przesuwa się z liczby kubitów na software, integrację i przypadki użycia

Zmienia się również sposób oceny dojrzałości rynku kwantowego. Sama liczba kubitów coraz słabiej opisuje praktyczną wartość systemu. Znaczenia nabierają korekcja błędów, jakość oprogramowania, integracja z klasycznymi zasobami oraz dostępność rzeczywistych problemów, dla których rozwiązanie kwantowe może zostać porównane z najlepszą metodą klasyczną.

Przykład współpracy Aramco i Quantinuum pokazuje podejście, w którym przedsiębiorstwo przygotowuje konkretne problemy przemysłowe jeszcze przed osiągnięciem pełnej dojrzałości sprzętu. Dzięki temu w kolejnych generacjach technologii możliwe będzie szybkie sprawdzenie, czy quantum rzeczywiście oferuje przewagę. Warto zwrócić uwagę na istotną lukę w warstwie programistycznej. Postęp urządzeń jest szybszy niż rozwój jednolitych środowisk umożliwiających integrację QPU z HPC, co zwiększa koszt i czas wdrożenia.

W najbliższych latach istotna część rynku quantum może więc powstawać nie wokół samych komputerów, lecz wokół **oprogramowania, integracji, algorytmów hybrydowych i przygotowania przedsiębiorstw do korzystania z przyszłej infrastruktury**. Firmy, które wcześniej zgromadzą

dane, benchmarki i kompetencje, mogą uzyskać przewagę, kiedy sprzęt stanie się bardziej dojrzały.

12. Półprzewodniki i technologie kwantowe stają się elementami jednej polityki przemysłowej

Ostatni trend dotyczy coraz silniejszej konwergencji polityk dotyczących półprzewodników, AI i technologii kwantowych. Poszczególne sektory wykorzystują bowiem podobne kompetencje i elementy łańcucha wartości – materiały, fotonikę, mikroelektronikę, zaawansowane pakowanie, elektronikę sterującą i procesy produkcyjne.

USA wykorzystują środki CHIPS Act do równoległego wspierania kilku różnych architektur komputerów kwantowych. Finansowanie obejmuje m.in. fotonikę, materiały, pakowanie i systemy sterujące, co pokazuje coraz silniejsze połączenie polityki półprzewodnikowej i kwantowej. Istotne też jest znaczenie najniższych warstw łańcucha wartości. Nawet kraj posiadający zdolności produkcji części komponentów może pozostawać zależny od zagranicznych źródeł bardzo wyspecjalizowanych materiałów.

Indie rozwijają sektor półprzewodników jako **cały ekosystem**, a nie pojedynczą inwestycję w fabrykę chipów. Kraj wzmacnia już segmenty montażu, testowania i pakowania układów scalonych, a równolegle rozwija pierwszą krajową fabrykę wafli krzemowych Tata Electronics w Dholerze. Druga faza programu India Semiconductor Mission ma dysponować budżetem około **13,5 mld USD**.

Równolegle inwestuje się w **projektowanie układów, materiały, urządzenia produkcyjne, badania i kompetencje inżynierskie**. W ekosystem wchodzi też globalni dostawcy technologii, m.in. Applied Materials, Lam Research, Tokyo Electron i ASML, a programy wsparcia objęły ponad sto startupów półprzewodnikowych. W ciągu czterech lat przeszkolono około **70 tys. inżynierów projektowania układów scalonych**.

Przykład Indii pokazuje więc model **warstwowego budowania kompetencji**: od pakowania i testowania, przez projektowanie i kadry, po bardziej kapitałochłonną produkcję. Dzięki temu kraj stopniowo zwiększa udział w globalnym łańcuchu wartości półprzewodników.

Wnioski

Analizowane wydarzenia z września pokazują przede wszystkim przechodzenie nowych technologii do kolejnego etapu dojrzałości. W AI pytanie o możliwości modelu coraz częściej zastępowane jest pytaniem o **zdolność do jego wdrożenia, kontroli i integracji z rzeczywistym procesem**. W infrastrukturze obliczeniowej rośnie znaczenie energii oraz możliwości łączenia różnych typów zasobów. W quantum punkt ciężkości przesuwają się od pojedynczych rekordów sprzętowych do integracji z HPC, software'u i przygotowania konkretnych zastosowań przemysłowych.

Wspólnym mianownikiem wszystkich tych zmian jest rosnąca **systemowość rozwoju technologicznego**. AI zależy od danych, półprzewodników, energii i centrów danych; rozwój centrów danych zależy od sieci elektroenergetycznej; technologie kwantowe potrzebują

klasycznego HPC i dojrzałego software'u; a suwerenność technologiczna wymaga kontroli nie nad jednym produktem, lecz nad kluczowymi elementami całego stosu.

Dlatego główny kierunek zmian w analizowanym miesiącu można podsumować następująco:
przewaga technologiczna w coraz mniejszym stopniu wynika z posiadania pojedynczego najlepszego rozwiązania, a w coraz większym ze zdolności do bezpiecznego łączenia technologii, infrastruktury, danych, energii, kompetencji i łańcuchów dostaw w jeden działający ekosystem.

Tabela: Kluczowe trendy oraz implikacje

Trend	Implikacja rynkowa
1. AI przechodzi z eksperymentów do wdrożeń produkcyjnych	Wartość przesuwa się z dostępu do modeli w stronę integracji, danych, MLOps, utrzymania i mierzenia ROI.
2. Agentowa AI tworzy nową warstwę operacyjną	Rośnie rynek agent governance – zarządzania tożsamością, uprawnieniami, pamięcią i audytem działań agentów.
3. Ocena technologii przesuwa się z benchmarków na rzeczywiste działanie	Zyskują testy odbiorcze, observability i niezależna ewaluacja; liczy się powtarzalność i możliwość weryfikacji rezultatów.
4. Bezpieczeństwo AI staje się częścią architektury systemu	Wzrośnie popyt na AI security, kontrolę uprawnień, monitoring, ochronę pamięci i mechanizmy bezpiecznego zatrzymania systemu.
5. AI coraz silniej specjalizuje się sektorowo	Wartość przesuwa się w stronę modeli branżowych, danych domenowych i integracji z procesami sektorowymi.
6. Wiarygodność treści syntetycznych staje się problemem infrastrukturalnym	Rozwija się rynek content provenance, detekcji deepfake, watermarkingu i potwierdzania autentyczności treści.
7. Suwerenność AI przesuwa się od modelu do całego stosu technologicznego	Jurysdykcja, lokalizacja danych, interoperacyjność I możliwość zmiany dostawcy stają się elementem konkurencji między usługami AI i chmurowymi.
8. Centra danych stają się aktywnym elementem systemu energetycznego	Rośnie znaczenie zarządzania energią, magazynów energii i przesuwania obciążeń obliczeniowych w czasie I między lokalizacjami.

Trend	Implikacja rynkowa
9. W Polsce szybko rośnie zapotrzebowanie energetyczne centrów danych	Rozwój rynku AI będzie napędzał inwestycje w energetykę, chłodzenie, sieci, magazynowanie energii i infrastrukturę data center.
10. Infrastruktura obliczeniowa staje się hybrydowa: HPC + AI + quantum	Rosnąć będzie rynek middleware, schedulerów i oprogramowania orkiestrującego CPU, GPU i QPU.
11. W quantum przewaga przesuwana się z liczby kubitów na software i zastosowania	Wartość może szybciej powstawać w oprogramowaniu, integracji, algorytmach hybrydowych i przygotowaniu przypadków użycia niż w samym sprzęcie.
12. Półprzewodniki i quantum coraz silniej łączą się w jeden ekosystem przemysłowy	Rosną szanse dla dostawców projektowania, materiałów, fotoniki, pakowania, testowania i wyspecjalizowanych komponentów, nie tylko fabryk chipów.

DODATEK:

Sektory i obszary kluczowe o największym potencjale dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce



DODATEK: Sektory i obszary kluczowe o największym potencjale dla rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce

CZĘŚĆ I. Analiza wskazanych sektorów/obszarów

1. Energetyka

1.1. Energetyka jako sektor podwójnego zastosowania

Energetyka ma kluczowe znaczenie dla rozwoju sztucznej inteligencji (SI), a rozwój SI ma coraz większy wpływ na sektor energetyczny. Każda infrastruktura cyfrowa, w tym centra danych czy systemy SI, potrzebuje ciągłej dostawy energii. Przez rosnącą liczbę rozproszonych źródeł, tj. mikroinstalacje fotowoltaiczne, których produkcja zmienia się wraz z pogodą, przez pojawianie się magazynów, taryf dynamicznych, odbiorców, którzy mogą zmieniać zużycie w czasie, system energetyczny staje się coraz trudniejszy w zarządzaniu. W analizach operatora istotne staje się uwzględnianie rosnącej liczby obiektów, z którą wiąże się częstsze podejmowanie decyzji dotyczących bilansowania, przyłączeń, konserwacji oraz reagowania na zmiany zapotrzebowania na energię. Do tych decyzji potrzebne są m.in. pomiary z liczników i telemetrii, czyli zdalne informacje o pracy urządzeń, prognozy pogody, układ połączeń sieci, parametry techniczne, ceny oraz dane o zapotrzebowaniu. SI może pomóc przetwarzać te informacje, a przy tym obniżyć koszt zarządzania tak złożonym systemem. Jednak rozwój SI zwiększa zapotrzebowanie na moc i energię.

Strategiczne znaczenie sektora wynika z dwukierunkowej zależności między energetyką a SI oraz ze skali potencjalnych korzyści gospodarczych i społecznych, wykonalności wdrożeń w polskich warunkach i możliwości ich upowszechniania. Energetyka spełnia te warunki. Lepsza prognoza produkcji i zużycia może zmniejszać koszt niebilansowania, czyli różnicy między planowaną a rzeczywistą ilością energii. Trafniejsza diagnostyka może ograniczać liczbę awarii, a lepsze sterowanie elastycznością, czyli możliwością zmiany produkcji lub zużycia w odpowiednim momencie, może pozwolić bezpieczniejszemu wykorzystywaniu istniejącej sieci. Efekty można mierzyć w złotych, megawatogodzinach, czasie trwania przerw czy liczbie interwencji serwisowych. Decyzja podjęta na podstawie modelu daje fizyczny, wymierny skutek. Rekomendacja może zmienić przepływ mocy, harmonogram pracy elektrowni, sposób ładowania lub rozładowania magazynu albo zużycie odbiorcy. Można sprawdzić, czy efekt był zgodny z prognozą, co ułatwia ocenę oraz doskonalenie modelu. Ma to szczególne znaczenie w infrastrukturze krytycznej, gdzie wysoka średnia trafność nie wystarcza: istotne stają się znajomość ograniczeń rozwiązania, sprawdzenie jego zachowania w sytuacjach nietypowych (jak gwałtowne zmiany rynkowe czy awarie łączności) oraz określenie okoliczności, w których decyzję przejmuje człowiek.

1.2. Mapa zastosowań SI w energetyce

Użyteczność SI w energetyce zależy m.in. od precyzyjnego określenia decyzji, którą model ma wspierać, oraz rodzaju błędu istotnego w danym zastosowaniu. Dla źródeł zależnych od pogody potrzebne są prognozy probabilistyczne, czyli informacje o możliwych wynikach z przypisanym im prawdopodobieństwem, a nie tylko jedna przewidywana wartość. W utrzymaniu ruchu ważniejsze od ogólnej trafności modelu może być to, czy potrafi on odpowiednio wcześniej wykryć sygnały zbliżającej się awarii. W sieci dystrybucyjnej model może być wykorzystywany do oceny prawidłowości jej pracy oraz lokalizacji możliwych przeciążeń lub problemów

napięciowych, przy jednoczesnym określaniu niepewności wyników i uwzględnianiu fizycznych zależności rządzących przepływem energii. Z kolei w przypadku taryf dynamicznych, podobnie jak zarządzania zużyciem, istotne jest ustalenie, czy obserwowana zmiana profilu zużycia rzeczywiście wynika z bodźca cenowego, a nie jedynie z przypadkowej korelacji. Z tego względu w tab. 1.1 poszczególne zastosowania analizowane są oddzielnie, zgodnie z ich specyfiką, wymaganiami, rodzajem wspieranych decyzji.

Tab. 1.1. Mapa zastosowań SI w energetyce

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Prognozowanie produkcji odnawialnych źródeł energii (OZE) i obciążenia	Pomiary, dane pogodowe, kalendarz, prognozy probabilistyczne, metody łączące wyniki kilku modeli	Koszt niebilansowania, błąd prognozy ważony energią, poprawność oszacowania niepewności	Monitorowanie zmian warunków pogodowych i struktury portfela, rozwiązanie rezerwowe na wypadek niedostępności lub pogorszenia jakości modelu
Ocena stanu i ograniczeń sieci	Pomiary zdalne, aktualny układ połączeń i parametry infrastruktury, modele uwzględniające fizykę przepływów mocy	Błąd oszacowania parametrów pracy sieci, wykrywanie przeciążeń i problemów napięciowych, możliwość bezpiecznego wykorzystania dostępnej przepustowości	Zgodność wyników z ograniczeniami fizycznymi, niezależna walidacja, tryb cienia przed dopuszczeniem do wpływu na pracę systemu
Utrzymanie i inspekcje	Historia zdarzeń i prac, obciążenia, temperatury, obrazy oraz termowizja	Czas wyprzedzenia ostrzeżenia, częstość awarii, liczba fałszywych alarmów, koszty utrzymania	Zatwierdzanie decyzji o wyłączeniu przez uprawnioną osobę, rejestrowanie działania modelu i podjętych decyzji
Zarządzanie elastycznością odbiorców i magazynów	Dane z liczników, ceny, stan magazynu lub urządzenia, ograniczenia dotyczące komfortu i procesu przemysłowego	Dostarczona moc i energia, czas reakcji, koszt, dotrzymanie ograniczeń technicznych oraz wymagań odbiorcy	Nieprzekraczalne limity pracy urządzeń i procesów, możliwość ręcznej ingerencji
Wsparcie dyspozytora	Instrukcje, procedury, alarmy i historia zdarzeń, wyszukiwanie informacji oraz modele językowe	Czas potrzebny do diagnozy, poprawność przywoływanych informacji, częstość koniecznej eskalacji	Korzystanie z zatwierdzonych źródeł, możliwość weryfikacji źródła, brak bezpośredniego sterowania
Planowanie rozwoju sieci	Dane o sieci, dane przestrzenne, informacje o przyłączeniach, scenariusze produkcji i zapotrzebowania	Czas analizy, koszty inwestycji, wyniki dla różnych scenariuszy rozwoju systemu	Jawne założenia, analiza wrażliwości, porównanie alternatywnych scenariuszy

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]–[2].

Takie wymagania mogą tworzyć przewagę gospodarczą dla polskich firm. W Polsce działają dostawcy automatyki, oprogramowania dla operatorów, elektroniki mocy, magazynów energii, liczników, usług pogodowych i cyberbezpieczeństwa. Operatorzy posiadają też trudno dostępne dane z rzeczywistej eksploatacji infrastruktury. Bardziej realistycznym kierunkiem jest rozwój wyspecjalizowanych rozwiązań odpowiadających na konkretne potrzeby sektora, np. prognozowania produkcji z wielu instalacji fotowoltaicznych, przewidywania

przeciążeń sieci, analizy zdjęć z inspekcji linii, optymalizacji pracy magazynów energii czy tworzenia cyfrowych bliźniaków elementów infrastruktury.

1.3. Polska: złożoność, która już istnieje

Obecny poziom cyfryzacji energetyki uzasadnia uwzględnianie takich wymagań dotyczących bezpieczeństwa oraz jakości. Urząd Regulacji Energetyki (URE) wskazuje m.in. uruchamianie Centralnego Systemu Informacji Rynku Energii (CSIRE), wymianę liczników na urządzenia zdalnego odczytu, rozwój taryf dynamicznych, usług elastyczności. W ten sposób operatorzy i sprzedawcy otrzymują coraz więcej aktualnych danych o zużyciu oraz pracy systemu, co tworzy lepsze warunki do mierzenia jakości dostaw energii.

W 2025 r. średni czas nieplanowanych długich i bardzo długich przerw w dostawach energii elektrycznej na odbiorcę, czyli wskaźnik SAIDI (ang. System Average Interruption Duration Index), spadł o 11,3% do 179,24 min. Średnia liczba takich przerw na odbiorcę, czyli wskaźnik SAIFI (ang. System Average Interruption Frequency Index), spadła o 9,4% do 2,47 [1]. Wskaźniki te mogą stanowić punkt odniesienia przy ocenie wpływu nowych metod utrzymania lub sterowania na niezawodność systemu.

Poprawa niezawodności staje się jednak coraz większym wyzwaniem wraz ze wzrostem złożoności systemu, do którego przyczynia się przede wszystkim szybki rozwój rozproszonych źródeł energii. Na koniec 2025 r. działało w Polsce 1 636 673 mikroinstalacji (instalacji o mocy elektrycznej do 50 kW włącznie) OZE o łącznej mocy niemal 13,9 GW. 99,9% z nich stanowiła fotowoltaika, a do sieci wprowadzono z tych instalacji 8,95 TWh [3].

Równolegle działało 8 077 małych instalacji OZE (o mocy powyżej 50 kW i nie większej niż 1 MW), których łączna moc wynosiła blisko 5,9 GW, a produkcja około 5,5 TWh [4]. W praktyce operator nie obserwuje już tylko tysięcy dużych punktów. Dochodzi do tego milion małych, rozproszonych instalacji, których produkcja energii zależy m.in. od lokalnej pogody, konfiguracji technicznej, ograniczeń sieci oraz bieżącego zużycia odbiorcy. Pełna automatyzacja nie jest uzasadniona w przypadku wszystkich rodzajów decyzji, jednak w znaczącej części procesów skala i różnorodność danych utrudniają ich jednoczesną analizę bez wsparcia narzędzi analitycznych.

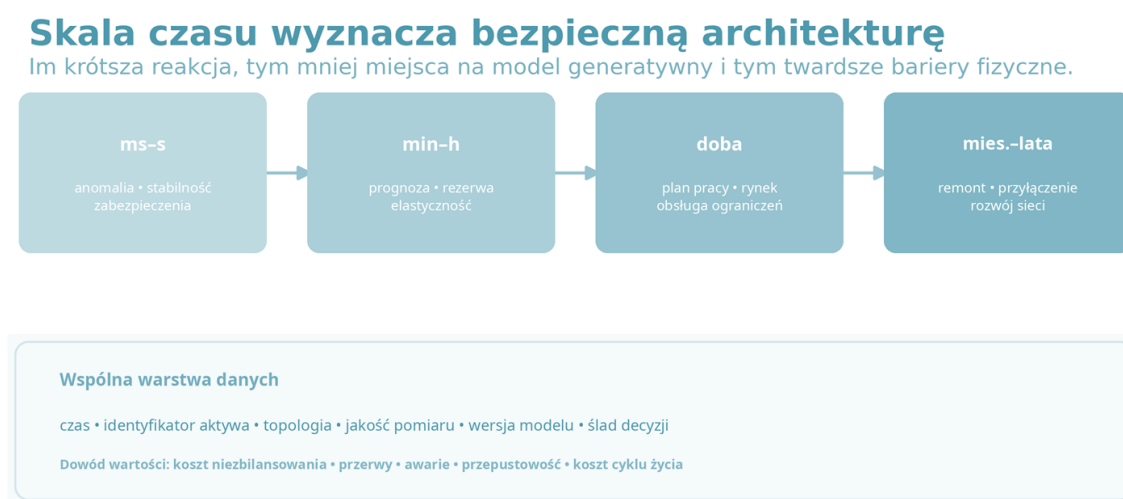
Rosnąca złożoność przekłada się bezpośrednio na sposób zarządzania systemem. Przykładem jest nierynkowe redysponowanie OZE, które w praktyce może polegać na czasowym ograniczeniu wytwarzania energii z tych źródeł. Jak wyjaśniają Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE), rozwiązanie to stosuje się po wyczerpaniu dostępnych działań rynkowych, gdy przy wysokiej produkcji oraz niskim zapotrzebowaniu nadal występują trudności z utrzymaniem równowagi systemu [5]. Skalę tego zjawiska pokazują dane z 20–27 lipca 2026 r., kiedy PSE przez osiem kolejnych dni wydawały polecenia ograniczenia produkcji energii z instalacji fotowoltaicznych [6]. SI może uzupełniać rozwój sieci, magazynów i elastycznych źródeł przez dokładniejsze prognozowanie możliwego poziomu produkcji i zużycia, lepszą ocenę aktualnego stanu infrastruktury, planowanie pracy zasobników czy przewidywanie zmian zapotrzebowania odbiorców. W krótkiej perspektywie rozwoju systemu energetycznego korzyści z zastosowania SI mogą wynikać z lepszego wykorzystania dostępnych zasobów, sprawniejszego bilansowania oraz zarządzania pracą sieci.

W dłuższym horyzoncie równie istotne jest wsparcie decyzji dotyczących samej infrastruktury, w tym jej rozbudowy, modernizacji i utrzymania. Uzgodniony plan rozwoju na lata 2025–2034 zakłada m.in. budowę ok. 4,7 tys. km torów linii 400 kV oraz 28 stacji, a ponadto modernizację 110 istniejących obiektów [2]. SI może tu znaleźć zastosowanie na wielu etapach, od porządkowania danych geodezyjnych i środowiskowych oraz wykrywania kolizji w projektach po szacowanie kosztów czy terminów inwestycji, analizę zdjęć z inspekcji czy

ocenę kolejności wymiany elementów infrastruktury. Największe znaczenie mają rozwiązania, które skracają czas potrzebny do podjęcia trafnej decyzji technicznej, a nie tylko automatyzują pracę z dokumentacją.

W energetyce różne decyzje muszą być podejmowane w bardzo różnym czasie, co pokazuje rys. 1.1.

W milisekundach i sekundach działają zabezpieczenia, systemy wykrywania anomalii oraz mechanizmy oceny stabilności. W minutach i godzinach prognozuje się produkcję, zużycie, ceny czy potrzebne rezerwy. W skali doby planuje się pracę jednostek i handel, natomiast w horyzoncie miesięcy oraz lat planuje się konserwację, przyłączenia i rozwój sieci. W przypadku systemów wykorzystywanych do monitorowania, sterowania lub zabezpieczania pracy sieci szczególnego znaczenia nabiera przewidywalny czas reakcji mieszczący się w określonych granicach. Im krótszy wymagany czas reakcji, tym większego znaczenia nabierają przewidywalność modelu wraz z możliwością technicznej kontroli jego działania. Modele generatywne są bardziej odpowiednie do zadań analityczno-informacyjnych niż do bezpośredniego zastępowania zabezpieczeń lub automatyki systemowej. Można z ich pomocą np. wyszukiwać procedury albo przygotowywać raporty dla dyspozytora.



Rys. 1.1. Skale czasu decyzji energetycznych i wynikające z nich wymagania dla SI

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1]–[2].

Różne decyzje wymagają różnych danych. Do prognozowania produkcji potrzebne są pomiary mocy, prognozy pogody czy informacje o samej instalacji, np. jej lokalizacji i parametrach, a do oceny stanu sieci potrzebne są dane z telemetrii, aktualny układ połączeń, parametry linii oraz urządzeń. Utrzymanie infrastruktury wymaga historii zdarzeń, obciążeń, temperatur, zdjęć i zapisów wykonanych prac, natomiast optymalizacja zużycia korzysta z danych z liczników, cen oraz informacji o ograniczeniach odbiorcy, np. wymaganym komforcie w budynku, cyklu produkcyjnym w zakładzie. Poszczególne zastosowania SI w energetyce korzystają z różnych zestawów danych, zależnie od wspieranej decyzji. Kluczowa jest możliwość bezpiecznego łączenia wielu strumieni danych, które mogą być aktualizowane z różną częstotliwością.

To właśnie różnorodność źródeł, skal czasowych i podejmowanych decyzji sprawia, że energetyka jest szczególnie wymagającym obszarem zastosowań SI, a możliwość wykorzystania tych danych do lepszego zarządzania systemem o krytycznym znaczeniu, którego infrastruktura jest nadal rozwijana, zwiększa potencjalną wartość takich rozwiązań.

1.4. Europa: jeden kierunek, różne problemy systemowe

Podobny problem występuje w całej Europie: rośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną, a sieci muszą jednocześnie przyłączać nowe źródła i nowych odbiorców. Międzynarodowa Agencja Energetyczna (ang. International Energy Agency, IEA) wskazuje rozwój sieci oraz elastyczność, czyli możliwość przesuwania produkcji lub zużycia w czasie, jako warunek takiej integracji [7].

W kwietniu 2026 r. IEA podała, że zużycie energii w centrach danych wzrosło w 2025 r. o około 17%, natomiast w obiektach ukierunkowanych na SI o blisko 50% [8]. Wcześniejsza analiza IEA szacowała, że globalne zużycie energii przez centra danych może do 2030 r. przekroczyć dwukrotność poziomu z 2024 r. i zbliżyć się do 945 TWh [9]. Komisja Europejska (KE) odpowiada na ten problem, łącząc politykę sektora energii z cyfryzacją, wskazując w Strategicznej mapie cyfryzacji i SI w energetyce z czerwca 2026 r. m.in. sieci, zarządzanie elastycznością popytu, efektywność energetyczną budynków czy przemysłu, a także zrównoważony rozwój centrów danych oraz innej infrastruktury obliczeniowej, jako obszary działań. Na lata 2026–2027 przewidziano ok. 75 mln euro z programu Horyzont Europa na zastosowania SI w energetyce [10], [11].

Na poziomie krajowym każde państwo członkowskie nadal planuje własną transformację, przede wszystkim przez krajowy plan w dziedzinie energii i klimatu [12]. W państwach UE powtarzają się jednak problemy, w których dane, prognozowanie i optymalizacja mogą wspierać zarządzanie systemem energetycznym. Różnice między krajowymi systemami energetycznymi sprawiają, że potencjał poszczególnych zastosowań SI nie jest we wszystkich państwach taki sam.

Szerszy obraz gotowości państw do takiej transformacji daje pakiet „Cyfrowa dekada 2026”, który pokazuje szybki wzrost wykorzystania SI przez przedsiębiorstwa, ale również utrzymujące się braki w kompetencjach, dostępie do chmury i danych [13]. Raporty krajowe obejmują wszystkie 27 państw [14]. Pogrupowane są one w tab. 1.2 według dominującego problemu energetycznego. Rozwiązania tworzone na potrzeby krajowego systemu mogą być następnie dostosowywane do warunków państw mierzących się z podobnymi problemami.

Tab. 1.2. Grupowanie wszystkich państw UE według dominującego problemu systemu energetycznego

Typ problemu	Państwa	Główne wyzwanie	Zastosowania o największym potencjale przenoszenia
Wysoka zmienność produkcji i intensywna wymiana transgraniczna	Belgia, Dania, Niemcy, Irlandia, Niderlandy	Prognozowanie przepływów, przeciążeń i zapotrzebowania na rezerwy przy dużym udziale energetyki wiatrowej	Prognozy probabilistyczne, optymalizacja rezerw, dynamiczna ocena obciążalności linii
Duży udział fotowoltaiki i potrzeba zarządzania popytem	Grecja, Hiszpania, Portugalia, Włochy	Dopasowanie zużycia do produkcji, wykorzystanie magazynów oraz zarządzanie lokalnymi ograniczeniami sieci	Prognozowanie produkcji fotowoltaicznej, sterowanie magazynami i ładowaniem, optymalizacja zużycia w budynkach
Duży udział sterowalnych źródeł niskoemisyjnych i postępująca elektryfikacja	Austria, Finlandia, Francja, Luksemburg, Słowacja, Słowenia, Szwecja	Koordinacja pracy hydroenergetyki, energetyki jądrowej i systemów ciepłowniczych przy rosnącym zapotrzebowaniu na energię	Predykcyjne utrzymanie infrastruktury, optymalizacja systemów ciepłowniczych, planowanie przestojów i zapotrzebowania

Typ problemu	Państwa	Główne wyzwanie	Zastosowania o największym potencjale przenoszenia
Modernizacja infrastruktury, bezpieczeństwo dostaw i transformacja systemu	Bułgaria, Chorwacja, Czechy, Estonia, Litwa, Łotwa, Polska, Rumunia, Węgry	Lepsza obserwowalność systemu, modernizacja infrastruktury, bezpieczeństwo dostaw i integracja nowych źródeł	Estymacja stanu sieci, priorytetyzacja remontów, wykrywanie anomalii, cyfrowe bliźniaki
Systemy wyspowe o ograniczonych połączeniach	Cypr, Malta	Ograniczona bezwładność systemu, małe możliwości wymiany, potrzeba zapewnienia rezerw i magazynowania	Prognozowanie krótkoterminowe, sterowanie magazynami, optymalizacja rezerw i zarządzanie popytem

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10], [12]–[14].

Energetyka obejmuje infrastrukturę o krytycznym znaczeniu dla funkcjonowania gospodarki i społeczeństwa, dlatego zastosowanie SI w tym sektorze wiąże się ze szczególnymi wymaganiami dotyczącymi bezpieczeństwa, niezawodności oraz nadzoru człowieka. Rozporządzenie Unii Europejskiej w sprawie SI zalicza do systemów wysokiego ryzyka m.in. określone systemy będące elementem bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, jeżeli ich awaria może zagrozić życiu lub zdrowiu [15]. Dodatkowo Dyrektywa NIS2 (ang. Network and Information Security Directive 2) wzmacnia obowiązki zarządzania ryzykiem cybernetycznym dla podmiotów kluczowych, w tym energetycznych [16].

W praktyce zasadne jest różnicowanie zakresu zabezpieczeń w zależności od charakteru zastosowania. Narzędzie wspierające ustalanie kolejności remontów wymaga innych mechanizmów kontroli niż system bezpośrednio sterujący urządzeniami, ponieważ różne są możliwe skutki błędów, tempo ich ujawnienia oraz czas dostępny na interwencję człowieka.

1.5. Świat: polityki łączą moc obliczeniową z mocą elektryczną

W politykach państw spoza Unii Europejskiej coraz częściej rozwój infrastruktury SI jest rozpatrywany wspólnie z rozwojem systemu energetycznego, choć stosowane mechanizmy różnią się zależnie od warunków krajowych. Państwa wykorzystują przy tym zarówno instrumenty zwiększające dostępność energii oraz zdolności sieciowych dla infrastruktury obliczeniowej, jak i rozwiązania służące lepszemu dopasowaniu lokalizacji, profilu zapotrzebowania czy efektywności centrów danych do możliwości systemu elektroenergetycznego. Równolegle rozwijane są zastosowania SI wspierające zarządzanie systemem energetycznym, jego modernizację, a przy tym lepsze wykorzystanie już istniejącej infrastruktury.

Różnice w doborze tych mechanizmów widać chociażby w Ameryce Północnej: zarówno Stany Zjednoczone, jak i Kanada traktują dostęp do energii jako jeden z warunków rozbudowy krajowych mocy obliczeniowych, jednak wykorzystują w tym celu odmienne instrumenty.

W Stanach Zjednoczonych nacisk kładzie się zwłaszcza na zwiększenie podaży infrastruktury potrzebnej do szybkiego rozwoju SI. Plan działań na rzecz SI łączy budowę centrów danych oraz zakładów produkcji półprzewodników z rozwojem mocy wytwórczych i sieci elektroenergetycznych, a także z przyspieszeniem procedur inwestycyjnych [17]. Tym sposobem opiera się on na równoległym usuwaniu barier dla inwestycji w infrastrukturę cyfrową oraz energetyczną. SI ma być wykorzystywana do poprawy funkcjonowania sektora

energii, m.in. poprzez rozwój narzędzi wspierających planowanie, eksploatację, modernizację infrastruktury [18]. W efekcie amerykańska polityka łączy oba kierunki, aczkolwiek po stronie energii dla SI dominuje zwiększanie dostępnych zasobów oraz zdolności infrastrukturalnych.

Kanada również rozwija własne moce obliczeniowe, tylko większą rolę przypisuje przy tym krajowym uwarunkowaniom, zwłaszcza dostępowi do energii, gruntów oraz korzystnemu klimatowi. Canadian Sovereign AI Compute Strategy zakłada rozbudowę krajowej infrastruktury obliczeniowej, w tym poprzez inwestycje prywatne w nowe lub rozbudowywane centra danych [242]. Dostęp do zasobów energetycznych stanowi jeden z atutów lokalizacji, umożliwiających rozwój krajowej infrastruktury SI. Równocześnie Kanada rozwija zastosowania SI w energetyce, czego przykładem jest program „Artificial Intelligence for Canadian Energy Innovation” [243]. W porównaniu ze Stanami Zjednoczonymi większą rolę odgrywa tu dobór lokalizacji nowych mocy obliczeniowych z uwzględnieniem korzystnych krajowych zasobów i uwarunkowań.

W analizowanych państwach Azji Wschodniej występują modele krajowej koordynacji planowania infrastruktury obliczeniowej i energetycznej.

Najbardziej bezpośrednim przykładem tego jest Japonia, gdzie koncepcja „watt-bit” zakłada koordynację rozwoju sieci elektroenergetycznych, infrastruktury telekomunikacyjnej oraz centrów danych [20]. Zamiast odpowiadać na wzrost zapotrzebowania wyłącznie rozbudową mocy i sieci, polityka ma także wpływać na lokalizację infrastruktury obliczeniowej. Centra danych mają być rozwijane tam, gdzie warunki zasilania są korzystniejsze, a infrastruktura telekomunikacyjna ma umożliwiać przesyłanie danych czy wykonywanie obliczeń w takich lokalizacjach.

Podobne podejście, realizowane na znacznie większą skalę, widać w Chinach. Ogólnokrajowy projekt „East Data, West Computing” zakłada rozwój zintegrowanej sieci mocy obliczeniowych oraz przenoszenie części zadań do regionów dysponujących większymi zasobami energii i korzystniejszymi warunkami dla rozwoju centrów danych [21]. W kolejnych działaniach politycznych coraz większy nacisk położono na współpracę między infrastrukturą obliczeniową a systemem elektroenergetycznym, wzrost udziału zielonej energii w zasilaniu centrów danych oraz możliwość dostosowywania obciążeń obliczeniowych do warunków pracy systemu. W 2026 r. kierunek ten został dodatkowo rozszerzony w planie działań na rzecz wzajemnego wzmocnienia SI oraz energetyki, który łączy zwiększanie dostępności czystej energii dla infrastruktury obliczeniowej z rozwojem zastosowań SI w sieciach elektroenergetycznych, integracji OZE, magazynowaniu czy innych obszarach sektora [251].

Od modelu dwukierunkowego, charakterystycznego dla Azji Wschodniej, nie odbiega również Korea Południowa, choć szczególnie skupia się na rozwoju infrastruktury potrzebnej do szybkiego zwiększania krajowych mocy obliczeniowych. Rozwój National AI Computing Center i szerszej krajowej infrastruktury obliczeniowej wpisuje się w koreańską politykę szybkiego zwiększania krajowych mocy obliczeniowych [22]. Uzupełnia ją przyjęta w 2026 r. ustawa dotycząca centrów danych SI, która upraszcza proces inwestycyjny, m.in. przez zbiorcze procedowanie pozwoleń, oraz wprowadza szczególne zasady dotyczące oceny wpływu na sieć elektroenergetyczną, w tym możliwość zwolnienia z tej oceny części projektów poza obszarem stołecznym [244].

Z kolei w Wielkiej Brytanii resorty odpowiedzialne za cyfryzację i energetykę wspólnie powołały Radę ds. SI i energii, łączącą działania zapewniające odpowiednie warunki energetyczne dla rozwoju infrastruktury obliczeniowej z upowszechnianiem zastosowań SI w samym systemie energetycznym [23]. Po stronie

infrastruktury szczególne znaczenie mają dostęp do mocy, warunki przyłączenia oraz elastyczność zapotrzebowania centrów danych. Z tego względu specjalne AI Growth Zones mają ułatwiać rozwój infrastruktury SI, np. poprzez poprawę dostępu do energii i wsparcie procesu inwestycyjnego [252]. Rozwijane są zastosowania SI w planowaniu, eksploatacji, bilansowaniu czy optymalizacji pracy sieci elektroenergetycznych.

Jeszcze inne rozwiązanie przyjęła Australia, kierując się przeniesiem części kosztów dodatkowego zapotrzebowania na system elektroenergetyczny na podmioty rozwijające i eksploatujące centra danych. Przyjęty w 2025 r. National AI Plan został w marcu 2026 r. uzupełniony o „Expectations of data centres and AI infrastructure developers”, zgodnie z którymi nowe projekty powinny m.in. zapewniać dodatkową podaż energii odnawialnej, ponosić odpowiednią część kosztów infrastruktury sieciowej oraz wykorzystywać możliwości elastycznego kształtowania zapotrzebowania [24], [245]. Co więcej, w lipcu 2026 r. rząd zapowiedział dalsze wzmocnienie tego podejścia poprzez wprowadzenie wiążących standardów dla dużych centrów danych, przewidując kolejne wymogi, tj. zabezpieczenie nowych źródeł zasilania, pokrywanie kosztów przyłączenia czy ograniczanie poboru energii, gdy wymaga tego sytuacja w sieci [246].

Presja infrastruktury obliczeniowej na system elektroenergetyczny może być ograniczana również w oparciu o zwiększanie efektywności energetycznej, jak chociażby w singapurskiej Green Data Centre Roadmap. Łączy ona rozwój nowych mocy centrów danych z poprawą efektywności energetycznej oraz szerszym wykorzystaniem zielonej energii [247]. Założenia te przekładają się m.in. na sposób przydzielania nowych mocy w ramach programu Data Centre – Call for Application, w którym akcentowano efektywność energetyczną i dekarbonizację [248]. Uzupełnieniem są standard SS 715:2025 dotyczący efektywności energetycznej sprzętu IT w centrach danych [249] oraz Energy Efficiency Grant wspierający zakup zatwierdzonego energooszczędnego sprzętu IT [250]. W tym wzorcu podstawą możliwości dalszego zwiększania mocy obliczeniowej jest ograniczanie ilości energii potrzebnej do zapewnienia danej skali obliczeń.

Z porównania polityk krajowych wyłania się coraz wyraźniej model dwukierunkowy, w którym rozwój infrastruktury obliczeniowej uwzględnia uwarunkowania systemu elektroenergetycznego, a zastosowania SI wspierają jego funkcjonowanie i modernizację.

Tendencja ta jest widoczna również na poziomie współpracy międzynarodowej. Plan G7 dotyczący energii i SI także ujmuje oba kierunki łącznie. Z jednej strony wskazuje na potrzebę zapewnienia warunków zasilania infrastruktury obliczeniowej, w tym odpowiedniej podaży energii, zdolności sieciowych, efektywności czy elastyczności zapotrzebowania, a z drugiej wskazuje na możliwości wykorzystania SI w systemach energetycznych. Wspólnym elementem polityk krajowych i współpracy międzynarodowej staje się więc coraz wyraźniejsze traktowanie rozwoju SI oraz energetyki jako procesów wzajemnie zależnych.

1.6. Energetyka jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Energetyka ma mocne uzasadnienie jako sektor objęty odrębną mapą wdrożeń przede wszystkim ze względu na jej szczególną relację z rozwojem SI. Jest jednocześnie obszarem zastosowania tej technologii oraz infrastrukturą warunkującą jej dalszy rozwój. Z jednej strony SI może wspierać prognozowanie, ocenę stanu sieci, zarządzanie elastycznością, utrzymanie infrastruktury czy planowanie jej rozbudowy. Z drugiej strony wzrost mocy obliczeniowych zwiększa zapotrzebowanie na energię i zdolności przyłączeniowe, przez co centra danych oraz

inna infrastruktura obliczeniowa zaczynają wpływać na planowanie systemu elektroenergetycznego. Ta współzależność jest widoczna zarówno w polityce UE, jak i w analizowanych politykach państw spoza Unii.

Znaczenie tej relacji wzmacnia systemowy charakter energetyki. Poprawa lub pogorszenie funkcjonowania systemu elektroenergetycznego nie pozostaje ograniczone do przedsięwzięć energetycznych, lecz wpływa na przemysł, usługi, transport, sektor cyfrowy i gospodarstwa domowe. Podobnie rozwój dużych odbiorców energii, takich jak centra danych, może oddziaływać na warunki przyłączania innych użytkowników, potrzeby rozwoju sieci czy bilans mocy. Z tego względu wykorzystanie SI w energetyce oraz rozwój infrastruktury energetycznej na potrzeby SI mają również wymiar systemowy, wykraczający poza indywidualne wybory inwestycyjne poszczególnych przedsiębiorstw.

W polskich warunkach argument ten ma dodatkowo wymiar praktyczny. System elektroenergetyczny już mierzy się z szybkim wzrostem liczby rozproszonych źródeł, ograniczeniami sieciowymi i potrzebą znacznej rozbudowy infrastruktury. Na koniec 2025 r. działało ponad 1,6 mln mikroinstalacji OZE, a w lipcu 2026 r. przez osiem kolejnych dni wydawano polecenia ograniczenia wytwarzania z instalacji fotowoltaicznych. Jednocześnie plan rozwoju sieci przesyłowej na lata 2025–2034 obejmuje tysiące kilometrów nowych linii oraz budowę i modernizację stacji [2]–[4], [5], [6]. Potencjalne zastosowania SI odpowiadają na już obserwowane problemy systemu energetycznego.

SI może zwiększać efektywność wykorzystania istniejącej infrastruktury jako uzupełnienie inwestycji w sieci, magazyny i nowe moce. Trafniejsze prognozy mogą ograniczać koszty niezbilansowania, lepsza ocena stanu sieci może pomagać wcześniej identyfikować ograniczenia, a sterowanie elastycznością może ułatwiać dostosowanie poboru lub wytwarzania do warunków systemowych. W mapie sektorowej szczególnie wartościowe byłoby więc rozróżnienie, gdzie SI może poprawić wykorzystanie istniejących zasobów, a gdzie problem wymaga przede wszystkim inwestycji infrastrukturalnej.

Za osobnym podejściem przemawia również charakter barier wdrożeniowych. W energetyce dostęp do danych, możliwość testowania rozwiązania oraz jego późniejsze wykorzystanie operacyjne zależą od współpracy wielu podmiotów. Dane pochodzą z liczników, telemetrii, systemów operatorskich, informacji pogodowych, danych przestrzennych czy historii pracy urządzeń. Są aktualizowane w różnych skalach czasu. Część zastosowań dotyczy przy tym infrastruktury krytycznej, dlatego poza skutecznością modelu znaczenie mają jego przewidywalność, możliwość walidacji, cyberbezpieczeństwo, sposób postępowania w przypadku błędu. Wymagania te różnią się między narzędziem wspierającym planowanie remontów a rozwiązaniem wpływającym na bieżącą pracę systemu.

Właśnie w tym miejscu mapa sektorowa mogłaby wносить więcej niż ogólne instrumenty wspierania wdrażania SI. Jej rolą mogłoby być uporządkowanie zależności między problemem, danymi, właścicielem decyzji, sposobem testowania i warunkami wdrożenia. W przypadku zastosowań operacyjnych mogłaby również wskazywać ścieżkę stopniowego zwiększania roli modelu: od pracy na danych historycznych i w trybie cienia po wykorzystanie w rzeczywistych procesach, jeżeli rozwiązanie spełni wymagania techniczne oraz bezpieczeństwa. Taka logika odpowiada mapie zastosowań przedstawionej wcześniej w rozdziale, gdzie poszczególne przypadki różnią się nie tylko metodą, ale także miarą wyniku oraz wymaganym poziomem zabezpieczeń.

Zakres mapy mógłby obejmować także drugi kierunek tej zależności, czyli wpływ rozwoju infrastruktury SI na energetykę. Analiza polityk światowych pokazuje kilka sposobów reagowania na ten problem: rozbudowę mocy

i sieci razem z centrami danych, dobór ich lokalizacji do warunków energetycznych, wykorzystywanie elastyczności zapotrzebowania, zwiększanie efektywności energetycznej czy przenoszenie części kosztów nowych przyłączy na inwestorów. W polskich warunkach warto byłoby zatem rozważyć, w jakim stopniu zasadne jest uwzględnianie prognoz rozwoju dużych mocy obliczeniowych w planowaniu zapotrzebowania, nowych przyłączy oraz rozbudowy sieci. Byłoby to bezpośrednie przełożenie dwukierunkowej zależności opisanej w rozdziale na zakres mapy sektorowej.

Dodatkowym argumentem jest możliwość wykorzystania krajowego systemu jako środowiska rozwoju wyspecjalizowanych rozwiązań. Polska dysponuje operatorami posiadającymi dane z rzeczywistej eksploatacji infrastruktury oraz przedsiębiorstwami działającymi w automatyce, oprogramowaniu energetycznym, elektronice mocy, systemach pomiarowych, magazynach energii, usługach pogodowych i cyberbezpieczeństwie. Podobne problemy występują również w innych państwach UE, m.in. w związku z dużym udziałem zmiennych OZE, ograniczeniami sieci, elastycznością, modernizacją infrastruktury i bezpieczeństwem dostaw. Stwarza to możliwość rozwijania rozwiązań sprawdzonych na krajowej infrastrukturze, a następnie dostosowywanych do innych systemów o podobnych uwarunkowaniach.

Zasadność sektorowej mapy dla energetyki wynika więc przede wszystkim z połączenia kilku cech, które występują tu jednocześnie: systemowego znaczenia sektora, sprzężenia między rozwojem sektora energii a SI, istniejących w Polsce problemów infrastrukturalnych, konieczności koordynacji danych i decyzji między wieloma podmiotami oraz możliwości budowania wyspecjalizowanych rozwiązań na krajowej bazie technologicznej. Mierzalność efektów pozostaje ważna, ponieważ pozwala ocenić skuteczność poszczególnych wdrożeń, ale sama nie stanowi argumentu wyróżniającego energetykę na tle innych sektorów.

W tym ujęciu sektorowa mapa wdrożeń mogłaby służyć przede wszystkim koordynacji obszarów, których nie da się skutecznie rozwijać niezależnie: zastosowań SI poprawiających funkcjonowanie systemu energetycznego, dostępu do danych i bezpiecznych środowisk testowych, rozwoju sieci oraz rosnących potrzeb energetycznych zaplecza obliczeniowego. Jej wartość byłaby największa tam, gdzie rozwiązanie wymaga jednoczesnych działań operatorów, dostawców technologii i administracji, a więc tam, gdzie sam mechanizm rynkowy lub horyzontalny program wsparcia SI może nie wystarczyć.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem energetyki do sektorów kluczowych

Energetyka ma podwójne znaczenie: SI może poprawiać prognozowanie produkcji i zużycia, wykrywanie awarii, zarządzanie magazynami oraz wykorzystanie sieci, a jednocześnie rozwój samej SI zwiększa zapotrzebowanie na stabilną, dostępną energię dla centrów danych. Dzięki temu sektor jest zarówno obszarem zastosowania SI, jak i jednym z warunków jej dalszego rozwoju.

2. E-commerce

2.1. E-commerce jako cyfrowy łańcuch transakcji

E-commerce tworzy środowisko, w którym większość etapów transakcji jest cyfrowa, pozostawiając dane możliwe do wykorzystania w kolejnych decyzjach. Dotyczy to nie tylko wyszukania czy prezentacji oferty, lecz również prognozowania popytu i zapasu, ustalania cen oraz promocji, wykrywania nadużyć, obsługi płatności, kontaktu z klientem, zwrotów czy sprawdzania zgodności produktu z wymaganiami. SI może wspierać te decyzje w dużej skali i z krótkim czasem informacji zwrotnej o ich skutkach.

Wartość zastosowań SI w e-commerce powstaje jednak na poziomie całej transakcji. Lepszy ranking produktów ma znaczenie wtedy, gdy prowadzi do sprzedaży właściwego i dostępnego produktu, a nie tylko do większej liczby kliknięć. Efekt trafniejszej prognozy popytu można oceniać przez jej wpływ na dostępność towaru oraz poziom kapitału zamrożonego w zapasie, a skuteczność systemu wykrywania nadużyć przez ograniczenie strat bez nadmiernego odrzucania prawidłowych płatności. Podobnie automatyzacja kontaktu z klientem ma wartość wtedy, gdy poprawia jakość informacji, obniża koszt obsługi bez zwiększania liczby reklamacji czy zwrotów.

Specyfika obszaru wynika także z liczby podmiotów i systemów uczestniczących w jednej transakcji. Dane o produkcie, cenie, zapasie, płatności, kliencie, realizacji zamówienia, zwrocie są rozproszone między sprzedawcę, platformę handlową, operatora płatniczego, podmioty realizujące dostawę oraz inne systemy wspierające sprzedaż. W tym rozdziale e-commerce obejmuje procesy bezpośrednio związane z przygotowaniem, zawarciem, obsługą transakcji online, wraz z punktami styku z płatnościami oraz realizacją zamówienia. Taki zakres pozwala analizować wspólne dane, decyzje, bariery wdrożeniowe, które mogą powtarzać się u wielu sprzedawców.

2.2. Mapa zastosowań SI w e-commerce

Mapa zastosowań porządkuje główne decyzje w e-commerce według danych potrzebnych do ich podjęcia, właściwego wyniku oraz ryzyka, które może pojawić się przy automatyzacji. W tym obszarze szczególnie łatwo pomylić lokalną poprawę wskaźnika modelu z poprawą wyniku całej transakcji, dlatego w ocenie zastosowań można łączyć metryki techniczne z marżą, dostępnością produktu, kosztami obsługi, zwrotami, reklamacjami i bezpieczeństwem płatności. Zestawienie tych zastosowań wraz z danymi, miarami wyniku i głównymi ryzykami przedstawiono w tab. 2.1.

Tab. 2.1. Mapa zastosowań SI w e-commerce

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Główne ryzyko lub bariera
Wyszukiwanie i ranking	Zapytania, katalog, dostępność, modele semantyczne i rankingowe	Marża po zwrotach, trafność intencji, dostępność	Faworyzowanie ofert, pozycje sponsorowane, ograniczenie różnorodności wyboru
Rekomendacja	Historia sesji i zakupów, modele sekwencyjne oraz przyczynowe	Dodatkowa sprzedaż wynikająca z rekomendacji, utrzymanie klienta, zwroty	Nadmierne profilowanie, bańki rekomendacyjne, zależność od identyfikatorów
Popyt i zapas	Sprzedaż, cena, promocja, kalendarz, prognozy na poziomie produktu, kategorii i całego portfela	Dostępność, kapitał w zapasie, utracona sprzedaż, odpady	Błędy dla nowych i rzadkich produktów, wpływ promocji oraz sezonowości

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Główne ryzyko lub bariera
Cena i promocja	Ceny, koszty, stany magazynowe, promocje, reakcje popytu i dane konkurencyjne, estymacja elastyczności cenowej oraz optymalizacja	Marża, rotacja, stabilność ceny, wynik promocji	Niesprawiedliwe różnicowanie warunków, zmowa algorytmiczna, utrata zaufania
Nadużycia i płatność	Transakcje, urządzenie, zachowanie, modele relacyjne i wykrywanie anomalii	Strata netto, odzysk, fałszywe odrzucenia	Nierówne błędy, przejęcia kont, zmiana metod działania oszustów
Treść i obsługa	Katalog, regulamin, historia spraw, generowanie wspomagane wyszukiwaniem (RAG) w zatwierdzonych źródłach i klasyfikacja	Poprawność informacji, koszt sprawy, eskalacja, satysfakcja	Halucynacje, prawa autorskie, fałszywe obietnice wobec klienta
Zwroty i zgodność	Powody zwrotów, cechy produktu, dokumentacja i przepisy	Mniej zwrotów, kompletność dokumentacji, czas kontroli	Błędna klasyfikacja produktu, niepełna informacja o prawach klienta

Źródło: opracowanie własne na podstawie [26]–[32].

W generatywnej SI szczególnie ważna jest jakość źródeł, z których powstaje odpowiedź dla klienta lub opis produktu. Model może szybko przygotowywać treści dla dużej liczby ofert i wielu wersji językowych, ale przy danych produktowych błąd może dotyczyć parametru technicznego, certyfikatu, ceny, dostępności albo warunku gwarancji. Dlatego użyteczne są rozwiązania oparte na zatwierdzonych źródłach, np. kartach produktu, stanach magazynowych i regulaminach, z możliwością wskazania podstawy odpowiedzi oraz przekazania sprawy człowiekowi, gdy system nie ma wystarczających danych.

W e-commerce stosunkowo łatwo prowadzić eksperymenty na części ruchu, ale sposób testowania zależy od decyzji. Test A/B dobrze sprawdza się tam, gdzie grupy użytkowników nie wpływają na siebie. Przy cenach, zapasach i dostępności produktu decyzja dla jednej grupy może jednak zmieniać warunki dla pozostałych, dlatego potrzebne mogą być testy regionalne, porównanie okresów lub metody pozwalające lepiej oddzielić przyczynę od korelacji.

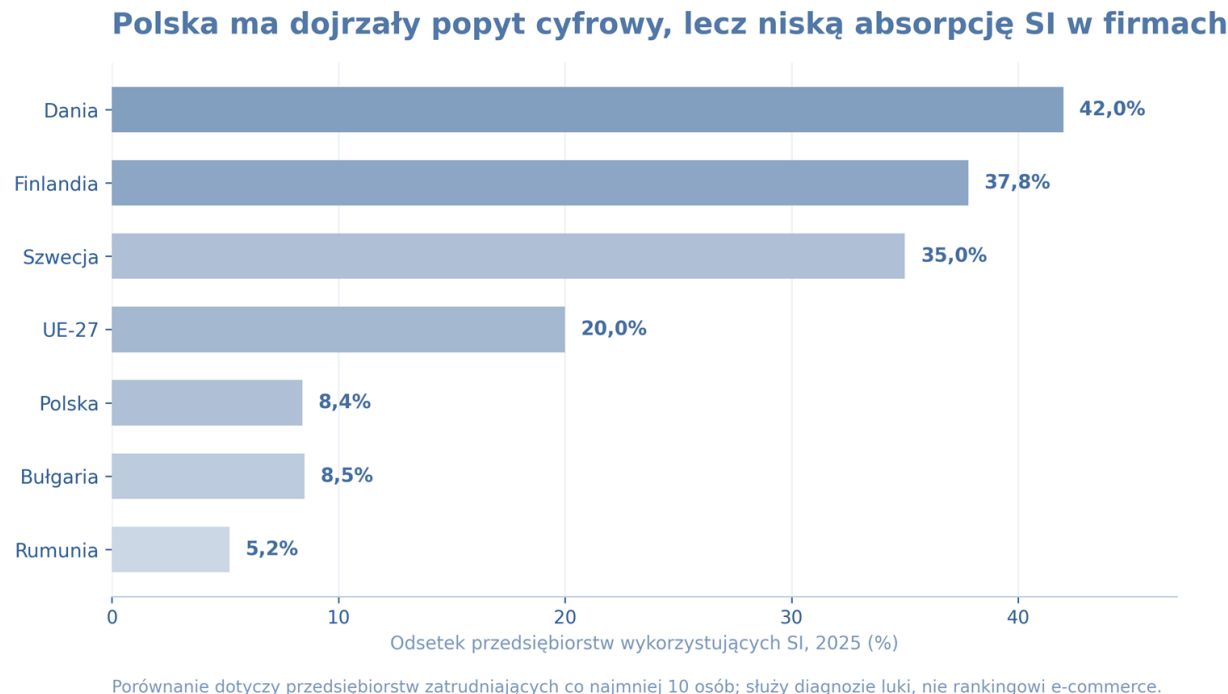
Wspólnym warunkiem dla tych zastosowań jest ocena pełnego wyniku transakcji. Oprócz wzrostu sprzedaży czy skrócenia czasu obsługi warto uwzględnić marżę po zwrotach, dostępność, koszt procesu, liczbę reklamacji, poprawność informacji, fałszywe odrzucenia płatności oraz wpływ na relację z klientem. Dzięki temu rozwiązania można porównywać nie tylko na podstawie parametrów modelu, lecz według wartości tworzonej dla sprzedawcy i klienta.

2.3. Polska: duży rynek, sprzedaż platformowa i wykorzystanie SI poniżej średniej UE

Polska ma duży i dojrzały popyt na zakupy internetowe, ale wykorzystanie SI przez przedsiębiorstwa pozostaje wyraźnie niższe niż średnio w Unii. W 2025 r. 69,7% osób w wieku 16–74 lat kupowało przez internet w ciągu poprzednich 12 miesięcy, a dostęp do internetu miało 96,2% gospodarstw domowych [26]. Jednocześnie technologie SI wykorzystywało 8,4% polskich przedsiębiorstw, wobec 20,0% w całej UE [27]. E-commerce łączy więc szeroką bazę klientów z dużą przestrzenią do zwiększania wykorzystania SI po stronie firm.

Rys. 2.1 pokazuje tę różnicę na tle wybranych państw UE. Wysoka aktywność konsumentów w kanale internetowym tworzy rynek, na którym nowe narzędzia można wdrażać w rzeczywistych procesach sprzedaży,

natomiast niski udział firm korzystających z SI wskazuje na niewykorzystany jeszcze potencjał zwiększenia wykorzystania SI.



Rys. 2.1. Odsetek przedsiębiorstw wykorzystujących SI w 2025 r. – wybrane państwa i średnia UE

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostatu [27].

Podobny obraz daje raport „Cyfrowa dekada 2026” dla Polski, który wskazuje na niższe wskaźniki cyfryzacji przedsiębiorstw i wykorzystania zaawansowanych technologii niż w części państw UE, szczególnie w małych i średnich przedsiębiorstwach (MŚP) [28]. W e-commerce luka ta może być zmniejszana przez rozwiązania relatywnie łatwe do wdrożenia w konkretnym procesie: porządkowanie i klasyfikację danych produktowych, wielojęzyczne wyszukiwanie, prognozowanie zapasu, obsługę klienta opartą na zatwierdzonym katalogu czy przewidywanie ryzyka zwrotu. Dla mniejszych firm szczególnie istotne mogą być narzędzia obniżające koszt wejścia na kolejne rynki.

Ważnym uwarunkowaniem polskiego rynku jest duże znaczenie platform handlowych. W 2024 r. 63,62% polskich przedsiębiorstw prowadzących sprzedaż przez strony internetowe lub aplikacje korzystało z platform handlowych. Był to jeden z najwyższych udziałów w UE [29]. Zwiększa to znaczenie jakości własnych danych produktowych, integracji wielu kanałów sprzedaży oraz możliwości zachowania relacji z klientem niezależnie od pojedynczego pośrednika. SI może wspierać te procesy m.in. przez synchronizację katalogów, prognozowanie popytu w różnych kanałach i automatyzację obsługi posprzedażowej.

Duża jest także skala fizycznej realizacji zakupów internetowych. W 2025 r. operatorzy obsłużyli prawie 1,40 mld przesyłek kurierskich, a na koniec roku działało 67 060 automatów do pocztowej obsługi klientów [31]. Z punktu widzenia e-commerce tworzy to duży strumień danych o zamówieniach, terminowości, odbiorach i zwrotach. Może on wspierać prognozowanie spiętrzeń popytu, informowanie klienta o statusie zamówienia oraz ograniczanie nieudanych doręczeń i zwrotów.

Połączenie dużego rynku, wysokiego udziału sprzedaży platformowej i niskiego poziomu wykorzystania SI przez przedsiębiorstwa sprawia, że e-commerce może być praktycznym środowiskiem skalowania rozwiązań dla MŚP. Szczególnie wartościowe są zastosowania, które zwiększają produktywność i sprzedaż transgraniczną, a jednocześnie budują po stronie firmy własne dane, kompetencje oraz zdolność do działania w kilku kanałach [30].

2.4. Europa: wspólny rynek, różne warunki wdrażania SI

Unijny rynek handlu cyfrowego jest duży i różnicowany. W 2025 r. przez internet kupowało 78% mieszkańców UE korzystających z sieci, a sprzedaż elektroniczna odpowiadała za około 19% obrotu przedsiębiorstw [30]. W 2024 r. e-sprzedaż prowadziło 23,59% unijnych przedsiębiorstw, a pod względem wartości sprzedaży własne strony oraz aplikacje nadal miały większe znaczenie niż platformy [29]. Dla polskich rozwiązań oznacza to dostęp do wspólnego rynku, ale także konieczność dostosowania do różnego poziomu wykorzystania SI, struktur kanałów sprzedaży, modeli platformowych.

Tab. 2.2 grupuje państwa członkowskie według dominujących warunków rozwoju e-commerce i wdrażania SI. Podział wykorzystuje porównywalne dane o przedsiębiorstwach oraz diagnozy krajowe Komisji [14], [27], [29], [30]. Jego celem jest wskazanie grup rynków, na których podobne rozwiązania mogą być testowane lub skalowane.

Tab. 2.2. Różnicowanie państw UE według warunków rozwoju e-commerce i wdrażania SI

Profil rynku	Państwa	Dominujące wyzwanie	Znaczenie dla polskich rozwiązań
Skala i zaawansowane wykorzystanie SI	Belgia, Dania, Estonia, Finlandia, Irlandia, Niderlandy, Szwecja	Skalowanie SI, odpowiedzialność modeli, integracja kanałów i danych	Rynki referencyjne dla rozwiązań audytowalnych i wielojęzycznych
Duże rynki łączące sprzedaż internetową i stacjonarną	Austria, Francja, Hiszpania, Niemcy, Włochy	Łączenie handlu tradycyjnego i cyfrowego, produktywność dużych łańcuchów, konkurencja	Możliwość partnerstw i eksportu wyspecjalizowanych modułów
Platformy i eksport MŚP	Chorwacja, Czechy, Litwa, Łotwa, Polska, Portugalia, Słowacja, Słowenia	Sprzedaż transgraniczna, własność danych, integracja platform i logistyki	Najbliższy obszar powtarzalności polskich wdrożeń
Niższe wykorzystanie technologii cyfrowych i bariery wdrożeniowe	Bułgaria, Cypr, Grecja, Malta, Rumunia, Węgry	Niższe wskaźniki cyfryzacji MŚP, płatności, kompetencje i ochrona konsumenta	Rynek dla prostych, wdrażalnych modułów z niskim kosztem integracji
Mały rynek krajowy o wysokim udziale usług	Luksemburg	Handel transgraniczny, usługi i zgodność, ostrożna interpretacja udziału e-sprzedaży	Nisza dla narzędzi automatyzujących zgodność z prawem i rozwiązań wielojęzycznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14], [27], [29]–[30].

Szczególnie wyraźnym problemem europejskiego e-commerce jest rosnąca skala małych przesyłek pochodzących spoza Unii. W 2024 r. do UE weszło około 4,6 mld przesyłek o wartości do 150 euro, czyli blisko 12 mln dziennie [33]. Od 1 lipca 2026 r. Unia wprowadziła tymczasową opłatę celną w wysokości 3 euro na odpowiednio klasyfikowane pozycje w takich przesyłkach [34]. Przy tej skali automatyczna analiza danych o produkcie, sprzedawcy i historii transakcji może wspierać identyfikację przesyłek o podwyższonym ryzyku oraz kierowanie kontroli tam, gdzie jest najbardziej potrzebna.

Drugą grupę mechanizmów tworzą regulacje wspólnego rynku, które zwiększają znaczenie jakości danych oraz zgodności transakcji. Pakiet VAT in the Digital Age rozszerza raportowanie cyfrowe i zasady rozliczeń platform [35], Akt o usługach cyfrowych wzmacnia odpowiedzialność pośredników za bezpieczne środowisko internetowe

[36], a przepisy o bezpieczeństwie produktów zwiększają wymagania dotyczące identyfikowalności oferty oraz odpowiedzialności za produkt [37]. Tworzy to zapotrzebowanie na narzędzia klasyfikujące oferty, kompletujące dokumentację, oceniające ryzyko sprzedawcy, wspierające obsługę zgłoszeń.

Europejski wymiar e-commerce łączy więc dwa poziomy. Horyzontalne instrumenty rozwoju SI dostarczają infrastruktury, kompetencji i narzędzi, natomiast zasady wspólnego rynku określają konkretne wymagania dla transakcji, platform, danych produktowych oraz sprzedaży transgranicznej. Dla Polski szczególnie istotne są rozwiązania wielojęzyczne, interoperacyjne i możliwe do wdrażania w wielu kanałach sprzedaży, ponieważ taki produkt może być skalowany wraz z ekspansją przedsiębiorstw na kolejne rynki UE.

2.5. Świat: różne modele rozwoju handlu cyfrowego

Na świecie polityki wobec handlu cyfrowego różnią się przede wszystkim tym, jaką rolę państwo przypisuje infrastrukturze platformowej i transakcyjnej. Chiny traktują handel cyfrowy jako element szerszej polityki gospodarki cyfrowej. Trzyletni plan rozwoju digital commerce obejmuje konsumpcję cyfrową, cyfryzację łańcuchów dostaw, handel usługami oraz współpracę międzynarodową [38], a wytyczne z 2026 r. bezpośrednio łączą SI z konsumpcją, inteligentnym handlem, logistyką [39]. W tym modelu zastosowania SI są rozwijane razem z infrastrukturą rynku oraz skalą krajowych platform.

Indie rozwijają inny mechanizm: Open Network for Digital Commerce (ONDC), czyli otwartą sieć protokołów pozwalającą sprzedawcom i usługodawcom uczestniczyć w handlu cyfrowym przez wspólne standardy, bez konieczności budowania jednej scentralizowanej platformy [40]. Równolegle IndiaAI Mission wspiera krajową infrastrukturę obliczeniową, dane, kompetencje i rozwój zastosowań SI [41]. Połączenie otwartej warstwy transakcyjnej z ogólną infrastrukturą AI tworzy warunki do budowania usług przez wielu niezależnych dostawców.

W Stanach Zjednoczonych, Kanadzie, Australii oraz Singapurze większą rolę odgrywają horyzontalne strategie AI obejmujące moc obliczeniową, dane, kompetencje, bezpieczeństwo, wdrażanie technologii w całej gospodarce [17], [19], [24], [25]. Korea Południowa i Zjednoczone Emiraty Arabskie również wspierają cyfryzację wielu branż w ramach szerszej polityki AI oraz gospodarki cyfrowej [22], [42]. Porównanie tych podejść pokazuje, że polityka e-commerce może opierać się zarówno na obszarowej infrastrukturze transakcyjnej, jak i na wspólnych zasobach AI. Dla Polski szczególnie użyteczne wydaje się łączenie obu warstw: horyzontalnych zasobów obliczeniowych, kompetencyjnych z rozwiązaniami odpowiadającymi na konkretne problemy sprzedaży internetowej.

2.6. E-commerce jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

Analiza wskazuje, że e-commerce ma mocne uzasadnienie jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI. Łączy dużą skalę rynku z wysokim stopniem cyfryzacji samego procesu transakcyjnego, a jednocześnie pozostawia znaczną przestrzeń do zwiększania wykorzystania SI przez polskie przedsiębiorstwa. W praktyce daje możliwość wdrażania rozwiązań na istniejącym rynku, z szybkim dostępem do informacji o wyniku i z potencjałem powtarzania ich u wielu sprzedawców [26]–[32].

Obszarowy charakter e-commerce wynika przede wszystkim z powtarzalnego łańcucha danych i decyzji łączącego katalog produktu, wyszukiwanie, cenę, zapas, płatność, obsługę klienta, realizację zamówienia, zwrot oraz zgodność z wymaganiami. Poszczególne elementy są obsługiwane przez różnych uczestników rynku, dlatego część wartości SI zależy od integracji danych i systemów między sprzedawcami, platformami,

operatorami płatności oraz podmiotami uczestniczącymi w realizacji transakcji. To właśnie ta warstwa koordynacyjna tworzy uzasadnienie dla mapy obszarowej.

Mapa wdrożeń mogłaby uzupełniać horyzontalne instrumenty wspierania wdrażania SI przez MŚP. Ogólne programy mogą zapewniać dostęp do mocy obliczeniowej, modeli, kompetencji, a także doradztwa, natomiast mapa e-commerce może przekładać te zasoby na konkretne procesy handlu cyfrowego: standardy informacji produktowych, integrację kanałów sprzedaży, testowanie algorytmów na rzeczywistych transakcjach, wymianę danych między uczestnikami oraz mierniki pełnego wyniku biznesowego i konsumenckiego.

Największy potencjał dla takiego podejścia mają zastosowania powtarzalne w wielu przedsiębiorstwach: jakość i klasyfikacja danych produktowych, wielojęzyczne wyszukiwanie, prognozowanie popytu oraz zapasu, wykrywanie nadużyć, obsługa klienta oparta na wiarygodnych źródłach, ograniczanie zwrotów czy automatyzacja zgodności przy sprzedaży transgranicznej. Wspólną cechą tych zastosowań jest możliwość wykorzystania podobnych komponentów technologicznych przez wielu sprzedawców, przy dostosowaniu ich do katalogu, rynku i modelu biznesowego konkretnej firmy.

Znaczenie obszaru wzmacnia także jego powiązanie z ekspansją zagraniczną polskich przedsiębiorstw. Wspólny rynek UE tworzy dużą przestrzeń sprzedaży, ale wymaga obsługi wielu języków, kanałów, zasad podatkowych, obowiązków platformowych i wymagań dotyczących bezpieczeństwa produktów [33]–[37]. Rozwiązania rozwijane w Polsce mogą więc zwiększać nie tylko efektywność krajowej sprzedaży, lecz także zdolność MŚP do wejścia na kolejne rynki oraz tworzyć produkty technologiczne możliwe do oferowania innym sprzedawcom w Europie.

Przy skalowaniu SI w e-commerce szczególnego znaczenia nabierają jakość informacji dla konsumenta, bezpieczeństwo płatności, przejrzystość rankingów i cen oraz kontrola nad danymi. Wysoki udział sprzedaży przez platformy oznacza, że wartość gospodarcza wdrożenia zależy również od zdolności przedsiębiorstwa do zachowania własnych danych produktowych, wiedzy o procesie i możliwości działania w wielu kanałach [29]. Wartość obszarowa obejmuje poprawę efektywności sprzedaży wraz z budowaniem trwałych kompetencji i zasobów po stronie polskich firm.

Doświadczenia międzynarodowe pokazują kilka możliwych mechanizmów rozwoju tego obszaru: od bezpośredniego wspierania cyfrowej infrastruktury handlu i otwartych sieci transakcyjnych po wykorzystanie horyzontalnych zasobów AI w całej gospodarce [38]–[42]. Polska może korzystać z obu podejść, rozwijając wspólną infrastrukturę i kompetencje AI, a równocześnie koncentrując mapę obszarową na problemach transakcyjnych, które powtarzają się w dużej liczbie przedsiębiorstw.

W takim ujęciu mapa dla e-commerce mogłaby porządkować kilka elementów potrzebnych do przejścia od pilotażu do skali: priorytetowe procesy, właścicieli danych, podmioty odpowiedzialne za decyzje, standardy wymiany informacji, sposób testowania, mierniki wyniku oraz warunki współpracy między sprzedawcami, platformami, dostawcami technologii i instytucjami publicznymi. Jej wartość byłaby największa tam, gdzie wspólne rozwiązanie może obniżyć koszt wdrożenia dla wielu firm i jednocześnie zwiększyć ich zdolność do sprzedaży na rynku krajowym oraz zagranicznym.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem e-commerce do obszarów kluczowych

Znaczenie e-commerce wynika z dużej skali cyfrowych transakcji, niskiego poziomu wykorzystania SI przez polskie przedsiębiorstwa, potencjału sprzedaży transgranicznej oraz powtarzalnych problemów na styku danych produktowych, platform, płatności, obsługi i zgodności. Obszarowa mapa wdrożeń może uzupełniać instrumenty horyzontalne dla MŚP, przekładając je na rozwiązania możliwe do testowania i skalowania u wielu sprzedawców.

3. Produkty podwójnego zastosowania

3.1. Produkty podwójnego zastosowania: wspólny rdzeń i dwa środowiska użycia

W projekcie Polityki AI produkty podwójnego zastosowania odnoszą się przede wszystkim do modeli, systemów, a także rozwiązań, które mogą być rozwijane dla zastosowań cywilnych oraz bezpieczeństwa i obronności.

W praktyce część z nich może jednocześnie podlegać unijnym przepisom kontroli eksportu dotyczącym produktów podwójnego zastosowania. Są to jednak dwa różne poziomy analizy: funkcjonalny, związany z możliwością wykorzystania tej samej technologii w różnych środowiskach, oraz prawny, który określa obowiązki dotyczące wywozu, pośrednictwa, pomocy technicznej, tranzytu, transferu określonych towarów, oprogramowania i technologii [43].

Z punktu widzenia rozwoju SI najważniejszy jest przekrojowy charakter tego obszaru. Technologie podwójnego zastosowania powstają m.in. na styku autonomii, robotyki, czujników i analizy sygnałów, cyberbezpieczeństwa, łączności, technologii kosmicznych, elektroniki oraz zaawansowanego wytwarzania. SI jest w nich zazwyczaj częścią większego systemu: odpowiada za rozpoznawanie obrazu i sygnałów, łączenie danych z wielu czujników, prognozowanie, planowanie, wykrywanie anomalii albo wspomaganie decyzji. Wartość gospodarcza o znaczeniu strategicznym pojawia się wtedy, gdy kompetencje, komponenty i rozwiązania rozwijane na rynku cywilnym mogą być wykorzystane również w zastosowaniach bezpieczeństwa, a doświadczenia z bardziej wymagającego środowiska zwiększają później jakość oraz odporność produktów cywilnych.

Przydatnym sposobem opisu tej zależności jest pojęcie wspólnego rdzenia technologicznego. Może nim być ta sama architektura sprzętowa, model SI, warstwa danych, oprogramowanie sterujące, moduł łączności albo proces produkcyjny, który po dodatkowej walidacji i dostosowaniu działa w dwóch środowiskach. Przykładowo system analizy obrazu może wspierać inspekcję infrastruktury cywilnej i obserwację obiektów istotnych dla bezpieczeństwa, a platforma autonomiczna wykorzystywana w logistyce może po rozszerzeniu o odporną na zakłócenia nawigację oraz łączność wykonywać zadania w środowisku o podwyższonych wymaganiach. Taki wspólny rdzeń pozwala łączyć inwestycje badawczo-rozwojowe, kompetencje i łańcuchy dostaw między rynkiem cywilnym oraz publicznym.

3.2. Mapa zastosowań SI w produktach podwójnego zastosowania

Mapa porządkuje obszary, w których SI może tworzyć wspólną warstwę technologiczną dla zastosowań cywilnych oraz bezpieczeństwa. W tym przypadku przedmiotem oceny jest nie sam model, lecz cały system: dane, czujniki, model SI, sposób integracji, środowisko pracy, odpowiedzialność użytkownika oraz możliwość utrzymania i aktualizacji produktu. Zastosowania różnią się rodzajem danych i wymaganiami operacyjnymi, ale wspólnym elementem jest potrzeba sprawdzenia działania rozwiązania w warunkach odpowiadających obu

przewidywanym zastosowaniom. Główne przypadki wykorzystania SI oraz odpowiadające im warunki oceny zebrano w tab. 3.1.

Tab. 3.1. Mapa zastosowań SI w produktach podwójnego zastosowania

Rodzina produktu	Rola SI i dane	Zastosowania cywilne i bezpieczeństwa	Warunki wdrożenia i walidacji
Autonomia i robotyka	Percepcja otoczenia, łączenie danych z czujników, lokalizacja i planowanie działania, obraz, lidar/radar, telemetria oraz dane nawigacyjne	Inspekcje, rolnictwo, logistyka i ratownictwo, obserwacja, ochrona infrastruktury oraz działanie w środowisku zagrożenia	Testy w obu środowiskach, działanie przy ograniczonej łączności oraz dostępności globalnych systemów nawigacji satelitarnej (GNSS), tryb bezpieczny oraz możliwość przejęcia kontroli przez człowieka
Czujniki i analiza sygnałów	Rozpoznawanie obrazu i sygnałów, detekcja anomalii, fuzja wielu źródeł, dane optyczne, termiczne, akustyczne, radiowe oraz telemetryczne	Przemysł, środowisko, medycyna i transport, wykrywanie zagrożeń, obserwacja oraz monitoring infrastruktury krytycznej	Kalibracja, kontrola fałszywych alarmów, walidacja poza danymi treningowymi oraz odporność na zakłócenia i próby maskowania
Cyberbezpieczeństwo	Korelacja zdarzeń, wykrywanie anomalii i priorytetyzacja reakcji, logi, telemetria sieciowa, dane o podatnościach oraz incydentach	Ochrona przedsiębiorstw, chmury i infrastruktury, cyberobrona, sieci odseparowane oraz reagowanie na aktywnego przeciwnika	Red teaming, ślad audytowy, bezpieczne aktualizacje, kontrola uprawnień oraz ocena użytkownika końcowego i wymogów eksportowych, gdy mają zastosowanie
Łączność i technologie kosmiczne	Optymalizacja sieci, analiza widma, przetwarzanie danych obserwacyjnych, nawigacja i wykrywanie anomalii	Telekomunikacja, nawigacja i obserwacja Ziemi, odporna łączność, świadomość sytuacyjna oraz działanie przy zakłócaniu sygnałów	Interoperacyjność, ciągłość działania, testy zakłóceń, szyfrowanie oraz znajomość pochodzenia krytycznych komponentów
Zaawansowane wytwarzanie	Kontrola jakości, predykcje utrzymanie, planowanie produkcji i wykrywanie odchyleń, dane procesowe, obrazy oraz dane maszynowe	Lotnictwo, motoryzacja, energetyka i maszyny, krótkie serie, szybka rekonfiguracja, identyfikowalność komponentów oraz naprawy terenowe	Gotowość produkcyjna, kwalifikacja dostawców, kontrola wersji, jakość produkcji oraz możliwość zwiększenia skali wytwarzania
SI i wspomaganie decyzji	Prognozowanie, analiza scenariuszy, klasyfikacja ryzyka i łączenie danych z wielu źródeł, dane operacyjne, przestrzenne oraz zdarzeniowe	Utrzymanie, planowanie i zarządzanie kryzysowe, świadomość sytuacyjna oraz wsparcie decyzji w środowisku bezpieczeństwa	Jawna niepewność, identyfikowalność danych i wersji modelu, określone granice autonomii, możliwość odłączenia oraz odpowiedzialność człowieka

Źródło: opracowanie własne na podstawie [43]–[44].

Wspólnym wnioskiem z mapy jest to, że SI rzadko stanowi samodzielny produkt końcowy. Jej skuteczność zależy od jakości czujników i danych, opóźnień łączności, architektury systemu, możliwości działania przy awarii oraz sposobu, w jaki wynik modelu jest wykorzystywany przez człowieka lub automat. Z tego względu przy ocenie wdrożenia warto uwzględniać nie tylko trafność modelu, ale również działanie całego systemu w docelowym środowisku, liczbę fałszywych alarmów, czas reakcji, odporność na zmianę warunków, możliwość bezpiecznego wycofania wersji i koszt utrzymania.

3.3. Od modelu do systemu gotowego do działania

Przejście od modelu SI do produktu podwójnego zastosowania wymaga integracji technologii z rzeczywistym urządzeniem, procesem i odpowiedzialnością użytkownika. W systemie obserwacji jakość rozwiązania zależy nie tylko od rozpoznawania obiektów, lecz także od optyki, kalibracji, opóźnienia transmisji i sposobu prezentowania niepewności. W platformie autonomicznej planowanie trasy współdziała z lokalizacją, unikaniem kolizji, łącznością i sterowaniem awaryjnym. W cyberbezpieczeństwie wykrycie anomalii tworzy wartość dopiero w połączeniu z procedurą reakcji i ochroną danych oraz modelu przed manipulacją.

Dlatego gotowość rozwiązania warto oceniać szerzej niż przez sam poziom gotowości technologicznej (TRL). Dwa demonstratory o podobnej dojrzałości technologicznej mogą różnić się gotowością produkcyjną, cyberbezpieczeństwem, prawami do kodu i danych, odpornością łańcucha dostaw, dokumentacją, możliwością serwisowania oraz dostępem do użytkownika referencyjnego. W produktach rozwijanych dla dwóch środowisk dochodzi jeszcze koszt dostosowania: dodatkowe testy, wzmocnienie sprzętu, zmiana interfejsów, certyfikacja, ochrona informacji czy zapewnienie działania bez stałego połączenia z siecią.

Szczególne znaczenia nabiera walidacja poza warunkami laboratoryjnymi. Zmiana kamery, pory roku, konfiguracji sieci, rodzaju zakłócenia albo sposobu działania przeciwnika może istotnie zmienić jakość systemu. Stąd znaczenie testów odporności, red teamingu, rejestru wersji, możliwości powrotu do poprzedniej konfiguracji oraz technicznego trybu bezpiecznego. NATO w strategii dotyczącej SI wskazuje m.in. legalność, odpowiedzialność, wyjaśnialność i identyfikowalność, niezawodność oraz możliwość kontroli jako zasady odpowiedzialnego wykorzystania tej technologii [45].

Warunki bezpieczeństwa obejmują również kontekst użycia i łańcuch dostaw. W zależności od zdolności systemu i profilu odbiorcy istotne mogą być klasyfikacja eksportowa, użytkownik końcowy, kraj docelowy, prawa do zdalnego serwisu, pochodzenie krytycznych komponentów oraz możliwość zastąpienia dostawcy. Unijny system kontroli eksportu tworzy wspólne ramy dla określonych produktów podwójnego zastosowania [43], a Komisja rozwija koordynację i wytyczne dotyczące szczególnie wrażliwych technologii, w tym cyberinwigilacji [46]. Uwzględnienie tych wymagań na etapie projektowania może ułatwiać późniejsze testowanie, zamówienia i eksport produktu.

3.4. Polska: kompetencje, instrumenty i przejście od prototypu do zamówienia

W Polsce powstaje coraz więcej elementów potrzebnych do rozwoju produktów podwójnego zastosowania. W marcu 2026 r. przyjęto rozwiązania cyfryzujące składanie wniosków i raportów dotyczących obrotu zagranicznego towarami strategicznymi [47]. W lutym zapowiedziano rozszerzenie programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki o technologie obronne i inwestycje podwójnego zastosowania [48], a w lipcu Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości uruchomiła nabór „DeepTech Goes Dual” o wartości 30 mln zł [49]. Równolegle Fundusz Bezpieczeństwa i Obronności osiągnął alokację około 23 mld zł na inwestycje

zwiększające odporność, bezpieczeństwo oraz potencjał przedsiębiorstw [50]. Tworzy to bazę finansową i instytucjonalną, którą można łączyć z działaniami dotyczącymi SI.

Istotna jest również krajowa baza technologiczna. Polska Agencja Inwestycji i Handlu wskazuje kompetencje m.in. w bezzałogowych statkach powietrznych, cyberbezpieczeństwie, systemach łączności, elektronice, fotonice, technologiach kosmicznych oraz SI [44]. W wielu z tych obszarów polskie przedsiębiorstwa mogą dostarczać wyspecjalizowany moduł zamiast całej platformy: system rozpoznawania obiektów, odporną łączność, oprogramowanie do planowania, detektor anomalii, element nawigacji czy narzędzie ochrony danych. Taki model jest szczególnie istotny dla MŚP i firm deep-tech, które mogą wejść do większego łańcucha dostaw przez produkt o jasno określonej funkcji.

Najważniejszym obszarem do wzmocnienia pozostaje ciągłość przejścia od badań i prototypowania do wdrożenia, pierwszego zamówienia oraz produkcji. Po etapie B+R potrzebne są użytkownik, miejsce testów, odpowiednie dane, formalne dopuszczenie, finansowanie dostosowania produktu oraz zdolność do uruchomienia produkcji i serwisu. W produktach podwójnego zastosowania proces ten jest bardziej złożony, ponieważ jeden rdzeń technologiczny może podlegać różnym wymaganiom w środowisku cywilnym i bezpieczeństwa. Mapa wdrożeń mogłaby łączyć te etapy w jedną ścieżkę, pokazując, gdzie dostępne są instrumenty finansowe, środowiska testowe i potencjalni użytkownicy.

Przydatnymi miernikami takiego podejścia byłyby czas od demonstratora do testu u użytkownika, okres do pierwszego zamówienia, liczba kolejnych wdrożeń, udział wspólnych komponentów między wersjami produktu oraz gotowość do produkcji i utrzymania. Pozwalałoby to oceniać nie tylko liczbę wspartych projektów, lecz zdolność krajowego ekosystemu do przekształcania technologii SI w produkty stosowane i kupowane w rzeczywistych warunkach.

3.5. Europa: projektowanie dual-use, finansowanie i wspólny rynek

W Unii Europejskiej produkty podwójnego zastosowania są coraz wyraźniej łączone z polityką innowacyjną, bezpieczeństwa i przemysłową. Komisja wskazuje na podejście „dual-use by design”, w którym potencjalne zastosowania cywilne i bezpieczeństwa są uwzględniane już na etapie projektowania technologii [51]. Biała księga gotowości obronnej 2030 łączy rozwój SI i innych technologii przełomowych z rozbudową europejskich zdolności przemysłowych [52], a mapa transformacji przemysłu obronnego wskazuje na większe wykorzystanie instrumentów wspierających projekty podwójnego zastosowania oraz skalowanie technologii krytycznych [53].

Coraz więcej instrumentów dotyczy przejścia od badań do zastosowania. W marcu 2026 r. Komisja zaproponowała program AGILE o wartości 115 mln euro, ukierunkowany na szybsze przenoszenie przełomowych technologii obronnych z laboratorium do praktycznego wykorzystania [54]. Program prac Europejskiego Funduszu Obronnego na 2026 r. obejmuje SI i podkreśla powiązanie badań z konkretnymi wymaganiami użytkownika [55]. Z kolei mechanizm „spin-in” w EUDIS ma ułatwiać przenoszenie wyników cywilnych badań do zastosowań bezpieczeństwa [56]. Wspólnym kierunkiem jest więc połączenie technologii, środowiska testowego, użytkownika oraz finansowania kolejnego etapu rozwoju.

Państwa UE pełnią w tym ekosystemie różne role. Część dysponuje szerokimi zdolnościami integracji dużych systemów i rozwiniętym przemysłem obronnym, inne specjalizują się w elektronice, fotonice, łączności, kosmosie, cyberbezpieczeństwie lub produkcji wyspecjalizowanych komponentów. Dla Polski oznacza to możliwość równoległego rozwijania własnych produktów oraz wchodzenia do europejskich łańcuchów dostaw

jako dostawca modułu, partner konsorcjum lub uczestnik wspólnych testów. Zróżnicowanie ról państw UE w tym ekosystemie porządkuje tab. 3.2.

Tab. 3.2. Role państw UE w ekosystemie produktów podwójnego zastosowania

Rola ekosystemowa	Państwa	Wspólna przewaga lub bariera	Możliwy kierunek współpracy z Polską
Integratorzy i szeroka baza przemysłowa	Francja, Hiszpania, Niemcy, Szwecja, Włochy	Duże programy, integracja systemów, certyfikacja i dostęp do użytkownika końcowego	Dostawa modułów, konsorcja, wspólna kwalifikacja i wejście do łańcucha dostaw
Nisze zaawansowanych technologii, sektor kosmiczny i kapitał	Austria, Belgia, Dania, Finlandia, Luksemburg, Niemcy, Szwecja, Włochy	Elektronika, fotonika, łączność, kosmos, materiały, fundusze i instytucje	Wspólne badania, inwestycje, specjalistyczne komponenty i testy
Wschodnia flanka i szybkie wdrażanie technologii	Czechy, Estonia, Litwa, Łotwa, Polska, Rumunia, Słowacja	Bezpośrednia presja bezpieczeństwa, rozwijające się MŚP cyfrowe i produkcyjne	Rozwiązania antydronowe, cyber, obserwacja, odporność infrastruktury i krótkie serie
Wyspecjalizowane łańcuchy i środowiska	Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Grecja, Irlandia, Malta, Portugalia, Słowenia, Węgry	Nisze morskie, lotnicze, materiałowe, cybernetyczne i produkcyjne, mniejsza skala rynku	Testy środowiskowe, komponenty, wspólne oferty eksportowe i uzupełnianie łańcuchów

Źródło: opracowanie własne na podstawie [51]–[56].

Wspólny rynek ułatwia współpracę, ale rozwój produktu nadal wymaga uwzględnienia kontroli eksportu, ochrony informacji i różnych praktyk zamówieniowych. Rozporządzenie 2021/821 ustanawia unijny system kontroli wywozu produktów podwójnego zastosowania [43], a Komisja rozwija koordynację krajowych list I wytyczne dotyczące technologii wrażliwych [46]. Architektura produktu, prawa do oprogramowania, miejsce przechowywania danych, sposób zdalnego serwisu i pochodzenie komponentów mogą wpływać na możliwość późniejszego wejścia na kolejne rynki. Uwzględnienie tych kwestii od początku zwiększa wiarygodność produktu wobec integratorów i użytkowników publicznych.

3.6. Świat: problem operacyjny, test i droga do zakupu

W politykach państw i organizacji rozwijających technologie podwójnego zastosowania powtarza się mechanizm łączący konkretny problem użytkownika, test w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, finansowanie rozwoju oraz drogę do zakupu. NATO Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (DIANA) organizuje program wokół wyzwań operacyjnych i wykorzystuje sieć 16 ośrodków akceleryacyjnych oraz ponad 200 centrów testowych [57]. NATO Innovation Fund zapewnia kapitał dla technologii głębokich związanych z obronnością, bezpieczeństwem i odpornością [58]. Taki układ pozwala przedsiębiorstwu przejść od rozwiązania technologicznego do produktu sprawdzonego przez użytkownika i potencjalnie skalowanego na wielu rynkach sojuszniczych.

Podobne mechanizmy rozwijają Stany Zjednoczone, Wielka Brytania i Kanada. W USA Chief Digital and Artificial Intelligence Office oraz Defense Innovation Unit wspierają szybkie testowanie połączone z integracją komercyjnych technologii, w tym rozwiązań opartych na danych, analityce i SI [59]. Wielka Brytania łączy inwestycje w technologie podwójnego zastosowania z rozwojem kompetencji i wdrażaniem SI w programach obronnych [60]. Kanada zestawia dostęp do kapitału ze wsparciem MŚP, poświadczeniami bezpieczeństwa, wymianą informacji i polityką budowania krajowych zdolności przemysłowych [61]. W każdym z tych modeli ważną rolę odgrywa instytucja po stronie użytkownika, która potrafi zdefiniować potrzebę, przeprowadzić test i stworzyć popyt na skuteczne rozwiązanie.

W Azji i regionie Pacyfiku widoczny jest ten sam nacisk na połączenie cywilnej bazy technologicznej z realnym użytkownikiem. Japonia finansuje szeroki program prac badawczo-rozwojowych w obronności oraz wskazuje zarówno wykorzystanie zaawansowanych technologii cywilnych, jak i możliwość przenoszenia rezultatów inwestycji obronnych do zastosowań społecznych [62]. Indyjski program iDEX łączy wyzwania sił zbrojnych z mentoringiem, testami i możliwością wejścia startupów oraz MŚP do łańcuchów dostaw [63]. Singapur rozwija zasady odpowiedzialnego użycia SI w systemach autonomicznych i cyberbezpieczeństwie [64], a Australia wykorzystuje współpracę AUKUS do prototypowania m.in. łączności podwodnej oraz sterowania systemami autonomicznymi [65]. Wybrane modele przejścia od technologii do zastosowania bezpieczeństwa porównano w tab. 3.3.

Tab. 3.3. Modele przejścia od technologii do zastosowania bezpieczeństwa

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Od wyzwania przez test do rynku	akcelerator innowacji obronnych NATO DIANA	Problem operacyjny, akceleracja, ponad 200 centrów testowych i dostęp do użytkowników	łączenie grantu ze sprawdzeniem działania w docelowym środowisku i możliwością powtórnego zakupu
Włączanie gotowych technologii cywilnych do zastosowań bezpieczeństwa	Stany Zjednoczone, Wielka Brytania	Wyszukiwanie gotowych technologii cywilnych, szybki prototyp i integracja z programem	Stała instytucja po stronie użytkownika, która potrafi kupić i wdrożyć
Kapitał + zdolność przemysłowa	Kanada, NATO Innovation Fund	Kapitał, wsparcie MŚP, poświadczenia, wymiana informacji i budowa produkcji	Równoległe finansowanie produktu, bezpieczeństwa organizacji i skali wytwarzania
Cywilna technologia + zwrot społeczny	Japonia, Singapur, Australia	Włączanie cywilnych technologii do obronności, wspólne laboratoria i wyzwania sojusznicze	Projektowanie dwóch rynków i kontrolowany transfer wiedzy w obu kierunkach
Wyzwania + łańcuch dostaw	Indie	Mentoring, testy i możliwe włączenie startupu do zamówień publicznych	Wczesna obecność integratora i użytkownika ogranicza ryzyko prototypu bez klienta

Źródło: opracowanie własne na podstawie [57]–[65].

Dla Polski najbardziej użyteczny jest wspólny mechanizm tych modeli: powiązanie finansowania z potrzebą użytkownika, dostępem do środowiska testowego, kryteriami gotowości oraz możliwością kolejnego zamówienia. W obszarze produktów podwójnego zastosowania taka sekwencja może mieć większe znaczenie niż pojedynczy grant, ponieważ rozwój systemu wymaga równoległego dopracowania technologii, bezpieczeństwa organizacji, integracji, produkcji i warunków wejścia na rynek.

3.7. Produkty podwójnego zastosowania jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

Produkty podwójnego zastosowania mają mocne uzasadnienie jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI. łączą rozwój zaawansowanych technologii z bezpieczeństwem i odpornością państwa, a jednocześnie tworzą przestrzeń do budowania produktów konkurencyjnych na rynku cywilnym oraz publicznym. W przypadku SI szczególne znaczenie mają systemy autonomiczne, analiza obrazu i sygnałów, świadomość sytuacyjna, cyberbezpieczeństwo, odporna łączność oraz wspomaganie decyzji. Są to obszary wskazywane również w samym projekcie Polityki AI jako kierunki rozwoju systemów podwójnego zastosowania.

Przekrojowy charakter tego obszaru wzmacnia argument za odrębną mapą wdrożeń. Rozwiązanie może powstawać w firmie robotycznej, telekomunikacyjnej, kosmicznej, cyberbezpieczeństwa lub przemysłowej, ale droga do wdrożenia często wymaga wspólnych elementów: dostępu do użytkownika publicznego,

odpowiednich danych, środowiska testowego, integracji z istniejącymi systemami, walidacji bezpieczeństwa, ochrony informacji, oceny wymogów eksportowych, finansowania dostosowania oraz możliwości produkcji i serwisu. Są to zależności, których nie obejmuje w całości pojedynczy program B+R ani horyzontalny instrument wspierania wdrażania SI.

Mapa obszarowa mogłaby więc koncentrować się na przejściu od zdolności technologicznej do produktu gotowego do użycia. Dla głównych rodzin zastosowań warto byłoby wskazać użytkowników cywilnych, jak również publicznych, dostępne środowiska testowe, wymagane dane, sposób walidacji, warunki bezpieczeństwa i integracji oraz możliwe instrumenty finansowania kolejnych etapów. W przypadku rozwiązań opartych na SI szczególnego znaczenia nabiera także możliwość sprawdzenia działania poza danymi treningowymi, kontrola wersji, identyfikowalność wyników oraz określenie granic autonomii.

Polska ma podstawy do budowania takiego ekosystemu: kompetencje technologiczne w kilku istotnych niszach [44], rosnącą liczbę instrumentów wspierających projekty podwójnego zastosowania [48]–[50] oraz dostęp do europejskich i natowskich programów testowania, finansowania czy współpracy [45]–[46], [51]–[58]. Szczególną szansą jest rozwój wyspecjalizowanych modułów i systemów, które mogą być integrowane z większymi platformami oraz jednocześnie znajdować zastosowanie na rynku cywilnym. Pozwala to łączyć bezpieczeństwo państwa z rozwojem krajowych kompetencji przemysłowych i eksportowych.

Doświadczenia europejskie i światowe wskazują przy tym, że skuteczna polityka dual-use coraz częściej łączy prace badawczo-rozwojowe z testem u użytkownika, kapitałem, skalowaniem produkcji oraz zamówieniami [45]–[46], [51]–[65]. Dla mapy obszarowej w Polsce istotne byłoby więc powiązanie istniejących instrumentów w czytelną ścieżkę, w której rozwój modelu SI prowadzi do zweryfikowanego systemu, a następnie do pierwszego i kolejnych wdrożeń. Takie podejście odpowiada celowi Polityki AI, jakim jest jednocześnie zwiększanie wykorzystania SI w strategicznych obszarach oraz wzmacnianie pozycji polskich firm na rynkach międzynarodowych.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem produktów podwójnego zastosowania do obszarów kluczowych

W tym obszarze znaczenie strategiczne wynika z jednoczesnego wpływu na bezpieczeństwo, odporność państwa, krajowych kompetencji w technologiach deep-tech, rosnących instrumentów finansowania oraz możliwości wykorzystania wspólnego rdzenia technologicznego na rynku cywilnym i w zastosowaniach bezpieczeństwa. Odrębna mapa wdrożeń może łączyć rozwój SI z użytkownikiem, testowaniem, wymaganiami bezpieczeństwa, produkcją i zamówieniami, tworząc ścieżkę od technologii do skalowalnego produktu.

4. Cyberbezpieczeństwo

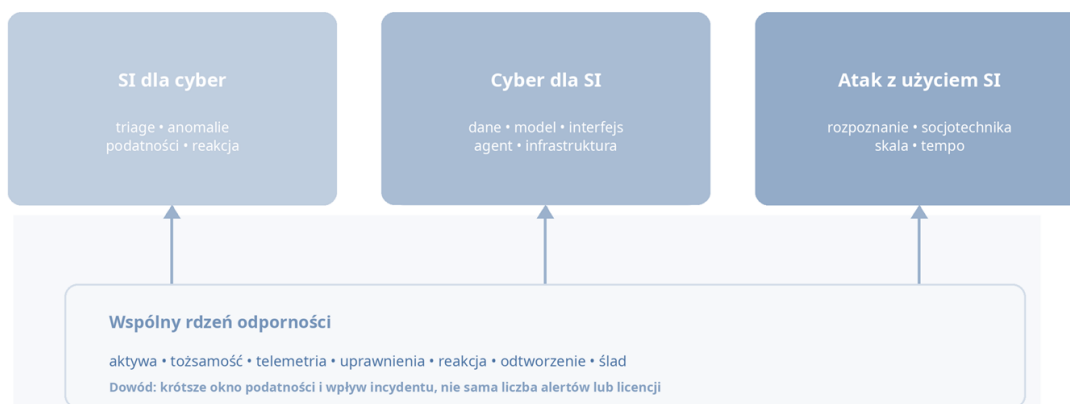
4.1. Cyberbezpieczeństwo jako warstwa odporności cyfrowej

Cyberbezpieczeństwo pełni jednocześnie funkcję obszaru produktów i usług oraz warstwy odporności, od której zależy ciągłość procesów cyfrowych w całej gospodarce. Wraz z upowszechnianiem SI znaczenie tej warstwy rośnie, ponieważ systemy wykorzystujące modele, dane i zautomatyzowane interfejsy stają się kolejnymi zasobami wymagającymi ochrony, a równocześnie sama SI zwiększa możliwości analizy dużej liczby zdarzeń bezpieczeństwa. W energetyce, finansach, transporcie, ochronie zdrowia czy administracji cyberbezpieczeństwo staje się więc jednym z warunków bezpiecznego wdrażania zastosowań SI.

Relacja między SI a cyberbezpieczeństwem ma trzy powiązane kierunki. SI może wspierać obronę przez porządkowanie alertów, wykrywanie nietypowych zachowań, klasyfikację złośliwych plików, priorytetyzację podatności i analizę incydentów. Jednocześnie ochrony wymagają same rozwiązania SI: dane treningowe, modele, interfejsy, rejestry wersji oraz systemy agentowe wykonujące wieloetapowe zadania. Trzeci kierunek wynika z wykorzystania SI przez napastników do skalowania socjotechniki, wyszukiwania słabości i przygotowywania nowych wariantów ataku [66]–[68]. Te trzy kierunki zależności syntetycznie przedstawiono na rys. 4.1.

Cyberbezpieczeństwo i SI tworzą trzy równoległe zadania

Przewaga pojawia się dopiero wtedy, gdy obrona, ochrona modelu i odporność na przeciwnika są projektowane razem.



Rys. 4.1. Trzy relacje między cyberbezpieczeństwem i SI

Źródło: opracowanie własne na podstawie [66]–[68].

Wspólnym rdzeniem obszaru jest ciąg działań prowadzących od rozpoznania zasobów wraz z ich zależnościami, przez ograniczanie podatności, wykrywanie i reagowanie na incydenty, po odtworzenie usługi oraz poprawę zabezpieczeń. SI może wspierać każdy z tych etapów, ale jej rola oraz dopuszczalny poziom automatyzacji zależą od skutków możliwego błędu, krytyczności chronionego zasobu i możliwości szybkiego cofnięcia decyzji.

4.2. Mapa zastosowań SI w cyberbezpieczeństwie

Zastosowania SI w cyberbezpieczeństwie warto porządkować według decyzji podejmowanych w cyklu zarządzania incydem i ryzykiem, a nie według typu modelu. Pozwala to powiązać każde rozwiązanie z danymi, miernikiem wyniku oraz warunkami bezpiecznego użycia. Szczególnie istotne są procesy, w których liczba zdarzeń przekracza możliwości ręcznej analizy, a trafniejsze ustalenie priorytetu skraca czas reakcji lub ogranicza skutki incydentu. Najważniejsze zastosowania wraz z danymi, miernikami i warunkami bezpiecznego użycia ujęto w tab. 4.1.

Tab. 4.1. Mapa zastosowań SI w cyberbezpieczeństwie

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Rozpoznanie zasobów i uprawnień	Inwentarz, tożsamości, konfiguracje, telemetria, skład oprogramowania, łączenie rekordów i wykrywanie odstępstw	Pokrycie inwentarza, liczba nieznananych zasobów, czas odebrania zbędnego dostępu	Wiarygodne źródła referencyjne, identyfikacja właściciela zasobu, kontrola zmian uprawnień
Priorytetyzacja podatności i zabezpieczeń	Podatności, ekspozycja, krytyczność usługi, konfiguracja, informacje o aktywnych atakach, modele oceny ryzyka i ranking	Czas usunięcia krytycznej podatności, długość okna ekspozycji, trafność priorytetyzacji	Jawne kryteria priorytetu, uwzględnienie okien serwisowych, możliwość cofnięcia zmiany
Wykrywanie i wstępna klasyfikacja incydentów	Logi, telemetria sieciowa i endpointowa, poczta, zachowanie użytkowników, informacje o zagrożeniach, klasyfikacja, grupowanie oraz detekcja anomalii	Czas wykrycia, skuteczność dla scenariuszy ataku, liczba fałszywych alarmów, obciążenie analityka	Monitorowanie jakości detekcji, odporność na omijanie zabezpieczeń, możliwość weryfikacji źródła sygnału
Reagowanie na incydenty	Kontekst zasobu, historia zdarzeń, playbooki, stan sieci i tożsamości, wyszukiwanie wiedzy, modele językowe oraz planowanie działań	Czas ograniczenia skutków, skuteczność akcji, liczba eskalacji, możliwość odwrócenia działania	Najmniejsze niezbędne uprawnienia, zatwierdzanie działań o dużym skutku, niezmienny ślad decyzji
Odtwarzanie i ciągłość działania	Mapy zależności usług, kopie zapasowe, plany odtworzeniowe, dane o priorytetach biznesowych, analiza zależności i kolejności odtworzenia	docelowy czas odtworzenia (RTO) i docelowy punkt odtworzenia (RPO), powodzenie testu odtworzenia, rzeczywisty czas przywrócenia usługi	Odseparowane i sprawdzone kopie, regularne testy, procedura działania ręcznego oraz komunikacji kryzysowej
Bezpieczeństwo systemów SI	Rejestry danych i modeli, konfiguracja interfejsów, wywołania narzędzi, uprawnienia, wyniki testów przeciwniczych	Pokrycie testów, liczba i skutek incydentów, czas wycofania wersji, skuteczność blokowania niedozwolonych działań	Wersjonowanie, kontrola dostępu, izolacja narzędzi, red teaming, możliwość szybkiego odłączenia lub powrotu do bezpiecznej wersji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [66]–[71].

W zastosowaniach operacyjnych warto stopniować zakres automatyzacji. Model może samodzielnie grupować zdarzenia, uzupełniać kontekst i przygotowywać rekomendację, natomiast działania wpływające na krytyczne uprawnienia, dostępność systemu lub dane mogą wymagać zatwierdzenia przez człowieka. Im większy i trudniej odwracalny skutek decyzji, tym większe znaczenie mają przewidywalność, kontrola uprawnień, rejestrowanie działania oraz możliwość szybkiego powrotu do bezpiecznej konfiguracji.

Efekt wdrożenia może być oceniany na poziomie całego procesu bezpieczeństwa. Przydatne są m.in. czas wykrycia i ograniczenia incydentu, czas usunięcia krytycznej podatności, udział zasobów objętych wiarygodnym monitoringiem, liczba fałszywych alarmów, powodzenie testu odtworzenia czy rzeczywisty czas przywrócenia usługi. Takie mierniki pozwalają sprawdzić, czy zastosowanie SI zwiększa odporność operacyjną, a nie jedynie szybkość przetwarzania danych.

4.3. Bezpieczeństwo systemów SI i automatyzacji

Upowszechnienie modeli generatywnych i systemów agentowych rozszerza zakres cyberbezpieczeństwa o ochronę nowych elementów architektury. Atak może być skierowany na dane treningowe, model, kontekst przekazywany podczas wykonywania zadania, interfejs do narzędzi albo uprawnienia, z których system korzysta. Amerykański Narodowy Instytut Standaryzacji i Technologii (NIST) ujmuje takie zagrożenia m.in. jako zatrucie danych, próby obejścia mechanizmów detekcji, naruszenia prywatności oraz nadużywanie możliwości modeli [67]. W systemach agentowych dodatkowego znaczenia nabierają manipulowanie instrukcjami, podmiana kontekstu i nieuprawnione wykonywanie kolejnych działań.

Jednym z warunków bezpiecznego wykorzystania SI jest kontrola całego cyklu życia: pochodzenia i wersji danych, wersjonowania modeli, zarządzania uprawnieniami, izolowania środowiska wykonawczego, testów przeciwniczych oraz rejestrowania działań. NIST proponuje rozpatrywanie łącznie trzech problemów: ochrony systemów SI, wykorzystania SI do cyberobrony oraz przeciwdziałania atakom wspomaganym przez SI [68]. Takie podejście pozwala projektować zabezpieczenia równolegle z funkcjonalnością systemu.

Szczególna ostrożność jest uzasadniona przy wdrażaniu SI w technologii operacyjnej (OT), gdzie decyzja cyfrowa może zatrzymać urządzenie lub proces fizyczny. Zasady bezpiecznej integracji SI z OT obejmują ograniczanie uprawnień, testowanie w odseparowanym środowisku, zachowanie ręcznego trybu pracy oraz możliwość powrotu do znanej konfiguracji zapewniającej bezpieczeństwo [71]. W mapie wdrożeń istotne jest rozróżnienie ścieżek walidacji dla zastosowań analitycznych, automatyzacji IT oraz systemów oddziałujących na infrastrukturę fizyczną.

4.4. Polska: rosnąca presja i rozwijane zdolności

W Polsce zapotrzebowanie na rozwiązania cyberbezpieczeństwa wynika jednocześnie ze skali incydentów, cyfryzacji usług oraz rozwijanych ram instytucjonalnych. Strategia Cyberbezpieczeństwa Rzeczypospolitej Polskiej do 2029 r., przyjęta 10 marca 2026 r., obejmuje rozwój Krajowego Systemu Cyberbezpieczeństwa, reagowanie na incydenty, odporność sektora publicznego i prywatnego, współpracę, edukację oraz wzmacnianie zaplecza badawczo-technologicznego [72]. Tworzy to ramę, w której rozwiązania wykorzystujące SI mogą być wiązane z konkretnymi zdolnościami operacyjnymi.

Skala danych operacyjnych jest już duża. W 2025 r. trzy krajowe zespoły reagowania na incydenty bezpieczeństwa komputerowego (CSIRT) otrzymały 682 245 zgłoszeń i obsłużyły 272 941 incydentów, o 144,4% więcej niż rok wcześniej. Na CSIRT NASK przypadło 260 783 incydentów [69]. Na wzrost wpływają również lepsze wykrywanie i raportowanie, jednak sama liczba zdarzeń pokazuje potrzebę narzędzi wspierających wstępną klasyfikację incydentów, korelację informacji oraz ustalanie priorytetów. W takich procesach SI może zwiększać wydajność specjalistów bez przenoszenia pełnej odpowiedzialności za reakcję na model.

Dodatkowy popyt tworzą wymagania Krajowego Systemu Cyberbezpieczeństwa (KSC). Nowelizacja ustawy o KSC weszła w życie 3 kwietnia 2026 r., a harmonogram przewiduje identyfikację, rejestrację podmiotów kluczowych i ważnych, wdrażanie obowiązków oraz audyty w kolejnych latach [73]. Oznacza to rosnące zapotrzebowanie na zarządzanie podatnościami, monitoring, reagowanie, ciągłość działania i bezpieczne utrzymanie produktów cyfrowych. Z punktu widzenia wdrożeń SI szczególnie istotne jest powiązanie wymogów formalnych z miernikami rzeczywistej odporności.

Polska dysponuje również środowiskiem wiedzy i danych pochodzących z rzeczywistych incydentów. CERT Polska rozwija m.in. analizę złośliwego oprogramowania, skanowanie podatności, ochronę poczty, wymianę informacji, testy aplikacji publicznych oraz skoordynowane ujawnianie luk bezpieczeństwa [74]. Dla samorządów i mniejszych organizacji rozwijany jest model współdzielenia zasobów poprzez Lokalne Centra Cyberbezpieczeństwa. W 2025 r. CSIRT NASK zarejestrował w samorządach 3249 incydentów [75]. Takie środowisko może służyć nie tylko do zakupu gotowych narzędzi, lecz także do walidacji rozwiązań na rzeczywistych procesach i rozwijania produktów możliwych do zastosowania u kolejnych odbiorców.

Dla krajowej mapy szczególnie wartościowe byłoby połączenie popytu instytucjonalnego z możliwością testowania i skalowania rozwiązań ze względu na dostęp do kontrolowanych zbiorów telemetrii i scenariuszy incydentów, wspólne środowiska testowe, jasne mierniki jakości oraz ścieżkę przejścia od pilotażu do długotrwałego utrzymania usługi. Pozwalałoby to wykorzystać istniejące zdolności CSIRT i krajowych dostawców jako środowisko referencyjne dla nowych produktów.

4.5. Europa: wspólne reguły i rosnący rynek cyberodporności

W Unii Europejskiej popyt na cyberbezpieczeństwo jest coraz silniej kształtowany przez wspólne ramy regulacyjne i operacyjne. Dyrektywa NIS2 obejmuje 18 sektorów o istotnym znaczeniu dla gospodarki i społeczeństwa [16]. Akt o cyberodporności (CRA) przenosi wymagania bezpieczeństwa na cały cykl życia produktów z elementami cyfrowymi, w tym zarządzanie podatnościami i bezpieczne aktualizacje [76], natomiast Akt o cybersolidarności rozwija wspólne zdolności wykrywania, przygotowania oraz reagowania [77]. W lipcu 2026 r. Komisja uzupełniła te działania planem łączącym cyberbezpieczeństwo z SI: wykorzystaniem modeli do obrony, ochroną systemów SI i odpornością na ataki zwiększane przez SI [66].

Regulacje tworzą wspólny kierunek, ale państwa różnią się strukturą gospodarki, poziomem cyfryzacji i rodzajem infrastruktury wymagającej ochrony. Badanie Agencji Unii Europejskiej ds. Cyberbezpieczeństwa (ENISA) obejmujące 1080 specjalistów ze wszystkich państw UE pokazało, że inwestycje są napędzane zarówno przez zgodność, jak i poprawę zarządzania ryzykiem, wykrywania oraz reagowania [70]. Jednocześnie niedobór specjalistów wzmacnia znaczenie usług współdzielonych i narzędzi zwiększających produktywność zespołów bezpieczeństwa. Różnice między dominującymi profilami wdrożeniowymi państw UE pokazano w tab. 4.2.

Tab. 4.2. Grupowanie państw UE według dominującego profilu wdrożeniowego cyberbezpieczeństwa

Profil wdrożeniowy	Państwa	Wspólny problem	Znaczenie dla polskich rozwiązań
Duża skala i rozbudowane łańcuchy dostaw	Austria, Belgia, Francja, Hiszpania, Irlandia, Niemcy, Niderlandy, Włochy	Wielu dostawców, platformy, przemysł, finanse i usługi transgraniczne	Bezpieczeństwo łańcucha dostaw, chmury i produktu, narzędzia wspierające CRA oraz zarządzanie podatnościami
Wysoka cyfryzacja i współzależność usług	Dania, Estonia, Finlandia, Litwa, Luksemburg, Łotwa, Szwecja	Tożsamość cyfrowa, chmura, telekomunikacja i ciągłość usług transgranicznych	Tożsamość, wymiana informacji o zagrożeniach, automatyzacja reakcji i testy usług wspólnych
Modernizacja przemysłu i administracji	Bułgaria, Czechy, Polska, Rumunia, Słowacja, Węgry	Technologia operacyjna, systemy starsze, samorzady i szybkie podnoszenie zdolności	Ochrona OT, regionalne centra usług, narzędzia dla MŚP i ćwiczenia sektorowe

Profil wdrożeniowy	Państwa	Wspólny problem	Znaczenie dla polskich rozwiązań
Rynki o mniejszej skali i wyspecjalizowanej infrastrukturze	Chorwacja, Cypr, Grecja, Malta, Portugalia, Słowenia	Mniejsza liczebność zespołów specjalistycznych, porty, turystyka, usługi publiczne i zależności zewnętrzne	Zarządzane usługi bezpieczeństwa, wspólne zasoby reagowania i powtarzalne moduły wdrożeniowe

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14], [16], [70], [77]–[78].

Wspólny rynek regulacyjny zwiększa możliwość przenoszenia sprawdzonych produktów między państwami. Dotyczy to m.in. zarządzania tożsamością, analizy telemetrii, automatyzacji reakcji, ochrony OT, bezpieczeństwa chmury, testowania systemów SI, kontroli składu oprogramowania oraz odtwarzania po incydencie. Dla polskich firm szczególne znaczenie może mieć zdolność do udokumentowania jakości, współpracy z różnymi systemami, bezpiecznych aktualizacji i możliwości zmiany dostawcy. ENISA wskazuje jednocześnie na znaczący niedobór specjalistów oraz utrzymującą się obecność dostawców kontrolowanych spoza UE na rynku zarządzanych usług bezpieczeństwa [70], [79], co tworzy przestrzeń dla rozwoju europejskich i polskich kompetencji.

4.6. Świat: odporność, bezpieczny produkt i krajowe zdolności

Poza Unią Europejską polityki cyberbezpieczeństwa coraz częściej łączą odporność państwa z rozwojem krajowego rynku technologicznego. W Stanach Zjednoczonych strategia z marca 2026 r. wiąże współpracę administracji i sektora prywatnego z inwestycjami w technologie, innowacje oraz zdolności cybernetyczne [80]. Wielka Brytania w Government Cyber Action Plan połączyła wieloletni budżet, centralną koordynację ryzyka i mierzalne cele odporności administracji [81]. W obu przypadkach popyt publiczny staje się jednocześnie mechanizmem budowania zdolności operacyjnych i rynku produktów oraz usług.

Kanada i Australia szerzej angażują przedsiębiorstwa, obywateli oraz dostawców technologii. Kanada łączy ochronę firm i obywateli z rozwojem krajowego przemysłu, talentów oraz współpracy [82]. Australia porządkuje działania w sześciu warstwach obejmujących m.in. odporność obywateli i firm, bezpieczną technologię, wymianę informacji, ochronę infrastruktury krytycznej oraz krajowe zdolności [83]. Takie podejścia pokazują znaczenie łączenia minimalnych wymagań bezpieczeństwa z usługami wspólnymi i rozwojem lokalnych dostawców.

Singapur silnie łączy cyberbezpieczeństwo z bezpieczeństwem nowych systemów SI. Krajowy przegląd krajobrazu cyberzagrożeń wskazuje SI wraz z zależnościami w łańcuchach dostaw jako czynniki zwiększające skalę i złożoność zagrożeń [84], a wytyczne dotyczące agentowej SI rozdzielają odpowiedzialność między model, platformę, organizację oraz użytkownika [85]. Wspólne stanowisko agencji Five Eyes z czerwca 2026 r. podkreśla natomiast bezpieczeństwo projektowane od początku oraz bezpieczne ustawienia domyślne [86]. Przykłady zagranicznych modeli łączących cyberodporność z rozwojem rynku zestawia tab. 4.3.

Tab. 4.3. Modele zagraniczne łączenia cyberodporności z rozwojem rynku

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Koordinacja publiczno-prywatna i inwestycje technologiczne	Stany Zjednoczone	Współpraca administracji i sektora prywatnego, inwestycje w technologie oraz zdolności cybernetyczne	łączenie popytu instytucjonalnego z rozwojem krajowych produktów i szybką walidacją zdolności

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Wymierna odporność administracji	Wielka Brytania	Centralna koordynacja ryzyka, wieloletni plan, budżet i cele dla sektora publicznego	Wspólne wskaźniki oraz techniczna ocena odporności usług publicznych
Całe społeczeństwo i przemysł	Kanada	Partnerstwa, ochrona obywateli i firm, rozwój talentów oraz krajowej technologii	Łączenie programów dla MŚP z popytem instytucji i wymianą informacji o zagrożeniach
Warstwowy model odporności	Australia	Bezpieczna technologia, wymiana informacji, ochrona infrastruktury krytycznej i zdolności krajowe	Portfel rozwiązań powiązany z konkretną warstwą odporności i miernikiem skutku
Bezpieczeństwo SI i łańcucha dostaw	Singapur	Wytyczne dla systemów agentowych, odpowiedzialność w łańcuchu i rozwój kompetencji	Testy systemów SI, zasada najmniejszych uprawnień i jasny podział odpowiedzialności

Źródło: opracowanie własne na podstawie [80]–[86].

Wspólnym elementem tych podejść jest łączenie bezpiecznego produktu, sprawnej zdolności reagowania, wymiany informacji oraz krajowego ekosystemu specjalistów i dostawców. Różnice dotyczą przede wszystkim organizacji popytu publicznego, stopnia centralizacji oraz roli wspólnych usług. Z perspektywy Polski szczególnie istotny jest mechanizm przechodzenia od wymagania bezpieczeństwa do testu, długotrwałego utrzymania i kolejnego wdrożenia produktu.

4.7. Cyberbezpieczeństwo jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

Cyberbezpieczeństwo ma mocne uzasadnienie jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI ze względu na jego bezpośrednią zależność z rozwojem i wdrażaniem SI. Technologia może zwiększać zdolności obronne, ale równocześnie tworzy nowe zasoby wymagające ochrony oraz sprzyja skalowaniu działań napastników. W efekcie rozwój bezpiecznych zastosowań SI w innych sektorach zależy częściowo od jakości produktów, usług i kompetencji cyberbezpieczeństwa. Ten związek ma charakter systemowy: incydent w dostawcy chmury, tożsamości, oprogramowania lub infrastruktury krytycznej może oddziaływać jednocześnie na wiele podmiotów i procesów gospodarczych.

W Polsce istnieją warunki do rozwijania i sprawdzania takich rozwiązań. Duża liczba incydentów obsługiwanych przez krajowe CSIRT, rozwijany KSC, działalność CERT Polska, programy dla administracji i samorządów oraz rosnący popyt wynikający z wymagań bezpieczeństwa tworzą realne środowisko wdrożeniowe [69], [72]–[75]. Szczególną wartość może mieć wykorzystanie tych procesów do walidacji narzędzi wspierających analizę zdarzeń, zarządzanie podatnościami, reagowanie, odtwarzanie oraz bezpieczeństwo systemów SI.

Obszarowa mapa wdrożeń mogłaby w tym przypadku uzupełniać horyzontalne instrumenty wsparcia AI o elementy specyficzne dla bezpieczeństwa: dostęp do kontrolowanych danych wraz ze scenariuszami incydentów, środowiska testowe, zasady walidacji automatyzacji o różnym poziomie skutków, bezpieczeństwo modeli, systemów agentowych, wspólne mierniki odporności oraz wymagania dotyczące interoperacyjności i utrzymania produktu. Podstawowe funkcje cyberbezpieczeństwa są wspólne dla wielu sektorów, ale sposób ich wdrażania zależy od krytyczności usługi i charakteru infrastruktury, co zwiększa znaczenie koordynacji między sektorami oraz właściwymi instytucjami.

Wspólne regulacje i mechanizmy unijne dodatkowo zwiększają możliwość skalowania rozwiązań rozwijanych w Polsce. NIS2, CRA i europejskie mechanizmy solidarności tworzą zbliżone wymagania dla dużej części rynku, a niedobór specjalistów zwiększa znaczenie zarządzanych usług bezpieczeństwa oraz automatyzacji wspierającej człowieka [16], [70], [76]–[79]. Daje to przestrzeń dla wyspecjalizowanych polskich produktów, szczególnie tam, gdzie można udokumentować skuteczność, bezpieczną integrację z różnymi środowiskami oraz zdolność do długotrwałego utrzymania rozwiązania. Najważniejsze przesłanki za uznaniem cyberbezpieczeństwa za obszar kluczowy podsumowano w tab. 4.4.

Tab. 4.4. Cyberbezpieczeństwo jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

Kryterium	Wnioski z analizy obszaru	Znaczenie dla mapy
Znaczenie systemowe	Cyberbezpieczeństwo warunkuje ciągłość usług cyfrowych i procesów fizycznych w wielu sektorach gospodarki	Wspólne mierniki odporności oraz różnicowanie wymagań według krytyczności usługi
Relacja z SI	SI wspiera cyberobronę, systemy SI wymagają ochrony, a napastnicy wykorzystują SI do skalowania działań	Połączenie zastosowań SI w obronie z bezpieczeństwem modeli, danych, agentów i infrastruktury
Gotowość Polski	KSC, krajowe CSIRT, CERT Polska, rosnąca liczba incydentów i programy wzmacniania odporności tworzą realne środowisko wdrożeń	Kontrolowany dostęp do danych, scenariuszy testowych i odbiorców referencyjnych
Bariery obszarowe	Wdrożenia wymagają dostępu do wrażliwej telemetrii, testów przeciwniczych, bezpiecznej automatyzacji i integracji z istniejącymi systemami	Wspólne środowiska testowe, standardy bezpieczeństwa, zasady odpowiedzialności i walidacji
Możliwość powielania	Podobne funkcje bezpieczeństwa i wspólne regulacje występują w wielu sektorach oraz państwach UE	Interoperacyjność, przenośność reguł i telemetrii, powtarzalny pakiet wdrożeniowy
Potencjał krajowych podmiotów	Krajowe zespoły i dostawcy mogą rozwijać specjalistyczne narzędzia oraz usługi na podstawie rzeczywistych potrzeb operacyjnych	Przejsięcie od pilotażu do utrzymania, kolejnych odbiorców i eksportu na wspólnym rynku

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16], [66]–[86].

Połączenie znaczenia systemowego, bezpośredniej relacji z rozwojem SI, istniejącego popytu operacyjnego oraz możliwości budowania powtarzalnych produktów i usług przemawia za odrębną mapą obszarową. Jej główną funkcją mogłoby być przełożenie ogólnych celów bezpieczeństwa na konkretne ścieżki wdrożeń: od problemu i danych, przez test w kontrolowanym środowisku, po wykorzystanie operacyjne oraz skalowanie rozwiązania u kolejnych odbiorców.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem cyberbezpieczeństwa do obszarów kluczowych

Cyberbezpieczeństwo wyróżnia jednocześnie wykorzystanie SI do ochrony, konieczność zabezpieczania samych systemów SI oraz wzrost skali i automatyzacji zagrożeń. Obszarowa mapa wdrożeń może połączyć te trzy kierunki z krajowymi zdolnościami reagowania, danymi z rzeczywistych incydentów, bezpiecznymi środowiskami testowymi oraz rozwojem produktów możliwych do skalowania na rynku europejskim.

5. BioMedTech

5.1. BioMedTech: od danych i modelu do wartości klinicznej oraz gospodarczej

BioMedTech łączy biotechnologię medyczną, farmację, technologie medyczne i cyfrową ochronę zdrowia. W tym obszarze SI może wspierać zarówno rozwój nowych produktów, jak i działanie systemu ochrony zdrowia: od odkrywania leków oraz biomarkerów, przez badania kliniczne, diagnostykę, dobór terapii, po monitorowanie pacjentów, organizację procesów medycznych czy kontrolę wytwarzania. Taki zakres odpowiada kierunkom wskazanym w projekcie Polityki AI, który łączy diagnostykę, odkrywanie leków, personalizację leczenia i usprawnianie procesów w ochronie zdrowia.

Wiarygodność oceny wyniku modelu zależy od powiązania go z dowodem odpowiednim do konkretnego zastosowania. W badaniach nad lekiem może nim być potwierdzenie eksperymentalne i przedkliniczne. W diagnostyce może nim być walidacja kliniczna w różnych ośrodkach. W rozwiązaniach wspierających organizację świadczeń dowodem jest poprawa czasu, jakości i bezpieczeństwa całego procesu. Im większy wpływ systemu na diagnozę lub leczenie, tym większe znaczenie mają niezależna walidacja, nadzór człowieka, kontrola zmian modelu i monitorowanie po wdrożeniu [87], [88], [89], [90].

Drugim wyróżnikiem są dane. Dane kliniczne, obrazowe, laboratoryjne, genomowe, a także dotyczące przebiegu leczenia mają wysoką wartość badawczą, ale są wrażliwe, powstają w wielu systemach i często różnią się jakością oraz sposobem opisu. Rozwój SI w BioMedTech zależy więc nie tylko od mocy obliczeniowej, lecz także od bezpiecznego dostępu do danych, ich interoperacyjności, reprezentatywności, udokumentowanego pochodzenia i możliwości odtworzenia sposobu, w jaki zostały wykorzystane. Europejska Przestrzeń Danych Dotyczących Zdrowia (EHDS) ma stopniowo ułatwiać legalne wykorzystywanie danych w takim modelu [91].

5.2. Mapa zastosowań SI w BioMedTech

Zastosowania SI w BioMedTech obejmują poszczególne etapy łańcucha wartości oraz odmienne rodzaje decyzji. Dlatego ich ocena wymaga odmiennych danych, miar wyniku: w odkrywaniu leków liczy się trafność wybranych hipotez, w diagnostyce wynik kliniczny i bezpieczeństwo, w organizacji świadczeń czas oraz jakość obsługi, a w produkcji stabilność procesu. Tab. 5.1 porządkuje te zastosowania według właściwego wyniku i głównych warunków wdrożenia.

Tab. 5.1. Mapa zastosowań SI w BioMedTech

Obszar	Rola SI i dane	Miara wyniku	Warunki wdrożenia
Odkrywanie leków i biomarkerów	Selekcja kandydatów oraz przewidywanie właściwości na podstawie danych molekularnych, strukturalnych czy laboratoryjnych, modele predykcyjne i generatywne	Czas i koszt do potwierdzonego kandydata, odsetek hipotez potwierdzonych eksperymentalnie	Potwierdzenie laboratoryjne i przedkliniczne, kontrola pochodzenia danych oraz wersji modelu
Badania kliniczne	Dobór ośrodków oraz pacjentów, kontrola jakości danych, analiza obrazów i sygnałów, a także wykrywanie zdarzeń bezpieczeństwa	Czas uruchomienia i rekrutacji, kompletność danych, liczba odchyień, jakość oceny punktów końcowych	Z góry określony cel użycia, zamrożona wersja, ślad decyzji i niezależna ocena

Obszar	Rola SI i dane	Miara wyniku	Warunki wdrożenia
Diagnostyka i wsparcie decyzji	Analiza obrazów, patologii, sygnałów, wyników laboratoryjnych i danych klinicznych, priorytetyzacja przypadków oraz wsparcie interpretacji	Czułość, swoistość, czas do diagnozy, liczba błędów i wynik pacjenta	Walidacja wielośrodkowa, analiza podgrup, nadzór kliniczny i procedura działania przy niepewności
Profilaktyka, terapia i monitoring	Ocena ryzyka, dobór terapii, medycyna precyzyjna i zdalne monitorowanie na podstawie danych podłużnych, genetycznych, klinicznych oraz z urządzeń	Zmiana wyniku leczenia, zdarzenia możliwe do uniknięcia, czas reakcji i dostępność świadczenia	Ochrona prywatności, kontrola wtórnego użycia danych, reprezentatywność i monitorowanie po wdrożeniu
Procesy kliniczne i administracyjne	Wsparcie dokumentacji, kwalifikacji, planowania wizyt, komunikacji z pacjentem i organizacji pracy, modele językowe oraz klasyfikacyjne	Czas obsługi, obciążenie personelu, liczba błędów, terminowość i doświadczenie pacjenta	Praca na zatwierdzonych źródłach, ochrona danych, eskalacja do człowieka i monitorowanie jakości odpowiedzi
Biowytworzenie i produkcja	Kontrola procesu, wykrywanie odchyłeń, utrzymanie aparatury i kontrola jakości na podstawie danych procesowych, czujników oraz historii partii	Odsetek zgodnych partii, czas zwolnienia serii, liczba odchyłeń i długość przestojów	Zwalidowany proces, zarządzanie zmianą, audytowalność i integracja z systemem jakości
Nadzór po wdrożeniu	Wykrywanie pogorszenia działania, sygnałów bezpieczeństwa i wzorców w skargach lub zdarzeniach, monitoring jakości modelu	Czas wykrycia i korekty, liczba zdarzeń, stabilność wyników między grupami oraz ośrodkami	Plan monitorowania, progi reakcji, wersjonowanie, kontrolowane aktualizacje i możliwość wycofania wersji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [87]–[93].

5.3. Od modelu do zwalidowanego rozwiązania

Droga do wdrożenia różni się zależnie od rodzaju rozwiązania, ale w BioMedTech powtarza się kilka kolejnych etapów: określenie celu użycia, przygotowanie danych, walidacja analityczna lub techniczna, sprawdzenie działania w środowisku docelowym, ustalenie odpowiedzialności oraz monitorowanie po wdrożeniu. Dla rozwiązań wpływających na diagnozę lub terapię dochodzi do tego ścieżka regulacyjna i kliniczna. Dla narzędzi organizacyjnych kluczowe jest potwierdzenie poprawy procesu bez pogorszenia bezpieczeństwa pacjenta.

W odkrywaniu leków model może skrócić etap selekcji hipotez, ale kolejnym etapem weryfikacji pozostaje eksperyment laboratoryjny i badanie przedkliniczne. W diagnostyce i oprogramowaniu medycznym ważne jest sprawdzenie działania poza ośrodkiem, w którym rozwiązanie powstało, na innych urządzeniach oraz w istotnych grupach pacjentów. W badaniach klinicznych sposób wykorzystania modelu może wpływać na wiarygodność całego protokołu, dlatego istotne są z góry określony cel użycia, rejestr wersji i niezależna ocena. Takie podejście odpowiada logice regulacyjnej rozporządzenia w sprawie wyrobów medycznych (MDR), rozporządzenia w sprawie wyrobów medycznych do diagnostyki in vitro (IVDR) oraz Aktu w sprawie SI [87]–[88], [94].

Wspólnym elementem wszystkich zastosowań pozostaje odpowiedzialność za pełny system, a nie wyłącznie za model. Znaczenie mają jakość danych wejściowych, integracja z urządzeniem lub systemem klinicznym, sposób prezentowania niepewności, uprawnienia użytkowników, cyberbezpieczeństwo i możliwość bezpiecznej aktualizacji. Po wdrożeniu potrzebne jest monitorowanie zmian populacji, urządzeń, praktyki klinicznej i danych, ponieważ mogą one stopniowo zmieniać jakość działania rozwiązania [89], [90].

W mapie obszarowej takie etapy mogą pełnić funkcję kolejnych punktów decyzyjnych. Pozwala to powiązać finansowanie i dostęp do środowisk testowych z postępem w jakości danych, walidacji, zgodności regulacyjnej, integracji z praktyką oraz gotowości do zakupu lub produkcji. W ten sposób badanie, wdrożenie w systemie zdrowia i rozwój produktu tworzą jedną ścieżkę zamiast odrębnych projektów. Kolejne etapy tej ścieżki walidacji przedstawiono na rys. 5.1.

BioMedTech tworzy wartość przez kolejne etapy walidacji

SI skraca iteracje, lecz nie zastępuje walidacji biologicznej, klinicznej, regulacyjnej ani produkcyjnej.



Rys. 5.1. Etapy walidacji od hipotezy do skalowanego rozwiązania BioMedTech

Źródło: opracowanie własne na podstawie [87]–[92], [94]–[102].

5.4. Polska: cyfrowa baza, badania kliniczne i rozwój produktu

Polska ma już kilka elementów potrzebnych do rozwoju i wdrażania SI w BioMedTech. Rządowy Plan Rozwoju Sektora Biomedycznego na lata 2022–2031 obejmuje innowacyjne terapie i leki przyszłości, wyroby medyczne oraz rozwiązania wykorzystujące SI [92]. Według GUS w 2024 r. działalność biotechnologiczną prowadziło 246 przedsiębiorstw, zatrudniających 6408 osób [103]. Tworzy to bazę firm i zespołów, które mogą łączyć kompetencje biologiczne, kliniczne oraz cyfrowe.

Istotnym zasobem jest również infrastruktura badań klinicznych. Polska Sieć Badań Klinicznych obejmuje 35 członków i 8 obserwatorów [104], a środki Krajowego Planu Odbudowy i Zwiększania Odporności (KPO) wsparły rozwój Centrów Wsparcia Badań Klinicznych [105]. Sieć wielu ośrodków może być szczególnie cenna dla SI, ponieważ umożliwia niezależne sprawdzanie modeli na różnych populacjach, urządzeniach i sposobach organizacji świadczeń. Takie środowisko może jednocześnie służyć ocenie klinicznej i budowaniu wiarygodności produktu przed wejściem na kolejne rynki.

Po stronie systemu ochrony zdrowia istnieje szeroka baza cyfrowa, natomiast wykorzystanie SI pozostaje na wcześniejszym etapie. Badanie Centrum e-Zdrowia obejmujące 11 185 placówek wskazało, że 85,4% raportowało zdarzenia medyczne, a SI wykorzystywało 13,2% szpitali, najczęściej w diagnostyce obrazowej [93]. Pod względem mapy wdrożeń znaczenie zyskuje dostęp do coraz większej liczby procesów cyfrowych, w których można rozwijać bezpieczne środowiska testowe, standardy danych i mechanizmy oceny rozwiązań.

Rozwój tych zastosowań dodatkowo napędzają ograniczenia kadrowe oraz potrzeba efektywniejszego wykorzystania dostępnych zasobów ochrony zdrowia. Dane OECD pokazują m.in. niższą od średniej OECD liczbę praktykujących pielęgniarek oraz pracowników opieki długoterminowej w Polsce [106]. SI może wspierać personel w priorytetyzacji przypadków, monitorowaniu, analizie dokumentacji i diagnostyce, jeżeli efekt jest oceniany na poziomie całej ścieżki pacjenta: przez czas dostępu do świadczenia, jakość decyzji, bezpieczeństwo oraz obciążenie personelu.

Rozwój produktu jest wspierany również przez instrumenty Agencji Badań Medycznych (ABM), w tym finansowanie projektów dotyczących wyrobów medycznych, diagnostyki in vitro i rozwiązań cyfrowych [107]. Największą wartość może przynieść połączenie tych instrumentów z dostępem do danych, wielośrodową walidacją, doradztwem regulacyjnym, zamówieniem lub refundacją, a tam, gdzie jest to potrzebne, także zdolnością wytwarzania. Taki układ pozwala wykorzystać krajowy system zdrowia jako środowisko wdrożeniowe, a jednocześnie budować produkty rozwijane przez polskie podmioty.

5.5. Europa: wspólne reguły, dane i droga do rynku

Na poziomie Unii Europejskiej BioMedTech jest łączony z polityką zdrowotną, naukową i przemysłową. Strategia dla europejskich nauk o życiu oraz projekt Europejskiego Aktu Biotechnologicznego wzmacniają finansowanie badań, rozwój biotechnologii i biowytwarzania, a także usprawnianie ścieżek rozwoju produktów [95], [96]. Równolegle Apply AI wskazuje zdrowie i farmację jako jeden z obszarów wdrożeń SI, obejmując m.in. badania przesiewowe, odkrywanie leków, wyroby medyczne, profilaktykę oraz diagnostykę spersonalizowaną. [158]

Wspólną podstawę danych tworzy EHDS, która ma stopniowo ułatwiać transgraniczną wymianę oraz wtórne wykorzystanie danych zdrowotnych w badaniach i innowacjach [91]. Dla rozwiązań SI szczególnie ważne będzie połączenie dostępu z jakością danych: wspólnymi modelami danych, opisem pochodzenia, bezpiecznymi środowiskami analitycznymi i możliwością odtworzenia wykonanej analizy.

Drugi wspólny element stanowią reguły wejścia na rynek. Oprogramowanie medyczne może podlegać MDR lub IVDR, a część systemów SI również wymaganiom Aktu w sprawie SI. Komisja i Medical Device Coordination Group opublikowały wskazówki dotyczące relacji między tymi reżimami [87], [88], a równolegle prowadzone są prace nad uproszczeniem części zasad dla wyrobów [94]. Dla przedsiębiorstwa wartością wspólnego rynku jest możliwość wykorzystania raz zbudowanej dokumentacji, dowodu klinicznego i systemu jakości w kolejnych państwach, przy zachowaniu lokalnych różnic w zakupie oraz finansowaniu świadczeń.

Państwa UE pełnią przy tym różne role w ekosystemie BioMedTech. Część łączy dużą skalę badań, kapitał i przemysł, inne specjalizują się w obrazowaniu, medtechu, danych, badaniach klinicznych lub produkcji. Dla Polski istotne jest łączenie krajowej bazy klinicznej i cyfrowej z partnerami zapewniającymi brakujące funkcje, zwłaszcza kapitał wzrostu, produkcję specjalistyczną, ocenę zgodności oraz kanały wejścia na rynek. Tab. 5.2 pokazuje taki podział ról.

Tab. 5.2. Grupowanie państw UE według roli w ekosystemie BioMedTech

Rola ekosystemowa	Państwa	Wspólna przewaga lub bariera	Możliwy kierunek współpracy z Polską
Skala naukowa, przemysł i kapitał	Belgia, Dania, Francja, Irlandia, Niemcy, Niderlandy, Szwecja	Wysoka koncentracja firm, kapitału i zdolności wytwórczych	Badania wielośrodkowe, licencjonowanie, kapitał wzrostu i wejście do łańcucha
Sprawne przejście od badań do wdrożenia i nisze technologiczne	Austria, Finlandia, Hiszpania, Luksemburg, Włochy	Badania, medtech, obrazowanie, dane, wyspecjalizowane regiony i szpitale	Wspólne sprawdzenie działania, komponenty, obrazowanie i produkcja specjalistyczna
Rozwijające się zasoby kliniczne i produkcyjne	Czechy, Estonia, Litwa, Łotwa, Polska, Portugalia, Słowenia	Kompetencje cyfrowe, ośrodki kliniczne, MŚP i niższy koszt badań, luka kapitału	Sieci badań, dane w zgodnych formatach, pilotaże transgraniczne i wspólne wejście na rynek
Rynki o mniejszej skali i wyspecjalizowanych zasobach	Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Grecja, Malta, Rumunia, Słowacja, Węgry	Nisze kliniczne lub produkcyjne, mniejsza skala i fragmentacja infrastruktury	Rekrutacja do badań rzadkich chorób, usługi wspólne, diagnostyka i uzupełnianie łańcucha

Źródło: opracowanie własne na podstawie [87]–[88], [91], [94]–[97].

Europejski wymiar zwiększa więc znaczenie rozwiązań, które od początku są projektowane do walidacji w więcej niż jednym ośrodku, korzystają z interoperacyjnych danych i mają udokumentowany cykl życia. W takich warunkach polskie wdrożenie może pełnić rolę rynku referencyjnego, a kolejny ośrodek w UE może potwierdzić możliwość skalowania rozwiązania.

5.6. Świat: łączenie badań, regulacji, systemu zdrowia i produkcji

Wybrane polityki BioMedTech spoza UE obejmują kilka kolejnych etapów rozwoju rozwiązania, od danych i badań po regulację oraz produkcję. W Stanach Zjednoczonych National Institutes of Health rozwija federacyjną infrastrukturę danych biomedycznych, a Food and Drug Administration buduje podejście do wyrobów medycznych z SI obejmujące pełny cykl życia, monitorowanie po wdrożeniu, przejrzystość i ryzyko stronnictwa [98], [99]. Mechanizm polega na równoległym rozwijaniu danych, badań i przewidywalnej ścieżki regulacyjnej.

Wielka Brytania jeszcze wyraźniej łączy politykę zdrowotną z przemysłową. Life Sciences Sector Plan obejmuje inwestycje w bezpieczną platformę danych zdrowotnych, skracanie czasu uruchamiania badań klinicznych oraz wsparcie innowacyjnego wytwarzania [99]. Dane, ośrodek kliniczny, regulator, płatnik i produkcja są w tym podejściu elementami jednej ścieżki rozwoju produktu.

Kanada koncentruje się na biowytwarzaniu, gotowości na zagrożenia zdrowotne i wzroście krajowego sektora nauk o życiu [100]. Australia rozwija cyfrowe zdrowie, wyroby medyczne, złożone terapie i wytwarzanie, zwracając jednocześnie uwagę na utrzymywanie własności intelektualnej oraz zdolności przemysłowych na późniejszych etapach rozwoju [101]. W obu przypadkach polityka ma wzmacniać nie tylko badania, lecz także zdolność dostarczenia produktu w skali.

Singapur koncentruje się na odpowiedzialnym wdrażaniu, jasnym podziale ról między producenta, podmiot wdrażający i użytkownika, a w medycynie precyzyjnej łączy rozwój testów genetycznych z ochroną przed dyskryminacją oraz kontrolą wtórnego wykorzystania danych [102]. Podobny nacisk na zarządzanie ryzykiem, przejrzystość i odpowiedzialność pojawia się w wytycznych WHO dotyczących zaawansowanych modeli stosowanych w zdrowiu [90].

Porównanie tych modeli pokazuje, że przewagę tworzy nie pojedynczy instrument, lecz zdolność połączenia danych, środowiska walidacji, regulatora, systemu zdrowia i produkcji. Tab. 5.3 zestawia najważniejsze mechanizmy, które mogą być punktem odniesienia przy projektowaniu polskiej mapy wdrożeń.

Tab. 5.3. Modele zagraniczne łączenia biomedycyny, SI i rozwoju rynku

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Dane + regulator + rynek	Stany Zjednoczone	Rozproszona infrastruktura bez centralizowania danych badań, jasny kontekst użycia i zarządzanie pełnym cyklem produktu	Wczesny dialog regulacyjny, plan zmian i monitorowanie po wdrożeniu
System zdrowia jako partner przemysłowy	Wielka Brytania	Platforma danych, szybsze badania, wspólna ocena i wsparcie wytwarzania	Połączenie ośrodka klinicznego, regulatora, płatnika i produkcji w jednej ścieżce
Odporność i biowytwarzanie	Kanada	Długoterminowa strategia łączy gotowość zdrowotną z konkurencyjnym sektorem nauk o życiu	Koncentracja na krytycznych zdolnościach bez założenia pełnej samowystarczalności
Współinwestowanie i przejście od badań do wdrożenia	Australia	Kapitał publiczny i prywatny dla cyfrowego zdrowia, wyrobów, złożonych terapii oraz produkcji	Warunek utrzymania własności intelektualnej i wartości po badaniach
Koordynowane wdrożenie i odpowiedzialność	Singapur	Wytyczne dzielą rolę producenta, placówki i użytkownika. Wspierają medycynę precyzyjną	Jedna karta odpowiedzialności i monitorowania dla modelu, integracji oraz decyzji klinicznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [89]–[90], [98]–[102].

5.7. BioMedTech jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

BioMedTech dobrze odpowiada celowi projektu Polityki AI, ponieważ łączy dwa rodzaje efektu: poprawę jakości i dostępności ochrony zdrowia oraz rozwój produktów o wysokiej wartości dodanej. Projekt Polityki AI wskazuje w tym obszarze diagnostykę, odkrywanie leków, personalizację leczenia i usprawnianie procesów, a równolegle w części dotyczącej usług publicznych traktuje ochronę zdrowia jako jedno z głównych środowisk wdrażania SI. Obszar jest więc jednocześnie obszarem polityki zdrowotnej i miejscem budowania krajowych kompetencji technologicznych oraz przemysłowych.

Osobna mapa obszarowa może być szczególnie użyteczna dlatego, że bariery wdrożeniowe są tu silnie specyficzne dla dziedziny. Rozwój rozwiązania wymaga często dostępu do wrażliwych danych zdrowotnych, możliwości testowania w środowisku klinicznym, walidacji w więcej niż jednym ośrodku, zgodności z regulacjami produktu, integracji z systemami placówki, a następnie zakupu, refundacji lub wdrożenia w praktyce.

W przypadku leków, wyrobów i diagnostyki dochodzi także zdolność wytwarzania oraz monitorowanie produktu po wejściu na rynek. Horyzontalne instrumenty wsparcia SI mogą dostarczać kompetencje, finansowanie lub infrastrukturę obliczeniową, a ich uzupełnieniem może być koordynacja kolejnych etapów rozwoju i wdrożenia rozwiązania.

Polska posiada podstawy do prowadzenia takiej ścieżki: cyfrową infrastrukturę ochrony zdrowia, sieć badań klinicznych, rosnącą grupę przedsiębiorstw biomedycznych oraz instrumenty Agencji Badań Medycznych [92], [93], [103]–[107]. Połączenie tych zasobów może tworzyć środowisko, w którym krajowe rozwiązanie przechodzi od danych i prototypu do niezależnej walidacji, wdrożenia w systemie zdrowia oraz kolejnego odbiorcy. Wspólny rynek UE oraz rozwój EHDS dodatkowo zwiększają możliwość skalowania narzędzi, które mają dobrze

udokumentowaną jakość, bezpieczeństwo i zgodność regulacyjną [87]–[88], [91], [94]–[97]. Kluczowe przesłanki za traktowaniem BioMedTech jako obszaru kluczowego zebrano w tab. 5.4.

Tab. 5.4. BioMedTech jako obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

Kryterium	Wnioski z analizy obszaru	Znaczenie dla mapy
Znaczenie zdrowotne i społeczne	SI może wpływać na diagnostykę, terapię, profilaktykę, dostęp do świadczeń i bezpieczeństwo pacjenta.	Powiązanie wdrożeń z wynikiem klinicznym, bezpieczeństwem i jakością całej ścieżki pacjenta.
Zgodność z kierunkiem Polityki AI	BioMedTech jest wskazany wprost, a zdrowie i farmacja należą także do obszarów wdrożeniowych Apply AI.	Mapa może połączyć działania dotyczące biznesu, ochrony zdrowia, danych i bezpiecznego wdrażania SI.
Gotowość Polski	Cyfrowa infrastruktura zdrowia, sieć badań klinicznych, firmy biomedyczne i instrumenty ABM tworzą realne środowisko wdrożeń.	Dostęp do danych i ośrodków, wielośrodkowa walidacja oraz pierwszy odbiorca w systemie zdrowia.
Bariera obszarowa	Wrażliwe dane, walidacja kliniczna, regulacje produktu, system jakości, zakup lub refundacja oraz nadzór po wdrożeniu wymagają współpracy wielu instytucji.	Koordinacja etapów, których nie obejmuje pojedynczy horyzontalny instrument wsparcia AI.
Potencjał gospodarczy	Regulowane produkty, własność intelektualna, badania kliniczne i biowytwarzanie tworzą wysoką barierę wejścia oraz możliwość eksportu.	Ścieżka od prototypu do produktu, produkcji, pierwszego zakupu i kolejnego rynku.
Możliwość skalowania w UE	Wspólne reguły, EHDS i zbliżone potrzeby systemów zdrowia ułatwiają przenoszenie dobrze zwalidowanych rozwiązań.	Interoperacyjne dane, dokumentacja cyklu życia i walidacja w więcej niż jednym ośrodku.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [87]–[107].

Łącznie przesłanki te wskazują, że BioMedTech ma silne uzasadnienie jako obszar odrębnej mapy wdrożeń. Jej funkcją może być połączenie ścieżek, które w tym obszarze są od siebie zależne: dostępu do danych, rozwoju modelu, walidacji klinicznej i operacyjnej, regulacji, integracji z systemem zdrowia, zakupu lub refundacji, produkcji oraz monitorowania po wdrożeniu. Tak ułożona mapa odpowiada zarówno celowi poprawy jakości usług zdrowotnych, jak i potrzebie budowania polskich produktów oraz firm zdolnych do skalowania na rynku europejskim.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem BioMedTech do obszarów kluczowych

BioMedTech łączy bezpośredni wpływ na zdrowie z możliwością rozwoju produktów o wysokiej wartości dodanej. Obszarowa mapa wdrożeń może łączyć bezpieczny dostęp do danych, walidację w środowisku klinicznym, regulację i odpowiedzialność, wdrożenie w systemie ochrony zdrowia oraz drogę do sprzedaży na rynku europejskim.

6. Usługi finansowe

6.1. Usługi finansowe jako infrastruktura zaufania i przepływu kapitału

Usługi finansowe mają szczególne znaczenie dla wdrażania SI, ponieważ łączą masową skalę decyzji z bezpośrednim wpływem na płynność, dostęp do kapitału, ochronę oszczędności i bezpieczeństwo transakcji. Banki, instytucje płatnicze, ubezpieczyciele, podmioty rynku kapitałowego i dostawcy technologii finansowych

podejmują decyzje, których skutki odczuwają gospodarstwa domowe, przedsiębiorstwa oraz inne sektory gospodarki. W takim środowisku SI może zwiększać szybkość i trafność działania, a jej wartość można oceniać łącznie ze stabilnością, prawami klienta, możliwością odwołania oraz odpornością całego procesu.

Rdzeń sektora obejmuje bankowość oraz kredyt, płatności, ubezpieczenia, rynek kapitałowy i zarządzanie aktywami, przeciwdziałanie praniu pieniędzy, zgodność regulacyjną, a także technologie finansowe (ang. financial technology, FinTech), technologie regulacyjne (ang. regulatory technology, RegTech) czy technologie ubezpieczeniowe (ang. insurance technology, insurtech) wspierające regulowane usługi finansowe. Wspólną cechą tych obszarów jest to, że model SI stanowi część procesu, w którym istnieje właściciel decyzji, klient, regulator, dane wrażliwe, wymogi ciągłości działania i mierzalny skutek ekonomiczny lub społeczny.

Z punktu widzenia mapy sektorowej najważniejsze jest określenie, w której decyzji finansowej SI poprawia pełny wynik. W płatnościach będzie to ograniczenie strat bez nadmiernego blokowania legalnych transakcji.

W kredycie będzie to lepsza ocena ryzyka bez nieuzasadnionego wykluczenia. W ubezpieczeniach będzie to szybsza i poprawna obsługa szkody. W zgodności regulacyjnej będzie to lepsza selekcja spraw wymagających analizy, a nie samo zwiększenie liczby alertów. Takie podejście pozwala odróżnić realną poprawę funkcjonowania sektora od automatyzacji, która jedynie przyspiesza dotychczasowy proces.

6.2. Mapa zastosowań SI w usługach finansowych

Zastosowania SI w usługach finansowych można porządkować według decyzji, której model dotyczy, a nie według samej techniki. W większości przypadków dane są już cyfrowe, procesy mają określonych właścicieli, a wynik decyzji można obserwować po transakcji, spłacie, szkodzie, reklamacji lub zdarzeniu rynkowym. Jednocześnie błędy mogą dotyczyć dużej liczby klientów naraz, dlatego mapa może łączyć miarę korzyści z miarą szkody i z zasadami kontroli procesu. Sposób powiązania głównych decyzji z danymi, miarami wyniku i zabezpieczeniami przedstawia tab. 6.1.

Tab. 6.1. Mapa zastosowań SI w usługach finansowych

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Płatności i wykrywanie oszustw	Dane transakcyjne, urządzenie, odbiorca, historia zachowania, graf powiązań, modele anomalii i scoring ryzyka	Strata netto, odzyskane środki, czas reakcji, odsetek legalnych transakcji błędnie zablokowanych	Działanie w czasie rzeczywistym, limity automatyzacji, ślad decyzji, tryb awaryjny i możliwość szybkiej korekty
Kredyt i finansowanie MŚP	Historia kredytowa, przepływy, dokumenty, dane rachunkowe i behawioralne, modele scoringowe oraz analityka dokumentów	Jakość portfela, dostęp do finansowania, skargi, wynik po cyklu gospodarczym	Wyjaśnienie decyzji, korekta błędnych danych, analiza różnic między grupami, odwołanie i niezależna walidacja
Ubezpieczenia i likwidacja szkód	Dane polisowe, zdjęcia, dokumenty, historia szkód, dane z czujników, klasyfikacja, analiza obrazu i detekcja nadużyć	Czas i poprawność wypłaty, liczba odwołań, koszt szkody, wykryte nadużycia	Rozdzielenie spraw prostych i złożonych, kontrola odmów, możliwość ponownej oceny oraz nadzór człowieka
Rynek kapitałowy i zarządzanie aktywami	Dane rynkowe, raporty, komunikaty, portfele, zachowanie klientów, modele predykcyjne i analityka tekstu	Wynik po uwzględnieniu ryzyka, kosztów, płynności i adekwatności produktu	Najlepiej pojęty interes klienta, kontrola źródeł, testy stresowe, dokumentowanie założeń i ograniczeń modelu

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Przeciwdziałanie praniu pieniędzy i zgodność	Transakcje, beneficjenci, relacje między podmiotami, dokumenty, listy sankcyjne, grafy, przetwarzanie języka naturalnego (NLP) i priorytetyzacja alertów	Trafność selekcji spraw, czas analizy, jakość materiału dowodowego, liczba fałszywych alertów	Odtwarzalne źródła, wersjonowanie modelu, decyzja analityka, audytowalność i zgodność z obowiązками raportowymi
Obsługa klienta i finanse osobiste	Historia sprawy, produkt, regulaminy, dane klienta, kanał kontaktu, asystenci, klasyfikacja spraw i generowanie odpowiedzi z zatwierdzonych źródeł	Zrozumiałość informacji, rozwiązywanie sprawy, liczba skarg, dostępność usługi i dobrostan finansowy klienta	Rozdzielenie informacji, reklamy i porady regulowanej, źródła odpowiedzi, eskalacja do człowieka oraz ochrona danych
Ryzyko modelu i odporność operacyjna	Rejestry modeli, logi, wyniki testów, dane dostawców, incydenty technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT), monitorowanie zmian rozkładu danych i jakości modelu, testy stresowe oraz analiza zależności	Czas wykrycia pogorszenia działania, skuteczność testów, czas odtworzenia usługi, liczba niekontrolowanych zależności	Zarządzanie cyklem życia modelu, kontrola dostawców, zgodność z rozporządzeniem o cyfrowej odporności operacyjnej sektora finansowego (DORA), możliwość wycofania wersji i plan ciągłości działania

Źródło: opracowanie własne na podstawie [108]–[123].

W usługach finansowych ta sama technologia może mieć zupełnie inny profil ryzyka w zależności od decyzji. Model porządkujący dokumenty w dziale obsługi ma inną wagę niż model wpływający na odmowę kredytu, blokadę płatności lub wypłatę odszkodowania. Dlatego mapa zastosowań może przypisywać wymagania nie do ogólnej kategorii „SI w finansach”, ale do konkretnego procesu, skutku decyzji i możliwości naprawienia błędu.

6.3. Odpowiedzialna automatyzacja decyzji finansowych

Usługi finansowe są jednym z sektorów, w których szczególnie wyraźnie widać różnicę między automatyzacją pomocniczą a automatyzacją decyzji o dużym skutku. W pierwszym przypadku SI może klasyfikować dokumenty, grupować alerty lub przygotowywać projekt odpowiedzi. W drugim wpływa na dostęp do rachunku, kredytu, ubezpieczenia, inwestycji lub wypłaty świadczenia. Im większy skutek decyzji, tym ważniejsze stają się niezależna walidacja, możliwość odwołania, wyjaśnienie najważniejszych przestanków i ograniczenie samodzielnego działania systemu.

Finanse mają jednocześnie dojrzałe mechanizmy zarządzania ryzykiem, które mogą być wykorzystane przy wdrażaniu SI. Instytucje są przyzwyczajone do modeli ryzyka, testów warunków skrajnych, audytu, kontroli dostawców i obowiązków raportowych. Sektorowa mapa może uzupełniać istniejące mechanizmy o specyficzne ryzyka SI: zmianę jakości danych w czasie, nierówne działanie między grupami klientów, trudność wyjaśnienia modelu, zależność od zewnętrznego dostawcy oraz możliwość masowego powielenia błędu.

Ważnym elementem jest też odróżnienie informacji od rekomendacji i decyzji. Asystent finansowy może pomagać klientowi zrozumieć opłatę, ryzyko lub status sprawy, ale w przypadku porady inwestycyjnej, decyzji kredytowej albo zmiany limitu szczególnego znaczenia nabiera jasne określenie granic odpowiedzialności. W takich zastosowaniach użyteczne jest zapewnienie informacji o danych, na których opiera się system,

warunkach kontaktu z człowiekiem oraz sposobie zakwestionowania wyniku. Dzięki temu wykorzystanie SI może wzmacniać zaufanie do instytucji finansowej, a nie tylko obniżać koszt obsługi.

Szczegółnej kontroli wymagają systemy agentowe, które nie tylko odpowiadają na pytania, ale wykonują działania w imieniu użytkownika lub instytucji. W finansach mogą one przenieść pieniądze, zmienić limit, zainicjować zlecenie, zablokować transakcję lub uruchomić procedurę windykacyjną. Ryzyko takich zastosowań można ograniczać przez twarde limity, wielostopniową autoryzację, rozdzielenie obowiązków, pełny zapis działania i możliwość natychmiastowego zatrzymania. Większa automatyzacja ma sens tylko wtedy, gdy równolegle rośnie zdolność ograniczenia skutków błędów.

6.4. Polska: cyfrowa skala, nadzór i popyt na wyspecjalizowane rozwiązania

Polska charakteryzuje się wysokim wykorzystaniem bankowości cyfrowej i płatności elektronicznych. Dane Narodowego Banku Polskiego (NBP) za drugie półrocze 2025 r. wskazują ponad 20 mln użytkowników BLIK i 1,5 mld zleceń o wartości 234,8 mld zł. Szybko rosły też przelewy natychmiastowe, portfele mobilne i płatności zbliżeniowe [109]. Taka skala oznacza miliony decyzji o autoryzacji, wykrywaniu anomalii i utrzymaniu dostępności. Nawet niewielka poprawa skuteczności może dać duży efekt ekonomiczny, ale błędne zablokowanie małego odsetka legalnych transakcji może dotknąć wielu klientów.

Ważnym atutem jest stabilność i dojrzałość instytucjonalna sektora. NBP ocenił w grudniu 2025 r., że polski system finansowy pozostaje stabilny i odporny na szoki [108]. Taki punkt wyjścia pozwala porównywać nowe narzędzia SI z dojrzałym procesem bazowym, a nie z brakiem cyfryzacji. Wynik wdrożenia warto więc oceniać nie tylko przez koszt operacyjny, ale także przez wpływ na kapitał, płynność, ciągłość usług, liczbę skarg, jakość decyzji i zachowanie w sytuacji kryzysowej.

Presję wdrożeniową zwiększają zarówno regulacje, jak i zagrożenia. Urząd Komisji Nadzoru Finansowego (UKNF) zaliczył wykorzystanie SI, odporność cyfrową, bankowość, płatności, ubezpieczenia, rynek kapitałowy i kredyt konsumencki do priorytetów nadzorczych na 2026 r. [110]. CSIRT KNF odnotował w 2025 r. znaczną skalę działań oszukańczych oraz zdarzeń, w tym blokowanie niebezpiecznych domen, reklam o charakterze oszukańczym, ataki DDoS czy zgłoszenia incydentów ICT w ramach DORA [111]. W takim otoczeniu SI może wspierać zarówno instytucje finansowe, jak i nadzór, ale wymaga wspólnych standardów walidacji oraz wymiany informacji.

Polska ma szeroką bazę potencjalnych użytkowników i podmiotów oferujących rozwiązania: banki, ubezpieczycieli, domy maklerskie, fundusze, instytucje płatnicze, dostawców technologii finansowych oraz podmioty rozwijające rozwiązania regulacyjne czy ubezpieczeniowe [113]. W 2025 r. UKNF rozwijał także własną analitykę i modele uczenia maszynowego, m.in. do wybierania podmiotów wymagających większej uwagi nadzorczej [112]. To możliwość budowy środowiska, w którym narzędzia są sprawdzane nie tylko w jednym banku lub u jednego ubezpieczyciela, lecz także w kontaktach z regulowanymi procesami i wymogami nadzorczymi, warta jest uwzględnienia w mapie sektorowej.

Największy potencjał dla polskich podmiotów wydaje się dotyczyć wyspecjalizowanych modułów. Mogą to być systemy przeciwdziałania oszustwom i praniu pieniędzy, analiza dokumentów, przejrzysta ocena ryzyka MŚP, narzędzia do likwidacji szkód, zarządzania ryzykiem modelu, zgodności regulacyjnej, testowania odporności oraz monitorowania dostawców. Warunkiem skalowania jest przenośność rozwiązania: jasne interfejsy danych,

możliwość audytu, prawa do kodu i reguł, niezależna walidacja oraz wdrożenie u więcej niż jednego regulowanego odbiorcy.

6.5. Europa: wspólne reguły i różne modele rynku finansowego

W Unii Europejskiej usługi finansowe działają w coraz bardziej wspólnych ramach regulacyjnych, ale nadal różnią się strukturą finansowania, poziomem cyfryzacji i rolą poszczególnych segmentów rynku. Europejski Urząd Nadzoru Bankowego wskazał, że w 2025 r. 92% banków UE wdrażało SI, a pozostałe prowadziły pilotaże lub analizowały możliwe zastosowania [114]. Zakres i dojrzałość wdrożeń są zróżnicowane: częściej obejmują wykrywanie nadużyć, marketing i obsługę niż decyzje o największym wpływie na klienta.

Rozporządzenie DORA stosuje się od 17 stycznia 2025 r., natomiast przepisy MiCA dotyczące rynków kryptoaktywów stosuje się w pełni od 30 grudnia 2024 r. [116]. DORA porządkuje m.in. zarządzanie incydentami, testy odporności i kontrolę ryzyka związanego z dostawcami technologii. Dla polskich firm tworzy to rynek na narzędzia, które nie tylko dokumentują zgodność, ale pozwalają realnie skrócić czas wykrycia incydentu, odtworzenia usługi i oceny zależności od dostawców.

Ramy dostępu do danych finansowych (FiDA) mają rozszerzać logikę otwartej bankowości poza rachunki płatnicze i wzmacniać kontrolę klienta nad wykorzystaniem danych [117]. W połączeniu z rozwojem płatności natychmiastowych, weryfikacją odbiorcy i pracami nad cyfrowym euro tworzy to otoczenie, w którym znaczenie mają interoperacyjność, zgodność z europejskimi standardami oraz ochrona klienta [118], [119]. Polskie rozwiązania mogą być skalowane w UE wtedy, gdy od początku obsługują różne schematy płatności, lokalne praktyki nadzorcze, wymogi sankcyjne i języki rynku.

Państwa UE można porządkować według dominującej roli w ekosystemie finansowym. Podział służy wskazaniu rynków, na których polskie rozwiązania mogą szukać partnerów, pierwszego rynku referencyjnego albo kolejnego wdrożenia. Role państw UE w ekosystemie usług finansowych przedstawiono w tab. 6.2.

Tab. 6.2. Grupowanie państw UE według roli w ekosystemie usług finansowych

Rola ekosystemowa	Państwa	Wspólna przewaga lub bariera	Znaczenie dla polskich rozwiązań
Duże centra finansowe i rynki kapitałowe	Francja, Niemcy, Irlandia, Luksemburg, Niderlandy	Skala instytucji, rynek kapitałowy, fundusze, dostawcy technologii i wysoki koszt wejścia	Partnerstwa, dostawa modułów zgodności, ryzyka modelu, zarządzania aktywami i odporności operacyjnej
Zaawansowana cyfryzacja i płatności	Belgia, Dania, Estonia, Finlandia, Szwecja	Wysoki poziom cyfrowych usług publicznych i finansowych, dojrzałość danych, duże oczekiwania wobec bezpieczeństwa	Rynki referencyjne dla produktów interoperacyjnych, audytowalnych i przyjaznych klientowi
Duże rynki bankowo-ubezpieczeniowe	Austria, Hiszpania, Włochy	Silne banki i ubezpieczyciele, różne kanały sprzedaży, fragmentacja procesów	Wdrożenia z partnerami sektorowymi, narzędzia dla ubezpieczeń, kredytu i obsługi dokumentów
Rynki z rosnącym wykorzystaniem usług cyfrowych	Czechy, Litwa, Łotwa, Polska, Portugalia, Słowacja, Słowenia	Rosnąca cyfryzacja, silne płatności, potrzeba skalowania MŚP i FinTechów	Najbliższy obszar powtarzalności rozwiązań dla płatności, przeciwdziałania oszustwom

Rola ekosystemowa	Państwa	Wspólna przewaga lub bariera	Znaczenie dla polskich rozwiązań
Rynki o mniejszej skali i określonych specjalizacjach			finansowym, finansowania MŚP i RegTech
	Bułgaria, Chorwacja, Cypr, Grecja, Malta, Rumunia, Węgry	Mniejsza liczba dużych instytucji, potrzeba współdzielonych usług, lokalne specjalizacje	Powtarzalne moduły o niższym koszcie integracji, wspólne usługi zgodności i bezpieczeństwa

Źródło: opracowanie własne na podstawie [114]–[121].

Europejski wymiar sektora wzmacnia sens mapy wdrożeń, ponieważ ta sama klasa problemu pojawia się w wielu państwach, ale produkt musi być dostosowany do lokalnych danych, licencji, kanałów dystrybucji i praktyk nadzorczych. Mapa może więc wskazywać, które elementy rozwiązania mogą pozostać wspólne i przenośne, a które wymagają lokalnego dostosowania.

6.6. Świat: testy regulacyjne, ochrona klienta i ryzyko systemowe

Wybrane podejścia do SI w usługach finansowych spoza UE obejmują nadzór nad pełnym cyklem wykorzystania modelu i mechanizmy kontroli wdrożenia. Wielka Brytania traktuje usługi finansowe jako sektor wzrostu i rozwija plan wykorzystania SI obejmujący AI Lab, testy na rzeczywistym rynku oraz rozszerzoną piaskownicę Financial Conduct Authority [124]. Kluczowy jest mechanizm wcześniejszego uzgodnienia dowodów z regulatorem i sprawdzenia rozwiązania w ograniczonej skali przed pełnym wdrożeniem.

Singapur rozwija wspólne narzędzia oceny sprawiedliwości, etyki, odpowiedzialności i przejrzystości w ramach inicjatywy Veritas [125]. Zamiast ogólnej deklaracji, że model jest odpowiedzialny, instytucja może wykonywać testy dopasowane do rodzaju decyzji, danych i grup klientów. Kanada akcentuje dobrostan finansowy i ochronę konsumenta, a Australia wzmacnia oczekiwania wobec zarządzania ryzykiem SI w bankach, ubezpieczeniach oraz funduszach emerytalnych [126], [127].

W Stanach Zjednoczonych odpowiedzialność za SI w finansach jest bardziej rozproszona między regulatorami. Office of the Comptroller of the Currency dopuszcza integrowanie SI z podstawowymi funkcjami banku pod warunkiem właściwego zarządzania ryzykiem i zgodności [128]. Z kolei Financial Stability Board (FSB) wskazuje ryzyka systemowe związane z koncentracją dostawców, podobnym zachowaniem wielu uczestników rynku, cyberzagrożeniami oraz ryzykiem modelu i danych [122]. W 2026 r. FSB zaproponował praktyki obejmujące cały cykl życia SI [123], a Międzynarodowy Fundusz Walutowy podkreślał, że SI może zwiększać szybkość i skalę cyberataków w sektorze finansowym [129]. Najważniejsze światowe modele odpowiedzialnego wdrażania SI w finansach porównuje tab. 6.3.

Tab. 6.3. Modele światowe odpowiedzialnego wdrażania SI w finansach

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Test z regulatorem	Wielka Brytania	Laboratorium SI, testy na rzeczywistym rynku i piaskownica regulatora	Wczesne uzgodnienie dowodu, ograniczona skala testu i jasna ścieżka przejścia do wdrożenia
Wspólne karty testowe	Singapur	Veritas przekłada zasady odpowiedzialnej SI na testy zależne od zastosowania	Karty testowe dla scoringu, wykrywania nadużyć finansowych, likwidacji szkód i doradztwa

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Ochrona klienta i dobrostan finansowy	Kanada	Dialog regulatorów, rynku i organizacji konsumenckich wokół stabilności, oszustw oraz wyniku klienta	Ocena skutku dla klienta obok ryzyka modelu i instytucji
Istniejące ramy ostrożnościowe	Australia	Wzmocnienie oczekiwań dotyczących zarządzania ryzykiem SI w regulowanych instytucjach	Porównawcza ocena zarządzania, danych, dostawców i odpowiedzialności zarządu
Zarządzanie ryzykiem w wielu reżimach	Stany Zjednoczone	Integracja SI z funkcjami banku przy zachowaniu sektorowych wymogów ryzyka i zgodności	Praktyki zarządzania modelem, dostawcą i zmianą dla instytucji różnej skali
Stabilność systemowa	FSB i Międzynarodowy Fundusz Walutowy	Monitoring koncentracji, korelacji zachowań, cyberryzyka oraz pełnego cyklu SI	Wskaźniki wspólnych dostawców, scenariusze systemowe i plany ograniczania skutków awarii

Źródło: opracowanie własne na podstawie [122]–[129].

Przewagę tworzą stały dialog z regulatorem, ograniczone środowisko testowe, ochrona klienta, monitoring po wdrożeniu i kontrola zależności od dostawców. Te elementy mogą być bezpośrednio wykorzystane przy projektowaniu polskiej mapy wdrożeń.

6.7. Usługi finansowe jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Usługi finansowe dobrze odpowiadają celowi projektu Polityki AI, ponieważ łączą trzy cechy istotne dla rozwoju SI: dojrzałą cyfrową bazę danych i procesów, regulowane decyzje o dużym wpływie na klienta oraz możliwość tworzenia wyspecjalizowanych produktów technologicznych. Polityka AI wskazuje ten sektor jako jeden z obszarów o największym potencjale dla wdrożeń, a jego praktyczne znaczenie wynika z roli płatności, kredytu, ubezpieczeń, rynku kapitałowego i zgodności regulacyjnej w funkcjonowaniu całej gospodarki.

W finansach horyzontalne wsparcie warto uzupełniać mechanizmami walidacji modelu, odpowiedzialności za decyzję, ochrony praw klienta, zgodności regulacyjnej, odporności operacyjnej i zarządzania ryzykiem systemowym. Mapa może łączyć interesy instytucji finansowych, dostawców technologii, nadzoru, konsumentów i administracji, a także wskazywać, które rozwiązania mają potencjał do wdrożenia u wielu odbiorców.

Istotne znaczenie ma również ekosystem FinTech. Rola ekosystemu FinTech obejmuje również dostarczanie modułów dla regulowanych instytucji m.in. w obszarze przeciwdziałania nadużyciom finansowym, analizy dokumentów, oceny ryzyka MŚP, narzędzi zgodności, cyberodporności, zarządzania ryzykiem modelu i obsługi danych. To obszary, w których polskie podmioty mogą rozwijać produkty przenoszone między instytucjami i rynkami, pod warunkiem że od początku projektowane są z myślą o audycie, interoperacyjności oraz prawach klienta. Przesłanki za uznaniem usług finansowych za sektor kluczowy podsumowuje tab. 6.4.

Tab. 6.4. Usługi finansowe jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Kryterium	Wnioski z analizy sektora	Znaczenie dla mapy
Znaczenie gospodarcze i społeczne	Płatności, kredyt, ubezpieczenia i kapitał warunkują funkcjonowanie gospodarstw domowych, firm oraz innych sektorów.	Powiązanie wdrożeń z płynnością, dostępem, stabilnością i bezpieczeństwem klienta.
Gotowość Polski	Dojrzałe płatności cyfrowe, regulowane instytucje, aktywny nadzór, dane transakcyjne i ekosystem FinTech tworzą środowisko testowania.	Możliwość prowadzenia wdrożeń na rzeczywistych procesach oraz rozwijania produktów dla wielu odbiorców.
Sektorowa specyfika SI	Decyzje finansowe wymagają walidacji, wyjaśnienia, nadzoru, odwołania i zarządzania ryzykiem modelu.	Określenie bramek przejścia od pilotażu do wykorzystania operacyjnego.
Rynek UE i regulacje	DORA, Akt o SI, MiCA, FiDA, otwarte finanse i wspólne standardy płatnicze tworzą powtarzalny popyt.	Projektowanie rozwiązań zgodnych z regulacjami i możliwych do dostosowania do kolejnych rynków.
Potencjał krajowych podmiotów	FinTech, RegTech, insurtech, przeciwdziałanie nadużyciom finansowym, przeciwdziałanie praniu pieniędzy (AML), analiza dokumentów i zarządzanie ryzykiem modelu mogą być rozwijane jako wyspecjalizowane moduły.	Warunki dla drugiego wdrożenia, przenośności danych, audytu i utrzymania produktu.
Bariera sektorowa	Dane wrażliwe, stabilność systemowa, odpowiedzialność za decyzję, koncentracja dostawców i wymogi nadzorcze wykraczają poza ogólne wsparcie wdrażania SI.	Koordynacja standardów danych, testowania, bezpieczeństwa, praw klienta i współpracy z nadzorem.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [108]–[129].

Łącznie przesłanki te wskazują, że usługi finansowe mają silne uzasadnienie jako sektor odrębnej mapy wdrożeń. Jej funkcją może być połączenie innowacji technologicznej z odpowiedzialnością za decyzję finansową: od wyboru procesu, zakresu danych, przez walidację modelu, ochronę klienta i testy odporności, po wdrożenie możliwe do utrzymania oraz powielenia u kolejnych odbiorców.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem usług finansowych do sektorów kluczowych

W usługach finansowych szczególne znaczenie ma połączenie masowej skali decyzji, regulowanej odpowiedzialności, wpływu na zaufanie i stabilność gospodarki oraz realnego potencjału wyspecjalizowanych produktów FinTech, RegTech czy insurtech. Mapa sektorowa mogłaby koncentrować się na zastosowaniach, które poprawiają pełny wynik decyzji, a jednocześnie umożliwiają wykazanie zgodności, audytowalności i kontroli ryzyka.

7. Transport, spedycja i logistyka

7.1. Transport, spedycja i logistyka jako system przepływu osób oraz towarów

Transport, spedycja i logistyka (TSL) tworzą system, który łączy mobilność osób z fizycznym przepływem towarów między producentami, terminalami, magazynami, przewoźnikami oraz odbiorcami. Znaczenie sektora wynika nie tylko z jego własnej skali, lecz także z wpływu na funkcjonowanie przemysłu, handlu, usług publicznych i eksportu. Zakłócenie jednego węzła, korytarza lub systemu sterowania może przenieść się na wiele innych podmiotów, dlatego jakość decyzji transportowych ma znaczenie systemowe.

Sektor jest szczególnie podatny na zastosowania SI, ponieważ duża część decyzji powstaje na styku danych cyfrowych i procesów fizycznych. Modele mogą prognozować popyt oraz czas przejazdu, dobierać trasę, środki transportu, koordynować ruch, wspierać dyspozytorów, przydzielać zasoby w terminalach i magazynach, wykrywać anomalie, przewidywać awarie, a także wspomagać systemy autonomiczne. Efekt modelu materializuje się jednak dopiero w ruchu pojazdu, pasażera lub ładunku, dlatego ocena rozwiązania może obejmować cały proces: terminowość, bezpieczeństwo, wykorzystanie przepustowości, koszt, dostępność usługi, emisje oraz odporność na zakłócenia.

Istotną cechą TSL jest rozproszenie odpowiedzialności. Ta sama podróż albo przesyłka może korzystać z infrastruktury publicznej, systemów kilku operatorów, danych przewoźnika, terminala, portu, informacji zarządcy oraz administracji. Zastosowanie SI często wymaga więc nie tylko dostępu do danych, ale również uzgodnienia ich znaczenia, czasu aktualizacji, zasad wymiany i odpowiedzialności za decyzję. To właśnie połączenie procesów fizycznych, wielu właścicieli danych oraz wymagań bezpieczeństwa odróżnia sektorową mapę TSL od ogólnego programu cyfryzacji przedsiębiorstw.

7.2. Mapa zastosowań SI w transporcie, spedycji i logistyce

Mapa zastosowań może być uporządkowana według decyzji podejmowanych w sieci transportowej i logistycznej. W każdym przypadku znaczenie ma nie tylko techniczna jakość modelu, ale także wpływ na ruch osób i towarów oraz możliwość bezpiecznego działania w warunkach zakłócenia. Tabela 7.1 zestawia główne obszary, dane, miary wyniku i warunki wdrożenia.

Tab. 7.1. Mapa zastosowań SI w transporcie, spedycji i logistyce

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Popyt, rozkład i przewidywany czas przyjazdu (ETA)	Historia przewozów i podróży, rozkłady, zlecenia, pogoda, ruch, zdarzenia w sieci, modele prognozujące	Terminowość, błąd ETA, wykorzystanie miejsc lub ładowności, koszt obsady i zapasu	Przedział niepewności, test działania w szczycie i zakłóceniach, aktualizacja po zmianie warunków
Sieć, trasa i sterowanie ruchem	Pozycje pojazdów, przepustowość infrastruktury, ograniczenia, okna czasowe, dane o ruchu, optymalizacja i modele predykcyjne	Czas przejazdu, punktualność, puste kilometry, wykorzystanie przepustowości, koszt i emisje	Uwzględnienie czasu pracy, ograniczeń infrastruktury, priorytetów bezpieczeństwa i wariantu zapasowego
Pojazdy autonomiczne i systemy wspomagania	Kamery, radar, lidar, GNSS, mapy, telemetria i dane o otoczeniu, percepcja, predykcja oraz planowanie ruchu	Zdarzenia bezpieczeństwa, liczba interwencji, dostępność systemu, płynność i poprawność wykonania zadania	Ograniczony zakres działania, monitoring, możliwość przejęcia kontroli, bezpieczne zatrzymanie i testy scenariuszy brzegowych
Terminal, magazyn i przeładunek	Awizacja, stan placu, doki, pozycje jednostek ładunkowych, obraz i telemetria, optymalizacja, robotyka oraz analiza obrazu	Przepustowość, czas obrotu, błędy kompletacji, uszkodzenia i przestój	Separacja ludzi i maszyn, strefy działania, zatrzymanie awaryjne oraz tryb pracy zdegradowanej
Utrzymanie floty i infrastruktury	Dane serwisowe, sensory, historia usterek i warunki eksploatacji, diagnostyka oraz predykcja awarii	Uniknięte awarie i przestoje, czas wyprzedzenia ostrzeżenia, koszt cyklu życia	Walidacja na różnych typach urządzeń, możliwość weryfikacji przez technika i plan działania przy błędzie

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Dokumenty i wymiana danych	Zlecenia, listy przewozowe, dokumenty celne i techniczne, dane eFTI, ekstrakcja informacji oraz weryfikacja zgodności	Czas obsługi, liczba korekt i zatrzymań, kompletność danych, koszt zgodności	Powiązanie z dokumentem źródłowym, ślad zmian, poziom pewności i zgodny format wymiany
Odporność i rekonfiguracja przepływu	Zależności między węzłami, dostawcami oraz korytarzami, scenariusze pogodowe czy geopolityczne, symulacja i wykrywanie anomalii	Czas wykrycia zakłócenia i odtworzenia usługi przy utrzymaniu minimalnego poziomu obsługi	Alternatywna trasa lub proces, tryb awaryjny, test scenariuszy rzadkich i jasny podział odpowiedzialności

Źródło: opracowanie własne na podstawie [130]–[158].

Zestawienie pokazuje, że zastosowania SI w TSL tworzą kontinuum od wsparcia planowania po bezpośrednie oddziaływanie na ruch i infrastrukturę. Im bliżej model znajduje się fizycznego wykonania decyzji, tym większe znaczenie mają ograniczenia techniczne, możliwość przejęcia kontroli oraz sprawdzony tryb awaryjny. Mapa sektorowa może dzięki temu różnicować warunki wdrożenia według skutku decyzji, a nie według samego rodzaju algorytmu.

7.3. Od predykcji do bezpiecznej automatyzacji i współdzielenia danych

Transport jest jednym z obszarów, w których SI może przechodzić od funkcji analitycznej do sterowania procesem fizycznym. Prognoza opóźnienia lub rekomendacja trasy pozostawia decyzję operatorowi, natomiast system zarządzający ruchem, robotem magazynowym albo pojazdem autonomicznym może bezpośrednio zmienić położenie ludzi i maszyn. Zasadne jest więc stopniowanie zakresu automatyzacji wraz ze wzrostem jakości dowodów: od analizy danych historycznych i symulacji, przez pracę równoległą bez wpływu na proces, po ograniczone wykorzystanie operacyjne z możliwością interwencji człowieka.

Szczególne znaczenia nabiera to w systemach autonomicznych i wspomagania ruchu. Ich skuteczność zależy od połączenia percepcji otoczenia, lokalizacji, map, danych o infrastrukturze, prognozy zachowania innych uczestników oraz planowania trajektorii. Wartość dla sektora powstaje wtedy, gdy system zachowuje bezpieczne działanie również poza typowymi warunkami treningowymi, potrafi rozpoznać utratę wiarygodności danych i przejść do wcześniej zdefiniowanego trybu ograniczonego.

Drugim elementem jest interoperacyjność danych. W transporcie jeden operator rzadko posiada pełny obraz całej podróży lub łańcucha dostaw. Wspólne standardy zdarzeń, identyfikatorów, czasu i statusu przewozu mogą pozwalać modelom korzystać z danych wielu uczestników bez budowy jednego centralnego systemu. Takie podejście jest szczególnie istotne przy połączeniach między drogą, koleją, portami, terminalami i transportem miejskim oraz przy cyfrowym obiegu dokumentów [135], [137]–[139].

SI może poprawiać wykorzystanie istniejącej infrastruktury, ale jej możliwości są ograniczone przez fizyczną przepustowość sieci. Prognoza, optymalizacja lub koordynacja mogą zmniejszać zatory i lepiej wykorzystywać dostępne zasoby, natomiast brakującego toru, terminala, przeprawy lub infrastruktury ładowania nie da się zastąpić modelem. Dla mapy wdrożeń istotne jest zatem rozróżnienie problemów informacyjnych i koordynacyjnych od ograniczeń wymagających inwestycji fizycznych.

7.4. Polska: duża skala przewozów i multimodalne środowisko wdrożeń

Polska ma bardzo dużą skalę operacyjną, na której można sprawdzać rozwiązania SI. Według Eurostatu polscy przewoźnicy wykonali w 2025 r. 381,0 mld tonokilometrów w drogowym transporcie towarów, czyli 20,2% wyniku całej UE, a 60% tej pracy przypadało na transport międzynarodowy, operacje między państwami innymi niż państwo siedziby przewoźnika oraz kabotaż [131]. To duży rynek referencyjny dla narzędzi planowania tras, wykorzystania floty, przewidywania czasu przyjazdu, obsługi dokumentów oraz zarządzania zakłóceniami w różnych warunkach krajowych czy transgranicznych.

Równocześnie polski system transportowy obejmuje istotny segment przewozów pasażerskich. Dane GUS oraz Urzędu Transportu Kolejowego za 2025 r. pokazują wzrost znaczenia mobilności pasażerskiej przy bardziej wymagającej sytuacji transportu towarowego na kolei [130], [132]. Dla wykorzystania SI rozszerza to pole wdrożeń o prognozowanie potoków pasażerskich, punktualność, informację pasażerską, planowanie rozkładów i wykorzystanie taboru, obok klasycznych zastosowań logistycznych.

Multimodalny charakter rynku wzmacnia sieć terminali. W 2024 r. działało w Polsce 40 terminali intermodalnych, w tym 4 morskie i 36 lądowych [133]. Takie węzły są naturalnym miejscem testowania koordynacji okien przeładunkowych, dostępności kontenerów, wagonów, ciągników i powierzchni składowej. Największy efekt może powstawać na styku kilku operatorów, gdy wspólny obraz sytuacji pozwala ograniczać oczekiwanie i lepiej synchronizować kolejne etapy przewozu.

Porty morskie rozszerzają skalę zastosowań na przepływy globalne. Dane GUS za 2025 r. potwierdzają dużą skalę polskiej gospodarki morskiej i zróżnicowanie struktur przeładunków między portami [134]. SI może wspierać prognozowanie zawinięć, przydział nabrzeży, planowanie pracy urządzeń, analizę obrazu, bezpieczeństwo oraz cyfrowe odwzorowanie operacji portowych. Wspólnym miernikiem może być czas obsługi statku i ładunku połączony z bezpieczeństwem oraz stabilnością działania węzła.

Polska ma również szczególne warunki do rozwijania rozwiązań związanych z odpornością na zakłócenia nawigacji. W latach 2025–2026 instytucje publiczne wskazywały na rosnące zakłócenia GNSS i przypadki fałszowania danych systemu automatycznej identyfikacji (AIS) w regionie Morza Bałtyckiego, a Polska należała do państw szczególnie dotkniętych zakłóceniami sygnałów nawigacyjnych [153], [154]. Dla transportu morskiego, lotniczego i lądowego tworzy to realne środowisko dla systemów wykrywających anomalie, łączących niezależne źródła lokalizacji oraz wspierających przejście do bezpiecznego trybu zapasowego [155]– [157].

Duża liczba przewoźników, spedytorów, operatorów terminalowych i dostawców technologii tworzy jednocześnie rynek dla modułowych produktów. Szczególnie istotne mogą być rozwiązania wykorzystujące otwarte interfejsy i wspólny słownik zdarzeń, które dają się wdrożyć u kilku operatorów bez przebudowy całego środowiska informatycznego. Taki model zwiększa szansę, że wdrożenie krajowe stanie się produktem możliwym do wykorzystania także na innych europejskich korytarzach.

7.5. Europa: wspólna sieć, interoperacyjne dane i autonomiczna mobilność

Europejski kierunek polityki dobrze odpowiada specyfice TSL. Strategia Apply AI wskazuje transport jako obszar rozwoju modeli dla pojazdów autonomicznych, zarządzania transportem, logistyką, optymalizacji tras i planowania przewozów oraz testowania autonomicznej mobilności w miastach [158]. Tym sposobem SI jest

traktowana zarówno jako narzędzie poprawy bieżących operacji, jak i technologia zmieniająca sposób organizacji mobilności.

Podstawą skalowania pozostaje wspólna sieć infrastrukturalna. Transeuropejska sieć transportowa (TEN-T) obejmuje drogi, kolej, porty, terminale i systemy informacyjno-komunikacyjne oraz tworzy wspólne ramy rozwoju korytarzy europejskich [135]. Jest więc to ułatwienie przenoszenia produktu między państwami, jeżeli dane i interfejsy są zgodne, a model potrafi działać w różnych warunkach infrastrukturalnych oraz operacyjnych.

Równolegle rozwijane są standardy wymiany danych. Rozporządzenie eFTI tworzy ramy elektronicznego przekazywania informacji o transporcie towarowym [137], a przyjęte w 2026 r. specyfikacje kolejowe oraz prace Digital Transport and Logistics Forum wspierają techniczną współpracę systemów [138], [139]. Dla SI szczególnie ważna jest zgodność znaczenia zdarzeń, identyfikatorów i czasu, ponieważ nawet technicznie połączone systemy mogą inaczej interpretować status przewozu lub dostępność zasobu.

Cyfryzacja uzupełnia inwestycje fizyczne. W 2025 r. Komisja Europejska wybrała 94 projekty transportowe do wsparcia kwotą blisko 2,8 mld euro w ramach instrumentu „Łącząc Europę” [140]. Połączenie inwestycji infrastrukturalnych z warstwą danych, prognozowania, koordynacji może zwiększać wykorzystanie nowych i istniejących zasobów oraz tworzyć wspólne środowiska testowe dla rozwiązań SI.

Państwa UE pełnią różne role w tej samej sieci transportowej. Z punktu widzenia Polski istotne jest identyfikowanie środowisk, w których można sprawdzać rozwiązania przeznaczone dla portów, kolei, transportu drogowego, mobilności miejskiej i połączeń multimodalnych. Ten podział ról państw UE w europejskiej sieci transportowej i logistycznej odzwierciedla tab. 7.2.

Tab. 7.2. Grupowanie państw UE według roli w europejskiej sieci transportowej i logistycznej

Rola sieciowa	Państwa	Wspólna przewaga lub bariera	Możliwy kierunek współpracy z Polską
Węzły Morza Północnego i centra dystrybucji	Belgia, Dania, Irlandia, Luksemburg, Niemcy, Holandia	Porty globalne, gęste sieci, centra logistyczne i wysoka dojrzałość danych	Integracja portu, kolei i transportu drogowego, eFTI, zarządzanie ruchem, cyfrowe bliźniaki i wejście do łańcuchów dostaw
Region Morza Bałtyckiego	Estonia, Finlandia, Litwa, Łotwa, Szwecja	Cyfrowe usługi, żegluga bałtycka, rozwinięta mobilność publiczna, duże odległości i wymagający klimat	Korytarze bałtyckie, dane kolejowe i pasażerskie, porty, odporna nawigacja oraz interoperacyjność
Korytarze środkowoeuropejskie	Austria, Czechy, Polska, Słowacja, Słowenia, Węgry	Tranzyt, przemysł, transport drogowy oraz kolejowy, wąskie gardła terminalowe i graniczne	Synchronizacja przewozów, intermodalność, dane ETA, utrzymanie i zarządzanie przepustowością
Południowa Europa: porty i sieci transportowe	Chorwacja, Cypr, Francja, Grecja, Hiszpania, Malta, Portugalia, Włochy	Porty morskie, duże miasta, turystyka, przemysł i silne przepływy śródziemnomorskie	Systemy portowe, połączenia morza z koleją, mobilność miejska, ostatnia mila i automatyzacja węzłów

Rola sieciowa	Państwa	Wspólna przewaga lub bariera	Możliwy kierunek współpracy z Polską
Korytarze Morza Czarnego I modernizacja sieci	Bułgaria, Rumunia	Rosnące węzły, znaczenie tranzytowe oraz potrzeba modernizacji infrastruktury I danych	Odporne korytarze, terminale, widoczność przepływu I integracja z TEN-T

Źródło: opracowanie własne na podstawie [135]–[140], [158].

Europejski wymiar sektora wzmacnia znaczenie rozwiązań interoperacyjnych. Produkt rozwijany w Polsce może mieć kolejnych odbiorców w innych państwach, jeżeli jego rdzeń nie jest związany z jednym operatorem, a wymagania dotyczące danych, bezpieczeństwa i integracji są opisane w sposób pozwalający na dostosowanie do innego korytarza lub miasta.

7.6. Świat: widoczność przepływu, automatyzacja i odporność

Poza UE polityki transportowe pokazują kilka uzupełniających się modeli wykorzystania SI. Wielka Brytania przyjęła sektorowy plan działań dla SI w transporcie, łącząc wykorzystanie technologii w administracji i systemie transportowym z zasadami bezpiecznego wdrażania [141]. Towarzyszące analizy odporności łańcuchów dostaw podkreślają znaczenie wzajemnych zależności i przygotowania na zakłócenia geopolityczne oraz klimatyczne [142].

Stany Zjednoczone rozwijają politykę frachtową wokół infrastruktury, wspólnego obrazu danych i odporności [143]. Program Freight Logistics Optimization Works (FLOW) służy wymianie informacji o przepływie kontenerów między uczestnikami łańcucha [144]. Mechanizm ten pokazuje wartość neutralnej warstwy danych, która poprawia widoczność sytuacji bez zastępowania systemów operacyjnych prywatnych firm.

Japonia wykorzystuje robotyzację, SI i automatyzację jako odpowiedź na niedobór pracowników w logistyce [145]. Test automatycznej drogi logistycznej pokazuje, że głęboka automatyzacja wymaga nie tylko algorytmu, ale także wspólnych standardów jednostki ładunkowej, infrastruktury, punktów przekazania i odpowiedzialności [146].

Singapur wykorzystuje port jako środowisko testowania analityki i koordynacji w bardzo dużej skali. Inwestycje obejmują prognozowanie ruchu statków, poprawę efektywności portu [147], natomiast morski cyfrowy bliźniak łączy dane w czasie rzeczywistym z symulacją zdarzeń [148]. Przenośnym elementem tego modelu jest wspólny obraz sytuacji oraz ocena wpływu rozwiązania na czas obrotu statku i ładunku.

Kanada i Australia silnie łączą cyfryzację transportu z odpornością. Kanada rozwija planowanie aktywów, prognozowanie oraz analizę ryzyka, a w kontroli ładunku lotniczego wykorzystuje SI do wcześniejszego wskazywania przesyłek wymagających dodatkowej weryfikacji [149], [150]. Australia łączy produktywność, odporność, dekarbonizację i dane w krajowej strategii frachtowej oraz National Freight Data Hub [151], [152]. Porównanie wybranych modeli światowych przedstawiono w tab. 7.3.

Tab. 7.3. Modele światowe wykorzystania SI, danych i automatyzacji w transporcie

Model	Państwo / organizacja	Mechanizm	Znaczenie dla Polski
Sektorowy plan SI dla transportu	Wielka Brytania	Bezpieczne wdrażanie SI w systemie transportowym połączone z analizą ryzyka i odporności	Wspólne zasady testowania, środowiska pilotażowe i scenariusze zakłóceń
Widoczność korytarza	Stany Zjednoczone	Strategia frachtowa i FLOW tworzą wspólny obraz przepływu przy rozproszonej własności danych	Minimalny zestaw zdarzeń i neutralna warstwa wymiany danych między operatorami
Automatyzacja w odpowiedzi na niedobór pracowników	Japonia	Robotyzacja, SI i test automatycznej infrastruktury logistycznej	Standard jednostki ładunkowej, punkt przekazania, interoperacyjność i odpowiedzialność
Port jako środowisko testowe	Singapur	Cyfrowy bliźniak, predykcja ruchu statków i koordynacja usług portowych	Wspólny obraz sytuacji, test w realnym ruchu i mierzenie czasu obrotu
Odporność i kontrola ryzyka	Kanada	Planowanie aktywów i łańcuchów oraz SI w kontroli ładunku lotniczego	Łączenie płynności transportu z bezpieczeństwem i oceną ryzyka
Strategia i hub danych	Australia	Produktywność, odporność, dekarbonizacja i krajowa infrastruktura danych frachtowych	Rozproszony katalog danych, wspólne standardy i analizy przepływu dla państwa oraz rynku

Źródło: opracowanie własne na podstawie [141]–[152].

Wspólnym elementem tych modeli jest łączenie danych z konkretnym procesem transportowym i fizycznym środowiskiem testowym. Różnice dotyczą tego, czy punktem ciężkości jest mobilność, fracht, port, automatyzacja czy odporność. Dla Polski najbardziej użyteczne wydaje się łączenie tych podejść: rozwijanie wspólnych warstw danych, testowanie automatyzacji w rzeczywistych węzłach oraz budowanie rozwiązań zdolnych do działania podczas zakłóceń.

7.7. Transport, spedycja i logistyka jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Transport, spedycja i logistyka dobrze odpowiadają celowi projektu Polityki AI. Dokument wskazuje ten sektor wśród sektorów o największym potencjale dla wdrożeń SI, wiążąc go z bezpieczniejszą oraz bardziej zrównoważoną mobilnością, automatyzacją procesów przewozowych i optymalizacją tras. W odniesieniu do europejskiej strategii Apply AI wskazuje również modele dla pojazdów autonomicznych, zarządzania transportem i logistyką, planowania przewozów oraz testowania autonomicznej mobilności w miastach [158].

Uzasadnienie dla odrębnej mapy wynika przede wszystkim z sieciowego charakteru sektora. Jeden proces może obejmować zarządcę infrastruktury, przewoźnika, spedytora, terminal, port, magazyn, administrację i odbiorcę, a dane są rozproszone między te podmioty. Horyzontalne instrumenty wsparcia SI mogą zapewniać kompetencje, infrastrukturę obliczeniową i ogólne zasady bezpieczeństwa, natomiast mapa sektorowa może porządkować współdzielenie danych, interoperacyjność, środowiska testowe, odpowiedzialność oraz sposób przejścia od rekomendacji modelu do bezpiecznego działania w rzeczywistym ruchu.

Polska ma mocną bazę do takiego podejścia: bardzo dużą skalę drogowego transportu towarowego, znaczące przewozy pasażerskie, sieć kolejową, terminale intermodalne, porty morskie oraz zróżnicowany rynek operatorów i dostawców technologii [130]–[134]. Dodatkowym obszarem specjalizacji może być odporność transportu na zakłócenia nawigacji i łączności, które są już obserwowane w regionie [153]–[157]. Takie warunki pozwalają testować rozwiązania na rzeczywistych procesach, a następnie rozwijać produkty przeznaczone dla innych operatorów i korytarzy europejskich.

Zakres mapy może obejmować zarówno mobilność osób, jak i przepływ towarów: prognozowanie popytu, czasu podróży, zarządzanie ruchem, trasami, systemy autonomiczne oraz wspomagające, terminale, magazyny, utrzymanie, cyfrowy obieg dokumentów czy odporność na zakłócenia. Wspólną zasadą może być przypisanie każdemu zastosowaniu właściciela decyzji, danych, miernika pełnego wyniku, środowiska testowego i warunków bezpiecznego działania. Najważniejsze argumenty za odrębną mapą sektora TSL zebrano w tab. 7.4.

Tab. 7.4. Transport, spedycja i logistyka jako sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Kryterium	Wnioski z analizy sektora	Znaczenie dla mapy
Znaczenie gospodarcze i społeczne	Mobilność osób i przepływ towarów warunkują funkcjonowanie przemysłu, handlu, usług publicznych oraz eksportu. Zakłócenia mogą przenosić się między sektorami.	Powiązanie wdrożeń z terminowością, dostępnością, bezpieczeństwem, wykorzystaniem infrastruktury i odpornością całego procesu.
Gotowość Polski	Duża skala przewozów drogowych, znaczący transport pasażerski, kolej, 40 terminali intermodalnych, porty i wielu operatorów tworzą rzeczywiste środowiska wdrożeń.	Możliwość prowadzenia testów na realnych korytarzach i węzłach oraz sprawdzania rozwiązań u kilku niezależnych użytkowników.
Dopasowanie zastosowań SI	Prognozowanie, optymalizacja, analiza obrazu, autonomia, utrzymanie i analiza dokumentów są bezpośrednio związane z częstymi decyzjami operacyjnymi.	Mapa może przypisywać zastosowaniom pełne mierniki wyniku i różne poziomy kontroli zależnie od skutku decyzji.
Bariera sektorowa	Dane i odpowiedzialność są rozproszone między operatorów oraz zarządców infrastruktury, a część decyzji wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo fizyczne.	Koordinacja standardów danych, interoperacyjności, testów, odpowiedzialności i trybów awaryjnych wykracza poza horyzontalne wsparcie wdrażania SI.
Skala europejska	TEN-T, eFTI, wspólne specyfikacje danych oraz kierunki Apply AI tworzą wspólne ramy dla mobilności, logistyki i autonomizacji.	Możliwość projektowania rozwiązań przenoszonych między operatorami, miastami i korytarzami w UE.
Potencjał krajowych podmiotów	Rynek tworzy popyt na oprogramowanie transportowe, telematykę, analizę danych, automatykę terminalową, systemy bezpieczeństwa i rozwiązania odpornościowe.	Mapa może łączyć pierwsze wdrożenie w Polsce z wymaganiami interoperacyjności i kolejnym zastosowaniem u niezależnego odbiorcy.

Źródło: opracowanie własne na podstawie [130]–[158].

Łącznie przesłanki te wskazują, że transport, spedycja i logistyka mają silne uzasadnienie jako sektor odrębnej mapy wdrożeń. Jej największa wartość może polegać na powiązaniu danych i modeli z fizyczną siecią transportową: od wspólnego obrazu sytuacji wraz z prognozami, przez koordynację wielu operatorów, po bezpieczne wykorzystanie automatyzacji oraz systemów autonomicznych.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem transportu, spedycji i logistyki do sektorów kluczowych

W TSL znaczenie strategiczne wynika z dużej skali gospodarczej, sieciowego charakteru przepływu pasażerów i towarów, rozproszenia danych, odpowiedzialności oraz bezpośredniego wpływu części decyzji SI na procesy fizyczne. Mapa sektorowa może koncentrować się na interoperacyjnych danych, zarządzaniu przepływami, bezpiecznej automatyzacji i rozwiązaniach możliwych do przenoszenia między operatorami oraz korytarzami transportowymi.

CZĘŚĆ II. Analiza innych sektorów i strategicznych obszarów technologiczno-przemysłowych

8. Inne sektory/obszary o potencjalnym znaczeniu strategicznym dla rozwoju SI w Polsce

8.1. Możliwości rozszerzenia katalogu sektorów/obszarów kluczowych

O strategicznym znaczeniu tych obszarów decydują przesłanki związane z aktywami, infrastrukturą, koordynacją i możliwością uzyskania mierzalnego efektu. W praktyce są to: wpływ na infrastrukturę lub bezpieczeństwo, duża skala decyzji o skutkach społecznych i gospodarczych, znaczenie dla przepływów w gospodarce albo możliwość budowania krajowych produktów oraz kompetencji w obszarze o wysokiej barierze wejścia. Przy poszukiwaniu kolejnych sektorów/obszarów zasadne jest więc szukanie podobnie wyraźnego mechanizmu, ale niekoniecznie tego samego rodzaju.

Dla ewentualnego rozszerzenia katalogu istotne są trzy pytania:

- Po pierwsze, czy w Polsce istnieje już zasób, inwestycja, luka rozwojowa albo zdolność o znaczeniu strategicznym, której trajektorię SI może realnie zmienić.
- Po drugie, czy wpływ SI dotyczy kluczowych procesów sektora/obszaru, a nie głównie uniwersalnych zastosowań biurowych.
- Po trzecie, czy osobna mapa mogłaby rozwiązać problem koordynacyjny, którego nie usuną instrumenty horyzontalne: dostęp do danych i infrastruktury, testowanie, interoperacyjność, odpowiedzialność lub przejście od pilotażu do powtarzalnego wdrożenia.

Dopiero łączne spełnienie tych przesłanek tworzy argument za kolejnym sektorem/obszarem kluczowym.

W przypadku administracji publicznej zasadne wydaje się odrębne ujęcie. Jest strategicznym użytkownikiem SI i może tworzyć popyt referencyjny, ale państwo posiada już dla niej odrębny tor transformacji cyfrowej. Strategia Cyfryzacji Państwa zakłada m.in. pełną cyfryzację kluczowych usług publicznych do 2030 r., wykorzystanie SI przez 80% urzędów do 2035 r. oraz silniejszą koordynację transformacji między resortami [159]. Spójność tych wdrożeń z instrumentami przeznaczonymi dla cyfrowego państwa pozwala uniknąć tworzenia równoległych mechanizmów.

Podobne rozróżnienie dotyczy obszarów będących przede wszystkim dostawcami technologii dla całej gospodarki. Rozwój modeli, oprogramowania, kompetencji czy ogólnych usług SI jest konieczny, lecz sam w sobie uzasadnia przede wszystkim instrumenty horyzontalne. Rozdział koncentruje się więc na obszarach, w których istnieje dodatkowy sektorowy/obszarowy problem wdrożenia lub strategiczna funkcja państwa.

8.2. Przegląd potencjalnych kierunków

Lista sektorów/obszarów, w których sztuczna inteligencja może znaleźć istotne zastosowanie, jest długa. Zasadne wydaje się ograniczenie listy sektorów/obszarów obejmowanych odrębnymi mapami do przypadków spełniających dodatkowe przesłanki strategiczne. To rozróżnienie ma zasadnicze znaczenie dla dalszej analizy.

Europejska **Apply AI Strategy** wskazuje, obok sektorów/obszarów analizowanych wcześniej, m.in. produkcję, inżynierię, rolnictwo i gospodarkę żywnościową, łączność elektroniczną, przestrzeń kosmiczną, budownictwo,

sektory kreatywne oraz sektor publiczny [158]. Każdy z tych obszarów oferuje zastosowania SI. **Osobny instrument sektorowy/obszarowy jest najbardziej uzasadniony w obszarach, w których występuje dodatkowy problem koordynacyjny lub strategiczny.** Z punktu widzenia Polski istotne jest więc nie samo pytanie, gdzie można zastosować SI, lecz gdzie jej wykorzystanie może zmienić trajektorię aktywów, kompetencji lub infrastruktury o znaczeniu szerszym niż wynik pojedynczego przedsiębiorstwa.

Po zastosowaniu tego kryterium pierwszy wyraźny przypadek stanowi **przetwórstwo przemysłowe**. Punktem wyjścia jest istniejące aktywo gospodarcze o dużej skali, którego wartość można chronić i rozwijać z wykorzystaniem SI. Udział przetwórstwa w polskim PKB wynosił 16,8%, wobec 14,7% średnio w UE [160], a w latach 2000–2024 produkcja przemysłowa rosła w Polsce o 4,9% rocznie, podczas gdy w UE było to 0,6% [161]. Jednocześnie w 2025 r. SI wykorzystywało 8,4% polskich przedsiębiorstw wobec 20,0% w UE [162]. Wskaźnik dotyczy całej populacji badanych przedsiębiorstw i służy tu jako miara ogólnego otoczenia absorpcji technologii, w którym funkcjonuje przemysł.

Stawką jest zatem coś więcej niż wzrost liczby przedsiębiorstw deklarujących wykorzystanie SI. Jeżeli technologia będzie coraz silniej wpływała na produktywność, jakość, koszty, utrzymanie maszyn i elastyczność produkcji, różnice w zdolności jej wdrażania mogą z czasem przekładać się na pozycję zakładów w europejskich łańcuchach wartości. Uruchomienie programu „AI for Industry” wskazuje, że problem ten jest już dostrzegany w działaniach publicznych [163]. Jej zadaniem byłoby zwiększenie prawdopodobieństwa, że duża istniejąca baza produkcyjna utrzyma i podniesie swoją wartość w warunkach zmiany technologicznej.

Telekomunikacja prowadzi do tego samego wniosku inną drogą. Kluczowe znaczenie ma podwójna rola sektora: jako działalności gospodarczej i infrastruktury warunkującej rozwój systemów cyfrowych. Telekomunikacja jest działalnością gospodarczą, ale zarazem infrastrukturą, od której zależy możliwość rozwijania coraz bardziej rozproszonych systemów cyfrowych i zastosowań SI.

Skala zachodzącej modernizacji jest już znacząca. W 2025 r. inwestycje przedsiębiorców telekomunikacyjnych wzrosły do 12,7 mld zł, światłowód obejmował 80,1% gospodarstw domowych, a liczba kart komunikacji między urządzeniami (M2M) osiągnęła 14 mln, rosnąc o 40% rok do roku [164]. Strategia Cyfryzacji Państwa zakłada do 2030 r. powszechny zasięg światłowodu i 5G [159], natomiast Komisja Europejska nadal wskazuje na potrzebę przyspieszenia wdrażania części infrastruktury 5G w Polsce [28]. Jednocześnie kierunek rozwoju 6G zakłada coraz szersze wykorzystanie SI do zarządzania zasobami i usługami sieciowymi [165].

Powstaje więc sprzężenie podobne do obserwowanego w energetyce: infrastruktura telekomunikacyjna warunkuje rozwój zastosowań SI, a SI zaczyna zmieniać sposób funkcjonowania samej infrastruktury. To odróżnia telekomunikację od sektorów/obszarów, w których technologia pozostaje przede wszystkim jednym z narzędzi poprawy procesów wewnętrznych. Potencjalna mapa miałaby tu sens przede wszystkim jako instrument łączący rozwój infrastruktury, interoperacyjność, dostęp do danych oraz przechodzenie od wspomagania operatora do coraz dalej idącej automatyzacji sieci.

Jeszcze inny przypadek stanowi **sektor kosmiczny**. Jego wyróżnikiem jest moment rozwoju, w którym obecne decyzje inwestycyjne mogą wpływać na strukturę krajowych kompetencji i produktów przez kolejne lata.

Polska przeznaczyła blisko 550 mln euro na opcjonalne programy Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) na lata 2026–2028 [166]. W lipcu 2026 r. ogłoszono również utworzenie centrum ESA w Warszawie oraz funduszu Polskiego Funduszu Rozwoju (PFR) o wartości 500 mln zł dla przedsiębiorstw sektora [167]. Jednocześnie SI

znajduje zastosowanie w tych warstwach działalności kosmicznej, w których znaczna część wartości powstaje w oprogramowaniu i danych: w analizie obrazowań satelitarnych, autonomii systemów pokładowych, sterowaniu konstelacjami czy przetwarzaniu danych na orbicie [168].

Znaczenie mapy byłoby więc w tym przypadku inne niż w przemyśle czy telekomunikacji. Celem mogłoby być wykorzystanie obecnego okna inwestycyjnego do zwiększenia krajowego udziału w trwałych elementach łańcucha wartości: oprogramowaniu, produktach danych, rozwiązaniach autonomicznych i kompetencjach przenoszonych między kolejnymi misjami. Powstanie trwałej krajowej zdolności technologicznej zależy od przełożenia wydatków publicznych na kompetencje, produkty, własność intelektualną i kolejne zamówienia.

Powyższe przypadki pokazują, że przesłanka strategiczna może wynikać z różnych mechanizmów: skali istniejącej bazy produkcyjnej, roli infrastrukturalnej albo możliwości budowania krajowych kompetencji w nowym łańcuchu wartości. Nie wyczerpuje to jednak sytuacji, w których osobna mapa może mieć uzasadnienie. Odrębny mechanizm występuje tam, gdzie stawką jest odporność rozproszonego systemu produkcji podstawowego dobra, a skuteczność wdrożeń zależy od danych, łączności i warunków środowiskowych.

Na tym tle **rolnictwo i żywność** zasługują na odrębną analizę obszarową. Argument strategiczny wynika z trwałego znaczenia produkcji rolnej dla bezpieczeństwa żywnościowego, stabilności zaopatrzenia w żywność i gospodarowania zasobami, ale także z jej szczególnej podatności na warunki biologiczne, pogodowe oraz przestrzenne. Technologie cyfrowe, w tym SI i robotyka, mogą wpływać na produktywność, wykorzystanie nawozów oraz wody, organizację pracy, zdrowie, dobrostan zwierząt czy zdolność reagowania na ryzyko pogodowe. W 2026 r. uruchomiono AGROSTRATEG o budżecie 500 mln zł, obejmujący m.in. rolnictwo cyfrowe, SI, robotykę, IoT, łączność 5G/6G oraz prace przedwdrożeniowe prowadzone z udziałem przedsiębiorstw i użytkowników obszaru [169].

Istnienie AGROSTRATEG wpływa na funkcję ewentualnej mapy obszarowej. Mapa mogłaby uzupełniać program badawczo-rozwojowy, koncentrując się na przejściu od finansowanego projektu do rozwiązania działającego w różnych gospodarstwach, w tym na dostępie do danych, interoperacyjności maszyn z platformami, testowaniu w wielu sezonach i warunkach, modelach usługowych obniżających koszt wejścia dla mniejszych gospodarstw oraz miernikach rzeczywistego efektu produkcyjnego. Pełną analizę rolnictwa i żywności przedstawiono w rozdziale 12.

Ten sam test ogranicza zasadność rozszerzenia katalogu o kolejne obszary. Dodatkowa mapa sektorowa/obszarowa jest uzasadniona przede wszystkim wtedy, gdy można wykazać jej wartość ponad instrumenty horyzontalne lub już funkcjonujące programy sektorowe/obszarowe. W części sektorów/obszarów podstawową barierą pozostają kompetencje, poziom podstawowej cyfryzacji, standardy danych lub dostęp do uniwersalnych narzędzi, a więc problemy, które można rozwiązywać za pomocą instrumentów horyzontalnych. W innych działają już odrębne programy publiczne.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem analizowanych kierunków do sektorów/obszarów kluczowych

Po takim zawężeniu pozostają cztery przypadki, dla których zasadne jest dalsze rozważenie nadania statusu sektora/obszaru kluczowego dla rozwoju SI w Polsce, choć każdego z innego powodu:

- W przetwórstwie przemysłowym stawką jest utrzymanie oraz zwiększanie wartości dużej polskiej bazy produkcyjnej,
- W telekomunikacji – rozwój infrastruktury umożliwiającej skalowanie SI wraz z transformacją samych sieci,
- W sektorze kosmicznym – wykorzystanie obecnego skoku inwestycyjnego do budowania krajowej wartości w danych, oprogramowaniu czy autonomii,
- W rolnictwie i żywności – wzmacnianie odporności rozproszonej produkcji rolnej oraz stabilności zaopatrzenia w żywność, przy jednoczesnej potrzebie wspólnych danych, interoperacyjności, infrastruktury cyfrowej i warunków testowania rozwiązań w różnych gospodarstwach.

9. Przemysł przetwórczy

9.1. Przemysł przetwórczy jako środowisko produkcji opartej na danych

Przemysł przetwórczy łączy wiele branż, ale ich wspólnym rdzeniem jest fizyczne wytwarzanie wyrobów oraz zarządzanie powtarzalnymi procesami, w których jakość, czas, koszt, zużycie zasobów i dostępność maszyn można mierzyć bezpośrednio. Zastosowanie SI może tu wykraczać poza automatyzację pracy informacyjnej: wynik modelu może wpływać na parametry procesu, harmonogram produkcji, decyzję serwisową, kontrolę jakości albo sposób wykorzystania materiałów i energii. Korzyść lub błąd ujawniają się więc w rzeczywistym wyniku zakładu.

Sektor wytwarza przy tym duże ilości danych o własnych procesach. Powstają one w systemach projektowania i zarządzania produkcją, rozwiązaniach do planowania zasobów przedsiębiorstwa (ERP), realizacji produkcji (MES) oraz nadzoru i akwizycji danych (SCADA), kontroli jakości, utrzymaniu ruchu oraz bezpośrednio w maszynach wraz z czujnikami. Największą wartość mają zastosowania, które łączą te informacje z wiedzą o produkcie i procesie oraz prowadzą do decyzji możliwej do zweryfikowania po jej wykonaniu. W wielu przypadkach większe znaczenie mają wyspecjalizowane modele wizyjne, prognostyczne i optymalizacyjne osadzone w konkretnym procesie.

Wspólny charakter podstawowych procesów produkcyjnych tworzy możliwość powielania rozwiązań między zakładami i branżami, nawet jeżeli wymagają one lokalnego dostosowania do maszyn, materiałów oraz systemów informatycznych. Robotyka, systemy autonomiczne i widzenie maszynowe są w tym ujęciu analizowane od strony ich wykorzystania w zakładzie oraz wpływu na wynik produkcyjny. Zakres sektora odpowiada przetwórstwu przemysłowemu w standardowej klasyfikacji działalności gospodarczej [170].

9.2. Mapa zastosowań SI w przemyśle przetwórczym

Mapa zastosowań porządkuje główne decyzje produkcyjne według danych potrzebnych do działania modelu, mierzalnego wyniku oraz warunków bezpiecznego wdrożenia. W przemyśle szczególnie istotne jest powiązanie metryki technicznej modelu z wynikiem całego procesu: wykrycie wady ma znaczenie wtedy, gdy ogranicza braki i reklamacje, prognoza awarii wtedy, gdy zmniejsza nieplanowany przestój, a rekomendacja ustawień wtedy,

gdy poprawia uzysk lub stabilność produkcji bez zwiększania ryzyka. Strukturę tej mapy, wraz z danymi, miarami wyniku i warunkami bezpiecznego zastosowania, przedstawia tab. 9.1.

Tab. 9.1. Mapa zastosowań SI w przemyśle przetwórczym

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Projektowanie i przygotowanie produkcji	Wersjonowane modele produktu oraz procesu, wymagania, dane z wcześniejszych wdrożeń, generatywne projektowanie, analiza wariantów i wykonalności	Czas wprowadzenia wyrobu, liczba zmian po uruchomieniu, koszt jednostkowy	Kontrola wersji, walidacja przez inżyniera i możliwość odtworzenia założeń użytych przez model
Kontrola jakości	Obrazy, pomiary i parametry procesu powiązane z partią, wizja maszynowa oraz wykrywanie anomalii	Braki, niezgodności niewykryte na linii, reklamacje i koszt kontroli	Reprezentatywne dane dla wariantów produktu, monitorowanie pogorszenia jakości modelu po zmianie procesu
Utrzymanie ruchu	Sygnały maszyn, historia awarii oraz napraw, warunki pracy, prognoza uszkodzeń i diagnostyka	Nieplanowany przestój, średni czas między awariami (MTBF), średni czas naprawy (MTTR) i koszt utrzymania	Ocena fałszywych alarmów, zatwierdzanie decyzji o wyłączeniu i bezpieczna izolacja urządzeń
Planowanie i harmonogramowanie	Zlecenia, czasy operacji, przebrojenia, dostępność ludzi, maszyn i materiałów, prognozowanie oraz optymalizacja	Terminowość, czas realizacji, produkcja w toku (WIP) i wykorzystanie zdolności produkcyjnych	Jawne ograniczenia technologiczne, wariant awaryjny i możliwość ręcznej korekty planu
Sterowanie procesem	Zsynchronizowane dane procesowe, receptury, jakość i rejestr interwencji, modele rekomendacyjne oraz optymalizacyjne	Stabilność procesu, uzysk, czas cyklu i jakość	Nieprzekraczalne limity, test w trybie cienia, stopniowe zwiększanie autonomii i niezależne funkcje bezpieczeństwa
Materiały i energia	Liczniki, bilanse materiałowe i dane procesowe, optymalizacja zużycia, odzysku oraz obciążenia energetycznego	Zużycie materiału, energii i wody na dobry wyrób oraz wielkość odpadów	Uwzględnienie wymagań jakościowych i produkcyjnych oraz weryfikacja efektu na poziomie całego procesu
Wiedza operacyjna i wsparcie pracownika	Zatwierdzone instrukcje, dokumentacja, historia zdarzeń i role pracowników, wyszukiwanie informacji oraz modele językowe	Czas diagnozy i szkolenia, liczba błędów, obejść oraz zdarzeń BHP	Oparcie odpowiedzi na zatwierdzonych źródłach, możliwość weryfikacji i brak bezpośredniego sterowania maszyną

Źródło: opracowanie własne na podstawie kierunków Apply AI, danych o wykorzystaniu SI w przedsiębiorstwach oraz podejścia do bezpieczeństwa i zastosowań SI w produkcji [162], [171]–[172].

Dla każdego zastosowania kluczowa jest informacja zwrotna po wykonaniu decyzji. Wynik modelu można zestawić z późniejszą kontrolą jakości, awarią, czasem cyklu, zużyciem zasobów albo reklamacją. Pozwala to oddzielić rzeczywisty efekt SI od innych zmian zachodzących równolegle w zakładzie i tworzy podstawę do porównywania wdrożeń między przedsiębiorstwami.

9.3. Od danych produkcyjnych do bezpiecznego i powtarzalnego wdrożenia

Najtrudniejszym etapem wdrożenia przemysłowego jest zwykle nie samo zbudowanie modelu, lecz połączenie go z danymi i systemami zakładu. Wiarygodne zastosowanie wymaga jednoznacznego powiązania produktu, partii, maszyny i czasu, kontroli jakości pomiarów oraz rejestrowania interwencji człowieka. W praktyce przekłada się to na integrację systemów informatycznych z warstwą OT, czyli automatyką i urządzeniami sterującymi produkcją. W zależności od wrażliwości danych i wymagań czasu reakcji zasadne może być przetwarzanie lokalne, wymiana ograniczonego zakresu danych albo uczenie federacyjne zamiast centralizowania danych procesowych.

Rola modelu może być zwiększana etapowo. Najpierw można sprawdzić go na danych historycznych, następnie w trybie cienia, potem jako narzędzie rekomendacyjne, a dopiero po potwierdzeniu jakości dopuścić do ograniczonego wpływu na proces. Im bliżej bezpośredniego sterowania maszyną, tym większe znaczenie mają twarde limity działania, niezależne funkcje bezpieczeństwa, możliwość ręcznego przejęcia oraz testy sytuacji rzadkich, takich jak zmiana materiału, konfiguracji, receptury albo utrata części danych [173]–[177].

Kontrola pozostaje istotna także po uruchomieniu systemu. Proces produkcyjny zmienia się wraz z wyrobem, narzędziami, dostawcami, oprogramowaniem i sposobem pracy operatorów, dlatego model może z czasem przestać działać tak jak w okresie testowym. Równolegle istotna pozostaje ochrona tajemnicy przedsiębiorstwa oraz połączeń między IT i OT. Szczególne znaczenie mają kontrola dostępu, bezpieczne aktualizacje, dzienniki zmian, możliwość odtworzenia wcześniejszej wersji oraz jasne prawa do danych i konfiguracji.

Dopiero ostatnim krokiem jest zamiana udanego pilotażu w rozwiązanie powtarzalne. Wspólny opis interfejsów, modelu danych, sposobu walidacji, wymagań sprzętowych i kosztu integracji pozwala oddzielić elementy produktu od jednorazowej pracy projektowej. Dzięki temu kolejne wdrożenie może być szybsze i tańsze, a dostawca może budować referencje oraz kompetencje serwisowe możliwe do wykorzystania u następnych klientów.

9.4. Polska: duża baza produkcyjna i niższy poziom wykorzystania SI

Znaczenie przetwórstwa przemysłowego w Polsce wynika przede wszystkim ze skali istniejącej bazy produkcyjnej. W 2024 r. sektor odpowiadał za 22,6% przeciętnego zatrudnienia w gospodarce narodowej [178]. Dlatego nawet umiarkowana poprawa produktywności, jakości lub dostępności maszyn może oddziaływać na dużą liczbę zakładów, pracowników i dostawców. Polska produkcja jest również silnie włączona w europejskie łańcuchy wartości, co zwiększa znaczenie zdolności do utrzymywania konkurencyjności technologicznej.

Jednocześnie wykorzystanie SI pozostaje wyraźnie mniej powszechne niż skala cyfryzacji i automatyzacji mogłaby sugerować. Według GUS w 2023 r. 44,9% przedsiębiorstw przemysłowych korzystało z co najmniej jednej zaawansowanej technologii, a niemal połowa firm z tego sektora używających SI wdrożyła ją dopiero w dwóch poprzednich latach [179]. Eurostat wskazuje, że w 2025 r. co najmniej jedną technologię SI wykorzystywało 8,4% polskich przedsiębiorstw wobec 20,0% w UE. W unijnym przetwórstwie przemysłowym odsetek wyniósł 17,3% [162]. Dane te mają różne zakresy, ale pokazują istotną lukę między bazą produkcyjną Polski a tempem upowszechniania SI.

Jednym z istotnych wyzwań wdrożeniowych jest integracja danych, urządzeń i systemów zakładu. Zakład może mieć automatykę, czujniki, system ERP i kilka baz danych, a mimo to nie posiadać spójnych identyfikatorów, wiarygodnej historii awarii albo bezpiecznego sposobu pobierania danych z urządzeń różnych generacji. W przypadku MŚP oznacza to potrzebę połączenia w jednym projekcie kompetencji produkcyjnych, danych, automatyki, cyberbezpieczeństwa i zgodności technicznej.

W Polsce funkcjonują już instrumenty, które mogą być elementem takiej ścieżki. Program Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) „Automatyzacja i robotyzacja w MŚP” łączy audyt technologiczny, ocenę dojrzałości, przygotowanie mapy transformacji [180], natomiast Europejskie Huby Innowacji Cyfrowych (EDIH) umożliwiają testowanie rozwiązań przed większą inwestycją oraz zapewniają dostęp do wiedzy wraz z infrastrukturą [181]. Sektorowa mapa SI mogłaby połączyć te elementy z testami na rzeczywistych procesach, zakładami referencyjnymi i mechanizmem powielania sprawdzonych rozwiązań u kolejnych odbiorców.

9.5. Europa: wspólny rynek, testowanie i warunki skalowania

Unia Europejska traktuje produkcję jako jedno z istotnych pól zastosowania SI. W ramach Apply AI rozwój robotyki i systemów SI jest łączony z ich wdrażaniem w zakładach, a polityka zaawansowanej produkcji akcentuje dane, interoperacyjność oraz zdolność przedsiębiorstw do wdrażania nowych technologii [158], [171], [182]. Dla Polski istotne jest to, że rozwój rozwiązań może odbywać się od początku z myślą o rynku większym niż pojedynczy kraj.

Europejskie środowiska testowe, takie jak AI-MATTERS, oraz sieć EDIH tworzą infrastrukturę, która może obniżać koszt weryfikacji technologii przed wdrożeniem [183], [181]. Krajowa mapa mogłaby wskazywać, które zastosowania mogą być testowane bezpośrednio w zakładzie, a które wymagają wyspecjalizowanego laboratorium lub stanowiska pozwalającego bezpiecznie sprawdzić wpływ modelu na maszynę i proces.

Znaczenie ma również możliwość przenoszenia rozwiązania między przedsiębiorstwami. Data Act, AI Act, rozporządzenie maszynowe, Cyber Resilience Act i przepisy dotyczące odpowiedzialności za produkt tworzą wspólne ramy dla dostępu do danych, bezpieczeństwa, aktualizacji oraz odpowiedzialności [173]–[177]. Z perspektywy polskich dostawców wartością może być więc rozwój modułów z dobrze opisanymi interfejsami, przenośnym modelem danych i powtarzalną metodą walidacji, które da się wdrażać u klientów w różnych państwach UE.

9.6. Świat: produktywność, odporność i skala wdrożeń

Poza Europą polityka przemysłowa coraz częściej łączy SI z produktywnością, odpornością łańcuchów dostaw i zdolnością do szybkiego wdrażania technologii w zakładach. W Stanach Zjednoczonych NIST rozwija centra SI dla produkcji i infrastruktury krytycznej oraz zapowiedział instytut AI for Resilient Manufacturing w sieci Manufacturing USA [172]. Mechanizm łączy rozwój technologii z pomiarami, standardami, infrastrukturą testową i kompetencjami potrzebnymi do wdrożeń.

Chiny rozwijają szeroki kierunek „AI plus manufacturing”, obejmujący zastosowanie SI w kluczowych branżach, procesach i przedsiębiorstwach [184]. Przewaga tego modelu wynika z możliwości szybkiego powielania rozwiązań na dużym rynku oraz powiązania producentów maszyn, komponentów i platform przemysłowych.

Dla Polski istotniejsza od kopiowania skali tych programów jest możliwość wykorzystania własnej bazy zakładów do budowy wyspecjalizowanych produktów i kompetencji. Szczególnie wartościowe mogą być rozwiązania, w których krajowy dostawca zachowuje prawa do modułu, modelu danych, integracji lub wiedzy procesowej i może wykorzystać referencyjne wdrożenie u kolejnych klientów. W takim ujęciu zakład produkcyjny staje się nie tylko odbiorcą SI, ale również środowiskiem rozwoju rozwiązań możliwych do skalowania.

9.7. Przemysł przetwórczy jako potencjalny sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Przemysł przetwórczy ma silne przesłanki do dalszego rozważenia jako sektor kluczowy dla rozwoju i wdrażania SI. Jego wyróżnikiem jest połączenie dużej istniejącej bazy produkcyjnej z nadal ograniczonym wykorzystaniem SI oraz z procesami, w których poprawa decyzji daje bezpośredni wynik fizyczny i ekonomiczny. Otwiera to drzwi do wykorzystania SI do wzmacniania produktywności i konkurencyjności aktywów, które już stanowią ważną część gospodarki.

Za osobnym podejściem przemawia również charakter barier wdrożeniowych. W wielu branżach powtarzają się problemy związane z integracją IT i OT, jakością danych procesowych, testowaniem na działającej linii,

bezpieczeństwem maszyn, cyberbezpieczeństwem, kontrolą zmian oraz przenoszeniem rozwiązania do kolejnego zakładu. Są to bariery bardziej sektorowe niż typowy brak dostępu do uniwersalnego narzędzia SI i dlatego część z nich może wymagać koordynacji wykraczającej poza horyzontalne wsparcie cyfryzacji przedsiębiorstw.

Mapa sektorowa mogłaby koncentrować się na wspólnych procesach produkcyjnych: jakości, utrzymaniu ruchu, planowaniu, sterowaniu procesem, wykorzystaniu materiałów i energii oraz wiedzy operacyjnej. Jej rolą mogłoby być połączenie oceny dojrzałości zakładu, standardów danych i integracji, środowisk testowych, zakładów referencyjnych, bezpiecznego zwiększania autonomii oraz finansowania kolejnych etapów wdrożenia. Szczególnie istotne byłoby mierzenie nie tylko pierwszego pilotażu, ale także czasu i kosztu powtórzenia rozwiązania u kolejnego odbiorcy.

Taki kierunek może jednocześnie zwiększać efektywność zakładów, tworząc rynek dla krajowych integratorów, oprogramowania przemysłowego, systemów wizyjnych, czujników oraz rozwiązań automatyki. Największą wartość miałaby więc mapa, która wykorzystuje polską skalę produkcji jako środowisko budowania rozwiązań powtarzalnych, a następnie możliwych do oferowania na wspólnym rynku europejskim.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem przemysłu przetwórczego do sektorów kluczowych

Przemysł przetwórczy łączy dużą krajową bazę produkcyjną z nadal ograniczonym wykorzystaniem SI oraz z powtarzalnymi problemami, których rozwiązanie wymaga integracji danych, automatyki i decyzji na rzeczywistych procesach. Mapa sektorowa mogłaby łączyć zakłady referencyjne, środowiska testowe, standardy integracji, finansowanie etapowe, zwiększając szansę na powtarzalne wdrożenia oraz rozwój krajowych dostawców oprogramowania, wizji maszynowej i automatyzacji.

10. Sektor kosmiczny

10.1. Sektor kosmiczny jako łańcuch wartości infrastruktury, misji i danych

Sektor kosmiczny tworzy spójny łańcuch wartości obejmujący projektowanie oraz budowę infrastruktury, integrację, testowanie systemów, prowadzenie misji, segment naziemny, a także produkty i usługi oparte na danych czy sygnałach satelitarnych. OECD ujmuje go jako połączenie części upstream, związanej z infrastrukturą kosmiczną, oraz downstream, w której możliwości satelitów są zamieniane na usługi dla gospodarki [185]. Z punktu widzenia SI szczególnie istotne jest to, że wartość może powstawać zarówno w samym systemie kosmicznym, jak i w oprogramowaniu oraz produktach danych.

W systemach kosmicznych SI może wspierać autonomię, planowanie zadań, diagnostykę, gospodarowanie energią i pasmem transmisyjnym, przetwarzanie danych na pokładzie oraz operacje naziemne. W usługach opartych na danych może natomiast wykrywać obiekty, zmiany, łączyć informacje z wielu sensorów, klasyfikować zjawiska oraz oceniać wiarygodność pozycji i czasu. Warunki pracy są przy tym odmienne od typowych systemów informatycznych: łączność bywa ograniczona, aktualizacja urządzenia na orbicie jest trudna, a koszt błędnej decyzji może obejmować utratę cennego zasobu albo całej misji.

Dla polityki rozwoju SI znaczenie sektora wynika z możliwości budowania wysokiej wartości w specjalistycznym oprogramowaniu, autonomii i produktach danych oraz z roli technologii kosmicznych w funkcjonowaniu wielu

innych obszarów gospodarki. Sektor zapewnia jednocześnie środowisko, w którym rozwiązania muszą przejść wymagającą ścieżkę testowania i kwalifikacji, a udane wdrożenie może tworzyć referencję rozpoznawalną na rynku międzynarodowym.

10.2. Mapa zastosowań SI w sektorze kosmicznym

Mapa zastosowań może rozróżniać rozwiązania wpływające bezpośrednio na przebieg misji od produktów opartych na danych i sygnałach satelitarnych. W pierwszej grupie podstawowym kryterium jest niezawodność i bezpieczne wykorzystanie ograniczonych zasobów statku. W drugiej znaczenie ma jakość informacji dostarczanej użytkownikowi, jej niepewność, odporność na zmianę warunków oraz możliwość utrzymania usługi w kolejnych lokalizacjach i okresach. Tak uporządkowane zastosowania, ich miary wyniku oraz warunki bezpiecznego użycia zestawiono w tab. 10.1.

Tab. 10.1. Mapa zastosowań SI w sektorze kosmicznym

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Projektowanie i kwalifikacja	Modele fizyczne oraz inżynierskie, wyniki testów, dane z wcześniejszych misji, przeszukiwanie wariantów i modele zastępcze	Czas iteracji, masa, pobór mocy, liczba nieudanych testów i koszt kwalifikacji	Porównanie z modelem fizycznym i pomiarem, kontrola działania poza zakresem danych użytych do uczenia
Autonomia pokładowa	Stan statku, cele misji, ograniczenia energii i pasma, planowanie zadań, nawigacja oraz optymalizacja zasobów	Realizacja celów misji, zużycie zasobów, czas reakcji i liczba interwencji z Ziemi	Test z docelowym sprzętem, ograniczenia działania, scenariusze awaryjne i niezależny tryb bezpieczny
Diagnostyka i utrzymanie misji	Telemetria, historia zdarzeń i konfiguracji, wykrywanie anomalii oraz prognoza degradacji	Czas wykrycia i diagnozy, fałszywe alarmy, dostępność oraz uniknięte przerwy	Odtworzenie znanych awarii, test po zmianie konfiguracji i procedura eskalacji do operatora
Przetwarzanie na pokładzie	Obrazy i dane sensorowe, selekcja, kompresja oraz wstępna analiza przed transmisją	Wartościowe dane na jednostkę pasma i energii oraz czas dostarczenia alertu	Kontrola utraty informacji, próbki surowych danych i możliwość zmiany polityki selekcji
Operacje naziemne	Harmonogramy stacji, telemetria i ograniczenia konstelacji, optymalizacja oraz automatyzacja rutynowych zadań	Wykorzystanie okien łączności, terminowość produktów, błędy komend i czas operatora	Symulator misji, rozdzielenie rekomendacji od krytycznej komendy, autoryzacja i pełny dziennik zmian
Obserwacja Ziemi i produkty danych	Obrazy optyczne oraz radarowe, dane atmosferyczne, pomiary terenowe, detekcja zmian, segmentacja i łączenie źródeł	Trafność terenowa, czas od obserwacji do produktu, koszt obszaru i liczba klientów odnawiających usługę	Walidacja między regionami, sezonami i czujnikami, metadane pochodzenia oraz komunikowanie niepewności
Odporne pozycjonowanie, nawigacja i synchronizacja czasu (PNT)	GNSS, monitoring sygnału, radar, systemy inercyjne i lokalne czujniki, wykrywanie zakłóceń oraz łączenie danych	Czas do alarmu, błąd pozycji lub czasu, ciągłość, fałszywe alarmy i niewykryte zdarzenia	Uwierzytelnianie sygnału, niezależne źródło zapasowe, test scenariusza utraty GNSS i procedura operatora

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów ESA i Agencji Unii Europejskiej ds. Programu Kosmicznego dotyczących SI, obserwacji Ziemi, operacji kosmicznych oraz zastosowań GNSS [168], [186]–[190].

Szczególne znaczenie ma informacja zwrotna właściwa dla danego typu rozwiązania. W systemie pokładowym może nią być wykonanie celu misji, wykorzystanie energii lub liczba nieplanowanych interwencji operatora. W przypadku produktu obserwacji Ziemi istotnym elementem oceny jest walidacja terenowa i sprawdzenie działania poza miejscem oraz sezonem pierwszego pilotażu. W odpornym PNT wynik można oceniać m.in. przez czas wykrycia anomalii, błąd pozycji i zdolność bezpiecznego przejścia na rozwiązanie zapasowe.

10.3. Od modelu do zweryfikowanej misji i powtarzalnej usługi

W sektorze kosmicznym ścieżka wdrożenia zależy od tego, czy rozwiązanie jest elementem infrastruktury i misji, czy usługą opartą na danych. Typowa walidacja algorytmu pokładowego, oprogramowania segmentu naziemnego lub podsystemu wykorzystującego SI obejmuje kolejne etapy: od wymagań misji wraz z symulacją, przez testy na danych historycznych i syntetycznych, test z docelowym sprzętem, kwalifikację środowiskową oraz demonstrację, aż do wykorzystania w kolejnych misjach. Doświadczenie lotne ma w tym sektorze szczególną wartość, ponieważ potwierdza działanie rozwiązania w warunkach trudnych do pełnego odtworzenia na Ziemi.

Usługa oparta na danych lub sygnale wymaga innej sekwencji. Punktem wyjścia jest konkretny problem użytkownika, następnie zebranie danych referencyjnych, sprawdzenie jakości w kilku lokalizacjach i warunkach, określenie kosztu jednostkowego oraz potwierdzenie gotowości klienta do regularnego zakupu. Wartość powstaje dopiero wtedy, gdy demonstrator staje się usługą o powtarzalnej jakości i kilku niezależnych odbiorcach.

W obu ścieżkach istotne jest zarządzanie zmianą. Promieniowanie, degradacja czujnika, nowa konfiguracja platformy albo inny sezon mogą sprawić, że dane przestaną przypominać te użyte podczas walidacji. Dla ograniczenia ryzyka zmian danych przydatne jest rejestrowanie wersji modelu i konfiguracji, wykrywanie spadku jakości oraz możliwość powrotu do bezpiecznego stanu. W rozwiązaniach wpływających na działanie statku bezpieczniejsze jest łączenie modelu z niezależnymi zabezpieczeniami.

Sektor pozostaje silnie powiązany z obszarem podwójnego zastosowania, jednak z punktu widzenia mapy sektorowej kluczowe jest przypisanie projektu do konkretnego użytkownika, celu i sposobu walidacji. Wspólna baza technologiczna może służyć zarówno rynkom cywilnym, jak i bezpieczeństwu, natomiast mapa sektora kosmicznego może koncentrować się na rozwoju technologii, misji, usług o jasno zdefiniowanym zastosowaniu oraz na przejściu od demonstracji do produktu.

10.4. Polska: rosnące inwestycje i przejście od komponentu do produktu

Polski sektor kosmiczny przeszedł od udziału w pojedynczych projektach badawczych do rozwoju podsystemów, oprogramowania, instrumentów, segmentu naziemnego, usług danych i własnych misji. Raport Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA) za 2025 r. wskazuje interdyscyplinarny charakter sektora oraz rosnącą grupę podmiotów pracujących w projektach krajowych i międzynarodowych [191]. Szczególnie cenne są kompetencje potwierdzone w projektach ESA, doświadczenie elementów użytych w locie oraz umiejętność pracy według standardów misji.

Istotnie zwiększył się również publiczny impuls inwestycyjny. Podczas Rady Ministerialnej ESA w 2025 r. Polska zadeklarowała blisko 550 mln euro na programy opcjonalne na lata 2026–2028, obejmujące m.in. obserwację Ziemi, transport kosmiczny, serwisowanie na orbicie, eksplorację robotyczną oraz technologie i aparaturę przyszłych misji [166]. Taki poziom zaangażowania tworzy możliwość zwiększania odpowiedzialności krajowych firm za większe moduły, produkty i usługi, a nie wyłącznie za pojedyncze komponenty.

W 2026 r. weszła w życie ustawa o działalności kosmicznej, wprowadzająca zezwolenia, nadzór, rejestr obiektów, zasady odpowiedzialności za szkody oraz wymagania związane z bezpieczną eksploatacją i końcem misji [192]. W przypadku rozwiązań wykorzystujących SI model łączy się z dokumentacją misji, oceną ryzyka,

kontrolą zmian oraz odpowiedzialnością operatora. Wspólne wzory testów i walidacji mogłyby obniżyć koszt przejścia tej ścieżki dla mniejszych podmiotów.

Największą barierą pozostaje przejście od udanego projektu do produktu lub usługi sprzedawanej wielokrotnie. Koszt kwalifikacji, długi czas między kontraktami i ograniczony dostęp do demonstracji orbitalnej powodują, że firma może posiadać kompetencję techniczną, ale nie zdobyć kolejnej referencji ani stałego klienta. Z tego powodu dla Polski szczególnie ważne są mechanizmy łączące infrastrukturę testową, doświadczenie lotne, dane referencyjne, demonstrację oraz pierwsze zamówienie.

Jednym z obszarów, w których polskie uwarunkowania tworzą konkretny popyt, jest odporne cywilne PNT. Zakłócenia sygnałów nawigacyjnych odnotowywane w regionie wpływają na żeglugę, lotnictwo i inne systemy zależne od wiarygodnej pozycji oraz czasu [186], [187]. Rozwijanie zdolności wykrywania zakłóceń, łączenia informacji z kilku sensorów i bezpiecznego przechodzenia na rozwiązania zapasowe może więc jednocześnie odpowiadać na realny problem krajowy oraz tworzyć produkt przydatny na innych rynkach.

10.5. Europa: wspólny rynek danych, misji i komercjalizacji

Europejski ekosystem kosmiczny daje polskim firmom dostęp do infrastruktury, danych i zamówień znacznie większych niż rynek krajowy. Agencja Unii Europejskiej ds. Programu Kosmicznego (EUSPA) prognozuje wzrost globalnych przychodów rynku obserwacji Ziemi z 3,5 mld euro w 2024 r. do 7,9 mld euro w 2034 r., a rynek usług wykorzystujących GNSS jest wielokrotnie większy [188]. Bezpłatne dane Copernicus i sygnały Galileo obniżają koszt wejścia, lecz przewaga powstaje dopiero w jakości modelu, danych referencyjnych, integracji z procesem klienta oraz wiarygodności usługi.

Rada Ministerialna ESA w 2025 r. zatwierdziła rekordowy poziom składek na naukę, obserwację Ziemi, nawigację, telekomunikację, technologie krytyczne, komercjalizację i dostęp do kosmosu [193]. Z perspektywy Polski istotne jest połączenie krajowego wsparcia z tym systemem: przygotowanie konsorcjów, kwalifikacja komponentów, udział w demonstracjach oraz finansowanie przejścia między pierwszym kontraktem instytucjonalnym a regularną sprzedażą komercyjną.

SI jest już wykorzystywana w europejskich programach obserwacji Ziemi i przetwarzania na pokładzie. Programy Φ-sat pokazują m.in. klasyfikację obrazów i filtrowanie danych przed transmisją, a europejskie kierunki rozwoju obserwacji Ziemi obejmują także modele bazowe oraz łączenie wielu źródeł danych [189]. Dla krajowych dostawców istotna jest możliwość testowania rozwiązań na różnych czujnikach i danych tak, aby produkt nie był zależny od jednego zamkniętego strumienia.

W przypadku PNT ważnym elementem jest usługa Galileo OSNMA, umożliwiająca cywilnym odbiornikom sprawdzanie autentyczności wiadomości nawigacyjnej [186]. Może ona być jedną z warstw produktów budowanych dla żeglugi, portów, lotnictwa czy infrastruktury czasu, ale nie zastępuje niezależnych źródeł zapasowych przy całkowitym zagłuszeniu sygnału. To dobrze pokazuje wartość mapy sektorowej: SI może wzmacniać usługę, jeżeli jest połączona z właściwą architekturą techniczną i procedurą użytkownika.

10.6. Świat: autonomia misji, długi cykl rozwoju i skala finansowania

Wieloletnie programy kosmiczne pokazują, że wykorzystanie SI wymaga długiej ciągłości między badaniem, kwalifikacją i kolejnymi misjami. W Stanach Zjednoczonych cywilne zastosowania NASA obejmują autonomiczną nawigację, operacje statków i analizę danych naukowych. Rozwiązania rozwijane przez lata są następnie

wykorzystywane w kolejnych misjach [190]. Wartość powstaje nie z pojedynczego demonstratora, lecz z produktu lub komponentu, którego wiarygodność rośnie wraz z doświadczeniem eksploatacyjnym.

Japonia rozwija Space Strategy Fund o planowanej skali 1 bln jenów w ciągu dziesięciu lat, wspierający startupy, uczelnie i inne podmioty w transporcie, satelitach oraz eksploracji [194]. Ten model podkreśla znaczenie przewidywalnej ścieżki finansowania dla technologii, których najdroższy etap kwalifikacji i demonstracji następuje długo po rozpoczęciu prac.

Chiny łączą natomiast finansowanie, zamówienia publiczne oraz wspólne platformy produkcji, integracji i testów dla sektora komercyjnego [195]. Dla Polski realistycznym kierunkiem jest specjalizacja w obszarach, w których krajowy podmiot może posiadać prawa do produktu, oprogramowania lub danych i wykorzystywać je w kolejnych misjach oraz usługach na rynku europejskim.

10.7. Sektor kosmiczny jako potencjalny sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Sektor kosmiczny ma podstawy do dalszego rozważenia jako sektor kluczowy przede wszystkim ze względu na szczególny moment jego rozwoju w Polsce. Rosnące zaangażowanie w programy ESA, rozwój krajowych misji i nowe ramy działalności kosmicznej zwiększają skalę zasobów kierowanych do sektora. SI może wpływać na to, czy część tej inwestycji przełoży się na krajową wartość w oprogramowaniu, autonomii, danych i usługach możliwych do wykorzystania w kolejnych projektach.

Wyróżnikiem sektora jest wysoka wartość referencji technologicznej i możliwość przechodzenia od komponentu do produktu o wysokiej specjalizacji. Dobrze zweryfikowany algorytm pokładowy, narzędzie operacyjne lub produkt danych może być wykorzystywany w wielu misjach, a doświadczenie lotne i zgodność z wymaganiami europejskiego ekosystemu stanowią istotną barierę wejścia dla konkurentów. Jednocześnie część zastosowań, takich jak obserwacja Ziemi czy odporne PNT, odpowiada na konkretne potrzeby gospodarki i infrastruktury publicznej.

Osobna mapa mogłaby koncentrować się na barierach charakterystycznych dla sektora: długim cyklu misji, kosztownej kwalifikacji, ograniczonym dostępie do demonstracji orbitalnej, konieczności zdobycia doświadczenia lotnego, odpowiedzialności operatora oraz trudnym przejściu od demonstratora danych do stałej usługi. Jej rolą mogłoby być połączenie infrastruktury testowej, danych referencyjnych, demonstracji, pierwszego klienta i kolejnych zamówień.

Z perspektywy polityki państwa wartość takiego podejścia byłaby największa wtedy, gdy finansowanie publiczne zwiększa udział krajowych podmiotów w trwałych elementach łańcucha wartości: prawach do oprogramowania, produktach danych, kompetencjach integracyjnych, własnych modułach i relacji z klientem. Mierniki mogłyby obejmować doświadczenie lotne, kolejne kontrakty, grono niezależnych odbiorców, eksport oraz udział wartości i własności intelektualnej pozostającej w Polsce.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem sektora kosmicznego do sektorów kluczowych

Znaczenie sektora kosmicznego wynika z rosnącego zaangażowania publicznego oraz możliwości budowania wysokiej wartości w specjalistycznym oprogramowaniu, autonomii i produktach danych. Mapa sektorowa mogłaby połączyć testowanie, kwalifikację, demonstracje i pierwsze zamówienia, zwiększając szansę, że polskie podmioty przejdą od udziału w pojedynczych projektach do powtarzalnych produktów oraz usług wykorzystywanych na rynku europejskim.

11. Telekomunikacja

11.1. Telekomunikacja jako infrastruktura łączności i programowalna sieć

Telekomunikacja jest jednocześnie odrębnym sektorem gospodarki i infrastrukturą, z której korzystają niemal wszystkie pozostałe sektory. Operatorzy zarządzają sieciami stacjonarnymi i mobilnymi, zasobami radiowymi, transportem danych, systemami operacyjnymi oraz usługami zapewniającymi ciągłość łączności. Rynek ma własne podmioty, aktywa, cykl inwestycyjny, wymagania jakościowe oraz szczególnie reżim regulacyjny [170], [196]. Z punktu widzenia polityki SI jego znaczenie wynika więc nie tylko z możliwości automatyzowania działalności operatorów, ale także z wpływu jakości i programowalności sieci na rozwój gospodarki cyfrowej.

SI może wspierać planowanie pojemności i zasięgu, optymalizację parametrów radiowych, zarządzanie energią, diagnostykę awarii, prace terenowe oraz zapewnienie jakości usług. Sieć stale generuje telemetrię o swoim stanie, a wiele decyzji jest podejmowanych często i może być weryfikowanych przez kolejne pomiary. Tworzy to warunki do stosowania modeli prognostycznych i optymalizacyjnych, a z czasem także do budowania kontrolowanych pętli automatyzacji, w których pomiar prowadzi do diagnozy, działania oraz ponownego pomiaru.

Drugim wymiarem jest sama ewolucja architektury sieci. W 5G-Advanced i 6G coraz większa część funkcji jest programowalna, udostępniana przez interfejsy, projektowana z myślą o automatycznym dostosowywaniu zasobów do warunków ruchu oraz potrzeb aplikacji.

Telekomunikacja może być nie tylko odbiorcą narzędzi SI, ale także jednym z miejsc, w których rozwijane są wyspecjalizowane produkty dotyczące sterowania, obserwowalności i zarządzania siecią. Ten infrastrukturalny i technologiczny charakter wyróżnia sektor na tle zwykłej cyfryzacji procesów przedsiębiorstwa.

11.2. Mapa zastosowań SI w telekomunikacji

Mapa zastosowań może wiązać model z konkretnym wynikiem sieciowym lub usługowym. Poprawa lokalnej metryki technicznej nie wystarcza, jeżeli jednocześnie pogarsza jakość w innej części sieci, zwiększa zużycie energii albo przenosi problem na inną grupę użytkowników. W ocenie zastosowań można uwzględniać wynik od końca do końca, koszt działania, wpływ na dostępność usługi oraz możliwość bezpiecznego wycofania automatycznej decyzji. Taką logikę porządkowania zastosowań, miar sieciowych i warunków wdrożenia odzwierciedla tab. 11.1.

Tab. 11.1. Mapa zastosowań SI w telekomunikacji

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Planowanie inwestycji	Dane o ruchu, zasięgu, popycie i infrastrukturze, prognozowanie oraz porównywanie wariantów rozbudowy	Koszt przyłączonego punktu, wykorzystanie pojemności, jakość po uruchomieniu i zmniejszenie luki terytorialnej	Jawne założenia, analiza niepewności i porównanie wyniku z decyzją bazową po uruchomieniu infrastruktury
Optymalizacja sieci radiowej	Telemetria komórek, parametry radiowe i ruch, prognozowanie obciążenia, optymalizacja oraz uczenie ze wzmocnieniem	Przepływność, opóźnienie, utracone sesje i jakość na obrzeżu komórki	Tryb cienia, twarde ograniczenia działania, symulacja, etapowe zwiększanie autonomii i szybkie wycofanie

Obszar decyzji	Dane i metoda	Miara wyniku	Warunki bezpiecznego zastosowania
Zarządzanie energią	Ruch, obciążenie zasobów, temperatura I pobór energii, sterowanie usypianiem zasobów oraz chłodzeniem	Energia na jednostkę ruchu i na stację przy utrzymaniu wymaganej jakości usługi	Bilans energii dla całej usługi, uwzględnienie kosztu obliczeń modelu i kontrola efektu przeniesienia zużycia
Utrzymanie infrastruktury	Alarmy, dane urządzeń, zasilania, łączą I warunków środowiskowych, wykrywanie anomalii oraz prognoza awarii	MTBF, MTTR, liczba awarii I odsetek napraw skutecznych przy pierwszej interwencji	Walidacja na urządzeniach różnych dostawców, warunkach pogodowych I typach infrastruktury, decyzja technika przy działaniach krytycznych
Zapewnienie jakości usług	Alarmy z wielu domen, dane jakościowe I doświadczenie klienta, korelacja zdarzeń oraz analiza przyczyn źródłowych	Czas do wykrycia i odtworzenia, ponowne zgłoszenia oraz naruszenia umów o gwarantowanym poziomie usług (SLA)	Ocena wyniku od doświadczenia klienta do elementu sieci, niezależny monitoring i możliwość eskalacji
Prace terenowe	Historia zleceń, lokalizacja, części I dokumentacja, prognoza zapotrzebowania, planowanie tras oraz asystenci techniczni	Czas naprawy, pierwsza skuteczna interwencja, liczba przejazdów I bezpieczeństwo pracy	Zatwierdzanie działań przez technika, źródła możliwe do weryfikacji I rejestrowanie rekomendacji
Obsługa i rozliczenia	Stan usługi, historia kontaktów, dane rozliczeniowe i procedury, asysta konsultanta, wykrywanie błędów oraz nadużyć	Rozwiązanie przy pierwszym kontakcie, liczba reklamacji, błędy rozliczeń i satysfakcja klienta	Ślad decyzji, możliwość odwołania, kontrola dostępu do danych oraz zatwierdzanie zmian wpływających na warunki klienta
IoT/M2M i usługi sieci programowalnych	Telemetria urządzeń, profile jakości, obciążenie i dostępne funkcje sieci, predykcja, orkiestracja oraz interfejsy programowania aplikacji (API)	Dostępność, opóźnienie ogonowe, ciągłość sesji i liczba powtarzalnych wdrożeń wieloklientowych	Jasny podział odpowiedzialności: operator odpowiada za parametry łączności, a sektor użytkownika za wynik swojego procesu

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Urzędu Komunikacji Elektronicznej oraz standardów automatyzacji, cyfrowych bliźniaków sieci i zarządzania energią [164]–[165], [197]–[199].

W każdym z tych zastosowań użyteczna jest informacja zwrotna pozwalająca odróżnić trafność modelu od rzeczywistej poprawy usługi. W planowaniu można porównać prognozę z wykorzystaniem nowej infrastruktury, w utrzymaniu można zestawiać ostrzeżenie z późniejszą awarią i czasem naprawy, a w automatycznej optymalizacji zmianę parametrów sieci z jakością obserwowaną przez użytkownika. Taki pomiar jest szczególnie ważny w sieci, gdzie lokalna poprawa może przenieść obciążenie lub pogorszenie jakości do innej domeny.

11.3. Od telemetrii do kontrolowanej automatyzacji sieci

Bezpieczne przechodzenie od analityki do automatycznego działania może opierać się na stopniowym zwiększaniu roli modelu. Rozwiązanie może być najpierw testowane poza siecią produkcyjną, następnie w trybie cienia na rzeczywistym ruchu, później jako rekomendacja zatwierdzana przez operatora, a dopiero po wykazaniu stabilności może zostać włączone do ograniczonej pętli automatycznej. Im większy obszar sieci i krótszy czas reakcji, tym większe znaczenie mają twarde granice działania, niezależny monitoring oraz możliwość natychmiastowego powrotu do bezpiecznej konfiguracji.

Warunkiem skalowania jest także przenośność między sieciami i urządzeniami wielu dostawców. Modele trenowane na jednej topologii, konkretnej wersji oprogramowania lub sprzęcie jednego producenta mogą tracić jakość po zmianie środowiska. Wspólne scenariusze testowe, cyfrowe bliźniaki, generatory ruchu i dobrze opisane interfejsy mogą zmniejszać koszt walidacji oraz ułatwiać porównywanie rozwiązań. Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych (ETSI) oraz program SNS JU rozwijają właśnie takie podejścia do automatyzacji i sieci sterowanych celem [199], [165].

Dane operacyjne są jednocześnie wrażliwe biznesowo, a część telemetrii może pośrednio ujawniać informacje o użytkownikach. Mapa może wykorzystywać kontrolowane środowiska analityczne, zanonimizowane lub syntetyczne zbiory referencyjne, a w wybranych zastosowaniach również uczenie federacyjne. Wspólne mogłyby być natomiast sposoby opisywania zdarzeń, minimalne metadane, wskaźniki jakości i procedury walidacji.

Szczegółnej kontroli wymagają systemy, których błędna decyzja może szybko rozprzestrzenić się po wielu elementach sieci. Oprócz awarii technicznej w ocenie warto uwzględniać wpływ na użytkowników, różnice terytorialne jakości, ryzyko uzależnienia od jednego dostawcy i możliwość wykorzystania interfejsu automatyzacji w cyberataku. Szczegółowe mechanizmy ochronne mogą być spójne z mapą cyberbezpieczeństwa, natomiast mapa telekomunikacji mogłaby określać bezpieczny sposób włączania modeli do operacyjnego cyklu zarządzania siecią [174], [175], [196].

11.4. Polska: wysoka skala inwestycji, rozdrobniony rynek i nierówna dojrzałość sieci

Polski rynek telekomunikacyjny ma skalę wystarczającą do prowadzenia szerokich wdrożeń i tworzenia środowiska referencyjnego. Według Urzędu Komunikacji Elektronicznej (UKE) w 2025 r. przychody sektora wyniosły 46 mld zł, około 1,2% PKB, a nakłady inwestycyjne 12,7 mld zł, czyli o 32,8% więcej niż rok wcześniej. Ponadto światłowód był dostępny dla 80,1% gospodarstw domowych, a w sieciach mobilnych działało 67,2 mln aktywnych kart SIM, w tym 14 mln kart M2M [164]. Wskazuje to na dużą bazę infrastruktury, ruchu i danych operacyjnych, na której można rozwijać rozwiązania dotyczące planowania, utrzymania oraz automatyzacji.

Cechą polskiego rynku jest jednocześnie duża liczba operatorów. UKE wskazuje ponad 2,6 tys. przedsiębiorców telekomunikacyjnych, a mikro, mali i średni operatorzy zapewniają znaczną część stacjonarnego internetu na obszarach wiejskich [164]. Z punktu widzenia SI ma to dwa skutki. Z jednej strony tworzy wiele środowisk, w których można sprawdzać przenośność rozwiązań. Z drugiej strony mniejsze podmioty rzadziej mogą samodzielnie finansować laboratoria, integrację z urządzeniami wielu producentów i wyspecjalizowane zespoły danych.

Infrastruktura rozwija się także nierównomiernie. Komisja Europejska wskazuje ponadprzeciętny zasięg światłowodu w Polsce, ale jednocześnie różnice regionalne, potrzebę dalszego rozwoju 5G w paśmie 3,4–3,8 GHz i wzmacniania sieci szkieletowych [28]. SI może uzupełniać inwestycje infrastrukturalne przez lepsze wykorzystanie istniejących zasobów i trafniejsze kierowanie kolejnych nakładów.

Polska ma więc jednocześnie duży rynek, znaczące inwestycje i strukturę sprzyjającą testowaniu rozwiązań w różnych warunkach, ale również problem przeniesienia produktu między operatorami. Sektorowa mapa mogłaby łączyć duże i mniejsze sieci w programach referencyjnych, promować rozwiązania działające ze sprzętem różnych dostawców oraz tworzyć wspólne środowiska testowe bez konieczności ujawniania pełnej telemetrii konkurentom.

11.5. Europa: 5G/6G, interoperacyjność i sieci projektowane z SI

Europejska polityka telekomunikacyjna łączy dalszą rozbudowę infrastruktury z przygotowaniem sieci następnej generacji. Program Smart Networks and Services rozwija 5G-Advanced i 6G, w których SI ma coraz częściej wspierać automatyczne dostosowywanie zasobów, zarządzanie awariami oraz realizację zadanego celu sieciowego [165].

Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU) i ETSI rozwijają architektury dla uczenia maszynowego, automatyzacji zasobów, oszczędzania energii oraz cyfrowych bliźniaków sieci [197]–[199]. Znaczenie tych prac polega na tworzeniu wspólnego języka i interfejsów, które zwiększają szansę przenoszenia rozwiązania między operatorami. Produkt rozwijany ze wsparciem publicznym może zyskiwać większą wartość, jeżeli da się go zweryfikować w co najmniej kilku środowiskach i nie jest trwale związany z zamkniętym stosem jednego producenta.

Równolegle obowiązują przepisy dotyczące usług komunikacji elektronicznej, praw użytkowników, dostępu do danych i bezpieczeństwa. Prawo komunikacji elektronicznej oraz europejski kodeks łączności określają podstawowe zasady funkcjonowania sektora [196], [200], a Data Act i AI Act mogą wpływać na wybrane sposoby korzystania z danych, systemów automatyzacji [174], [176]. Z perspektywy mapy istotne jest przełożenie tych wymagań na projektowanie konkretnych rozwiązań.

11.6. Świat: programowalne sieci i konkurencja o warstwy technologiczne

Poza Europą konkurencja coraz częściej obejmuje cały stos technologiczny sieci: infrastrukturę radiową, oprogramowanie, automatyzację i warstwy integracyjne. W Stanach Zjednoczonych Public Wireless Supply Chain Innovation Fund o wartości 1,5 mld dolarów wspiera m.in. rozwój interoperacyjnych rozwiązań Open RAN, oprogramowania oraz automatyzacji integracji [201]. Mechanizm ma obniżyć koszt wejścia nowych dostawców i umożliwiać łączenie komponentów różnych firm.

Chiny rozwijają równolegle sprzęt, oprogramowanie, terminale, układy, architekturę przyszłych sieci, łącząc komunikację z SI, internetem satelitarnym oraz funkcjami wykrywania i pomiaru [202]. Taka skala pokazuje, że wartość gospodarcza może być przejmowana w wielu warstwach: od urządzeń po system operacyjny i narzędzia automatyzacji.

Dla Polski realistyczną strategią jest specjalizacja w wybranych modułach i oprogramowaniu, które mogą działać w europejskim ekosystemie wielu operatorów oraz dostawców. Wartość pozostaje w kraju wtedy, gdy krajowy podmiot posiada kod, prawa do modelu, narzędzia testowe lub kompetencje integracyjne i potrafi utrzymywać rozwiązanie po zmianie sprzętu.

11.7. Telekomunikacja jako potencjalny sektor kluczowy w projekcie Polityki AI

Telekomunikacja ma mocne podstawy do dalszego rozważenia jako sektor kluczowy ze względu na połączenie dwóch cech. Jest infrastrukturą warunkującą funkcjonowanie gospodarki cyfrowej, a jednocześnie sama przechodzi w stronę coraz bardziej programowalnych i automatyzowanych sieci. SI może więc poprawiać wyniki konkretnego sektora, a równocześnie zwiększać możliwości infrastruktury wykorzystywanej przez inne zastosowania cyfrowe.

W polskich warunkach znaczenie tego argumentu wzmacniają skala inwestycji, duża liczba operatorów i urządzeń M2M oraz zróżnicowanie infrastruktury. Tworzy to realne środowisko do testowania planowania, utrzymania, zarządzania energią i automatyzacji w sieciach różnych typów. Jednocześnie rozdrobnienie rynku powoduje, że wspólne laboratoria, scenariusze walidacji i testy przenośności mogą mieć wartość, której pojedynczy operator nie ma wystarczającej motywacji finansować samodzielnie.

Za osobną mapą przemawiają również bariery sektorowe: współdziałanie urządzeń wielu producentów, wrażliwość telemetrii, konieczność stopniowego dopuszczania modeli do wpływu na sieć, szybkie

rozprzestrzenianie się skutków błędów oraz potrzeba zachowania praw użytkowników i minimalnego poziomu jakości w różnych regionach. Horyzontalne wsparcie SI może być uzupełniane wspólną infrastrukturą testową i uzgodnionym sposobem walidacji automatyzacji sieci.

Mapa sektorowa mogłaby zatem łączyć trzy cele: poprawę efektywności istniejących sieci, bezpieczne przejście do bardziej autonomicznego zarządzania oraz rozwój produktów możliwych do sprzedaży wielu operatorom w Europie. Jako mierniki można przyjąć nie tylko parametry sieci, lecz także czas przejścia od testu do stałej eksploatacji, liczbę środowisk wielodostawczych, w których rozwiązanie zostało zweryfikowane, kolejne wdrożenia oraz udział krajowej wartości w oprogramowaniu, integracji i utrzymaniu.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem telekomunikacji do sektorów kluczowych

Telekomunikację wyróżnia podwójna rola: jest infrastrukturą dla gospodarki cyfrowej, a równocześnie sama staje się coraz bardziej programowalna i automatyzowana. Polska dysponuje dużym i zróżnicowanym rynkiem operatorskim, znaczącymi inwestycjami oraz rosnącą skalą urządzeń M2M. Mapa sektorowa mogłaby wykorzystać tę bazę do bezpiecznego testowania automatyzacji, budowania interoperacyjnych rozwiązań i zwiększania udziału krajowych dostawców oprogramowania oraz integracji w europejskim rynku sieci następnej generacji.

12. Rolnictwo i żywność

12.1. Rolnictwo i żywność jako strategiczny obszar odporności gospodarki oraz stabilności zaopatrzenia

Produkcja rolna ma znaczenie zarówno dla funkcjonowania poszczególnych gospodarstw, jak i w szerszej perspektywie społeczno-gospodarczej – jej ciągłość współtworzy bezpieczeństwo żywnościowe, rozumiane jako zdolność zapewnienia społeczeństwu stabilnego dostępu do żywności. W 2026 r. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi wskazywało sektor rolno-spożywczy jako sektor strategiczny dla bezpieczeństwa żywnościowego oraz odporności gospodarki [237].

W polityce publicznej zasadne jest skupienie działań przede wszystkim na elementach wspólnych dla wielu gospodarstw i dostawców technologii, których pojedynczy podmiot nie jest w stanie efektywnie zapewnić samodzielnie: zasięgu, odporności łączności, dostępie do wiarygodnych danych referencyjnych, jasnych zasadach dostępu do danych z maszyn, interoperacyjności, infrastrukturze testowej, kompetencjach oraz procedurach testowania systemów o wyższym poziomie autonomii. Elementy te pokazano na rys. 12.1. Są one bezpośrednio związane z warunkami technicznymi wdrażania rozwiązań cyfrowych w rolnictwie.



Rys. 12.1. Elementy systemu cyfrowego w rolnictwie i żywności – od danych i usług publicznych do pomiaru wyniku produkcyjnego

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów Ministerstwa Cyfryzacji, Komisji Europejskiej i infrastruktury agrifoodTEF [205], [215], [224], [226], [236], [240].

Schemat pokazuje kolejność przetwarzania informacji: dane są pozyskiwane z systemów publicznych i gospodarstwa, model SI generuje wynik, na jego podstawie wykonywane jest działanie, a rezultat działania jest ponownie mierzony. Zastosowania można więc porządkować według decyzji produkcyjnej, wymaganych danych, sposobu wykonania i miary wyniku.

Produkcja pierwotna otwiera fizyczny łańcuch tego systemu: bez plonu, zdrowego stada oraz zdolności wykonania prac w odpowiednim terminie kolejne ogniwa nie mają czego transportować, magazynować ani sprzedawać. W skali kraju ciągłość produkcji zależy od działania wielu niezależnych gospodarstw rozproszonych przestrzennie. Istotna jest funkcjonalna zależność bezpieczeństwa żywnościowego od ciągłości produkcji w całym obszarze. Rozproszenie jest tu cechą zasadniczą. Elektrownia, centrum danych czy zakład przemysłowy działają w wyznaczonym obiekcie, natomiast zdolność produkcyjna rolnictwa jest rozmieszczona na milionach hektarów, w bardzo różnych gospodarstwach, a jej parametry zmieniają się wraz z pogodą, glebą, fazą rozwojową roślin, zdrowiem zwierząt oraz dostępnością ludzi i maszyn. Dane o stanie produkcji są rozproszone między gospodarstwami i nie ma jednego systemu, który pozwala obserwować lub sterować całym obszarem. W takich warunkach systemy cyfrowe są użyteczne wtedy, gdy pozwalają przypisać pomiar do konkretnej lokalizacji i momentu, a następnie wskazać miejsce oraz czas wymagające kontroli lub zabiegu.

W rolnictwie jakość i dostępność infrastruktury cyfrowej są jednymi z warunków działania systemów precyzyjnego pomiaru, wspomagania decyzji oraz automatyzacji, które mogą wpływać nie tylko na efektywność gospodarstwa, lecz także na wielkość i jakość produkcji rolnej przeznaczanej na cele żywnościowe. Dotyczy to np. precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego, zobrazowania Ziemi, danych meteorologicznych, łączności na obszarach wiejskich, czujników, telemetrii maszyn, systemów zarządzania gospodarstwem oraz reguł wymiany danych między urządzeniami i usługami. Komisja Europejska w badaniu z lipca 2026 r. stwierdziła, że niezawodna łączność staje się dla nowoczesnego gospodarstwa równie potrzebna jak maszyny i energia elektryczna, a dalszy rozwój rolnictwa precyzyjnego będzie wymagał uzupełniających się sieci naziemnych wraz z satelitarnymi, a także rozwiązań zdolnych do pracy offline [226]. Skuteczność części zastosowań rolnictwa

precyzyjnego zależy od jakości łączności, danych, standardów oraz zasad dostępu do informacji, a ich efekt może być widoczny również w stabilności podaży i jakości surowców żywnościowych.

SI przetwarza dane, generuje wyniki, które mogą być używane do podjęcia decyzji albo automatycznego wykonania działania w procesie produkcyjnym. Może rozpoznawać chwasty w obrazie, oceniać ryzyko choroby na podstawie pogody i fazy rozwojowej, wykrywać anomalie w zachowaniu zwierząt, prognozować plon albo optymalizować mikroklimat w szklarni. Sam wynik modelu nie jest wynikiem produkcyjnym. Skuteczność rozwiązania zależy od poprawnego działania całego ciągu: pomiaru, modelu, przekazania decyzji i urządzenia wykonawczego. Błąd na którymkolwiek z tych etapów może skutkować błędnym działaniem fizycznym. Ponieważ wynik modelu może zmieniać sposób wykonania fizycznego zabiegu, ocenę rozwiązania można oprzeć na mierzalnych parametrach procesu produkcyjnego. Przykładowo trafność klasyfikatora chwastów jest użyteczna tylko wtedy, gdy przekłada się na odsetek poprawnie wykonanych zabiegów, mniejsze zużycie środka i brak uszkodzeń rośliny uprawnej. Z kolei wczesne ostrzeżenie o problemie zdrowotnym zwierzęcia jest użyteczne wtedy, gdy pojawia się z wystarczającym wyprzedzeniem i nie generuje tylu fałszywych alarmów, że obsługa przestaje na nie reagować. Podobnie prognozę plonu lub zapotrzebowania na wodę można oceniać przez jej wpływ na konkretną decyzję, a w szerszej perspektywie także na ilość, jakość i przewidywalność podaży surowców wykorzystywanych do produkcji żywności.

12.2. Mapa zastosowań SI w rolnictwie i żywności

SI jest szczególnie użyteczna tam, gdzie pozwala podejmować decyzje z większą szczegółowością przestrzenną, czasową lub jednostkową: zamiast jednej dawki dla całego pola pozwala różnicować ją przestrzennie, zamiast obserwować stado wyłącznie okresowo wskazuje zwierzę wymagające kontroli, zamiast planować pracę według średnich warunków uwzględnia aktualny stan gleby, pogody i maszyn, a zamiast opierać ocenę podaży surowca żywnościowego na średnich wynikach pozwala wcześniej prognozować wielkość i termin zbioru. Ten sam model może działać jako narzędzie informacyjne, rekomendacyjne albo element sterowania, a wraz ze wzrostem wpływu na działanie fizyczne rosną wymagania dotyczące danych, walidacji i bezpieczeństwa. Tab. 12.1 zestawia zastosowania właśnie w takim porządku.

Tab. 12.1. Mapa zastosowań SI w rolnictwie i żywności

Decyzja produkcyjna	Dane i rola SI	Co fizycznie się zmienia	Miara wyniku i warunek wdrożenia
Monitoring upraw i prognoza plonu	Zobrazowania satelitarne, dronowe oraz naziemne, pogoda, gleba, historia pola, analiza obrazu i modeli przestrzenno-czasowych oraz prognoza wielkości i terminu zbioru	Miejsce i termin lustracji albo zabiegu, kolejność interwencji	Wyprzedzenie ostrzeżenia, trafność lokalizacji problemu, błąd prognozy plonu i dostępności surowca żywnościowego, walidacja między sezonami, odmianami i stanowiskami
Nawożenie, ochrona roślin i nawadnianie ze zmienną dawką	Mapy zasobności oraz wilgotności, stan ładu, pogoda, parametry maszyny, estymacja potrzeb i mapy aplikacyjne	Dawka w konkretnym miejscu pola, włączenie sekcji, czas nawadniania	Zużycie środka lub wody na hektar i jednostkę plonu, plon i jakość surowca, koszt, kalibracja aplikatora, limity dawek oraz zapis wykonania
Opryskiwanie punktowe i mechaniczne zwalczanie chwastów	Kamery lub mapy chwastów, pozycja maszyny i narzędzia, rozpoznawanie roślin i chwastów oraz sterowanie elementem wykonawczym	Otwarcie konkretnej dyszy albo położenie narzędzia roboczego względem rośliny	Odsetek trafionych celów, uszkodzenia rośliny uprawnej, straty plonu i jakości surowca, zużycie środka, stabilność belki, opóźnienie sterowania i precyzja pozycjonowania

Decyzja produkcyjna	Dane i rola SI	Co fizycznie się zmienia	Miara wyniku i warunek wdrożenia
Autonomia maszyn polowych	Pozycjonowanie, kamery oraz inne czujniki, mapa pola, przeszkód, percepcja, planowanie trasy i sterowanie	Tor ruchu, prędkość, zatrzymanie, manewr lub wykonanie operacji	Powierzchnia wykonana bez interwencji, terminowość prac i zbioru, czas, paliwo lub energia, zdarzenia niebezpieczne, bezpieczne zatrzymanie i nadzór operatora
Zdrowie, żywienie i dobrostan zwierząt	Kamery, mikrofony, identyfikatory radiowe, czujniki aktywności i dane produkcyjne, wykrywanie anomalii oraz predykcja	Kolejność oględzin, dodatkowy pomiar, korekta żywienia albo konsultacja	Czas wyprzedzenia, fałszywe alarmy, wyniki produkcyjne i zdrowotne oraz jakość surowca pochodzenia zwierzęcego, alarm nie jest diagnozą weterynaryjną
Sterowanie szklarnią i produkcją pod osłonami	Temperatura, wilgotność, stężenie CO ₂ , światło, stan podłoża i roślin, prognozowanie oraz optymalizacja wielokryterialna	Nastawa ogrzewania, wentylacji, doświetlania, nawadniania i fertygacji	Plon oraz jakość surowca, ciągłość zbioru, zużycie energii i wody, stabilność mikroklimatu, twarde ograniczenia fizjologiczne, tryb awaryjny
Planowanie prac i wykorzystania zasobów gospodarstwa	Historia zabiegów, pogoda, dostępność ludzi oraz maszyn, koszty, zapasy, dane przestrzenne, harmonogramowanie i wspomaganie decyzji	Kolejność prac, przydział maszyn, termin operacji i zbioru oraz zamówienia środków	Terminowość prac i zbioru, wykorzystanie maszyn, koszt operacji i czas administracyjny, odtwarzalność rekomendacji oraz ręczna zmiana planu

Źródło: opracowanie własne na podstawie programu AGROSTRATEG, materiałów Komisji Europejskiej, agrifoodTEF oraz literatury technicznej [204]–[207], [224], [228]–[230], [236].

Różnicę między trafnością modelu a jakością wykonania dobrze pokazuje opryskiwanie punktowe. Kamera może rozpoznać chwast w czasie przejazdu, ale prawidłowe otwarcie dyszy zależy również od pozycji celu, prędkości roboczej, wysokości i ruchu belki, opóźnienia między rejestracją obrazu a reakcją zaworu, ciśnienia cieczy oraz fizycznej szerokości strumienia. System może mieć bardzo wysoką trafność rozpoznawania na zdjęciach, a mimo to wykonywać zabieg w niewłaściwym miejscu. Z tego powodu „dokładność modelu” oraz „dokładność operacji” oznaczają dwie różne wielkości, a ich znaczenie ujawnia się również w wielkości i jakości plonu stanowiącego surowiec żywnościowy. Przy ocenie wdrożenia warto uwzględnić obie.

Podobna różnica występuje w produkcji zwierzęcej, chociaż elementem wykonawczym częściej pozostaje człowiek. Czujnik aktywności lub kamera może wykryć nietypowe zachowanie, lecz alarm nie jest jeszcze rozpoznaniem choroby. W realnym budynku zmieniają się oświetlenie, zapylenie, ułożenie zwierząt, jakość łączności i sposób obsługi, a więc także rozkład danych, na których pracuje model [230]. Użyteczność systemu zależy od tego, czy potrafi wystarczająco wcześnie wskazać zwierzę do kontroli, nie przeciążając obsługi fałszywymi alarmami, oraz czy wczesna reakcja poprawia zdrowotność stada, wyniki produkcyjne i jakość surowca pochodzenia zwierzęcego. Wynik zależy więc od czujnika, modelu, sposobu przekazania alarmu oraz reakcji człowieka. Te elementy warto oceniać oddzielnie, podobnie jak jakość danych i interoperacyjność systemów.

12.3. Dane, pozycjonowanie, łączność i interoperacyjność w wykonaniu decyzji

Jednym z podstawowych ograniczeń może być jakość danych wejściowych, niezależnie od jakości samego algorytmu. Mapa plonu z kombajnu wygląda jak gotowy obraz produktywności pola, ale powstaje z pomiarów wykonywanych podczas ruchu maszyny. Ziarno ścięte w danym miejscu dociera do czujnika przepływu po kilku sekundach. Bez korekty tego opóźnienia wynik zostaje przypisany do niewłaściwej pozycji. Dochodzą do tego zawracanie, napełnianie i opróżnianie układu, błędna szerokość robocza oraz kalibracja czujnika. Dane, które

wizualnie tworzą przekonującą mapę, mogą więc być niewłaściwą podstawą dla mapy nawożenia czy uczenia modelu, jeżeli nie przejdą kontroli jakości [228].

Kontrola jakości danych prowadzi do drugiego problemu: pozycja ciągnika nie jest zawsze pozycją narzędzia. Systemy GNSS pozwalają określać położenie maszyny, a kinematyczne pozycjonowanie w czasie rzeczywistym (ang. Real-Time Kinematic, RTK) wykorzystuje dane korekcyjne do osiągania znacznie wyższej dokładności prowadzenia. Na stoku lub łuku narzędzie ciągnane może jednak odchyłać się od toru ciągnika. Badania kamerowego pielenia kukurydzy pokazują, że utrzymanie elementu roboczego między rzędami może wymagać aktywnej korekty samego narzędzia [233]. Z punktu widzenia SI kluczowa jest zgodność współrzędnej użytej przez model z miejscem rzeczywistego działania, a nie tylko z lokalizacją anteny.

Nawet poprawnie zlokalizowana decyzja nie zostanie wykonana, jeżeli urządzenia nie obsługują tej samej funkcji. Norma ISO 11783, powszechnie określana jako ISOBUS, opisuje komunikację między ciągnikami, terminalami, maszynami i oprogramowaniem gospodarstwa. Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) podkreśla jednak, że zgodność nie jest cechą prostego „tak/nie”: użyć można tylko funkcjonalności wspieranych przez wszystkie elementy konkretnej kombinacji [225]. W gospodarstwie z parkiem wielomarkowym różnica między formalnym złączem ISOBUS a sprawdzoną obsługą sterowania sekcjami, zmienną dawką czy dokumentacją zadania oddziela możliwość teoretyczną od działającego procesu produkcyjnego.

Interoperacyjność maszyn łączy się bezpośrednio z prawem do danych, ponieważ nowoczesna maszyna jest jednocześnie urządzeniem pomiarowym. Rejestruje trasę, parametry pracy, zużycie, wykonane zadania i często dane agronomiczne. Akt w sprawie danych, czyli unijny Data Act, stosowany od 12 września 2025 r., zwiększa kontrolę użytkowników nad danymi generowanymi przez urządzenia połączone i wprost wskazuje rolnictwo jako jeden z sektorów, w których dostęp do danych z urządzeń może poprawiać efektywność [232]. Z punktu widzenia polskiego rynku jest to ważne nie tylko dla rolnika. Dostęp do danych na uczciwych warunkach decyduje także o tym, czy niezależny serwis, producent oprogramowania albo krajowy integrator może konkurować z dostawcą całego ekosystemu sprzętowego.

Pełny efekt wykorzystania danych zależy również od odpowiedniej łączności. W badaniu Komisji Europejskiej ponad cztery piąte użytkowników końcowych uznało łączność w polu za bardzo ważną, a ponad jedna trzecia oceniała obecny zasięg jako słaby lub bardzo słaby. Najczęściej wskazywano martwe strefy [226]. Ze względu na ryzyko utraty łączności korzystne jest projektowanie systemu tak, aby funkcja bezpieczna mogła pozostać dostępna lokalnie, a synchronizacja następowała po odzyskaniu połączenia. To podejście zwiększa odporność i ogranicza sytuacje, w których jakość produkcji zależy od chwilowej dostępności pojedynczej usługi sieciowej.

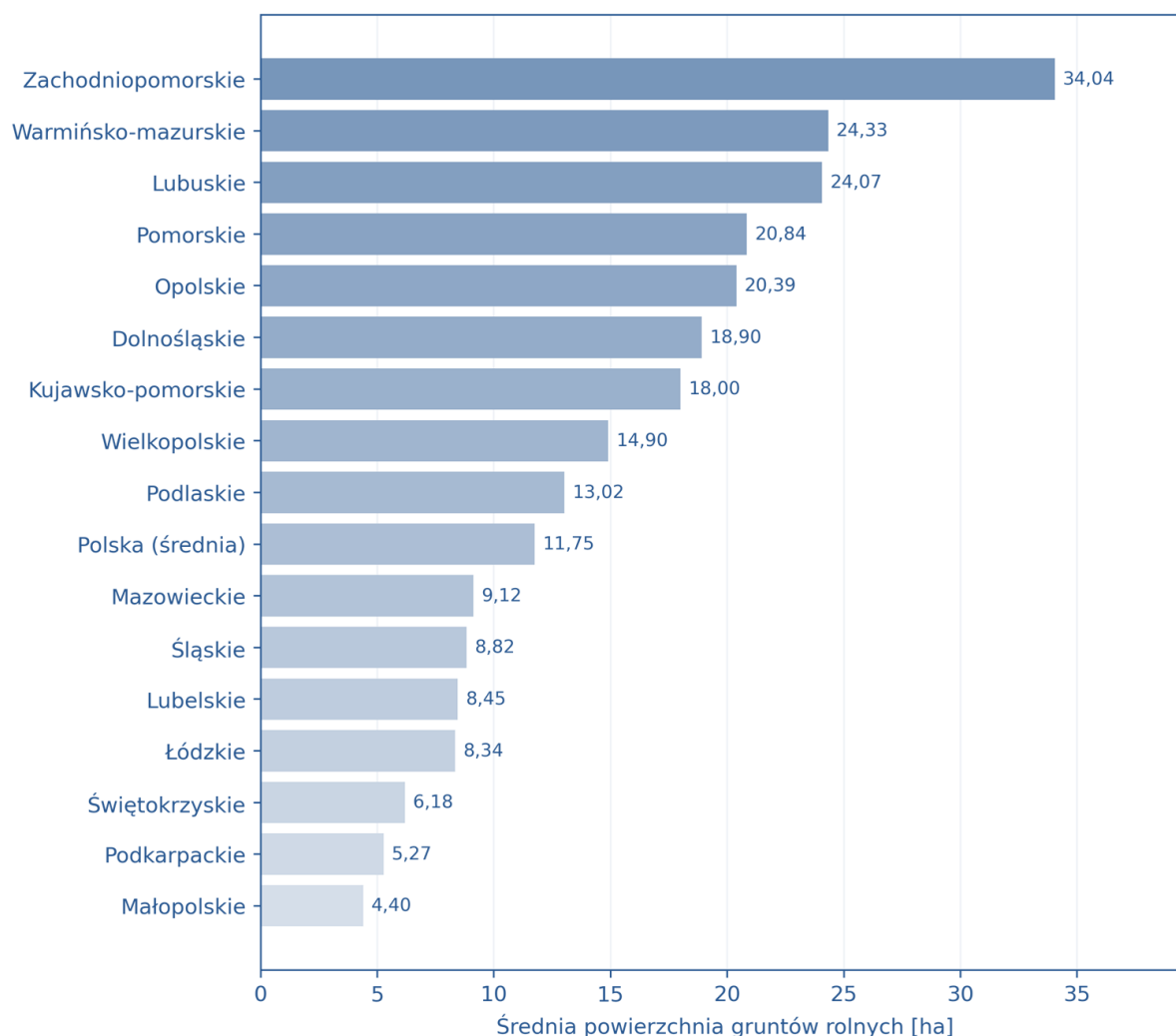
Kolejnym źródłem zmienności są różnice między sezonami. Model wytrenowany na jednym roku może w kolejnym spotkać inną odmianę, fazę rozwojową, presję agrofagów, przebieg opadów lub sposób prowadzenia pola. Sam losowy podział jednego zbioru danych na część uczącą i testową nie wystarcza do walidacji między sezonami oraz gospodarstwami. Dla rozwiązania przeznaczonego do wdrożeń w wielu gospodarstwach zasadne jest sprawdzenie działania między lokalizacjami, sezonami, typami gospodarstw i konfiguracjami sprzętu oraz udokumentowanie zakresu tych testów. Wielosezonowa walidacja jest wolniejsza niż w sektorach, w których tysiące transakcji można obserwować jednego dnia, dlatego wspólna infrastruktura testowa może ograniczać konieczność organizowania odrębnych środowisk testowych przez każdego dostawcę.

Szersze testy są zasadne, gdy model wpływa na bezpieczeństwo maszyny albo aplikację środków. Rozporządzenie Unii Europejskiej w sprawie SI nie uznaje każdego modelu agronomicznego za system wysokiego ryzyka. Kwalifikacja zależy od przeznaczenia i roli rozwiązania. Komisja wskazuje jednak, że system SI będący elementem bezpieczeństwa regulowanego produktu może podlegać reżimowi wysokiego ryzyka, a ocena powinna być prowadzona dla konkretnego zastosowania [231]. W praktyce uzasadnia to różnicowanie wymagań zależnie od tego, czy system jedynie przedstawia informację, rekomenduje działanie, czy bezpośrednio wpływa na ruch maszyny lub środowisko produkcji. Polska posiada już kilka publicznych i branżowych elementów, które mogą być wykorzystane do takich testów.

12.4. Polska: systemy publiczne, finansowanie, kompetencje i infrastruktura testowa

Polska dysponuje już wieloma elementami infrastruktury wspierającej cyfrową transformację rolnictwa. Ministerstwo Cyfryzacji prowadziło wraz z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz partnerami projekt „Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce”, którego celem było stworzenie sprzyjającego otoczenia regulacyjnego dla wdrażania nowoczesnych technologii [215]. Równolegle działają systemy pozycjonowania, danych przestrzennych, monitorowania satelitarnego, doradztwa i administracji rolnej, a programy publiczne finansują sprzęt, kompetencje, badania oraz testowanie. Istotnym zadaniem jest określenie, w jaki sposób te zasoby mają być wykorzystywane kolejno na etapie przygotowania danych, budowy prototypu, walidacji i wdrożenia u następnych użytkowników.

Pierwszym parametrem wpływającym na opłacalność wdrożeń jest struktura gospodarstw. Dane GUS za 2023 r. pokazują zróżnicowanie gospodarstw m.in. pod względem grup obszarowych użytków rolnych, rodzaju prowadzonej działalności i klas wielkości ekonomicznej [203]. Według Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa (ARiMR) w 2025 r. 1 188 975 rolników złożyło wnioski o płatności bezpośrednie, deklarując łącznie 13,97 mln ha gruntów rolnych. Średnia powierzchnia wynikająca z tych wniosków wyniosła 11,75 ha [222]. Dane te mogą posłużyć tu do przedstawienia zróżnicowania skali gospodarowania między województwami. Jednocześnie różnica między średnią 4,40 ha w województwie małopolskim i 34,04 ha w zachodniopomorskim dobrze pokazuje, że ten sam model inwestycyjny nie będzie odpowiedni w całym kraju. Pełne porównanie przedstawiono na rys. 12.2.



Rys. 12.2. Średnia powierzchnia gruntów rolnych w gospodarstwie według województw w 2025 r.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych ARiMR [222].

Różnicowanie widoczne na rys. 12.2 przemawia za doбором sposobu korzystania z technologii do skali, profilu produkcji i organizacji gospodarstwa. Gospodarstwo może kupić własny system automatycznego prowadzenia, zaawansowany opryskiwacz lub robota albo uzyskać tę samą funkcję przez modernizację istniejącej maszyny, usługę wykonywaną przez wyspecjalizowany podmiot, wspólny zakup czy wykorzystanie publicznych danych i doradztwa. Z punktu widzenia polityki państwa istotne jest to, że instrumenty wsparcia mogą uwzględniać różne sposoby uzyskania tej samej funkcji produkcyjnej, zamiast utożsamiać cyfryzację z zakupem najdroższego sprzętu.

Jednym z publicznie dostępnych elementów infrastruktury jest System Aktywnej Sieci Geodezyjnej EUPOS (ASG-EUPOS) Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii, który dostarcza korekty do precyzyjnego pozycjonowania GNSS wykorzystywane również w rolnictwie. W marcu 2026 r. do usług systemu łączyło się 22 674 konta. Rekord równoczesnych połączeń wyniósł 5 734, a łączna liczba kont przekroczyła 53 tys. [239]. Jednostką statystyczną są konta użytkowników ASG-EUPOS. Dane opisują więc skalę wykorzystania publicznej infrastruktury pozycjonowania i wskazują, że jej parametry wpływają już na codzienną pracę urzędów terenowych.

Pozycjonowanie jest uzupełniane przez państwowe systemy danych przestrzennych i obserwacyjnych. System Identyfikacji Działek Rolnych (ang. Land Parcel Identification System, LPIS) obejmuje grunty rolne na obszarze całej Polski i stanowi bazę referencyjną m.in. dla geoprzestrzennych wniosków oraz systemu monitorowania obszarów [238]. System Monitorowania Obszaru (ang. Area Monitoring System, AMS) ARiMR wykorzystuje zobrażenia satelitów Sentinel programu Copernicus pozyskiwane co 3–8 dni do obserwacji upraw, wegetacji i zdarzeń agrotechnicznych, takich jak żniwa, orka czy koszenie [217]. LPIS i AMS są przede wszystkim elementami administracji Wspólnej Polityki Rolnej, ale jednocześnie pokazują, że państwo potrafi utrzymywać ogólnokrajowe, regularnie aktualizowane zbiory danych o przestrzeni rolniczej.

Zakres publicznych danych i usług ma się rozszerzać. System Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych (S2MUR), realizowany przez Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa we współpracy z Instytutem Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytutem Badawczym, ma według informacji z sierpnia 2026 r. docelowo łączyć dane Sentinel-2, Meteosat, informacje meteorologiczne wraz z pomiarami terenowymi, rozwijać modele prognozy plonów i strat oraz udostępniać dane m.in. przez API i Portal Rolnika. Pełne wdrożenie zaplanowano na koniec 2027 r. [219]. Ponieważ system pozostaje w budowie, opisane funkcje mają charakter planowany. Jeżeli zapowiedziane interfejsy zostaną uruchomione, dane publiczne będą mogły być wykorzystywane również przez zewnętrzne usługi analityczne.

Blżej codziennej decyzji działa eDWIN z usługą „Wirtualne gospodarstwo”, która umożliwia prowadzenie kart pól, korzystanie z danych agrometeorologicznych i otrzymywanie ostrzeżeń dotyczących zagrożeń dla upraw [218]. Z kolei Portal Rolnika 2.0, uruchomiony 30 czerwca 2026 r., integruje usługi administracyjne i ma być w kolejnych etapach rozszerzany o funkcje analityczne oraz integrację z narzędziami rolnictwa precyzyjnego [216]. Odróżnienie stanu istniejącego od funkcji zapowiedzianych jest ważne. Jeżeli planowane integracje zostaną wdrożone, portal może ograniczać potrzebę wielokrotnego wprowadzania tych samych danych w różnych systemach.

Wymagania dotyczące integracji urządzeń widać również w instrumencie KPO „Rolnictwo 4.0”. Według ARiMR złożono około 10,3 tys. wniosków na ponad 1,57 mld zł, a do lutego 2025 r. podpisano 6,3 tys. umów o wartości przekraczającej 1 mld zł [213]. Techniczne kryteria Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi były istotniejsze niż sama liczba umów: sam odbiornik pozycjonowania nie wystarczał, a w przypadku określonych maszyn wymagano współpracy z systemem wspomagania decyzji lub zarządzania gospodarstwem, dwukierunkowej wymiany danych oraz sterowania na podstawie map lub czujników [214]. Dopuszczano też modernizację starszego sprzętu, co umożliwia stosowanie rozwiązań retrofitowych bez pełnej wymiany parku maszynowego.

Skuteczność wykorzystania maszyn i danych zależy również od kompetencji osób, które potrafią je skonfigurować, skalibrować oraz ocenić wiarygodność wyniku. Przy szkołach rolniczych nadzorowanych przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi działa 13 Branżowych Centrów Umiejętności (BCU), finansowanych w ramach KPO. Placówki oferują bezpłatne szkolenia z wykorzystaniem nowoczesnych maszyn, systemów rolnictwa precyzyjnego oraz technik weterynaryjnych [212]. Równolegle modernizowane są bazy dydaktyczne i demonstracyjne jednostek doradztwa rolniczego [223]. Znaczenie szkoleń i zaplecza demonstracyjnego wynika z potrzeby praktycznych umiejętności w zakresie kalibracji, konfiguracji ISOBUS, kontroli jakości map i interpretacji alarmów.

Testy przed wdrożeniem mogą być prowadzone w miejscach pozwalających sprawdzić technologię w warunkach zbliżonych do rzeczywistej pracy. Program AGROSTRATEG Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, zatwierdzony

w 2026 r. z budżetem 500 mln zł, obejmuje m.in. rolnictwo cyfrowe oraz wykorzystanie analizy danych do optymalizacji produkcji [204]. Polski węzeł europejskiej infrastruktury testowania i eksperymentowania agrifoodTEF (ang. Testing and Experimentation Facility, TEF), tworzony przez Sieć Badawczą Łukasiewicz – Poznański Instytut Technologiczny, Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe oraz Wielkopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, oferuje przedsiębiorstwom pola, stanowiska testowe dla robotyki, czujników i dronów, infrastrukturę obliczeniową, badania zgodności, wsparcie w ocenie cyberbezpieczeństwa [224]. W Polsce istnieją więc instrumenty obejmujące badania oraz walidację. Do oceny pozostaje, czy wyniki takich testów są wykorzystywane w gospodarstwach referencyjnych, a następnie przy wdrożeniach u kolejnych użytkowników.

Tab. 12.2 porządkuje te zasoby według funkcji potrzebnych na kolejnych etapach wdrożenia. Zestawienie pozwala wskazać, które koszty mogą być ponoszone wspólnie zamiast oddzielnie przez każdego dostawcę: przygotowanie danych referencyjnych, utrzymanie interfejsów, testy w różnych warunkach oraz rozwój kompetencji.

Tab. 12.2. Polskie systemy, programy i zasoby wspierające wdrażanie SI w obszarze rolnictwa i żywności

Obszar	Polski element	Co już istnieje	Brak lub wymagane uzupełnienie
Pozycja i przestrzeń	ASG-EUPOS, LPIS	Nieodpłatne korekty GNSS oraz ogólnokrajowa baza referencyjna działek rolnych	Stabilne interfejsy i łatwe łączenie pozycji maszyny, narzędzia oraz dokumentacji zabiegu
Obserwacja i dane publiczne	AMS, S2MUR	Regularne zobrażenia satelitarne, rozwijana integracja danych meteorologicznych i terenowych	Opis jakości, prawa użycia i interfejsy pozwalające budować produkty bez ręcznej integracji wielu źródeł
Usługi cyfrowe gospodarstwa	eDWIN, Portal Rolnika	Karty pól, dane agrometeorologiczne, ostrzeżenia i zintegrowana obsługa administracyjna	Interoperacyjność z systemami zarządzania gospodarstwem i ograniczenie wielokrotnego wprowadzania tych samych danych
Wyposażenie i modernizacja	Rolnictwo 4.0	Wsparcie dla dwukierunkowej wymiany danych, sterowania z map i czujników oraz modernizacji starszego sprzętu	Ocena rzeczywistego efektu po wdrożeniu, możliwość korzystania w formie usługi i interoperacyjność w parku wielomarkowym
Kompetencje i demonstracja	BCU, doradztwo rolnicze	Bezpłatne szkolenia, nowoczesne maszyny i bazy demonstracyjne	Więcej pracy na danych rzeczywistych, diagnostyce, kalibracji i konfiguracjach wielu producentów
Badania	AGROSTRATEG	Finansowanie rolnictwa cyfrowego, analizy danych i innowacyjnych technik rolniczych	Wspólne protokoły walidacji wielosezonowej i obowiązek mierzenia efektu fizycznego oraz ekonomicznego
Testowanie i wdrożenie u klientów	Polski węzeł agrifoodTEF	Pola testowe, robotyka, czujniki, drony, obliczenia, cyberbezpieczeństwo i ocena zgodności	Procedura wykorzystania wyników testów w gospodarstwach referencyjnych, doradztwie i wdrożeniach u kolejnych klientów

Źródło: opracowanie własne na podstawie [204], [212]–[224], [238]–[239].

Bardziej konkretnym zadaniem jest określenie wspólnych identyfikatorów, formatów danych, interfejsów i kryteriów jakości, tak aby istniejące systemy publiczne, maszyny oraz usługi mogły wymieniać dane bez każdorazowej integracji projektowanej od zera. Infrastruktura publiczna może wtedy, obok funkcji administracyjnych, udostępniać dane i interfejsy wykorzystywane przez prywatne usługi. Podobny kierunek jest obecnie widoczny w polityce Unii Europejskiej.

12.5. Europa: Apply AI, wymiana danych i infrastruktura testowa

Znaczenie rolnictwa w obszarowym wdrażaniu europejskiej polityki SI było w 2026 r. widoczne m.in. w działaniach strategii Apply AI. 24 czerwca Dyrekcja Generalna ds. Rolnictwa i Rozwoju Obszarów Wiejskich (DG AGRI) oraz Dyrekcja Generalna ds. Sieci Komunikacyjnych, Treści i Technologii (DG CNECT) zorganizowały pierwszy ustrukturyzowany dialog sektorowy w ramach strategii Apply AI. Uczestniczyło w nim około 180 ekspertów reprezentujących biznes, naukę, organizacje rolnicze, administrację [236]. Wybór rolnictwa jako pierwszego sektora w tym dialogu pokazuje, że ogólne instrumenty polityki SI wymagają dostosowania do danych, urządzeń i procesów właściwych dla rolnictwa. Warunki wskazane podczas dialogu są zbieżne z problemami widocznymi w praktyce gospodarstw. Na poziomie całej UE istotne jest przy tym duże zróżnicowanie struktury gospodarstw: w 2023 r. 62,8% gospodarstw miało mniej niż 5 ha [208].

Komisja wymienia ograniczoną infrastrukturę cyfrową, niepewny zwrot z inwestycji, niewystarczającą interoperacyjność, trudności w łączeniu narzędzi SI z systemami zarządzania gospodarstwem oraz rozwiązaniami publicznymi [236]. Wcześniejsze działania Apply AI zwracały również uwagę na blokadę u jednego dostawcy, brak zaufania, wysokie koszty integracji, ograniczony dostęp do danych wysokiej jakości [205]. Powstaje tu potrzeba określenia zasad dostępu do danych, wymagań interoperacyjności, interfejsów, które pozwalają korzystać z usług różnych dostawców oraz urządzeń bez projektowania każdej integracji od początku.

Jednym z głównych instrumentów UE dotyczących wymiany danych rolniczych ma być Wspólna Europejska Przestrzeń Danych Rolniczych (ang. Common European Agricultural Data Space, CEADS). Projekt przygotowawczy zmapował ponad 400 istniejących inicjatyw wymiany danych, rekomendując model zdecentralizowany, który ma zachować interesy rolników oraz umożliwiać bezpieczne, przejrzyste i odpowiedzialne udostępnianie danych [227]. W praktyce CEADS ma wykorzystywać uzgodnione zasady dostępu i rozwiązania techniczne umożliwiające odnajdywanie oraz udostępnianie danych zgodnie z uprawnieniami, z zachowaniem informacji o ich pochodzeniu i jakości.

CEADS jest uzupełniany przez Data Act. Rolnik korzystający z połączonego urządzenia ma większą kontrolę nad danymi wytwarzanymi przez to urządzenie i może je udostępniać wybranemu usługodawcy [232]. Komisja zwraca uwagę, że dane rolnicze obejmują nie tylko glebę, uprawy i zwierzęta, lecz także trasy maszyn, parametry produkcji, dane finansowe oraz zgodności, a część z nich może być wrażliwa gospodarczo lub stanowić tajemnicę przedsiębiorstwa [240]. Przy projektowaniu zasad dostępu warto równoważyć możliwość wykorzystania danych przez inne usługi z kontrolą gospodarstwa nad informacjami stanowiącymi jego know-how. Bez takich zasad trudno oczekiwać dobrowolnego udostępniania danych do trenowania lub walidacji modeli.

Dostęp do danych warto uzupełniać możliwością prowadzenia testów w rzeczywistych gospodarstwach. Europejska infrastruktura agrifoodTEF udostępnia pola, gospodarstwa, laboratoria wraz z zapleczem cyfrowym do oceny SI i robotyki, a uczestnicy dialogu Apply AI wskazywali TEF, CEADS, fabryki SI oraz partnerstwo Agriculture of Data jako uzupełniające się instrumenty wspierające wdrażanie [207], [236]. Dla rozwoju produktu oznacza to możliwość kolejnego sprawdzenia modelu na innym gospodarstwie, oceny zgodności i przygotowania dokumentacji przed wdrożeniem u klienta. Dla polskiej firmy istotne jest, aby produkt miał dokumentację testów potwierdzających działanie w różnych warunkach, a nie tylko wynik pojedynczej demonstracji.

Skalowanie będzie jednak zależało także od łączności. Badanie Komisji z 2026 r. uzasadnia uwzględnianie przy projektowaniu rozwiązań rolniczych warunków, w których zasięg jest nierówny i może zanikać w trakcie pracy [226]. Uzasadnia to architekturę hybrydową: funkcje wymagające reakcji w czasie rzeczywistym działają lokalnie, a chmura służy do synchronizacji, uczenia, raportowania i zadań niewymagających natychmiastowej odpowiedzi. Takie rozwiązanie jest bardziej złożone niż aplikacja stale zależna od sieci, ale zmniejsza ryzyko przerwania funkcji operacyjnych po utracie zasięgu.

Analizowane instrumenty UE obejmują jednocześnie dostęp do danych, prawa użytkownika, testowanie oraz łączność. Ich wspólnym celem jest ograniczanie kosztu integracji oraz testów dla kolejnych produktów, bez wskazywania jednego preferowanego rozwiązania technologicznego. Dalsze porównanie dotyczy państw, które rozwiązania SI i automatyzacji w obszarze rolnictwa i żywności rozwijają dłużej, stosując różne modele własności urządzeń, świadczenia usług oraz gospodarowania danymi.

12.6. Świat: usługi, modele dostępu do technologii i zasady korzystania z danych

Państwa o dłuższym doświadczeniu we wdrażaniu nowoczesnych technologii w rolnictwie i żywności coraz częściej uwzględniają w swoich politykach modele usługowe, w których gospodarstwo korzysta z technologii bez konieczności jej samodzielnego zakupu. Technologia autonomiczna jest kosztowna, wymaga serwisu, kompetencji i odpowiedniej skali wykorzystania, a część prac występuje tylko przez kilka dni w roku. W praktyce stosowane są usługi wykonawcze, leasing, współdzielenie i operatorzy specjalistycznych maszyn. Korzystanie z usługi pozwala uniknąć jednorazowego zakupu urządzenia wykorzystywanego sezonowo, a koszt jest ponoszony za konkretną operację, na przykład precyzyjny zabieg, mapowanie lub zbiór danych.

W Japonii rozwiązanie to jest wspierane szczególnie wyraźnie. Ministerstwo Rolnictwa, Leśnictwa i Rybołówstwa prowadziło projekty demonstracyjne smart agriculture w 217 lokalizacjach od Hokkaido po Okinawę, a obecna polityka wiąże upowszechnianie technologii z przebudową metod produkcji oraz rozwojem usług rolniczych [210], [235]. W oficjalnych scenariuszach dla kolejnych lat część operacji ma być wykonywana przez usługodawców, jeżeli zakup własnej technologii nie jest ekonomiczny, a prawo dotyczące smart agriculture wspiera zarówno rolników zmieniających metody produkcji, jak i podmioty rozwijające oraz dostarczające technologie [235]. Podkreśla to wartość uwzględnienia usług jako jednej z form dostępu do technologii, obok zakupu własnego sprzętu.

Japonia uregulowała również sposób korzystania z danych. Ministerstwo przygotowało wytyczne dotyczące umów odnoszących się do SI i danych w rolnictwie, zawierające wzorce łączące wykorzystanie informacji z ochroną know-how rolnika. W określonych programach wsparcia umowa zgodna z tymi zasadami jest wymagana, gdy dostawca smart agriculture otrzymuje oraz przechowuje dane generowane przez maszyny, roboty, drony lub urządzenia Internetu rzeczy [241]. Warunki dostępu do technologii są więc powiązane z warunkami przechowywania oraz dalszego wykorzystania danych. Na rynku europejskim podobny problem regulują Data Act i rozwój przestrzeni danych, choć instrumenty prawne są inne.

Chiński National Smart Agriculture Action Plan na lata 2024–2028 przewiduje centralnie koordynowany rozwój krajowej platformy dużych zbiorów danych rolnych, cyfrowej „jednej mapy” obszarów użytkowanych rolniczo oraz wspólnej warstwy modeli wraz z algorytmami, a równolegle wspiera inteligentne gospodarstwa roślinne i zwierzęce [209]. Z perspektywy Polski istotny jest przede wszystkim widoczny w tym modelu problem

kosztowy: jeżeli każdy dostawca musi samodzielnie odtworzyć dane referencyjne, mapy i podstawowe modele, rośnie koszt przygotowania produktu oraz wejścia na rynek.

Przykład Stanów Zjednoczonych wskazuje z kolei, że przy ocenie wdrożeń warto uwzględniać wynik gospodarstwa. Analiza U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service opublikowana w styczniu 2026 r. wykazała, że w badanej populacji gospodarstw mlecznych robotyczny dój lub wykorzystywanie co najmniej dwóch technologii precyzyjnych wiązało się średnio z około 13% wyższym zwrotem netto niż u nieużytkowników po uwzględnieniu cech gospodarstwa i operatora [234]. Wynik dotyczy badanej populacji amerykańskich gospodarstw mlecznych. Z perspektywy Polski użyteczny jest przede wszystkim sposób pomiaru efektu: technologia jest środkiem, a ocenianym wynikiem pozostają produktywność, koszty, wykorzystanie pracy i trwałość efektu. Równolegle National Institute of Food and Agriculture (NIFA) wspiera badania, edukację i działania doradcze wykorzystujące SI w rolnictwie i łańcuchu żywnościowym, m.in. w monitoringu upraw i gleb, robotyce autonomicznej oraz systemach wspomagania decyzji [211].

Japonia, Chiny, a także Stany Zjednoczone różnią się organizacją rynku i rolą państwa, ale we wszystkich trzech przypadkach powtarza się ten sam problem: czy rozwiązanie można wdrożyć wielokrotnie przy innych danych, maszynach, warunkach polowych oraz organizacji pracy. W Polsce kluczowe pytanie dotyczy możliwości wiarygodnego powtarzania wdrożenia w kolejnych gospodarstwach, przy innych maszynach, glebach, strukturze pól i jakości łączności. Możliwość powtórzenia wdrożenia w udokumentowanych warunkach można rozważyć jako jedno z kryteriów oceny obszaru w projekcie Polityki AI.

12.7. Rolnictwo i żywność jako potencjalny obszar kluczowy w projekcie Polityki AI

Uzasadnienie włączenia rolnictwa i żywności do katalogu obszarów kluczowych wynika z jednoczesnego występowania trzech obszarów istotnych z perspektywy państwa:

1. bezpieczeństwa żywnościowego oraz odporności produkcji,
2. elementów infrastruktury cyfrowej obszarów wiejskich: łączność, pozycjonowanie, dane przestrzenne, satelitarne, zasady dostępu do danych oraz interoperacyjność urządzeń,
3. rynku technologicznego, na którym krajowe firmy mogą dostarczać oprogramowanie, integrację, elektronikę, systemy percepcji, usługi danych, cyberbezpieczeństwo, testowanie.

Przemawia to za analizą na poziomie obszaru, ponieważ część potrzebnych danych, standardów, usług jest wspólna dla wielu gospodarstw oraz dostawców.

Część barier ma charakter wspólny dla wielu gospodarstw oraz dostawców, co uzasadnia działania na poziomie infrastruktury lub standardów obszarowych. Przykładami są sieć korekcyjna GNSS, ogólnokrajowe dane satelitarne, standardy wymiany danych oraz miejsca, procedury testów wielosezonowych. Dostawca nie ma również ekonomicznego uzasadnienia, aby samodzielnie weryfikować każdą kombinację ciągnika, terminala, narzędzia albo finansować łączność na obszarach o małej gęstości użytkowników. Mapa obszarowa może służyć do uzgadniania wspólnych standardów, zakresu infrastruktury publicznej oraz procedur testowych, pozostawiając konkurencję między dostawcami technologii.

W Polsce funkcjonuje już wiele elementów istotnych dla wdrażania SI w obszarze rolnictwa i żywności, szczególnie na etapie produkcji rolnej. ASG-EUPOS dostarcza publiczne korekty GNSS do precyzyjnego pozycjonowania, LPIS oraz AMS utrzymują referencyjne, obserwacyjne dane przestrzenne, eDWIN i Portal

Rolnika udostępniają usługi cyfrowe dla gospodarstw, S2MUR ma rozszerzyć analitykę satelitarną, Rolnictwo 4.0 wspierało integrację danych z urządzeniami, BCU wraz z doradztwem rozwijają kompetencje, AGROSTRATEG finansuje badania, a agrifoodTEF oferuje infrastrukturę walidacji [204], [212]–[224], [238], [239]. Do uzupełnienia pozostają przede wszystkim wspólne zasady interoperacyjności, wymagania dotyczące jakości, praw do danych oraz protokoły testów pozwalające porównać wyniki uzyskane w różnych gospodarstwach i konfiguracjach sprzętu.

Z punktu widzenia Ministerstwa Cyfryzacji mapa obszarowa mogłaby koncentrować się na elementach wspólnych dla wielu dostawców: standardach danych, łączności, testach i kompetencjach. Pierwszym zadaniem byłoby zdefiniowanie minimalnych standardów wymiany danych i metadanych między rozwiązaniami publicznymi, systemami zarządzania gospodarstwem oraz maszynami. Drugim zadaniem byłoby zapewnienie, że funkcje krytyczne czasowo mogą działać przy nierównej łączności, a rozwój sieci na obszarach wiejskich uwzględnia potrzeby robotyki, telemetrii i transmisji danych z gospodarstw. Trzecim zadaniem byłoby stworzenie wspólnych scenariuszy walidacji obejmujących kilka sezonów, lokalizacji oraz konfiguracji sprzętowych. Czwartym zadaniem byłoby rozwijanie kompetencji serwisowych i doradczych, ponieważ poprawny wynik testu nie gwarantuje prawidłowej konfiguracji oraz utrzymania systemu u użytkownika.

Takie wymagania mogą ułatwiać konkurencję między dostawcami. Data Act zwiększa możliwości dostępu użytkownika do danych z urządzeń, a CEADS ma rozwijać zaufane mechanizmy ich wymiany [227], [232]. Krajowa polityka może wykorzystać te ramy, aby ograniczać blokadę u jednego dostawcy, ułatwiając powstawanie niezależnych usług opartych na danych z maszyn, bez odbierania rolnikowi kontroli nad informacją o gospodarstwie. Przez to wzrasta preferowanie otwartych interfejsów, znaczenie możliwości eksportu danych, dokumentowania jakości, zgodności funkcjonalnej, a także rozwiązań działających z urządzeniami różnych producentów. Mierzalnymi skutkami mogą być niższy koszt zmiany dostawcy, większa liczba niezależnych integratorów oraz większy udział krajowych firm w dostawach oprogramowania czy usług.

Mierniki można przypisać do poziomu, na którym powstaje efekt. Po stronie gospodarstwa można mierzyć zmianę zużycia nawozów, środków ochrony roślin, wody, paliwa, energii i czasu pracy na hektar lub jednostkę produkcji, a także plon, jakość oraz liczbę błędnych alarmów. Po stronie technologii ważne są liczba sezonów i lokalizacji objętych walidacją, zakres konfiguracji sprzętowych, w których potwierdzono działanie, możliwość pracy offline oraz czas potrzebny do wdrożenia u kolejnego klienta. Na poziomie rynku i infrastruktury wspólnej można mierzyć wykorzystanie usług danych oraz testowania, liczbę niezależnych dostawców korzystających z interfejsów czy udział rozwiązań, które przeszły od demonstratora do powtarzalnej sprzedaży lub usługi. Takie wskaźniki ograniczają ryzyko, że sukces polityki zostanie utożsamiony z liczbą zakupionych urządzeń.

Zakres automatyzacji warto dobierać do konkretnego procesu, ryzyka i rachunku ekonomicznego. Wartość SI zależy od połączenia technologii z wiedzą agronomiczną, hodowlaną i weterynaryjną, infrastrukturą wodną, właściwym płodozmianem oraz ekonomiką gospodarstwa. W części przypadków uzasadnionym rozwiązaniem będzie system ostrzegania, w innych modernizacja posiadanej maszyny, a w kolejnych zakup usługi od wyspecjalizowanego operatora. W ocenie można preferować udokumentowany efekt, interoperacyjność i możliwość powtórzenia wdrożenia zamiast samej liczby zastosowanych komponentów lub stopnia autonomii.

Kluczowe przesłanki za zaliczeniem rolnictwa i żywności do obszarów kluczowych

Rolnictwo i żywność warto rozważyć jako obszar kluczowy, ponieważ łączy znaczenie dla bezpieczeństwa żywnościowego z zależnością od wspólnej infrastruktury cyfrowej oraz możliwością rozwoju krajowej oferty technologiczno-usługowej. Polska posiada już publiczne systemy i dane, które można wykorzystać, a polityka obszarowa mogłaby koncentrować się na standaryzacji danych, interoperacyjności, testach wielosezonowych oraz łączności na obszarach wiejskich.

CZĘŚĆ III. Ranking sektorów

13. Gospodarcze priorytety AI. Ranking sektorów i obszarów strategicznych dla Polski

13.1 Indeks Gospodarczego Potencjału AI (IGP AI)

13.2 Wprowadzenie

Rozwój sztucznej inteligencji nie będzie przebiegał jednakowo we wszystkich obszarach gospodarki. Poszczególne sektory różnią się skalą ekonomiczną, poziomem cyfryzacji, dostępnością danych, potencjałem tworzenia wysokopłatnych miejsc pracy oraz zdolnością do wdrażania i skalowania rozwiązań AI. Dlatego identyfikacja sektorów kluczowych dla Polityki AI wymaga uwzględnienia zarówno ich znaczenia gospodarczego i systemowego, jak i obecnej gotowości do absorpcji nowych technologii.

Celem przedstawionego zestawienia jest porównanie analizowanych sektorów i obszarów pod kątem ich znaczenia dla rozwoju i wdrażania sztucznej inteligencji w Polsce. Podstawę rankingu stanowi Indeks Gospodarczego Potencjału AI (IGP AI), czyli syntetyczna miara łącząca wyniki oceny poszczególnych kryteriów i sprowadzająca je do wspólnej skali. Indeks pozwala ocenić względną pozycję sektorów i obszarów z perspektywy ich znaczenia gospodarczego, perspektyw rozwoju oraz możliwości tworzenia wartości dzięki zastosowaniu AI. Nie obejmuje on jednak komponentu suwerennościowego, który został przeanalizowany odrębnie.

IGP AI porządkuje analizowane sektory i obszary według jednolitego zestawu kryteriów, ułatwiając identyfikację potencjalnych priorytetów polityki rozwoju AI. Jego wartość ma charakter porównawczy i pokazuje pozycję danego sektora lub obszaru w ramach przyjętej grupy, kryteriów oraz założeń analitycznych. Nie stanowi natomiast bezwzględnej miary znaczenia dla gospodarki ani automatycznej rekomendacji inwestycyjnej.

Wyników rankingu nie należy interpretować jako w pełni jednorodnego porównania. Zestawienie obejmuje bowiem zarówno sektory wyraźnie wyodrębnione w klasyfikacji PKD, jak i obszary przekrojowe, których działalność obejmuje wiele branż i kategorii gospodarczych. Rozróżnienie to ma istotne znaczenie dla dostępności i porównywalności danych, metod ich agregacji oraz interpretacji uzyskanych wyników.

Cyberbezpieczeństwo, rolnictwo i żywność, produkty podwójnego zastosowania, e-commerce, BioMedTech oraz sektor kosmiczny nie stanowią sektorów sensu stricto w rozumieniu klasyfikacji PKD. Są to raczej obszary działalności, ekosystemy lub łańcuchy wartości skupiające przedsiębiorstwa funkcjonujące w różnych sekcjach i działach gospodarki. Przykładowo rolnictwo i żywność obejmuje produkcję rolną, przetwórstwo spożywcze, logistykę oraz handel, e-commerce jest modelem sprzedaży wykorzystywanym w wielu branżach, natomiast cyberbezpieczeństwo, BioMedTech czy produkty podwójnego zastosowania mają charakter technologiczny, a zarazem przekrojowy.

Specyfika tych obszarów powoduje istotne wyzwania związane z pozyskiwaniem i analizą danych. W wielu przypadkach konieczne jest określenie granic badanego obszaru, przypisanie odpowiednich kodów PKD, wykorzystanie wskaźników zastępczych oraz agregowanie danych pochodzących z różnych źródeł. Dodatkowym wyzwaniem jest ograniczenie ryzyka podwójnego liczenia tych samych podmiotów lub wartości. Dane są ponadto dostępne z różnym poziomem szczegółowości, dla różnych okresów oraz według niejednorodnych definicji. W konsekwencji analiza wymaga przyjmowania określonych założeń metodologicznych, które mogą

wpływać na uzyskaną punktację i pozycję danego obszaru w rankingu. Zmiana definicji analizowanego obszaru, źródła danych, wskaźników lub sposobu agregacji może prowadzić do odmiennych wyników.

Z tego względu bezpośrednie porównywanie obszarów przekrojowych z sektorami jednoznacznie wyodrębnionymi w statystyce publicznej, takimi jak przemysł przetwórczy, transport, energetyka czy usługi finansowe, wiąże się z określonymi ograniczeniami metodologicznymi. Ranking należy więc traktować przede wszystkim jako narzędzie wspierające identyfikację potencjalnych priorytetów polityki AI, a nie jako ostateczną i niepodważalną ocenę znaczenia poszczególnych sektorów i obszarów. Jego rolą jest uporządkowanie dostępnych informacji, wskazanie obszarów o wysokim potencjale rozwojowym oraz stworzenie podstaw do dalszej dyskusji eksperckiej i podejmowania decyzji strategicznych. Wyniki powinny być interpretowane łącznie z oceną jakości danych, przyjętych założeń, analizą wrażliwości oraz oceną ekspercką.

Ranking oparty na Indeksie Gospodarczego Potencjału AI nie stanowi oceny ogólnego znaczenia poszczególnych sektorów dla gospodarki. Odpowiada on na bardziej praktyczne pytanie: w których sektorach i obszarach połączenie znaczenia gospodarczego, jakości miejsc pracy, gotowości technologicznej, znaczenia systemowego oraz możliwości skalowania zastosowań AI stwarza obecnie najlepsze warunki do generowania wartości z wykorzystaniem sztucznej inteligencji?

13.3. Metodologia

Metodologia została zaprojektowana tak, aby w możliwie największym stopniu ograniczyć uznaniowe przypisywanie punktów. Podstawę stanowią dane statystyczne oraz regulacyjne, przede wszystkim GUS, OECD, Eurostatu i instytucji sektorowych. W przypadkach, w których dane bezpośrednio odpowiadające analizowanemu sektorowi nie są dostępne, zastosowano wskaźniki zastępcze – proxy. Ich wykorzystanie jest każdorazowo jawnie oznaczane i wpływa na poziom zaufania do wyniku [253]–[280].

Ocena została oparta na pięciu kryteriach: znaczeniu gospodarczym sektora, zdolności do tworzenia atrakcyjnych miejsc pracy, gotowości wdrożeniowej AI, znaczeniu systemowym oraz potencjale skalowania i ekspansji eksportowej. Wyniki sprawdzono w pięciu scenariuszach wag, a następnie skorygowano o poziom zaufania do danych. Pozwala to ograniczyć wpływ pojedynczych założeń oraz odróżnić sektory o silnych i bezpośrednich podstawach statystycznych od tych, których ocena nadal opiera się częściowo na danych zastępczych. Kolejne etapy oceny, od zakresu analizy do rankingu i wniosków, przedstawia poniższy schemat.

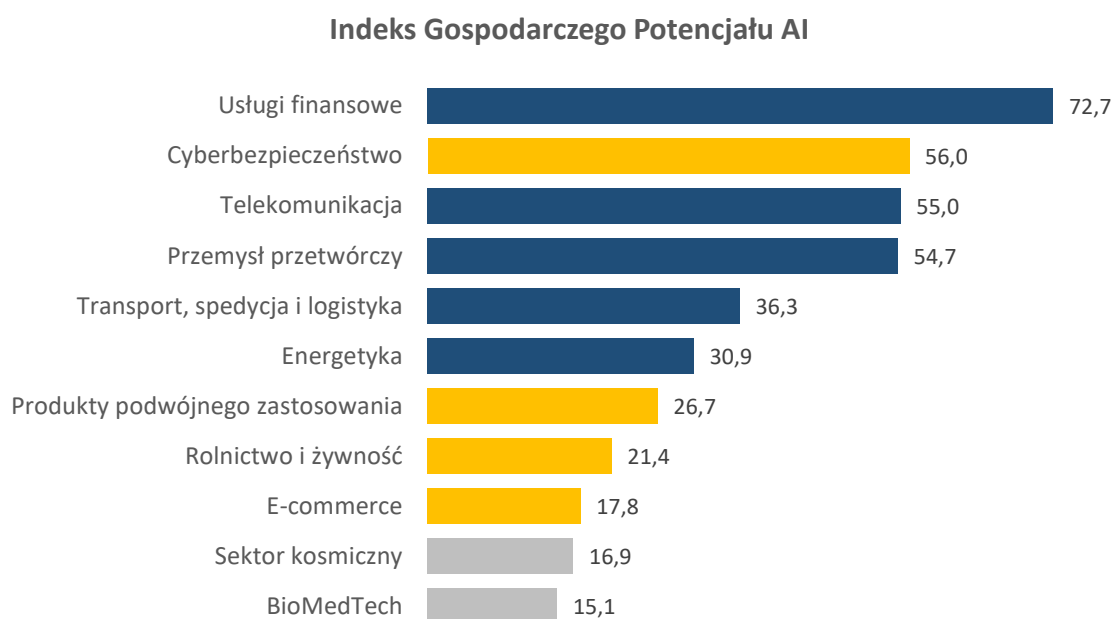


Ranking jest narzędziem priorytetyzacji — nie oceną „wartości” sektorów

13.4. Ranking sektorów i obszarów według IGP AI

Ranking oparty na Indeksie Gospodarczego Potencjału AI wskazuje istotne różnice między analizowanymi sektorami i obszarami. Najwyższe wyniki uzyskały sektory łączące duże znaczenie gospodarcze z wysoką gotowością technologiczną, dostępem do danych oraz możliwością szybkiego skalowania zastosowań AI. Na czele zestawienia znalazły się usługi finansowe, które osiągnęły najwyższą wartość indeksu.

Usługi finansowe osiągnęły najwyższy wynik w rankingu IGP AI, uzyskując 72,7 pkt. Przewaga tego sektora wynika przede wszystkim z bardzo wysokiej gotowości do wdrażania rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji, wysokiego poziomu wynagrodzeń oraz dużego znaczenia systemowego dla gospodarki. Banki, zakłady ubezpieczeń i inne instytucje finansowe dysponują rozbudowanymi zasobami danych, dojrzałą infrastrukturą cyfrową oraz wieloletnim doświadczeniem w automatyzacji procesów. Tworzy to korzystne warunki do skalowania zastosowań AI w obszarach takich jak ocena ryzyka, wykrywanie nadużyć, obsługa klienta, analiza dokumentów czy wspomaganie procesów decyzyjnych. Pozycja sektora pozostaje stabilna we wszystkich analizowanych scenariuszach. Należy jednak zaznaczyć, że część danych dotyczących wykorzystania AI odnosi się przede wszystkim do sektora bankowego, który jest najlepiej opisany w dostępnych źródłach. Pełne zestawienie wyników wszystkich analizowanych sektorów i obszarów pokazuje poniższy wykres.



Kolejne miejsce zajęło **cyberbezpieczeństwo** z wynikiem 56 pkt, natomiast **telekomunikacja** uzyskała jedynie punkt mniej, osiągając 55 pkt. Oba sektory stanowią fundament bezpiecznej gospodarki cyfrowej oraz infrastrukturę niezbędną do rozwoju AI. Cyberbezpieczeństwo osiąga wysokie wyniki w obszarach kompetencji, gotowości technologicznej, znaczenia systemowego oraz możliwości skalowania usług. Telekomunikacja wyróżnia się natomiast dojrzałością cyfrową, krytycznym znaczeniem infrastrukturalnym oraz potencjałem wykorzystania AI do zarządzania sieciami, prognozowania obciążeń, wykrywania awarii i automatyzacji obsługi klientów.

Pozycje cyberbezpieczeństwa i telekomunikacji należy jednak traktować jako przejściowe. W obu przypadkach brakuje w pełni porównywalnych miar znaczenia gospodarczego, a część wskaźników dotyczących rynku pracy i wykorzystania AI opiera się na szerszych danych dla sektora ICT.

Z wynikiem zbliżonym do telekomunikacji, na kolejnej pozycji uplasował się **przemysł przetwórczy** (54,7 pkt). Jest to jednocześnie najwyżej sklasyfikowany sektor posiadający pełny i w dużej mierze bezpośredni zestaw danych. Jego mocnymi stronami są duża skala gospodarcza, wysoki potencjał eksportowy oraz możliwość szerokiego zastosowania AI w utrzymaniu predykcijnym, kontroli jakości, robotyce, planowaniu produkcji i optymalizacji zużycia energii. Relatywnie niski poziom bieżącego wykorzystania AI obniża pozycję przemysłu w rankingu, ale jednocześnie wskazuje na znaczną przestrzeń do interwencji publicznej i wzrostu produktywności. Przemysł powinien być zatem postrzegany jako jeden z najważniejszych obszarów wspierania absorpcji AI.

Transport, spedycja i logistyka uzyskały wynik 36,3 pkt, natomiast **energetyka** 30,9 pkt. Oba sektory mają duże znaczenie systemowe i szeroki katalog potencjalnych zastosowań AI. W transporcie i logistyce obejmują one między innymi planowanie tras, prognozowanie popytu, automatyzację magazynów oraz zarządzanie łańcuchami dostaw. Niska bieżąca gotowość do wykorzystania AI ogranicza wynik sektora, ale równocześnie wskazuje na znaczną lukę absorpcyjną.

W energetyce AI może wspierać prognozowanie produkcji i zapotrzebowania na energię, zarządzanie siecią, integrację odnawialnych źródeł energii, predykcję awarii oraz poprawę efektywności systemu. Relatywnie odległa pozycja w rankingu nie oznacza jednak niewielkiego znaczenia tego sektora. Choć energetyka nie należy obecnie do liderów wykorzystania AI, jej strategiczna rola sprawia, że wdrożenia związane z prognozowaniem, zarządzaniem siecią, utrzymaniem predykcijnym infrastruktury oraz integracją OZE mogą przynosić korzyści wykraczające daleko poza sam sektor.

Produkty podwójnego zastosowania (dual-use) uzyskały 26,7 pkt. Ich pozycję wspierają potencjał eksportowy oraz znaczenie strategiczne, natomiast obniżają ją brak pełnych danych gospodarczych i niejednoznaczne granice analizowanego obszaru. Na potrzeby analizy do tej kategorii zaliczono m.in. elektronikę, drony, sensory, systemy komunikacyjne oraz technologie mogące znaleźć zastosowanie zarówno cywilne, jak i wojskowe. W przypadku pogłębionych analiz konieczne jest stworzenie zweryfikowanego rejestru przedsiębiorstw i produktów.

Obszar rolnictwa i żywności uzyskał 21,39 pkt. Obszar ten został zdefiniowany jako cały łańcuch rolno-spożywczy, obejmujący m.in. rolnictwo oraz produkcję żywności i napojów. Jego skala gospodarcza jest znacząca, jednak niska gotowość wdrożeniowa oraz braki danych dotyczących eksportu obniżają końcowy wynik. Jednocześnie zastosowania AI, takie jak rolnictwo precyzyjne, monitoring upraw, prognozowanie plonów, kontrola jakości czy optymalizacja łańcuchów dostaw, wskazują na duży potencjał absorpcyjny, zwłaszcza w przypadku odpowiednio ukierunkowanych programów pilotażowych.

Dziewiąte miejsce zajmuje **e-commerce** z wynikiem 17,78 pkt. Pozycję tę należy interpretować ostrożnie, ponieważ handel elektroniczny nie stanowi odrębnego sektora gospodarki, lecz kanał sprzedaży wykorzystywany w wielu branżach. Z tego względu zasadne jest traktowanie e-commerce jako obszaru horyzontalnego, w którym AI może wspierać personalizację oferty, prognozowanie popytu, działania marketingowe, obsługę klienta, płatności oraz logistykę.

BioMedTech oraz **sektor kosmiczny** również zostały uwzględnione w rankingu (mimo że pokrycie dostępnych danych wyniosło 55%, a więc mniej niż przyjęty próg 70%). Obszary te mają bowiem bardzo duży potencjał rozwojowy. Oba są istotne z punktu widzenia innowacyjności, bezpieczeństwa oraz rozwoju technologii zaawansowanych. Ich wiarygodne porównanie z pozostałymi sektorami wymaga jednak opracowania spójnych definicji, stworzenia zweryfikowanych baz podmiotów oraz pozyskania danych dotyczących skali działalności i potencjału rozwojowego.

Sektor BioMedTech w Polsce charakteryzuje się dużą aktywnością innowacyjną, działa tu około 100 startupów medycznych oraz liczne ośrodki CRO prowadzące badania kliniczne dla globalnych firm.

Rozwijane są specjalizacje akademickie z zakresu biocybernetyki, bioinżynierii czy informatyki medycznej.

Rozwojowi sektora BioMedTech sprzyja także fakt, że Polska jako członek Unii Europejskiej, dysponuje stabilnym otoczeniem regulacyjnym, odporną gospodarką i silnym zapleczem kadrowym. Jest również ważnym hubem logistycznym i eksportowym, a jej firmy medtech notują systematyczne wzrosty przychodów. Kraj wyróżnia się dużą liczbą ośrodków badawczo-rozwojowych, studentów kierunków medycznych i technicznych oraz ścisłą współpracą między sektorem IT a przemysłem biomedycznym, co sprzyja rozwojowi sztucznej inteligencji w ochronie zdrowia.

13.5. Indeks Gospodarczego Potencjału AI - podsumowanie

Wyniki rankingu pozwalają wyróżnić kilka grup sektorów i obszarów o odmiennych potrzebach rozwojowych. Usługi finansowe są najlepiej przygotowane do szybkiego skalowania zaawansowanych zastosowań AI. Cyberbezpieczeństwo i telekomunikacja powinny być traktowane jako strategiczna infrastruktura rozwoju AI. Przemysł przetwórczy, transport, energetyka, rolnictwo i żywność stanowią przede wszystkim obszary dużego potencjału absorpcyjnego, w których kluczowe znaczenie mogą mieć pilotaże, dostęp do infrastruktury obliczeniowej, rozwój kompetencji oraz wsparcie wdrożeń. Produkty podwójnego zastosowania, BioMedTech i sektor kosmiczny stanowią obszary o istotnym potencjale strategicznym, których dalsza ocena i projektowanie instrumentów wsparcia wymagają jednak lepszej identyfikacji przedsiębiorstw i bardziej precyzyjnych baz danych.

Przedstawiony ranking pozwala porównać sektory i obszary pod względem ich znaczenia gospodarczego, sytuacji na rynku pracy, gotowości do wdrażania AI, znaczenia systemowego oraz możliwości skalowania rozwiązań. Z punktu widzenia polityki rozwoju sztucznej inteligencji jest to jednak dopiero pierwsza warstwa oceny. Wysoka pozycja w rankingu nie musi automatycznie oznaczać, że rozwój danego obszaru będzie wzmacniał niezależność technologiczną Polski – może on nadal pozostawać zależny od zagranicznych modeli, infrastruktury chmurowej, półprzewodników, danych lub platform cyfrowych. Z kolei sektor o niższym wyniku gospodarczym może mieć znaczenie strategiczne, jeżeli dostarcza energię, łączność, infrastrukturę, komponenty lub dane niezbędne do funkcjonowania całego ekosystemu AI.

Dlatego analiza zostaje uzupełniona o perspektywę suwerenności, rozumianej jako zdolność do utrzymania funkcji krytycznych, kontroli nad kluczowymi zasobami oraz samodzielnego rozwijania, wdrażania i zastępowania rozwiązań AI. Perspektywa ta nie zastępuje oceny potencjału gospodarczego, lecz uzupełnia ją o wymiar strategiczny, niezbędny do wyznaczania priorytetów polityki publicznej.

14. Suwerenność jako kryterium rozwoju AI w sektorach kluczowych

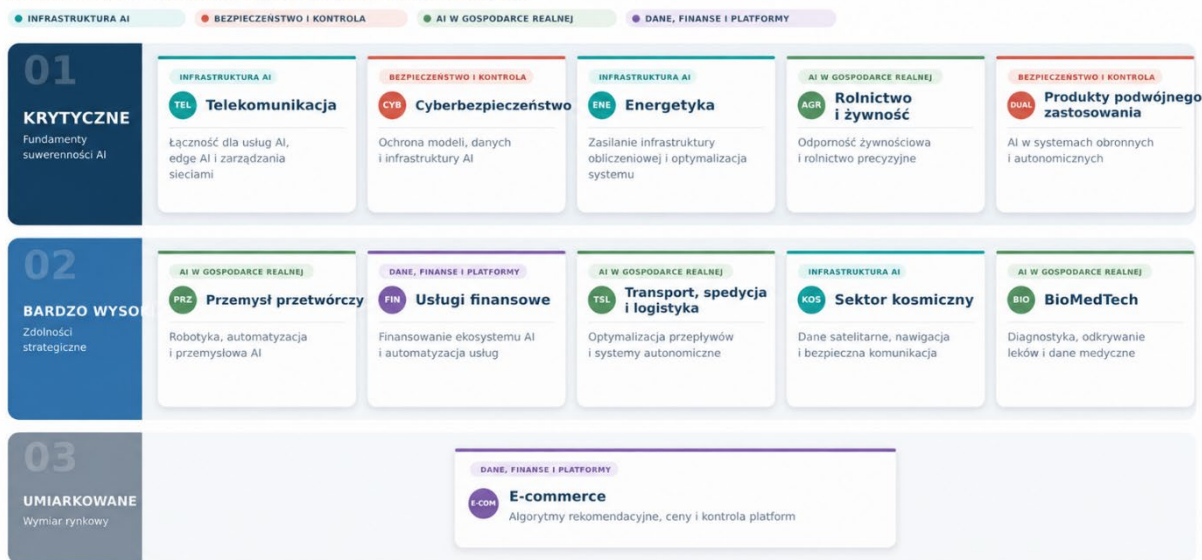
Na potrzeby analizy suwerenność należy rozumieć nie jako pełną samowystarczalność technologiczną, lecz jako zdolność państwa do utrzymania kluczowych funkcji, swobodnego podejmowania decyzji oraz rozwijania i wykorzystywania systemów AI bez nadmiernej zależności od pojedynczych zagranicznych dostawców infrastruktury, modeli, danych lub oprogramowania.

Z perspektywy polityki rozwoju AI sektory i obszary strategiczne powinny być oceniane dwutorowo. Po pierwsze, część z nich tworzy warunki niezbędne do rozwoju AI – dostarcza energię, łączność, moce obliczeniowe, komponenty, kapitał i dane. Po drugie, są one rynkami zastosowania AI, w których technologia może podnosić produktywność, poprawiać bezpieczeństwo i ograniczać zależności importowe. Jednocześnie niewłaściwy model wdrażania AI może prowadzić do nowych uzależnień od zagranicznych chmur, modeli, platform i zamkniętych standardów [281]–[287].

Takie podejście odpowiada kierunkowi europejskiej strategii Apply AI, która łączy rozwój zastosowań sektorowych ze wzmacnianiem suwerenności technologicznej. Wśród sektorów strategicznych wymienia ona m.in. przemysł, energetykę, transport, rolnictwo i żywność, ochronę zdrowia, telekomunikację, bezpieczeństwo, obronność i sektor kosmiczny. Przyjęty podział sektorów i obszarów według znaczenia dla suwerenności oraz rozwoju AI syntetyzuje poniższa mapa.

Mapa znaczenia sektorów i obszarów dla suwerenności oraz rozwoju AI w Polsce

Poziom znaczenia x rola pełniona w krajowym ekosystemie sztucznej inteligencji



Poziom znaczenia odzwierciedla rolę sektora lub obszaru w odporności państwa oraz w tworzeniu warunków do rozwoju i bezpiecznego wykorzystania sztucznej inteligencji.

Źródło: opracowanie własne.

Telekomunikacja – znaczenie krytyczne

Telekomunikacja jest podstawową warstwą infrastrukturalną gospodarki cyfrowej i warunkiem skalowania zastosowań AI. Dostęp do szybkich i niezawodnych sieci umożliwia przesyłanie danych do centrów obliczeniowych, korzystanie z modeli AI w chmurze oraz rozwój rozwiązań edge AI, w których część obliczeń odbywa się blisko użytkownika, maszyny lub urządzenia.

Jednocześnie sama AI może wspierać zarządzanie sieciami – prognozować ruch, wykrywać awarie, optymalizować zużycie energii i automatyzować reagowanie na incydenty. Powstaje jednak ryzyko przeniesienia kontroli operacyjnej do zamkniętych systemów dostarczanych przez zagranicznych producentów. Komisja Europejska wskazuje już na ryzyka wynikające z trwałej zależności od dostawców wysokiego ryzyka w sieciach 5G [288].

Z perspektywy polityki AI szczególnie istotne jest wspieranie rozwiązań do zarządzania sieciami rozwijanych lub kontrolowanych w Polsce i UE, otwartych interfejsów, interoperacyjności oraz możliwości przeniesienia systemu AI do innego środowiska. Telekomunikacja jest zatem jednocześnie infrastrukturą dla AI i strategicznym rynkiem jej zastosowania.

Energetyka – znaczenie krytyczne

Energetyka i AI tworzą zależność dwustronną. Bez stabilnych i dostępnych cenowo dostaw energii nie jest możliwe rozwijanie centrów danych, Fabryk AI ani infrastruktury obliczeniowej. IEA (Międzynarodowa Agencja Energetyczna) określa tę relację wprost: nie ma AI bez energii elektrycznej dla centrów danych. Jednocześnie AI może zmienić sposób zarządzania produkcją, sieciami i zużyciem energii [292].

AI może wspierać prognozowanie produkcji ze źródeł odnawialnych, bilansowanie systemu, wykrywanie awarii, zarządzanie magazynami oraz elastycznością popytu. Zastosowania te mogą zwiększać bezpieczeństwo energetyczne, ale mogą również tworzyć zależność od zagranicznych systemów analitycznych posiadających dostęp do wrażliwych danych operacyjnych.

Polityka rozwoju AI powinna więc łączyć inwestycje w moce obliczeniowe z polityką energetyczną. Konieczne jest zapewnienie odpowiedniej mocy przyłączeniowej, przewidywalnych dostaw energii dla infrastruktury AI oraz kontroli nad algorytmami wykorzystywanymi do zarządzania siecią i infrastrukturą krytyczną.

Cyberbezpieczeństwo (obszar przekrojowy) – znaczenie krytyczne

Cyberbezpieczeństwo jest warunkiem bezpiecznego wykorzystania AI we wszystkich pozostałych sektorach. Obejmuje zarówno stosowanie AI do ochrony systemów, jak i zabezpieczanie samych modeli AI przed kradzieżą, manipulacją danymi, zatrutowaniem zbiorów treningowych, atakami na łańcuch dostaw i nieuprawnionym dostępem.

AI może zwiększać zdolność do wykrywania anomalii, analizy złośliwego oprogramowania i automatyzacji reagowania na incydenty. Jednocześnie podobne narzędzia są wykorzystywane przez atakujących do automatyzacji socjotechniki, tworzenia fałszywych treści i wyszukiwania podatności. ENISA wskazuje na rosnące znaczenie zagrożeń dotyczących infrastruktury cyfrowej, technologii operacyjnych i łańcuchów dostaw [293].

Polityka AI powinna wspierać krajowe modele i zbiory danych przeznaczone dla cyberbezpieczeństwa, rozwój kompetencji w zakresie bezpieczeństwa modeli oraz obowiązkowe testowanie rozwiązań AI stosowanych w infrastrukturze krytycznej. Cyberbezpieczeństwo nie powinno być traktowane jedynie jako zastosowanie AI, ale jako zabezpieczenie całego krajowego ekosystemu AI.

Produkty podwójnego zastosowania (obszar przekrojowy) – znaczenie krytyczne

AI sama w sobie jest technologią podwójnego zastosowania. Może być wykorzystywana w logistyce, przemyśle i medycynie, ale również w dronach, systemach obserwacji, analizie rozpoznawczej, cyberbezpieczeństwie, komunikacji i systemach wspomagania decyzji.

O suwerenności decyduje w tym przypadku możliwość samodzielnego trenowania, dostosowywania, testowania i aktualizowania modeli oraz wdrażania ich na urządzeniach działających lokalnie, bez stałego połączenia z zagraniczną chmurą. Istotny jest także dostęp do procesorów, sensorów i danych treningowych. Technologie podwójnego zastosowania są objęte kontrolą eksportową właśnie ze względu na ich znaczenie dla bezpieczeństwa [296].

Polityka AI powinna wspierać mechanizmy przenoszenia rozwiązań pomiędzy rynkiem cywilnym i obronnym, zamówienia budujące krajowe kompetencje oraz testowanie systemów autonomicznych w kontrolowanych warunkach. Zakup gotowego rozwiązania zagranicznego może zwiększyć bieżące zdolności, ale nie zawsze buduje długoterminową suwerenność.

Rolnictwo i żywność (obszar przekrojowy) – znaczenie krytyczne

AI może zwiększać odporność sektora rolno-spożywczego poprzez rolnictwo precyzyjne, prognozowanie plonów i chorób, optymalizację nawożenia i zużycia wody, kontrolę jakości produkcji oraz lepsze zarządzanie łańcuchem dostaw [298].

Jednocześnie cyfryzacja rolnictwa może tworzyć nowe zależności. Dane z gospodarstw, maszyn, gleby i upraw coraz częściej trafiają do platform producentów urządzeń lub oprogramowania. Jeżeli dane nie mogą być przenoszone i ponownie wykorzystywane, gospodarstwo może zostać trwale związane z jednym dostawcą technologii.

Polityka AI powinna wspierać interoperacyjność maszyn i systemów rolniczych, dostęp do krajowych danych meteorologicznych, glebowych i satelitarnych oraz rozwiązania możliwe do stosowania także przez mniejsze gospodarstwa. Obszar rolnictwa i żywności nie jest kluczowym dostawcą infrastruktury AI, ale stanowi strategiczny rynek zastosowań, w którym AI może bezpośrednio zwiększać bezpieczeństwo żywnościowe.

Usługi finansowe – znaczenie bardzo wysokie

Sektor finansowy pełni podwójną rolę. Zapewnia kapitał potrzebny do rozwoju przedsiębiorstw AI, centrów danych i projektów infrastrukturalnych, a zarazem sam jest jednym z największych potencjalnych odbiorców rozwiązań AI. Technologia może wspierać wykrywanie oszustw, przeciwdziałanie praniu pieniędzy, ocenę ryzyka, obsługę klientów i automatyzację procesów regulacyjnych.

Ryzyko suwerennościowe powstaje wtedy, gdy krytyczne procesy finansowe opierają się na zewnętrznych usługach chmurowych i modelach, których sposobu działania instytucja nie może w pełni wyjaśnić, skontrolować lub przenieść do innego środowiska. Regulacja DORA odnosi się m.in. do systemowego ryzyka koncentracji związanego z zależnością sektora finansowego od ograniczonej liczby dostawców ICT [289].

Polityka AI powinna zatem wspierać bezpieczne przestrzenie testowania rozwiązań finansowych, modele dostosowane do polskiego języka i otoczenia regulacyjnego oraz mechanizmy umożliwiające kontrolę danych, audyt algorytmów i zmianę dostawcy.

Przemysł przetwórczy – znaczenie bardzo wysokie

Przemysł jest obszarem, w którym AI może bezpośrednio przełożyć się na produktywność gospodarki. Najważniejsze zastosowania obejmują robotykę, systemy wizyjne, predykcyjne utrzymanie ruchu, kontrolę jakości, cyfrowe bliźniaki, optymalizację produkcji i zarządzanie zużyciem energii.

Z perspektywy suwerenności kluczowe jest jednak to, kto kontroluje dane produkcyjne, modele oraz wiedzę o procesach. Jeżeli przedsiębiorstwo korzysta wyłącznie z zamkniętej zagranicznej platformy, wdrożenie może zwiększyć jego efektywność, ale jednocześnie uzależnić modernizację fabryki od jednego dostawcy. Szczególne znaczenie ma również dostęp do półprzewodników, czujników, elektroniki mocy i urządzeń edge AI. UE odpowiada obecnie za około 10% światowego rynku półprzewodników, co pokazuje skalę zależności technologicznej [290]–[291].

W polityce AI przemysł powinien być traktowany jako jeden z głównych obszarów wdrożeniowych. Wsparcie powinno obejmować krajowych integratorów, wspólne zasoby danych przemysłowych, dostęp do Fabryk AI, otwarte standardy oraz projekty, które po pilotażu mogą zostać zastosowane w większej liczbie przedsiębiorstw.

Transport, spedycja i logistyka – znaczenie bardzo wysokie

AI może istotnie zwiększyć sprawność transportu przez optymalizację tras, wykorzystania floty i przepustowości infrastruktury, prognozowanie popytu, predykcyjne utrzymanie pojazdów oraz automatyzację portów, magazynów i terminali. W dłuższej perspektywie znaczenie będą miały również systemy autonomiczne.

Zależność od zagranicznych platform logistycznych, systemów mapowych, danych lokalizacyjnych, systemów zarządzania flotą i algorytmów optymalizacyjnych może jednak ograniczać możliwość samodzielnego działania w sytuacji kryzysowej. Jest to szczególnie istotne dla Polski jako państwa tranzytowego i zaplecza logistycznego wschodniej flanki UE i NATO. System TEN-T uwzględnia także podwójne, cywilne i wojskowe wykorzystanie infrastruktury.

Z punktu widzenia polityki AI transport powinien być obszarem rozwoju krajowych zbiorów danych mobilności, cyfrowych bliźniaków infrastruktury oraz rozwiązań, które mogą być stosowane zarówno w logistyce cywilnej, jak i zarządzaniu kryzysowym.

Sektor kosmiczny (obszar przekrojowy) – znaczenie bardzo wysokie

Sektor kosmiczny dostarcza danych i infrastruktury wykorzystywanych przez systemy AI w transporcie, rolnictwie, energetyce, obronności, zarządzaniu kryzysowym i ochronie środowiska. Dane satelitarne nabierają pełnej wartości dopiero wtedy, gdy mogą być automatycznie analizowane – przykładowo w celu wykrywania pożarów, zmian infrastruktury, strat w uprawach lub ruchu jednostek.

AI jest również wykorzystywana bezpośrednio na satelitach do selekcji i wstępnej analizy danych, zarządzania misją i autonomicznego reagowania na zdarzenia. Europejska strategia kosmiczna podkreśla znaczenie autonomicznego dostępu do usług, ochrony infrastruktury i ograniczania zależności technologicznych [294]– [295].

Polityka AI powinna łączyć dostęp do danych Copernicus, Galileo i przyszłego systemu IRIS² z rozwojem polskich modeli analitycznych, segmentu naziemnego i aplikacji sektorowych. Sama możliwość odbierania zagranicznych danych nie zapewnia suwerenności, jeżeli ich interpretacja jest uzależniona od zewnętrznych platform.

BioMedTech (obszar przekrojowy) – znaczenie bardzo wysokie

AI może wspierać diagnostykę obrazową, wykrywanie chorób, projektowanie leków, personalizację terapii i zarządzanie pracą placówek medycznych. BioMedTech jest jednocześnie obszarem, w którym Polska może wykorzystywać kompetencje naukowe oraz dostęp do danych zdrowotnych i badań klinicznych [297].

Najważniejszym wymiarem suwerenności jest kontrola nad danymi pacjentów, możliwość sprawdzenia działania modelu oraz walidacja rozwiązania na polskiej populacji. Model wytrenowany na danych z innych państw może być mniej skuteczny w lokalnych warunkach. Nadmierna zależność od zagranicznych platform diagnostycznych może natomiast ograniczać możliwość rozwoju krajowych badań i rozwiązań medycznych.

Polityka AI powinna wspierać bezpieczne przestrzenie danych zdrowotnych, anonimizację i wykorzystanie danych do badań, infrastrukturę obliczeniową dla BioMedTech oraz ośrodki walidacji systemów AI. Kierunek ten jest spójny z European Health Data Space.

E-commerce (obszar przekrojowy) – znaczenie umiarkowane

W e-commerce AI jest już podstawowym mechanizmem działania platform. Odpowiada za rekomendacje produktów, pozycjonowanie ofert, ceny, reklamy, prognozowanie popytu, wykrywanie oszustw i automatyzację logistyki.

Z perspektywy suwerenności istotne jest, że algorytmy globalnych platform mogą decydować o dostępie polskich przedsiębiorstw do klientów. Platforma kontrolująca dane, reklamę, płatności i system rekomendacyjny uzyskuje znaczącą przewagę nad sprzedawcami. W 2025 r. do UE trafiło prawie 5,9 mld przesyłek e-commerce o niskiej wartości, z czego 93% pod względem liczby pochodziło z Chin [299].

E-commerce nie powinien otrzymywać takiego samego priorytetu suwerennościowego jak energetyka, telekomunikacja czy cyberbezpieczeństwo. Może jednak być ważnym polem szybkiego wdrażania AI przez MŚP, budowania narzędzi dla polskiego języka i rynku oraz ograniczania zależności przedsiębiorstw od zamkniętych algorytmów największych platform.

15. Potencjalne priorytety polityki AI

Uwzględnienie suwerenności zmienia sposób interpretowania rankingu sektorów. Priorytetem nie powinny być wyłącznie sektory, w których AI może przynieść największy wzrost produktywności. Należy uwzględnić również obszary, bez których nie będzie możliwe rozwijanie i bezpieczne wykorzystywanie AI: energetykę, telekomunikację, cyberbezpieczeństwo, infrastrukturę obliczeniową oraz przemysłowe łańcuchy dostaw.

Z tego punktu widzenia można wyróżnić trzy grupy:

1. **Fundamenty suwerennego ekosystemu AI** – energetyka, telekomunikacja, cyberbezpieczeństwo, moce obliczeniowe i wybrane segmenty przemysłu.
2. **Strategiczne obszary zastosowania AI** – przemysł, transport, finanse, BioMedTech, rolnictwo i żywność, w których AI może zwiększać produktywność i odporność całej gospodarki.
3. **Obszary bezpieczeństwa i zdolności państwa** – technologie podwójnego zastosowania i sektor kosmiczny, w których kontrola nad modelami, danymi i infrastrukturą ma bezpośrednie znaczenie dla autonomii decyzyjnej.

Polityka AI nie powinna wymagać krajowego pochodzenia każdego komponentu. Minimalnym warunkiem powinno być jednak zachowanie kontroli nad krytycznymi danymi, architekturą wdrożenia i sposobem wykorzystania modelu, a także możliwość jego audytu, modyfikacji i zastąpienia. **Finansowanie publiczne**

powinno w szczególności wspierać rozwiązania, które pozostawiają w Polsce wiedzę, własność intelektualną, kompetencje integracyjne oraz możliwość dalszego skalowania.

O sukcesie polityki nie powinna decydować liczba pilotaży, lecz liczba rozwiązań faktycznie wdrożonych w sektorach, udział polskich i europejskich dostawców, wartość wytworzona w kraju oraz stopień ograniczenia krytycznych zależności technologicznych. **W tym znaczeniu ranking należy traktować jako narzędzie wyboru tych obszarów, w których inwestycje w AI mogą jednocześnie wzmacniać konkurencyjność, odporność i suwerenność Polski.**

Bibliografia

- [1] Urząd Regulacji Energetyki, „Prezes Urzędu Regulacji Energetyki publikuje Raport Krajowy za 2025 rok”, 5 sierpnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/13383%2CPrezes-Urzedu-Regulacji-Energetyki-publikuje-Raport-Krajowy-za-2025-rok.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [2] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, „Projekt nowego Planu rozwoju sieci przesyłowej na lata 2025–2034 uzgodniony”, 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.pse.pl/-/projekt-nowego-planu-rozwoju-sieci-przesylowej-na-lata-2025-2034-uzgodniony> [dostęp: 17.08.2026].
- [3] Urząd Regulacji Energetyki, „W Polsce mamy już ponad 1,6 mln mikroinstalacji OZE”, 19 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/13173%2CRaport-URE-w-Polsce-mamy-juz-ponad-16-mln-mikroinstalacji-OZE.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [4] Urząd Regulacji Energetyki, „W 2025 r. w małych instalacjach OZE wytworzono blisko 5,5 TWh energii”, 7 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.ure.gov.pl/pl/urząd/informacje-ogolne/aktualnosci/13289%2CRaport-URE-w-2025-r-w-malych-instalacjach-OZE-wytworzono-blisko-55-TWh-energii.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [5] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, „Redysponowanie Nierynkowe”, stan na 14 sierpnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.pse.pl/redysponowanie-nierynkowe> [dostęp: 17.08.2026].
- [6] Polskie Sieci Elektroenergetyczne, „Komunikat dotyczący prawa do rekompensaty za redysponowanie nierynkowe instalacji fotowoltaicznych w dniach 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 i 27 lipca 2026 r.”, 28 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.pse.pl/-/komunikat-dotyczacy-prawa-do-rekompensaty-za-redysponowanie-nierynkowe-instalacji-fotowoltaicznych-w-dniach-20-21-22-23-24-25-26-i-27-lipca-2026-r-> [dostęp: 17.08.2026].
- [7] International Energy Agency, Electricity 2026, 6 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.iea.org/reports/electricity-2026> [dostęp: 17.08.2026].
- [8] International Energy Agency, Key Questions on Energy and AI, 16 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.iea.org/reports/key-questions-on-energy-and-ai> [dostęp: 17.08.2026].
- [9] International Energy Agency, Energy and AI, 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai> [dostęp: 17.08.2026].
- [10] Komisja Europejska, Strategic Roadmap for Digitalisation and Artificial Intelligence in the Energy Sector, COM(2026) 501 final, 3 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://energy.ec.europa.eu/document/download/fbe97b7a-20ff-4361-a8b2-9a4055695f3a_en?filename=COM_2026_501_1_EN_ACT_part1_v9.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [11] Komisja Europejska, „Commission presents measures to digitalise Europe's energy system while ensuring sustainable AI development”, 3 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://energy.ec.europa.eu/news/commission-presents-measures-digitalise-europes-energy-system-while-ensuring-sustainable-2026-06-03_en [dostęp: 17.08.2026].
- [12] Komisja Europejska, National Energy and Climate Plans, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://energy.ec.europa.eu/strategy/energy-union/national-energy-and-climate-plans_en [dostęp: 17.08.2026].
- [13] Komisja Europejska, 2026 State of the Digital Decade package, 3 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/2026-state-digital-decade-package> [dostęp: 17.08.2026].
- [14] Komisja Europejska, Digital Decade 2026 report – country fact pages, 17 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/digital-decade-2026-report-country-fact-pages> [dostęp: 17.08.2026].
- [15] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2024/1689 ustanawiające zharmonizowane przepisy dotyczące sztucznej inteligencji, tekst skonsolidowany z 27 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A02024R1689-20260727> [dostęp: 17.08.2026].
- [16] Komisja Europejska, NIS2 Directive: securing network and information systems, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/nis2-directive> [dostęp: 17.08.2026].
- [17] The White House, America's AI Action Plan, lipiec 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2025/07/Americas-AI-Action-Plan.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [18] U.S. Department of Energy, AI for Energy, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.energy.gov/cet/articles/ai-energy> [dostęp: 17.08.2026].
- [19] Innovation, Science and Economic Development Canada, Canada's National Artificial Intelligence Strategy: AI for All, 8 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ised-isde.canada.ca/site/ised/en/canadas-national-artificial-intelligence-strategy-ai-all> [dostęp: 17.08.2026].
- [20] Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan, „Joint Statement on the Launch of the Japan–U.S. Strategic Dialogue on 'Watt-Bit Collaboration'”, 12 czerwca 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.meti.go.jp/english/press/2025/0612_001.html [dostęp: 17.08.2026].

- [21] State Council Information Office, China, „SCIO briefing on promoting high-quality development: National Data Administration”, 13 sierpnia 2024 r. [Online]. Dostępny: https://english.scio.gov.cn/m/pressroom/2024-08/13/content_117363927_3.htm [dostęp: 17.08.2026].
- [22] Ministry of Science and ICT, Republic of Korea, National AI Strategy Policy Directions, 26 września 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.msit.go.kr/eng/bbs/view.do?bbsSeqNo=42&mId=4&mPid=2&nttSeqNo=1040&sCode=eng> [dostęp: 17.08.2026].
- [23] Department for Science, Innovation and Technology, United Kingdom, AI Energy Council: Terms of Reference, 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/ai-energy-council-terms-of-reference/ai-energy-council-terms-of-reference> [dostęp: 17.08.2026].
- [24] Australian Government, National AI Plan, 2 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.industry.gov.au/publications/national-ai-plan> [dostęp: 17.08.2026].
- [25] Smart Nation Singapore, National AI Strategy, aktualizacja z maja 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.smartnation.gov.sg/initiatives/national-ai-strategy/> [dostęp: 17.08.2026].
- [26] Główny Urząd Statystyczny, Społeczeństwo informacyjne w Polsce w 2025 r., 21 października 2025 r. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5497/2/15/1/spoleczenstwo_informacyjne_w_polsce_w_2025_r..pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [27] Eurostat, „20% of EU enterprises use AI technologies”, 11 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251211-2> [dostęp: 17.08.2026].
- [28] Komisja Europejska, Poland's 2026 Digital Decade Country Report, 17 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/factpages/polands-2026-digital-decade-country-report> [dostęp: 17.08.2026].
- [29] Eurostat, E-commerce statistics, dane przedsiębiorstw za 2024 r., aktualizacja 2026 r. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=E-commerce_statistics [dostęp: 17.08.2026].
- [30] Eurostat, Digitalisation in Europe – 2026 edition, 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/digitalisation-2026> [dostęp: 17.08.2026].
- [31] Urząd Komunikacji Elektronicznej, „Raport o stanie rynku pocztowego w 2025 r.”, 29 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://bip.uke.gov.pl/raporty/raport-o-stanie-rynku-pocztowego-w-2025-r-%2C112.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [32] Eurostat, Use of artificial intelligence in enterprises, dane za 2025 r., aktualizacja 2026 r. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Use_of_artificial_intelligence_in_enterprises [dostęp: 17.08.2026].
- [33] Komisja Europejska, „Tackling challenges with e-commerce imports”, 5 lutego 2025 r. [Online]. Dostępny: https://commission.europa.eu/news-and-media/news/tackling-challenges-e-commerce-imports-2025-02-05_en [dostęp: 17.08.2026].
- [34] Komisja Europejska, „Ensuring fairness and safety: €3 customs duty for low-value parcels”, 29 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://commission.europa.eu/news-and-media/news/ensuring-fairness-and-safety-eur3-customs-duty-low-value-parcels-2026-06-29_en [dostęp: 17.08.2026].
- [35] Rada Unii Europejskiej, „Taxation: Council adopts VAT in the digital age package”, 11 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2025/03/11/taxation-council-adopts-vat-in-the-digital-age-package/> [dostęp: 17.08.2026].
- [36] Komisja Europejska, Digital Services Act: keeping us safe online, 22 września 2025 r. [Online]. Dostępny: https://commission.europa.eu/news-and-media/news/digital-services-act-keeping-us-safe-online-2025-09-22_en [dostęp: 17.08.2026].
- [37] Komisja Europejska, Product safety, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://commission.europa.eu/topics/business-and-industry/product-safety_en [dostęp: 17.08.2026].
- [38] The State Council of the People's Republic of China, „China unveils three-year action plan to develop digital commerce”, 28 kwietnia 2024 r. [Online]. Dostępny: https://english.www.gov.cn/news/202404/28/content_WS662e469dc6d0868f4e8e6885.html [dostęp: 17.08.2026].
- [39] The State Council of the People's Republic of China, „China issues guideline on AI-enabled consumption”, 18 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://english.www.gov.cn/news/202606/18/content_WS6a33e5a0c6d00ca5f9a0bb00.html [dostęp: 17.08.2026].
- [40] Open Network for Digital Commerce, About ONDC, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ondc.org/about-ondc/> [dostęp: 17.08.2026].
- [41] Press Information Bureau, Government of India, „Cabinet approves India AI Mission”, 7 marca 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.pib.gov.in/PressReleaseIframePage.aspx?PRID=2012355> [dostęp: 17.08.2026].
- [42] UAE Government, Digital Economy Strategy, aktualizacja z 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://u.ae/en/about-the-uae/strategies-initiatives-and-awards/strategies-plans-and-visions/finance-and-economy/digital-economy-strategy> [dostęp: 17.08.2026].
- [43] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2021/821 ustanawiające unijny system kontroli wywozu produktów podwójnego zastosowania, tekst skonsolidowany z 15 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2021/821/2025-11-15/pol> [dostęp: 17.08.2026].

- [44] Polska Agencja Inwestycji i Handlu, Sektor wysokich technologii w obszarze bezpieczeństwa i towarów podwójnego zastosowania, 29 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.trade.gov.pl/wp-content/uploads/2025/07/RAPORT_Sektor-wysokich-technologii-w-obszarze-bezpieczenstwa-i-towarow-podwojnego-zastosowania_POL-1.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [45] NATO, Summary of NATO's revised Artificial Intelligence Strategy, 10 lipca 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.nato.int/en/about-us/official-texts-and-resources/official-texts/2024/07/10/summary-of-natos-revised-artificial-intelligence-ai-strategy> [dostęp: 17.08.2026].
- [46] Komisja Europejska, „Report highlights EU's continued efforts to improve effective control of exports of sensitive items”, 25 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://policy.trade.ec.europa.eu/news/report-highlights-eus-continued-efforts-improve-effective-control-exports-sensitive-items-2026-06-25_en [dostęp: 17.08.2026].
- [47] Ministerstwo Rozwoju i Technologii, „Kolejny krok w stronę łatwiejszego obrotu towarami strategicznymi”, 13 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/kolejny-krok-w-strone-latwiejszego-obrotu-towarami-strategicznymi> [dostęp: 17.08.2026].
- [48] Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej, „Zwiększymy w FENG wsparcie dla technologii obronnych i inwestycji podwójnego zastosowania”, 4 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/fundusze-regiony/zwiekszymy-w-feng-wsparcie-dla-technologie-obronnych-i-inwestycji-podwojnego-zastosowania> [dostęp: 17.08.2026].
- [49] Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, „30 mln zł na akcelerację startupów. Rusza nabór Startup Booster Poland – DeepTech Goes Dual”, 14 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.parp.gov.pl/component/content/article/90902%3A30-mln-zl-na-akceleracje-startupow-rusza-nabor-startup-booster-poland-deeptech-goes-dual> [dostęp: 17.08.2026].
- [50] Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej, Fundusz Bezpieczeństwa i Obronności, aktualizacja z 10 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.kpo.gov.pl/strony/o-kpo/reformy-i-inwestycje-mfipr-w-kpo/inwestycje/fundusz-bezpieczenstwa-i-obronnosci/> [dostęp: 17.08.2026].
- [51] Komisja Europejska, Dual-use technologies, 6 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation/dual-use-technologies_en [dostęp: 17.08.2026].
- [52] Komisja Europejska, White Paper for European Defence – Readiness 2030, 19 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-defence-industry/white-paper-european-defence-readiness-2030_en [dostęp: 17.08.2026].
- [53] Komisja Europejska, EU Defence Industry Transformation Roadmap, 19 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/513de692-d08c-40cc-80c3-cb6611ace178_en?filename=EU-Defence-Industry-Transformation-Roadmap.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [54] Komisja Europejska, „€115 million Programme for agile and rapid defence innovation (AGILE)”, 26 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu115-million-programme-agile-and-rapid-defence-innovation-agile-2026-03-26_en [dostęp: 17.08.2026].
- [55] Komisja Europejska, European Defence Fund Work Programme 2026, 17 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/document/download/3991ef09-1f18-44d1-baf5-dbe60bbb928a_en?filename=EDF+Work+Programme+2026.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [56] EU Defence Innovation Scheme, Spin-in Calls, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://eudis.europa.eu/eudis-tracks/spin-calls_en [dostęp: 17.08.2026].
- [57] NATO, Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic (DIANA), aktualizacja z 1 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.nato.int/en/about-us/organization/nato-structure/defence-innovation-accelerator-for-the-north-atlantic-diana> [dostęp: 17.08.2026].
- [58] NATO Innovation Fund, profil funduszu, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.nif.fund/> [dostęp: 17.08.2026].
- [59] U.S. Department of Defense, „CDAO and DIU Launch New Effort Focused on Accelerating DoD Adoption of AI Capabilities”, 11 grudnia 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3996199/cdao-and-diu-launch-new-effort-focused-on-accelerating-dod-adoption-of-ai-capab/> [dostęp: 17.08.2026].
- [60] UK Ministry of Defence, The Defence Investment Plan, 1 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6a44e989167a99cf0018da38/The_Defence_Investment_Plan.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [61] Government of Canada, Canada's Defence Industrial Strategy: Security, Sovereignty, Prosperity, 26 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.canada.ca/en/department-national-defence/corporate/reports-publications/industrial-strategy/security-sovereignty-prosperity.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [62] Ministry of Defense, Japan, Progress and Budget in Fundamental Reinforcement of Defense Capabilities, 2 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.mod.go.jp/en/d_act/d_budget/pdf/fy2026_20260302a.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [63] Press Information Bureau, Government of India, „Raksha Mantri at National Defence Industries Conclave 2026”, 19 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.pib.gov.in/PressReleasePage.aspx?PRID=2242398> [dostęp: 17.08.2026].
- [64] Ministry of Defence, Singapore, „Speech by Senior Minister of State for Defence Zaqq Mohamad”, 9 września 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.mindef.gov.sg/news-and-events/latest-releases/09sep25-speech/> [dostęp: 17.08.2026].

- [65] Australian Department of Defence, AUKUS Advanced Capabilities – Industry engagement, aktualizacja z 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.defence.gov.au/defence-activities/programs-initiatives/aukus-advanced-capabilities/industry-engagement> [dostęp: 17.08.2026].
- [66] Komisja Europejska, EU Action Plan on Cybersecurity and Artificial Intelligence, 7 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/eu-action-plan-cybersecurity-and-artificial-intelligence> [dostęp: 17.08.2026].
- [67] National Institute of Standards and Technology, Adversarial Machine Learning: A Taxonomy and Terminology of Attacks and Mitigations, NIST AI 100-2e2025, 24 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://csrc.nist.gov/pubs/ai/100/2/e2025/final> [dostęp: 17.08.2026].
- [68] National Institute of Standards and Technology, Cybersecurity Framework Profile for Artificial Intelligence, NIST IR 8596, projekt wstępny, grudzień 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://csrc.nist.gov/pubs/ir/8596/iprd> [dostęp: 17.08.2026].
- [69] Ministerstwo Cyfryzacji, „Krajobraz cyberprzestrzeni: sprawozdanie o stanie cyberbezpieczeństwa Polski za rok 2025”, 16 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/baza-wiedzy/krajobraz-cyberprzestrzeni-sprawozdanie-o-stanie-cyberbezpieczenstwa-polski-za-rok-2025> [dostęp: 17.08.2026].
- [70] European Union Agency for Cybersecurity, NIS Investments 2025, 8 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2025-12/NIS%20Investments%202025%20-%20Main%20report.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [71] Cybersecurity and Infrastructure Security Agency, Principles for the Secure Integration of Artificial Intelligence in Operational Technology, 3 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.cisa.gov/resources-tools/resources/principles-secure-integration-artificial-intelligence-operational-technology> [dostęp: 17.08.2026].
- [72] Ministerstwo Cyfryzacji, „Nowa strategia cyberbezpieczeństwa. Polska wzmacnia ochronę przed cyberatakami”, 10 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/nowa-strategia-cyberbezpieczenstwa-polska-wzmacnia-ochrone-przed-cyberatakami> [dostęp: 17.08.2026].
- [73] Ministerstwo Cyfryzacji, „Nowelizacja ustawy o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa zaczyna obowiązywać”, 2 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/novelizacja-ustawy-o-krajowym-systemie-cyberbezpieczenstwa-zaczyna-obowiazywac> [dostęp: 17.08.2026].
- [74] CERT Polska, Raport roczny z działalności CERT Polska w 2025 roku, 8 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://cert.pl/posts/2026/04/raport-roczny-2025/> [dostęp: 17.08.2026].
- [75] Ministerstwo Cyfryzacji, „Startuje nabór wniosków na Lokalne Centra Cyberbezpieczeństwa”, 31 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/baza-wiedzy/startuje-nabor-wnioskow-na-lokalne-centra-cyberbezpieczenstwa> [dostęp: 17.08.2026].
- [76] Komisja Europejska, Cyber Resilience Act, aktualizacja i wytyczne z 27 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/cyber-resilience-act> [dostęp: 17.08.2026].
- [77] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2025/38 ustanawiające środki wzmacniające solidarność i zdolności w Unii w zakresie wykrywania cyberzagrożeń oraz reagowania na nie, 19 grudnia 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/38/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [78] European Union Agency for Cybersecurity, ENISA NIS360 2026, 28 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2026-05/ENISA%20NIS360%202026.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [79] European Union Agency for Cybersecurity, MSS Market Analysis, czerwiec 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.enisa.europa.eu/sites/default/files/2025-06/ENISA_MSS_Market_Analysis_en_2.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [80] The White House, President Trump’s Cyber Strategy for America, 6 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.whitehouse.gov/releases/2026/03/white-house-unveils-president-trumps-cyber-strategy-for-america/> [dostęp: 17.08.2026].
- [81] Government of the United Kingdom, Government Cyber Action Plan, 6 stycznia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/government-cyber-action-plan/government-cyber-action-plan> [dostęp: 17.08.2026].
- [82] Public Safety Canada, Canada’s National Cyber Security Strategy: Securing Canada’s Digital Future, 6 lutego 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.canada.ca/en/public-safety-canada/news/2025/02/canadas-new-national-cyber-security-strategy.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [83] Australian Government, 2023–2030 Australian Cyber Security Strategy, aktualizacja z 29 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.homeaffairs.gov.au/about-us/our-portfolios/cyber-security/strategy/2023-2030-australian-cyber-security-strategy> [dostęp: 17.08.2026].
- [84] Cyber Security Agency of Singapore, Singapore Cyber Landscape 2025/2026, 30 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.csa.gov.sg/resources/publications/singapore-cyber-landscape-2025-2026/> [dostęp: 17.08.2026].
- [85] Cyber Security Agency of Singapore, Securing Agent AI – An Addendum to the Guidelines and Companion Guide on Securing AI Systems, 17 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.csa.gov.sg/resources/publications/addendum-on-securing-ai-systems/> [dostęp: 17.08.2026].
- [86] Cybersecurity and Infrastructure Security Agency, Five Eyes Cyber Security Agencies Statement, 22 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.cisa.gov/news-events/news/five-eyes-cyber-security-agencies-statement> [dostęp: 17.08.2026].

- [87] Komisja Europejska, Artificial Intelligence in Healthcare, aktualizacja z 2026 r. [Online]. Dostępny: https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/artificial-intelligence-healthcare_en [dostęp: 17.08.2026].
- [88] Medical Device Coordination Group, MDCG 2025-6: FAQ on Interplay between the Medical Devices Regulation, In Vitro Diagnostic Medical Devices Regulation and the Artificial Intelligence Act, 19 czerwca 2025 r. [Online]. Dostępny: https://health.ec.europa.eu/latest-updates/mdcg-2025-6-faq-interplay-between-medical-devices-regulation-vitro-diagnostic-medical-devices-2025-06-19_en [dostęp: 17.08.2026].
- [89] U.S. Food and Drug Administration, „FDA Issues Comprehensive Draft Guidance for Developers of Artificial Intelligence-Enabled Medical Devices”, 6 stycznia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-issues-comprehensive-draft-guidance-developers-artificial-intelligence-enabled-medical-devices> [dostęp: 17.08.2026].
- [90] World Health Organization, Ethics and governance of artificial intelligence for health: guidance on large multi-modal models, 25 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240084759> [dostęp: 17.08.2026].
- [91] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2025/327 w sprawie europejskiej przestrzeni danych dotyczących zdrowia, 11 lutego 2025 r. [Online]. Dostępny: https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/european-health-data-space-regulation-ehds_en [dostęp: 17.08.2026].
- [92] Rada Ministrów, Rządowy Plan Rozwoju Sektora Biomedycznego na lata 2022–2031, uchwała z 21 czerwca 2022 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/zdrowie/uchwala-rady-ministrow-z-dnia-21-czerwca-2022-r-w-sprawie-przyjecia-dokumentu-rzadowy-plan-rozwoju-sektora-biomedycznego-na-lata-2022-2032/> [dostęp: 17.08.2026].
- [93] Centrum e-Zdrowia, E-zdrowie w Polsce: wyniki VIII edycji Badania Informatyzacji Placówek Medycznych, 25 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://cez.gov.pl/pl/page/o-nas/aktualnosci/e-zdrowie-w-polsce-wyniki-viii-edycji-badania-informatyzacji-placowek> [dostęp: 17.08.2026].
- [94] Komisja Europejska, Proposal to simplify rules on medical and in vitro diagnostic devices, 16 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: https://health.ec.europa.eu/publications/proposal-regulation-simplify-rules-medical-and-vitro-diagnostic-devices_en [dostęp: 17.08.2026].
- [95] Komisja Europejska, Strategy for European Life Sciences, aktualizacja z 2026 r. [Online]. Dostępny: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/strategy/strategy-research-and-innovation/jobs-and-economy/strategy-european-life-sciences_en [dostęp: 17.08.2026].
- [96] Komisja Europejska, Proposal for a Regulation to strengthen the Union's biotechnology and biomanufacturing sectors – European Biotech Act, 16 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: https://health.ec.europa.eu/publications/proposal-regulation-establish-measures-strengthen-unions-biotechnology-and-biomanufacturing-sectors_en [dostęp: 17.08.2026].
- [97] Komisja Europejska, European Innovation Scoreboard 2026, 9 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/statistics/performance-indicators/european-innovation-scoreboard_en [dostęp: 17.08.2026].
- [98] National Institutes of Health, NIH Strategic Plan for Data Science 2025–2030, aktualizacja z 30 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://datascience.nih.gov/nih-strategic-plan-data-science> [dostęp: 17.08.2026].
- [99] Government of the United Kingdom, Life Sciences Sector Plan, aktualizacja z 9 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/life-sciences-sector-plan/life-sciences-sector-plan> [dostęp: 17.08.2026].
- [100] Innovation, Science and Economic Development Canada, Canada's Biomanufacturing and Life Sciences Strategy, aktualizacja z 30 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ised-isde.canada.ca/site/ised/en/programs-and-initiatives/health-emergency-readiness-canada/overview-canadas-biomanufacturing-and-life-sciences-strategy> [dostęp: 17.08.2026].
- [101] Australian Government, Medical Science Co-investment Plan, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.industry.gov.au/publications/medical-science-co-investment-plan> [dostęp: 17.08.2026].
- [102] Singapore Ministry of Health, Emerging Regulatory Policy Issues: Artificial Intelligence and Precision Medicine, 13 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.moh.gov.sg/others/health-regulation/emerging-regulatory-policy-issues/> [dostęp: 17.08.2026].
- [103] Główny Urząd Statystyczny, Biotechnologia i nanotechnologia w Polsce w 2024 r., 7 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2024-r-%2C10%2C13.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [104] Agencja Badań Medycznych, Polska Sieć Badań Klinicznych, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://psbk.abm.gov.pl/> [dostęp: 17.08.2026].
- [105] Agencja Badań Medycznych, „135 mln złotych ze środków KPO dla Centrów Wsparcia Badań Klinicznych”, 4 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://abm.gov.pl/pl/aktualnosci/3017%2C135-mln-zlotych-ze-srodkow-kpo-dla-centrow-wsparcia-badan-klinicznych-podsumowan.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [106] OECD, Health at a Glance 2025: Poland, 13 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.oecd.org/en/publications/health-at-a-glance-2025_15a55280-en/poland_c3917772-en.html [dostęp: 17.08.2026].
- [107] Agencja Badań Medycznych, „26 mln zł z Agencji Badań Medycznych na usprawnienie opieki zdrowotnej”, 24 lutego 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://abm.gov.pl/pl/aktualnosci/3005%2C26-mln-zl-z-agencji-badan-medycznych-na-usprawnienie-opieki-zdrowotnej-podsumowa.html> [dostęp: 17.08.2026].

- [108] Narodowy Bank Polski, Raport o stabilności systemu finansowego. Grudzień 2025, 19 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://nbp.pl/raport-o-stabilnosci-systemu-finansowego-grudzien-2025/> [dostęp: 17.08.2026].
- [109] Narodowy Bank Polski, Ocena funkcjonowania polskiego systemu płatniczego w II półroczu 2025 r., maj 2026 r. [Online]. Dostępny: https://nbp.pl/wp-content/uploads/2026/05/Ocena-II-polr._2025.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [110] Urząd Komisji Nadzoru Finansowego, Priorytety nadzorcze UKNF na 2026 rok, 12 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.knf.gov.pl/?articleId=96518&p_id=18 [dostęp: 17.08.2026].
- [111] CSIRT KNF, Raport Roczny Cyberbezpieczeństwa 2025, 23 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.knf.gov.pl/aktualnosci?articleId=97517&p_id=18 [dostęp: 17.08.2026].
- [112] Urząd Komisji Nadzoru Finansowego, Sprawozdanie z działalności UKNF i KNF w 2025 roku, 1 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.knf.gov.pl/knf/pl/komponenty/img/Sprawozdanie_UKNF_KNF_2025_98977.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [113] Urząd Komisji Nadzoru Finansowego, Informacje i dane statystyczne rynku finansowego, stan na sierpień 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.knf.gov.pl/dane_i_opracowania/dane_statystyczne [dostęp: 17.08.2026].
- [114] European Banking Authority, Rising application of AI in EU banking and payments sector, 25 września 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.eba.europa.eu/sites/default/files/2025-09/146b3558-d026-47bf-a872-f05e93ed30d2/Rising%20application%20of%20AI%20in%20EU%20banking%20and%20payments%20sector.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [115] European Banking Authority, AI Act implications for the EU banking and payments sector, listopad 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.eba.europa.eu/sites/default/files/2025-11/d8b999ce-a1d9-4964-9606-971bbc2aaf89/AI%20Act%20implications%20for%20the%20EU%20banking%20sector.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [116] Komisja Europejska, Digital finance: MiCA and DORA application dates, 19 grudnia 2024 r. [Online]. Dostępny: https://finance.ec.europa.eu/news/digital-finance-2024-12-19_en [dostęp: 17.08.2026].
- [117] Komisja Europejska, Framework for Financial Data Access, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://finance.ec.europa.eu/digital-finance/framework-financial-data-access_en [dostęp: 17.08.2026].
- [118] Komisja Europejska, New EU rules make instant euro payments faster and safer, 10 października 2025 r. [Online]. Dostępny: https://finance.ec.europa.eu/news/new-eu-rules-make-instant-euro-payments-faster-and-safer-2025-10-10_en [dostęp: 17.08.2026].
- [119] European Central Bank, Progress on the digital euro, aktualizacja z 30 października 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.ecb.europa.eu/euro/digital_euro/progress/html/index.en.html [dostęp: 17.08.2026].
- [120] European Securities and Markets Authority, AI adoption and trends in securities markets: EU evidence, 20 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.esma.europa.eu/sites/default/files/2026-02/ESMA50-481369926-30599_TRV_Risk_Analysis_AI_adoption_and_trends_in_securities_markets.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [121] European Securities and Markets Authority, Guidance to firms using artificial intelligence in investment services, 30 maja 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.esma.europa.eu/press-news/esma-news/esma-provides-guidance-firms-using-artificial-intelligence-investment-services> [dostęp: 17.08.2026].
- [122] Financial Stability Board, Monitoring Adoption of Artificial Intelligence and Related Vulnerabilities in the Financial Sector, 10 października 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.fsb.org/2025/10/monitoring-adoption-of-artificial-intelligence-and-related-vulnerabilities-in-the-financial-sector/> [dostęp: 17.08.2026].
- [123] Financial Stability Board, Sound Practices for Financial Institutions' Responsible AI Adoption, projekt konsultacyjny, 10 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.fsb.org/2026/06/sound-practices-for-responsible-adoption-of-artificial-intelligence-ai-consultation-report/> [dostęp: 17.08.2026].
- [124] Government of the United Kingdom, Financial Services AI Adoption Plan, 14 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/ai-adoption-plan-financial-services/financial-services-ai-adoption-plan> [dostęp: 17.08.2026].
- [125] MAS-led Veritas Consortium, Veritas Toolkit – narzędzia oceny zgodności z zasadami FEAT. [Online]. Dostępny: <https://github.com/veritas-toolkit/> [dostęp: 17.08.2026].
- [126] Financial Consumer Agency of Canada, Final report from the second Financial Industry Forum on Artificial Intelligence, 25 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.canada.ca/en/financial-consumer-agency/news/2026/03/final-report-from-the-second-financial-industry-forum-on-artificial-intelligence-fifai-2-now-available.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [127] Australian Prudential Regulation Authority, Letter to Industry on Artificial Intelligence, 30 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.apra.gov.au/news-and-publications/apra-letter-industry-artificial-intelligence-ai> [dostęp: 17.08.2026].
- [128] Office of the Comptroller of the Currency, Semiannual Risk Perspective, Spring 2026, 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.occ.treas.gov/publications-and-resources/publications/semiannual-risk-perspective/files/pub-semiannual-risk-perspective-spring-2026.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [129] International Monetary Fund, Artificial Intelligence and Cybersecurity in the Financial Sector, 29 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.imf.org/en/publications/imf-notes/issues/2026/06/29/artificial-intelligence-and-cybersecurity-in-the-financial-sector-576706> [dostęp: 17.08.2026].

- [130] Główny Urząd Statystyczny, Przewozy ładunków i pasażerów w 2025 r., 2 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/transport/przewozy-ladunkow-i-pasazerow-w-2025-r-%2C11%2C14.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [131] Eurostat, „EU road freight transport up by 0.9% in 2025”, 31 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260731-2> [dostęp: 17.08.2026].
- [132] Urząd Transportu Kolejowego, „Rok 2025 na kolei – pasażerski boom i towarowe wyzwania”, 30 stycznia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://utk.gov.pl/pl/aktualnosci/22863%2CRok-2025-na-kolei-pasazerski-boom-i-towarowe-wyzwania.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [133] Główny Urząd Statystyczny, Transport intermodalny w Polsce w 2024 r., 27 sierpnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/transport/transport-intermodalny-w-polsce-w-2024-r-%2C14%2C9.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [134] Główny Urząd Statystyczny, Gospodarka morska w Polsce w 2025 r., 28 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5511/7/23/1/gospodarka_morska_w_polsce_w_2025r.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [135] Komisja Europejska, Trans-European Transport Network (TEN-T), stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en [dostęp: 17.08.2026].
- [136] Eurostat, Freight transport statistics – modal split, dane za 2024 r., aktualizacja 2026 r. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transport_statistics_-_modal_split [dostęp: 17.08.2026].
- [137] Komisja Europejska, The eFTI Regulation – digitalising freight transport across the EU, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport/efti-regulation_en [dostęp: 17.08.2026].
- [138] Komisja Europejska, „Commission adopts harmonised EU specifications for data sharing in rail transport”, 10 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-adopts-harmonised-eu-specifications-data-sharing-rail-transport-2026-02-10_en [dostęp: 17.08.2026].
- [139] Komisja Europejska, Digital Transport and Logistics Forum, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport/digital-transport-and-logistics-forum-dtlf_en [dostęp: 17.08.2026].
- [140] Komisja Europejska, „EU invests €2.8 billion in 94 transport projects”, 3 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/eu-invests-eu28-billion-94-transport-projects-boost-sustainable-and-connected-mobility-across-europe-2025-07-03_en [dostęp: 17.08.2026].
- [141] UK Department for Transport, Transport artificial intelligence action plan, 10 czerwca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/transport-artificial-intelligence-action-plan> [dostęp: 17.08.2026].
- [142] Government Office for Science, United Kingdom, Global Supply Chains: A Foresight report on risk and resilience, 15 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/global-supply-chains-a-foresight-report-on-risk-and-resilience/global-supply-chains-a-foresight-report-on-risk-and-resilience> [dostęp: 17.08.2026].
- [143] U.S. Department of Transportation, National Freight Strategic Plan, 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/2026NationalFreightStrategicPlan_FINAL.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [144] U.S. Department of Transportation, Budget Highlights FY 2027 – Freight Logistics Optimization Works, 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.transportation.gov/media/4276> [dostęp: 17.08.2026].
- [145] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan, Summary of the White Paper 2025, 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r06/hakusho/r07/data/R7_English%20Summary.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [146] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan, Automatic Logistics Road, aktualizacja z 26 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.mlit.go.jp/road/autoflow_road/ [dostęp: 17.08.2026].
- [147] Ministry of Transport, Singapore, „S\$800 Million Committed to Research and Innovation for Transport and Connectivity”, 7 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.mot.gov.sg/news-resources/newsroom/s-800-million-committed-to-research-and-innovation-for-transport-and-connectivity-over-next-five-years/> [dostęp: 17.08.2026].
- [148] Maritime and Port Authority of Singapore, „Singapore Advances Maritime Innovation and Launches Maritime Digital Twin”, 26 marca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.mpa.gov.sg/media-centre/details/singapore-advances-maritime-innovation-with-geospatial-partnerships-and-launches-maritime-digital-twin> [dostęp: 17.08.2026].
- [149] Transport Canada, Transportation in Canada Annual Report 2025, 24 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/transparency/corporate-management-reporting/transportation-canada-annual-reports/transportation-canada-annual-report-2025> [dostęp: 17.08.2026].
- [150] Transport Canada, 2026–2027 Departmental Plan, 2 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://tc.canada.ca/en/corporate-services/transparency/corporate-management-reporting/departmental-plans-dp/transport-canada-2026-2027-departmental-plan> [dostęp: 17.08.2026].

- [151] Australian Government, Updated National Freight and Supply Chain Strategy, 22 sierpnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.infrastructure.gov.au/departments/media/news/updated-national-freight-and-supply-chain-strategy-released> [dostęp: 17.08.2026].
- [152] Australian Government, National Freight Data Hub, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.infrastructure.gov.au/infrastructure-transport-vehicles/transport-strategy-policy/freight-supply-chains/national-freight-data-hub> [dostęp: 17.08.2026].
- [153] Ministerstwo Infrastruktury, „Polska sygnatariuszem Listu Otwartego do Międzynarodowej Społeczności Morskiej dotyczącego rosnących zagrożeń dla bezpieczeństwa morskiego w związku z aktywnością floty cieni”, 26 stycznia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/infrastruktura/polska-sygnatariuszem-listu-otwartego-do-miedzynarodowej-spolecznosci-morskiej-dotyczacego-rosnacych-zagrozen-dla-bezpieczenstwa-morskiego-w-zwiazku-z-aktywnoscia-floty-cieni> [dostęp: 17.08.2026].
- [154] Urząd Lotnictwa Cywilnego, „Rada ICAO wzywa Federację Rosyjską do zaprzestania zakłóceń GNSS. Polska liderem działań na rzecz bezpieczeństwa lotniczego”, 8 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://ulc.gov.pl/aktualnosci/rada-icao-wzywa-federacje-rosyjska-do-zaprzestania-zaklocen-gnss-polska-liderem-dzialan-na-rzecz-bezpieczenstwa-lotniczego> [dostęp: 17.08.2026].
- [155] European Union Agency for the Space Programme, Report on Maritime & Inland Waterways User Needs and Requirements, 2025. [Online]. Dostępny: <https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/documents/Report%20on%20Maritime%20and%20Inland%20Waterways%20-%20User%20Needs%20and%20Requirements.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [156] International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities, „GNSS Jamming and Spoofing: Navigating Challenges in the Baltic Sea”, 12 września 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.iala.int/e-bulletin/gnss-jamming-and-spoofing-navigating-challenges-in-the-baltic-sea/> [dostęp: 17.08.2026].
- [157] Estonian Transport Administration, Notices to Mariners No. 05-2026 – GNSS and AIS interference warning, 1 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.transpordiamet.ee/sites/default/files/documents/2026-04/TM_No.05-2026.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [158] Komisja Europejska, Apply AI Strategy, przegląd sektorów strategicznych, aktualizacja z 3 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/apply-ai> [dostęp: 17.08.2026].
- [159] Ministerstwo Cyfryzacji, Strategia Cyfryzacji Państwa, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/strategia-cyfryzacji-panstwa> [dostęp: 17.08.2026].
- [160] Eurostat, „Poland in the EU”, styczeń 2025 r., dane dostępne na 2 grudnia 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/4187653/20614054/polish-presidency-en.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [161] Eurostat, „Long term developments in industrial production – results from short-term statistics”, 2025 r. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Long_term_developments_in_industrial_production_-_results_from_short-term_statistics [dostęp: 17.08.2026].
- [162] Eurostat, The use of artificial intelligence (AI) technologies in the European Union, Statistics Explained, 2026. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/7870049/23260410/KS-01-26-009-EN-N.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [163] Ministerstwo Rozwoju i Technologii, „AI for Industry – rozwój kompetencji AI w polskim przemyśle. Porozumienie MRIT-Intel podpisane”, 27 czerwca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/ai-for-industry--rozwój-kompetencji-ai-w-polskim-przemysle-porozumienie-mrit-intel-podpisane> [dostęp: 17.08.2026].
- [164] Urząd Komunikacji Elektronicznej, „Raport o stanie rynku komunikacji elektronicznej w 2025 roku”, 30 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://bip.uke.gov.pl/raporty/raport-o-stanie-rynku-komunikacji-elektronicznej-w-2025-roku%2C113.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [165] Smart Networks and Services Joint Undertaking, SNS JU Newsflash – August 2026: „The AI/ML Framework for Smart Networks and Services”. [Online]. Dostępny: https://smart-networks.europa.eu/?action=view&data=WzlxLCJINzZjMzVIOTBIZjgiLDAsMCwxNCwxXQ&endpoint=view_in_browser&mailtoet_router= [dostęp: 17.08.2026].
- [166] Ministerstwo Rozwoju i Technologii, „Polska wzmacnia swoje zaangażowanie w europejską politykę kosmiczną”, 27 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/polska-wzmacnia-swoje-zaangazowanie-w-europejska-polityke-kosmiczna> [dostęp: 17.08.2026].
- [167] Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, „Centrum Europejskiej Agencji Kosmicznej powstanie w Warszawie! To bardzo ważny dzień dla Polski i naszych ambicji”, 13 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/premier/centrum-europejskiej-agencji-kosmicznej-powstanie-w-warszawie-to-bardzo-wazny-dzien-dla-polski-i-naszyc-ambicji> [dostęp: 17.08.2026].
- [168] European Space Agency, Artificial intelligence in space, 3 sierpnia 2023 r. [Online]. Dostępny: https://www.esa.int/Enabling_Support/Preparing_for_the_Future/Discovery_and_Preparation/Artificial_intelligence_in_space [dostęp: 17.08.2026].
- [169] Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, „AGROSTRATEG – nowy program strategiczny NCBR na rzecz innowacji w sektorze rolnym”, 13 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/ncbr/agrostrateg--nowy-program-strategiczny-ncbr-na-rzecz-innowacji-w-sektorze-rolnym> [dostęp: 17.08.2026].

- [170] Eurostat, NACE Rev. 2.1 – Statistical classification of economic activities in the European Union, wydanie 2025, 10 czerwca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/w/ks-gg-24-007> [dostęp: 17.08.2026].
- [171] Komisja Europejska, Apply AI sectoral deep dive – robotics and manufacturing, 19 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/events/apply-ai-sectoral-deep-dive-robotics-manufacturing> [dostęp: 17.08.2026].
- [172] National Institute of Standards and Technology, „NIST Launches Centers for AI in Manufacturing and Critical Infrastructure”, 22 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.nist.gov/news-events/news/2025/12/nist-launches-centers-ai-manufacturing-and-critical-infrastructure> [dostęp: 17.08.2026].
- [173] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2023/1230 z 14 czerwca 2023 r. w sprawie maszyn. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1230/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [174] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2024/1689 z 13 czerwca 2024 r. ustanawiające zharmonizowane przepisy dotyczące sztucznej inteligencji. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [175] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2024/2847 z 23 października 2024 r. w sprawie horyzontalnych wymagań cyberbezpieczeństwa dla produktów z elementami cyfrowymi. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/2847/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [176] Parlament Europejski i Rada, Rozporządzenie (UE) 2023/2854 z 13 grudnia 2023 r. w sprawie zharmonizowanych przepisów dotyczących sprawiedliwego dostępu do danych i ich wykorzystywania. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2854/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [177] Parlament Europejski i Rada, Dyrektywa (UE) 2024/2853 z 23 października 2024 r. w sprawie odpowiedzialności za produkty wadliwe. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/2853/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [178] Główny Urząd Statystyczny, Przeciętne zatrudnienie i wynagrodzenia w gospodarce narodowej w 2024 r. – dane ostateczne, 23 października 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/pracujacy-zatrudnieni-wynagrodzenia-koszty-pracy/przecietne-zatrudnienie-i-wynagrodzenia-w-gospodarce-narodowej-w-2024-r-dane-ostateczne,17,9.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [179] Główny Urząd Statystyczny, „Cyfrowa transformacja polskiego przemysłu. Co druga firma stawia na nowe technologie”, 29 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/dla-mediow/informacje-prasowe/cyfrowa-transformacja-polskiego-przemyslu-co-druga-firma-stawia-na-nowe-technologie,21,1.html> [dostęp: 17.08.2026].
- [180] Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, „Automatyzacja i robotyzacja w MŚP”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.parp.gov.pl/component/grants/grants/automatyzacja-i-robotyzacja-w-msp> [dostęp: 17.08.2026].
- [181] Komisja Europejska, European Digital Innovation Hubs, aktualizacja z 19 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/edihs> [dostęp: 17.08.2026].
- [182] Komisja Europejska, Advanced Manufacturing, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/advanced-manufacturing_en [dostęp: 17.08.2026].
- [183] Komisja Europejska, Sectorial AI Testing and Experimentation Facilities – AI-MATTERS, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/testing-and-experimentation-facilities> [dostęp: 17.08.2026].
- [184] State Council of the People’s Republic of China, „China to unveil plans to integrate AI with manufacturing”, 4 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: https://english.www.gov.cn/news/202511/04/content_WS6909f081c6d00ca5f9a07504.html [dostęp: 17.08.2026].
- [185] OECD, OECD Handbook on Measuring the Space Economy, 2nd Edition, OECD Publishing, 12 lipca 2022 r. [Online]. Dostępny: <https://doi.org/10.1787/8bfef437-en> [dostęp: 17.08.2026].
- [186] Komisja Europejska, „Observer: How Galileo OSNMA helps counter GNSS spoofing”, 8 września 2025 r. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/observer-how-galileo-osnma-helps-counter-gnss-spoofing-2025-09-08_en [dostęp: 17.08.2026].
- [187] Estonian Transport Administration, „ICAO Council calls on the Russian Federation to strictly adhere to its obligations and ensure GNSS radio frequency protection”, 9 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://transpordiamet.ee/en/news/icao-council-calls-russian-federation-strictly-adhere-its-obligations-and-ensure-gnss-radio> [dostęp: 17.08.2026].
- [188] European Union Agency for the Space Programme, EU Space Market Report 2026, 2026. [Online]. Dostępny: https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/documents/EU_Space_Market_Report_2026.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [189] European Space Agency, European Earth Observation Ecosystem Reference Blueprint 2025, wersja 1.1, 14 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://indico.esa.int/event/664/attachments/7407/14357/EO-Ecosystem-Blueprint-2025-v1.1-final-compressed%202.pdf> [dostęp: 17.08.2026].
- [190] National Aeronautics and Space Administration, NASA’s AI Use Cases: Advancing Space Exploration with Cutting-Edge Technology, 7 stycznia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.nasa.gov/organizations/ocio/dt/ai/2024-ai-use-cases/> [dostęp: 17.08.2026].
- [191] Polska Agencja Kosmiczna, Ocena stanu rozwoju badań i użytkowania przestrzeni kosmicznej w Polsce – raport za 2025 rok, 7 sierpnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://polsa.gov.pl/publikacja/ocena-stanu-rozwoju-badan-i-uzytkowania-przestrzeni-kosmicznej-w-polsce-raport-za-2025-rok/> [dostęp: 17.08.2026].

- [192] Ustawa z dnia 13 lutego 2026 r. o działalności kosmicznej, Dz.U. 2026 poz. 465. [Online]. Dostępny: <https://dziennikustaw.gov.pl/DU/2026/465> [dostęp: 17.08.2026].
- [193] European Space Agency, „ESA Member States commit to largest contributions at Ministerial”, 27 listopada 2025 r., aktualizacja 2 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: https://www.esa.int/About_Us/Corporate_news/ESA_Member_States_commit_to_largest_contributions_at_Ministerial [dostęp: 17.08.2026].
- [194] Japan Aerospace Exploration Agency, Space Strategy Fund – First Phase PR Sheets, lipiec 2026 r. [Online]. Dostępny: https://fund.jaxa.jp/content/uploads/1st_term_PR_sheets_EN.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [195] State Council of the People's Republic of China, „China's space agency unveils plan to boost commercial growth, international cooperation”, 26 listopada 2025 r. [Online]. Dostępny: https://english.www.gov.cn/news/202511/26/content_WS6926a9c5c6d00ca5f9a07ce9.html [dostęp: 17.08.2026].
- [196] Ustawa z dnia 12 lipca 2024 r. – Prawo komunikacji elektronicznej, Dz.U. 2024 poz. 1221. [Online]. Dostępny: <https://dziennikustaw.gov.pl/DU/2024/1221> [dostęp: 17.08.2026].
- [197] Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Recommendation ITU-T Y.3177: Architectural framework for artificial intelligence-based network automation for resource and fault management in future networks including IMT-2020, luty 2021 r.. [Online]. Dostępny: <https://www.itu.int/epublications/publication/itu-t-y-3177-2021-02-architectural-framework-for-artificial-intelligence-based-network-automation-for-resource-and-fault-management-in-future-networks> [dostęp: 17.08.2026].
- [198] Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny, Recommendation ITU-T M.3381: Requirements for energy saving management of 5G radio access network systems with artificial intelligence, styczeń 2022 r.. [Online]. Dostępny: <https://www.itu.int/epublications/publication/itu-t-m-3381-2022-01-requirements-for-energy-saving-management-of-5g-radio-access-network-ran-systems-with-artificial-intelligence-ai> [dostęp: 17.08.2026].
- [199] ETSI, GR ZSM 015 V1.1.1: Zero-touch network and Service Management; Network Digital Twin for automation of zero-touch network and service management, luty 2024 r.. [Online]. Dostępny: https://www.etsi.org/deliver/etsi_gr/ZSM/001_099/015/01.01.01_60/gr_ZSM015v010101p.pdf [dostęp: 17.08.2026].
- [200] Parlament Europejski i Rada, Dyrektywa (UE) 2018/1972 z 11 grudnia 2018 r. ustanawiająca Europejski kodeks łączności elektronicznej. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/1972/oj> [dostęp: 17.08.2026].
- [201] National Telecommunications and Information Administration, Public Wireless Supply Chain Innovation Fund – Round 3: Industry Vertical Solutions and Integration Automation Solutions, stan na 2026 r.. [Online]. Dostępny: <https://www.ntia.gov/funding-programs/public-wireless-supply-chain-innovation-fund/innovation-fund-round-3-2024-industry-vertical-solutions-integration-automation-solutions/program-documentation/round-3-2024-notice-funding-opportunity-nofo> [dostęp: 17.08.2026].
- [202] State Council of the People's Republic of China, „China launches ministry-provincial collaborative pilot program for 6G development”, 5 czerwca 2026 r.. [Online]. Dostępny: https://english.www.gov.cn/news/202606/05/content_WS6a22522ac6d00ca5f9a0b687.html [dostęp: 17.08.2026].
- [203] Główny Urząd Statystyczny, Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2023 r., 30 kwietnia 2025 r. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/rolnictwo/charakterystyka-gospodarstw-rolnych-w-2023-r_5,6.html [dostęp: 02.09.2026].
- [204] Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, „Rozpoczęcie naboru wniosków w I konkursie AGROSTRATEG”, 14 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/ncbr/rozpoczecie-naboru-wnioskow-w-i-konkursie-agrostrateg> [dostęp: 02.09.2026].
- [205] Komisja Europejska, „Apply AI in agrifood: unlocking the potential of data-driven farming”, 22 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/apply-ai-agrifood-unlocking-potential-data-driven-farming> [dostęp: 02.09.2026].
- [206] Komisja Europejska, „Unlocking the potential of artificial intelligence for sustainable agriculture”, 7 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/unlocking-potential-artificial-intelligence-sustainable-agriculture> [dostęp: 02.09.2026].
- [207] agrifoodTEF, „Turn your agri-food innovation into market-ready solutions”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.agrifoodtef.eu/> [dostęp: 02.09.2026].
- [208] Eurostat, „Farms and farmland in the European Union – statistics”, dane za 2023 r., aktualizacja 30 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Farms_and_farmland_in_the_European_Union_-_statistics [dostęp: 02.09.2026].
- [209] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, National Smart Agriculture Action Plan (2024–2028), 23 października 2024 r. [Online]. Dostępny: https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202410/content_6983622.htm [dostęp: 02.09.2026].
- [210] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, „Smart Agriculture”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.maff.go.jp/e/policies/tech_res/smaagri/robot.html [dostęp: 02.09.2026].
- [211] U.S. Department of Agriculture, National Institute of Food and Agriculture, „Artificial Intelligence”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.nifa.usda.gov/grants/programs/data-science-food-agricultural-systems-dsfas/artificial-intelligence> [dostęp: 02.09.2026].

- [121] Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, „Nowoczesne rolnictwo zaczyna się od wiedzy. Bezpłatne szkolenia w BCU”, 10 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/arimr/nowoczesne-rolnictwo-zaczyna-sie-od-wiedzy-bezpлатne-szkolenia-w-bcu> [dostęp: 02.09.2026].
- [122] Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, „Rolnictwo 4.0 – obsługa wniosków dobiega końca, realizacja wypłat trwa”, 7 lutego 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/arimr/rolnictwo-40--obsługa-wnioskow-dobiega-konca-realizacja-wypłat-trwa> [dostęp: 02.09.2026].
- [123] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, „Wsparcie dla rolników w zakresie rolnictwa 4.0”, pytania i odpowiedzi, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/wsparcie-w-zakresie-rolnictwa-41> [dostęp: 02.09.2026].
- [124] Ministerstwo Cyfryzacji, „Nowe technologie w rolnictwie – podsumowanie projektu Cyfrowa transformacja rolnictwa w Polsce”, 7 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/nowe-technologie-w-rolnictwie--podsumowanie-projektu-cyfrowa-transformacja-rolnictwa-w-polsce> [dostęp: 02.09.2026].
- [125] Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, „Uruchamiamy Portal Rolnika”, 30 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/arimr/uruchamiamy-portal-rolnika> [dostęp: 02.09.2026].
- [126] Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, „AMS – System Monitorowania Obszaru – nowe narzędzie cyfrowe ARiMR”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/arimr/ams---systemu-monitorowania-obszaru--nowe-narzedzie-internetowe-arimr> [dostęp: 02.09.2026].
- [127] eDWIN, „Wirtualne gospodarstwo”, aktualizacja 1 sierpnia 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://edwin.gov.pl/euslugi/wirtualne-gospodarstwo> [dostęp: 02.09.2026].
- [128] Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, „System satelitarnego monitorowania upraw rolnych (S2MUR)”, 18 sierpnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.iung.pl/2026/08/18/system-satelitarnego-monitorowania-upraw-rolnych-s2mur/> [dostęp: 02.09.2026].
- [129] Główny Urząd Geodezji i Kartografii, „ASG-EUPOS”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/gugik/asg-eupos2> [dostęp: 02.09.2026].
- [130] Geoportal.gov.pl, „Podsumowanie wykorzystania systemu ASG-EUPOS w pierwszym półroczu 2025 roku”, 2 lipca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.geoportal.gov.pl/aktualnosci/podsumowanie-wykorzystania-systemu-asg-eupos-w-pierwszym-polroczu-2025-roku/> [dostęp: 02.09.2026].
- [131] Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, „Średnia powierzchnia gruntów rolnych w gospodarstwie w 2025 roku”, 10 września 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/arimr/srednia-powierzchnia-gruntow-rolnych-w-gospodarstwie-w-2025-roku> [dostęp: 02.09.2026].
- [132] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, „Nabór dla jednostek doradztwa rolniczego na unowocześnienie bazy dydaktycznej i demonstracyjnej na potrzeby edukacji w zakresie Rolnictwa 4.0”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/nabor-dla-jednostek-doradztwa-rolniczego-na-unowoczesnienie-bazy-dydaktycznej-i-demonstracyjnej-na-potrzyby-edukacji-w-zakresie-rolnictwa-40> [dostęp: 02.09.2026].
- [133] agrifoodTEF, „Polish Node”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://agrifoodtef.eu/nodes/polish-node> [dostęp: 02.09.2026].
- [134] Agricultural Industry Electronics Foundation, „AEF ISOBUS Database”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.aef-online.org/products/aef-isobus-database.html> [dostęp: 02.09.2026].
- [135] Komisja Europejska, „Assessment of future connectivity needs for precision farming adoption”, 24 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/assessment-future-connectivity-needs-precision-farming-adoption> [dostęp: 02.09.2026].
- [136] Komisja Europejska, „Blueprint proposal for the Common European Agricultural Data Space”, publikacja 2 maja 2024 r., aktualizacja 27 sierpnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/blueprint-proposal-common-european-agricultural-data-space> [dostęp: 02.09.2026].
- [137] Mississippi State University Extension, Improving Accuracy of Yield Maps Through Calibration and Post-Harvest Data Processing, 2025. [Online]. Dostępny: https://extension.msstate.edu/sites/default/files/document/2025-09/P4133_web.pdf [dostęp: 02.09.2026].
- [138] T. Czubiński, „Rolnictwo jutra – technologia 4.0 – to wybór czy konieczność?”, top agrar Polska, 27 stycznia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.topagrar.pl/articles/aktualnosci-branzowe-uprawa/rolnictwo-jutra-technologia-4-0-to-wybor-czy-koniecznosc-2526230> [dostęp: 02.09.2026].
- [139] S. P. Mason, N. Wang, J. L. Salak-Johnson, „Smart Animal Welfare: A Review of Sensing Technologies, Deployment Challenges, and AI-Driven Insights”, Sensors, t. 26, nr 17, 5387, 26 sierpnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://doi.org/10.3390/s26175387> [dostęp: 02.09.2026].
- [140] Komisja Europejska, AI Act Service Desk, „High-risk AI in regulated products”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ai-act-service-desk.ec.europa.eu/en/high-risk-ai-regulated-products> [dostęp: 02.09.2026].
- [141] Komisja Europejska, „EU Data Act gives users control over data from connected devices”, 12 września 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-data-act-gives-users-control-over-data-connected-devices> [dostęp: 02.09.2026].

- [233] „Development and evaluation of a sensor-based slope-compensation system for camera-guided hoeing in maize”, *Biosystems Engineering*, t. 247, 2024, s. 91–96. [Online]. Dostępny: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2024.09.006> [dostęp: 02.09.2026].
- [234] J. McFadden, Z. Raff, Precision Dairy Farming, Robotic Milking, and Profitability in the United States, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, ERR-356, 22 stycznia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://ers.usda.gov/publications/113704> [dostęp: 02.09.2026].
- [235] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, „Smart agriculture technology utilization and future prospects”, *Agricultural White Paper*, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r6/r6_h/trend/part1/chap0/c0_1_03.html [dostęp: 02.09.2026].
- [236] Komisja Europejska, „First structured sectoral dialogue under Apply AI – Agriculture leads the way”, 3 lipca 2026 r., aktualizacja 29 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/first-structured-sectoral-dialogue-under-apply-ai-agriculture-leads-way> [dostęp: 02.09.2026].
- [237] Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, „Bezpieczeństwo żywnościowe jako filar stabilności państw. Polska perspektywa na Sustainable Foods 2026”, 29 stycznia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/bezpieczenstwo-zywnosciowe-jako-filar-stabilnosci-panstw-polska-perspektywa-na-sustainable-foods-2026> [dostęp: 02.09.2026].
- [238] Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, „System Identyfikacji Działek Rolnych (LPIS)”, 16 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/arimr/system-identyfikacji-dzialek-rolnych-lpis> [dostęp: 02.09.2026].
- [239] Główny Urząd Geodezji i Kartografii, „Statystyki wykorzystania systemu ASG-EUPOS w I kwartale 2026 roku”, 2 kwietnia 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/gugik/statystyki-wykorzystania-systemu-asg-eupos-w-i-kwartale-2026-roku> [dostęp: 02.09.2026].
- [240] Komisja Europejska, „Digitalising the EU agricultural sector”, aktualizacja 23 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-agriculture> [dostęp: 02.09.2026].
- [241] Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, „Guideline on Contracts Regarding Utilization of AI and Data in Agricultural Sector”, stan na 2026 r. [Online]. Dostępny: https://www.maff.go.jp/e/policies/intel/gl_ai_data.html [dostęp: 02.09.2026].
- [242] Innovation, Science and Economic Development Canada, „Canada to drive billions in investments to build domestic AI compute capacity at home”, 5 grudnia 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.canada.ca/en/innovation-science-economic-development/news/2024/12/canada-to-drive-billions-in-investments-to-build-domestic-ai-compute-capacity-at-home.html> [dostęp: 04.09.2026].
- [243] Natural Resources Canada, „Artificial Intelligence for Canadian Energy Innovation”, aktualizacja 11 grudnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://natural-resources.canada.ca/funding-partnerships/artificial-intelligence-canadian-energy-innovation> [dostęp: 04.09.2026].
- [244] Ministry of Government Legislation, Republic of Korea, „Special Act on Promotion of the AI Data Center Industry”, 9 czerwca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=286707&viewCls=lsRvsDocInfoR> [dostęp: 04.09.2026].
- [245] Australian Government, „An Australian approach to AI: Expectations for data centres that deliver for Australians”, 23 marca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.minister.industry.gov.au/charlton/media/australian-approach-ai-expectations-data-centres-deliver-australians> [dostęp: 04.09.2026].
- [246] Prime Minister of Australia, „AI in Australia's interests”, 15 lipca 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.pm.gov.au/media/ai-australias-interests> [dostęp: 04.09.2026].
- [247] Infocomm Media Development Authority, „Singapore announces Green Data Centre Roadmap for sustainable growth”, 29 maja 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/press-releases/2024/sg-announces-green-data-centre-roadmap> [dostęp: 04.09.2026].
- [248] Singapore Economic Development Board i Infocomm Media Development Authority, „EDB and IMDA launch pilot Data Centre – Call for Application (DC-CFA) to support sustainable growth of DCs”, 20 lipca 2022 r. [Online]. Dostępny: <https://www.edb.gov.sg/en/about-edb/media-releases-publications/edb-and-imda-launch-pilot-data-centre-call-for-application-to-support-sustainable-growth-of-data-centres.html> [dostęp: 04.09.2026].
- [249] Infocomm Media Development Authority, „Singapore IT Energy Efficiency Standard for Data Centres Launched”, 13 sierpnia 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/press-releases/2025/sg-it-energy-efficiency-standard-for-data-centres-launched> [dostęp: 04.09.2026].
- [250] Infocomm Media Development Authority, „Energy Efficiency Grant for the Data Centre (DC) sector”, aktualizacja 25 lutego 2026 r. [Online]. Dostępny: <https://www.imda.gov.sg/how-we-can-help/energy-efficiency-grant> [dostęp: 04.09.2026].
- [251] The State Council of the People's Republic of China, „China to boost mutual empowerment of AI, energy”, 8 maja 2026 r. [Online]. Dostępny: https://english.www.gov.cn/news/202605/08/content_WS69fde96dc6d00ca5f9a0ad4b.html [dostęp: 04.09.2026].
- [252] Department for Science, Innovation and Technology, United Kingdom, „AI Growth Zones: open for applications”, 30 kwietnia 2025 r., aktualizacja 13 czerwca 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.uk/government/publications/ai-growth-zones/ai-growth-zones-open-for-applications> [dostęp: 04.09.2026].

A. Dane wykorzystane bezpośrednio w rankingu

- [253] Główny Urząd Statystyczny, Informacja w sprawie skorygowanego szacunku produktu krajowego brutto za 2024 r., tablica 3 – realna dynamika wartości dodanej brutto w latach 2022–2024. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rachunki-narodowe/roczne-rachunki-narodowe/informacja-glownego-urzedu-statystycznego-w-sprawie-skorygowanego-szacunku-produktu-krajowego-brutto-za-2024-r-%2C9%2C11.html> [dostęp: 03.09.2026].
- [254] Główny Urząd Statystyczny, Rocznik Statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2025 – wartość dodana brutto według sekcji i działów PKD. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/2/25/1/rocznik_statystyczny_rp_2025_2.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [255] Główny Urząd Statystyczny, Kwartalne rachunki narodowe PKB 2020–2024 – dane dotyczące wartości dodanej sektora finansowego. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/en/defaultaktualnosci/3299/4/19/1/quarterly_national_accounts_of_gross_domestic_product_2020-2024.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [256] Główny Urząd Statystyczny, Mały Rocznik Statystyczny Polski 2025 – wynagrodzenia według sekcji PKD. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/1/27/1/maly_rocznik_statystyczny_polski_2025.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [257] Główny Urząd Statystyczny, Rocznik Statystyczny Pracy 2025 – liczba pracujących według sekcji PKD. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5515/7/9/1/rocznik_statystyczny_pracy_2025.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [258] Główny Urząd Statystyczny, Rocznik Statystyczny Przemysłu 2025 – realna dynamika wartości dodanej w produkcji artykułów spożywczych, napojów i wyrobów tytoniowych. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-przemyslu-2025%2C5%2C19.html> [dostęp: 03.09.2026].
- [259] Główny Urząd Statystyczny, Rocznik Statystyczny Przemysłu 2024 – wartości wykorzystane do ustalenia wag komponentów obszaru rolnictwa i żywności. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-przemyslu-2024%2C5%2C18.html> [dostęp: 03.09.2026].
- [260] Główny Urząd Statystyczny, Telekomunikacja w 2024 r. – zatrudnienie, liczba przedsiębiorstw i przychody telekomunikacyjne wykorzystane jako dane bezpośrednie lub kontekstowe. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-lacznosc/lacznosc/telekomunikacja-w-2024-r-%2C2%2C9.html> [dostęp: 03.09.2026].
- [261] Główny Urząd Statystyczny, Wyniki finansowe przedsiębiorstw niefinansowych – dane dotyczące działalności eksportowej przedsiębiorstw. [Online]. Dostępny: https://ssgk.stat.gov.pl/03.2026/Wyniki_finansowe_przedsi%C4%99biorstw_niefinansowych.html [dostęp: 03.09.2026].
- [262] Komisja Nadzoru Finansowego, Informacja o sytuacji sektora bankowego w 2024 r. – wykorzystanie i planowane wykorzystanie AI przez banki komercyjne. [Online]. Dostępny: https://www.knf.gov.pl/knf/pl/komponenty/img/Informacja_o_sytuacji_sektora_bankowego_w_2024_roku_95876.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [263] Parlament Europejski i Rada UE, Dyrektywa (UE) 2022/2555 – NIS2 – podstawa klasyfikacji znaczenia systemowego sektorów. [Online]. Dostępny: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2022/2555/oj> [dostęp: 03.09.2026].

B. Źródła definicyjne, sektorowe i kontrolne rankingu

- [264] Eurostat, National Accounts aggregates by industry – NACE A*64, nama_10_a64. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/nama_10_a64 [dostęp: 03.09.2026].
- [265] Eurostat, Structural Business Statistics – value added. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/information-data> [dostęp: 03.09.2026].
- [266] Eurostat, Digital Economy and Society Database. [Online]. Dostępny: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/digital-economy-and-society/database> [dostęp: 03.09.2026].
- [267] Eurostat, Annual National Accounts – metadata nama10. [Online]. Dostępny: https://webgate.ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nama10_esms.htm [dostęp: 03.09.2026].
- [268] OECD, Data Explorer – Annual value added and its components by economic activity. [Online]. Dostępny: https://data-explorer.oecd.org/vis?df%5B%5D=OECD.SDD.NAD&df%5B%5D=dsDisseminateFinalDMZ&df%5B%5D=DSD_NAMAIN10%40DF_TABLE6&df%5B%5D=2.0&lc=en [dostęp: 03.09.2026].
- [269] Główny Urząd Statystyczny, Społeczeństwo informacyjne w Polsce w 2024 r. – źródło kontrolne dla szeregu danych ICT. [Online]. Dostępny: https://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5497/1/18/1/spoleczenstwo_informacyjne_w_polsce_2024_2.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [270] Główny Urząd Statystyczny, Zatrudnienie i wynagrodzenia w gospodarce narodowej w 2024 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/pracujacy-zatrudnieni-wynagrodzenia-koszty-pracy/zatrudnienie-i-wynagrodzenia-w-gospodarce-narodowej-w-2024-r-%2C1%2C57.html> [dostęp: 03.09.2026].

- [271] Główny Urząd Statystyczny, Przeciętne zatrudnienie i wynagrodzenia w gospodarce narodowej w 2024 r. – dane ostateczne. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rynek-pracy/pracujacy-zatrudnieni-wynagrodzenia-koszty-pracy/przecietne-zatrudnienie-i-wynagrodzenia-w-gospodarce-narodowej-w-2024-r-dane-ostateczne%2C17%2C9.html> [dostęp: 03.09.2026].
- [272] Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Raport 1: Cyberbezpieczeństwo. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/ncbr/raport-1-cyberbezpieczenstwo> [dostęp: 03.09.2026].
- [273] NCC-PL, Mapa MŚP sektora cyberbezpieczeństwa w Polsce. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/attachment/8a48bd1a-b9d8-4f81-afaf-e4539f215369> [dostęp: 03.09.2026].
- [274] NCC-PL, Pierwsze w Polsce kompleksowe badanie rynku MŚP z branży cyberbezpieczeństwa. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/cyber-nccpl/pierwsze-w-polsce-kompleksowe-badanie-rynku-MSP-z-branzy-cyberbezpieczenstwa> [dostęp: 03.09.2026].
- [275] Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Polski sektor kosmiczny i metale ziem rzadkich. [Online]. Dostępny: <https://www.gov.pl/web/ncbr/analiza-ncbr-polski-sektor-kosmiczny-i-metale-ziem-rzadkich> [dostęp: 03.09.2026].
- [276] Polska Agencja Kosmiczna, Ocena stanu rozwoju badań i użytkowania przestrzeni kosmicznej w Polsce za 2024 r. [Online]. Dostępny: https://polsa.gov.pl/wp-content/uploads/2025/09/Ocena-stanu-rozwoju-badan-i-uzytowania-przestrzeni-kosmicznej-w-Polsce-za-2024-rok_fin.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [277] Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, The medical devices and pharma sector in Poland. [Online]. Dostępny: <https://www.parp.gov.pl/component/publications/publication/the-medical-devices-and-pharma-sector-in-poland> [dostęp: 03.09.2026].
- [278] Polska Agencja Inwestycji i Handlu, Branża wysokich technologii w obszarze bezpieczeństwa i towarów podwójnego zastosowania. [Online]. Dostępny: <https://www.paih.gov.pl/publications/branza-wysokich-technologii-w-obszarze-bezpieczenstwa-i-towarow-podwojnego-zastosowania-2025-wersja-angielska/> [dostęp: 03.09.2026].
- [279] Narodowy Bank Polski, Bilans płatniczy Rzeczypospolitej Polskiej – dane za 2024 r. [Online]. Dostępny: https://nbp.pl/wp-content/uploads/2025/07/BOP_2025_1_kw.pdf [dostęp: 03.09.2026].
- [280] Główny Urząd Statystyczny, Wyniki finansowe zakładów ubezpieczeń w 2025 r. [Online]. Dostępny: <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/podmioty-gospodarcze-wyniki-finansowe/przedsiębiorstwa-finansowe/wyniki-finansowe-zakladow-ubezpieczen-w-2025-r-%2C7%2C42.html> [dostęp: 03.09.2026].

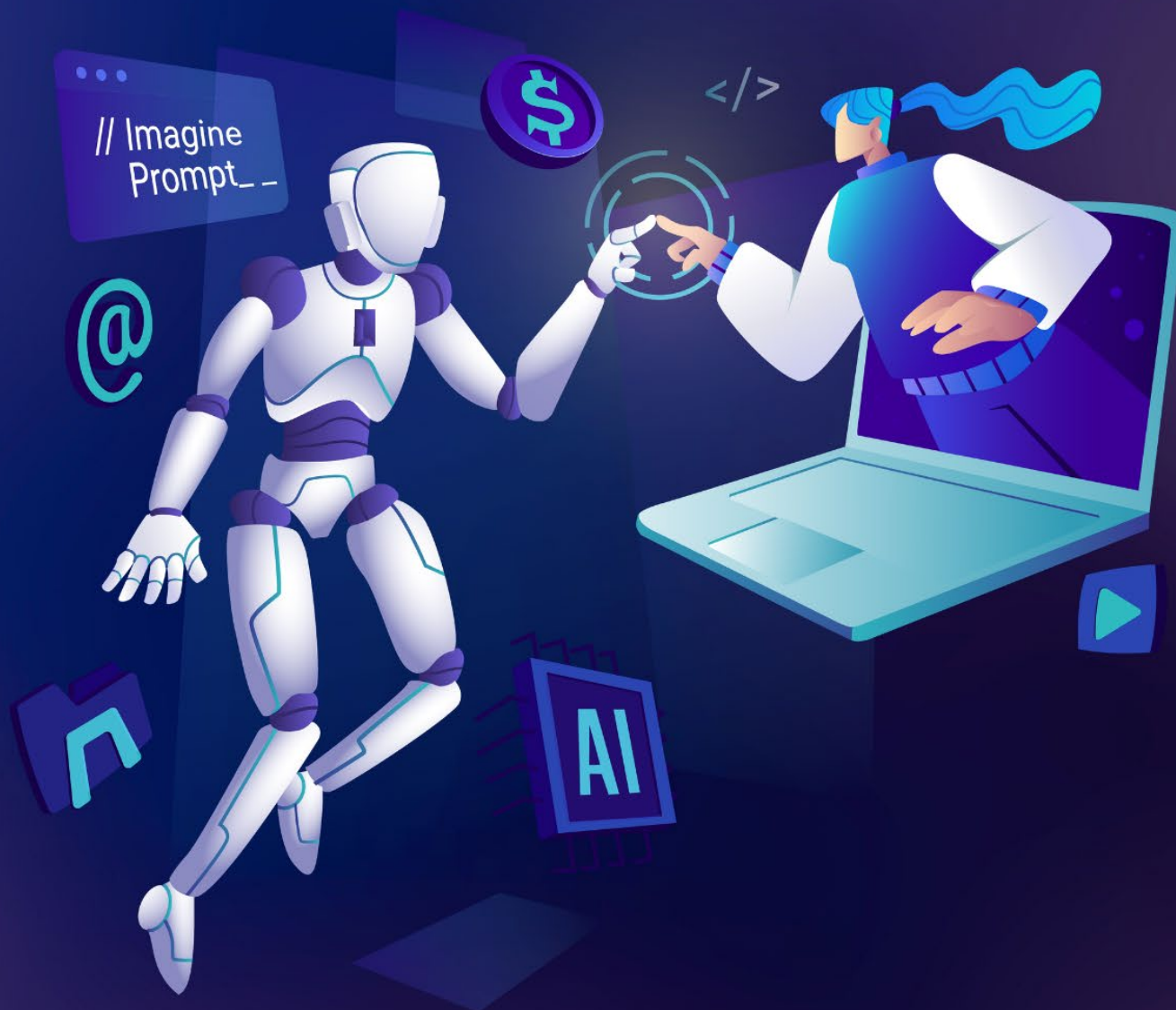
C. Suwerenność gospodarcza, technologiczna i AI

- [281] Rada Unii Europejskiej, European Economic Security – ramy analizy ryzyk dotyczących łańcuchów dostaw, technologii, infrastruktury krytycznej i presji ekonomicznej. [Online]. Dostępny: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/european-economic-security/> [dostęp: 03.09.2026].
- [282] Komisja Europejska, European Industrial Strategy – strategiczne zależności przemysłowe i technologiczne UE. [Online]. Dostępny: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy_en [dostęp: 03.09.2026].
- [283] Komisja Europejska, Recommendation on Critical Technology Areas – półprzewodniki, AI, technologie kwantowe i biotechnologie. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/commission-recommends-carrying-out-risk-assessments-four-critical-technology-areas-advanced-2023-10-03_en [dostęp: 03.09.2026].
- [284] Ministerstwo Cyfryzacji, Polityka rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce do 2030 roku. [Online]. Dostępny: <https://ai.gov.pl/aktualnosci/polityka-rozwoju-sztucznej-inteligencji> [dostęp: 03.09.2026].
- [285] Komisja Europejska, European approach to artificial intelligence. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-approach-artificial-intelligence> [dostęp: 03.09.2026].
- [286] Komisja Europejska, AI Continent Action Plan. [Online]. Dostępny: https://commission.europa.eu/topics/competitiveness/ai-continent_en [dostęp: 03.09.2026].
- [287] Komisja Europejska, AI Factories. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/ai-factories> [dostęp: 03.09.2026].
- [288] Komisja Europejska, Implementation of the 5G Cybersecurity Toolbox. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/communication-commission-implementation-5g-cybersecurity-toolbox> [dostęp: 03.09.2026].
- [289] EIOPA, Digital Operational Resilience Act – DORA. [Online]. Dostępny: https://www.eiopa.europa.eu/digital-operational-resilience-act-dora_en [dostęp: 03.09.2026].
- [290] Komisja Europejska, European Chips Act. [Online]. Dostępny: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-chips-act> [dostęp: 03.09.2026].
- [291] Komisja Europejska, Critical Raw Materials. [Online]. Dostępny: https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en [dostęp: 03.09.2026].
- [292] Eurostat, Energy statistics – an overview. [Online]. Dostępny: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview [dostęp: 03.09.2026].
- [293] ENISA, ENISA Threat Landscape 2025. [Online]. Dostępny: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2025> [dostęp: 03.09.2026].

- [294] Komisja Europejska, EU Space Strategy for Security and Defence. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/eu-space-strategy-security-and-defence_en [dostęp: 03.09.2026].
- [295] Komisja Europejska, IRIS² – Secure Connectivity. [Online]. Dostępny: https://defence-industry-space.ec.europa.eu/eu-space/iris2-secure-connectivity_en [dostęp: 03.09.2026].
- [296] Komisja Europejska, Exporting dual-use items. [Online]. Dostępny: https://policy.trade.ec.europa.eu/help-exporters-and-importers/exporting-dual-use-items_en [dostęp: 03.09.2026].
- [297] Komisja Europejska, Critical Medicines Act. [Online]. Dostępny: https://health.ec.europa.eu/medicinal-products/critical-medicines-act_en [dostęp: 03.09.2026].
- [298] Komisja Europejska, Ensuring availability and affordability of fertilisers. [Online]. Dostępny: https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy/agri-food-supply-chain/ensuring-availability-and-affordability-fertilisers_en [dostęp: 03.09.2026].
- [299] Komisja Europejska, Goods bought online – e-commerce imports to the EU. [Online]. Dostępny: https://taxation-customs.ec.europa.eu/customs/eu-customs-union-facts-and-figures/goods-bought-online_en [dostęp: 03.09.2026].



Instytut Łączności
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY



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

