

ANALIZA POLSKIEGO POTENCJAŁU TECHNOLOGICZNEGO W OBSZARZE TECHNOLOGII KRYTYCZNYCH DLA BEZPIECZEŃSTWA GOSPODARCZEGO UE DLA MINISTERSTWA SPRAW ZAGRANICZNYCH

ANALIZA

BARTŁOMIEJ MICHAŁOWSKI
DR PIOTR HAŃCZYC
ROBERT KROPLEWSKI
GRZEGORZ PYTEL



SPIS TREŚCI

1.	WSTĘP	5
1.1.	Zakres analizy	5
1.2.	Technologie krytyczne, wschodzące i przełomowe.....	8
2.	TECHNOLOGIE W ZAKRESIE ZAAWANSOWANYCH PÓŁPRZEWODNIKÓW	11
2.1.	Charakterystyka potencjału i know-how Polski.....	12
2.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	13
2.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	14
2.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	14
2.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	16
2.6.	Bariery rozwoju	18
2.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	20
2.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	22
3.	TECHNOLOGIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI	24
3.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	24
3.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	26
3.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	30
3.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	31
3.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	32
3.6.	Bariery rozwoju	34
3.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	35
3.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	37
4.	TECHNOLOGIE KWANTOWE.....	40
4.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	40
4.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	42
4.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	44
4.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	44
4.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	45
4.6.	Bariery rozwoju	46
4.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	48
4.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	50
5.	BIOTECHNOLOGIE	51
5.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	51

5.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	53
5.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	55
5.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	56
5.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	57
5.6.	Bariery rozwoju	58
5.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	60
5.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	62
6.	ZAAWANSOWANA ŁĄCZNOŚĆ I NAWIGACJA ORAZ ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE CYFROWE	64
6.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	66
6.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	69
6.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	72
6.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	73
6.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	73
6.6.	Bariery rozwoju	74
6.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	76
6.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	79
7.	ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKCJI	82
7.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	83
7.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	83
7.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	85
7.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	86
7.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	87
7.6.	Bariery rozwoju	87
7.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	89
7.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	90
8.	TECHNOLOGIE KOSMICZNE I NAPĘDOWE	95
8.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	95
8.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym	97
8.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym	101
8.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	102
8.5.	Informacje o ośrodkach badawczych	102
8.6.	Bariery rozwoju	102
8.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie	103
8.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	104

9.	TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE.....	106
9.1.	Charakterystyka potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	106
9.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym.....	110
9.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym.....	112
9.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	114
9.5.	Informacje o ośrodkach badawczych.....	115
9.6.	Bariery rozwoju.....	117
9.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie.....	119
9.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	121
10.	ROBOTYKA I SYSTEMY AUTONOMICZNE.....	123
10.1.	Charakterystykę potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	123
10.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym.....	124
10.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym.....	125
10.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	126
10.5.	Informacje o ośrodkach badawczych.....	127
10.6.	Bariery rozwoju.....	128
10.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie.....	129
10.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	129
11.	ZAAWANSOWANE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE PRODUKCJI I RECYKLINGU.....	132
11.1.	Charakterystykę potencjału i <i>know-how</i> Polski.....	133
11.2.	Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym.....	134
11.3.	Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym.....	136
11.4.	Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych.....	137
11.5.	Informacje o ośrodkach badawczych.....	139
11.6.	Bariery rozwoju.....	141
11.7.	Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie.....	143
11.8.	Wykaz firm, ich produktów i usług.....	146
12.	JAKIE PRIORYTETY DLA POLSKI.....	148
12.1.	Metodyka oceny perspektywiczności.....	148
12.2.	Lista priorytetów.....	149
12.3.	Rekomendacje.....	151
13.	Autorzy analizy.....	156
14.	Bibliografia.....	159

1. WSTĘP

1.1. Zakres analizy

Poniższa analiza została zrealizowana w następstwie wygrania przez zespół ekspertów Instytutu Sobieskiego konkursu z dnia 25 lipca ogłoszonego przez Ministerstwo Spraw Zagranicznych na opracowanie analizy dotyczącej polskiego potencjału technologicznego w obszarze technologii krytycznych dla bezpieczeństwa gospodarczego UE, wskazanych w Zaleceniu Komisji (UE) 2023/2113 z 3.10.2023 r. Razem z opracowaniem analizy została przygotowana prezentacja w formacie Power Point wskazująca obszary polskiego potencjału gospodarczego w obszarze technologii krytycznych dla bezpieczeństwa gospodarczego UE. Prezentacja została przekazana Ministerstwu 4 września 2024 r.

Autorzy analizy przeprowadzili analizę polskiego potencjału technologicznego w 10 obszarach technologii krytycznych. Opisane obszary oraz opis technologii składających się na nie znajdują się w tabeli poniżej:

	Obszar technologii	Technologie
1.	TECHNOLOGIE W ZAKRESIE ZAAWANSOWANYCH PÓŁPRZEWODNIKÓW	— Mikroelektronika (w tym procesory) — Technologie fotoniczne (w tym lasery wysokoenergetyczne) — Czipy wysokiej częstotliwości — Sprzęt do produkcji półprzewodników o bardzo zaawansowanych rozmiarach węzłów
2.	TECHNOLOGIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI	— Obliczenia wielkiej skali — Przetwarzanie danych w chmurze i na obrzeżach sieci — Technologie analizy danych — Komputerowe rozpoznawanie obrazów, przetwarzanie języka, rozpoznawanie obiektów
3.	TECHNOLOGIE KWANTOWE	— Obliczenia kwantowe — Kryptografia kwantowa — Komunikacja kwantowa — Wykrywanie i radary kwantowe
4.	BIOTECHNOLOGIE	— Techniki modyfikacji genetycznej — Nowe techniki genomowe — Nadpisywanie genów — Biologia syntetyczna
5.	ZAAWANSOWANA ŁĄCZNOŚĆ I NAWIGACJA ORAZ ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE CYFROWE	— Bezpieczna komunikacja cyfrowa i łączność cyfrowa, np. RAN i Open RAN (sieć dostępu radiowego) oraz 6G — Technologie bezpieczeństwa cybernetycznego, w tym systemy cyberinwigilacji, bezpieczeństwa oraz

		wykrywania włamań i zapobiegania włamaniom, kryminalistyka cyfrowa — Internet rzeczy i rzeczywistość wirtualna — Technologie rozproszonego rejestru i tożsamości cyfrowej — Technologie naprowadzania, nawigacji i kontroli, w tym elektronika lotnicza i pozycjonowanie na morzu
6.	ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKCJI	— Detekcja elektrooptyczna, radarowa, chemiczna, biologiczna, radiologiczna i rozproszona — Magnetometry, mierniki gradientu magnetycznego — Podwodne czujniki pola elektrycznego — Grawimetry i mierniki gradientu
7.	TECHNOLOGIE KOSMICZNE I NAPĘDOWE	— Specjalne technologie ukierunkowane na przestrzeń kosmiczną, od poziomu komponentów po systemy — Technologie obserwacji przestrzeni kosmicznej i obiektów kosmicznych oraz obserwacji Ziemi — Kosmiczne pozycjonowanie, nawigacja i synchronizacja czasu (PNT) — Bezpieczna komunikacja, w tym łączność na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO) — Technologie napędowe, w tym napęd hipersoniczny i komponenty do celów wojskowych
8.	TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE	— Technologie syntezy jądrowej, reaktory i wytwarzanie energii, technologie konwersji radiologicznej/wzbogacenia i recyklingu radiologicznego — Wodór i nowe paliwa — Technologie neutralne emisyjnie, w tym fotowoltaika — Inteligentne sieci i magazynowanie energii, baterie
9.	ROBOTYKA I SYSTEMY AUTONOMICZNE	— Drony i pojazdy (powietrzne, lądowe, nawodne i podwodne) — Roboty i systemy precyzyjne sterowane robotami — Egzoszkielety — Systemy wspomagane sztuczną inteligencją
10.	ZAAWANSOWANE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE PRODUKCJI I RECYKLINGU	— Technologie wytwarzania nanomateriałów, materiałów inteligentnych, zaawansowanych materiałów ceramicznych, materiałów niewykrywalnych, materiałów bezpiecznych i zrównoważonych już na etapie projektowania

		— Obróbka przyrostowa, także w terenie — Produkcja mikroprecyzyjna sterowana cyfrowo i obróbka laserowa/spawanie laserowe na małą skalę — Technologie wydobywania, przetwarzania i recyklingu surowców krytycznych (w tym ekstrakcja hydrometalurgiczna, bioługowanie, filtracja oparta na nanotechnologii, przetwarzanie elektrochemiczne i czarna masa)
--	--	---

Dla każdego z obszarów technologii krytycznych przedstawiono następujące informacje:

- a) charakterystykę potencjału i know-how Polski;
- b) informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym;
- c) informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym;
- d) informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych;
- e) informacje o ośrodkach badawczych;
- f) określenie barier rozwoju danej branży;
- g) określenie potencjału ludzkiego, wymaganej infrastruktury oraz poziomu finansowania;
- h) wykaz polskich podmiotów z informacją nt. konkretnych produktów i/lub usług, które podmiot (firma lub zespół badawczy) oferuje lub nad którymi prowadzi pracę, a które wpisują się w obszary 10 technologii krytycznych.

Wykaz firm i zespołów badawczych jest zbiorem otwartym. Autorzy przedstawili informacje o podmiotach im znanych, których efektywności są pewni, a także o podmiotach, których potencjał oceniają wysoko uważając, że przy właściwym wsparciu finansowym, organizacyjnym i w sytuacji rozwoju samego rynku danych technologii krytycznych, firmy te mają szanse rozwojowe na rynkach międzynarodowych. Część firm posiada rozwiązania w więcej niż jednej technologii krytycznej. Takie firmy występują w więcej niż w jednym wykazie. Wykazy firm zawierają nazwy podmiotów, adresy ich stron internetowych, informację czy w konkretnym przypadku mowa jest już o firmie, czy jeszcze o zespole badawczym, nazwy wiodących produktów (dla dużych firm podany jest rodzaj produktów) oraz krótki opis samych produktów lub ich grup.

W swoim exposé w Sejmie w dniu 25 kwietnia 2024 r. Minister Spraw Zagranicznych Radosław Sikorski mówił: „O pozycji międzynarodowej państw w coraz większym stopniu decyduje ich potencjał gospodarczy i zdolność do rywalizacji na rynku globalnym. Wykorzystanie pojawiających się szans zależy w głównej mierze od inicjatywy polskich inwestorów. Swoją rolę ma do odegrania także dyplomacja ekonomiczna, która wspiera za granicą polskie produkty i technologie”. Wymienione w analizie firmy i zespoły badawcze są przykładami podmiotów, które zasługują na wsparcie polskiej dyplomacji ekonomicznej.

Autorzy analizy mają wieloletnie doświadczenie zawodowe, w którym zajmowali się nowymi technologiami i od przeszło piętnastu lat związani są z Instytutem Sobieskiego. Bazując na swoim doświadczeniu, podjęli próbę określenia jakie powinny być priorytety rozwojowe dla Polski w obszarze technologii krytycznych.

W rozdziale 12. analizy zaproponowana została metodyka oceny polskiego potencjału w 10. obszarach technologii krytycznych. W rezultacie zostały one uszeregowane, od najbardziej do najmniej

perspektywicznych dla polskiej gospodarki. W rozdziale 12 autorzy przedstawili również działania (rekommendacje), które polski rząd oraz decydenci polityczni powinni podjąć, aby Polska stała się znaczącym graczem w obszarze technologii krytycznych, a tym samym przyczyniła się do wzmocnienia bezpieczeństwa gospodarczego całej Unii Europejskiej.

Instytut Sobieskiego jest polskim, prywatnym ośrodkiem analitycznym typu *think-tank*, którego misją jest *tworzenie idei dla Polski*. Został zarejestrowany w 2005 r. w formie prawnej fundacji. Od 2017 r. Instytut kładzie duży akcent w swojej działalności na publikacje opracowań i rekomendacji, których celem jest pokazywanie w jaki sposób polska gospodarka powinna wykorzystywać szanse związane z cyfryzacją, innowacyjnością i nowymi technologiami.

1.2. Technologie krytyczne, wschodzące i przełomowe.

Rozróżnienie krytycznych technologii (ang. *critical technologies*) i technologii wschodzących (ang. *emerging technologies*) ma decydujące znaczenie dla decyzji strategicznych państwa w zapewnieniu warunków dla odporności systemowej wspólnoty państwowej, zarówno w wymiarze politycznym, gospodarczym i społecznym, jak i w wymiarze indywidualnego człowieka¹.

Technologie, takie jak sztuczna inteligencja (AI), obliczenia kwantowe, Internet rzeczy (ang. *Internet of Things - IoT*), blockchain i biotechnologia rozwijają się dynamicznie, przekształcając gałęzie przemysłu i redefiniując normy społeczne i kulturowe. Sztuczna inteligencja rewolucjonizuje branże przemysłowe poprzez wsparcie w podejmowaniu decyzji w zmieniających się warunkach lub delegowaniu decyzji do procesów quasi lub w pełni zautomatyzowanych, a IoT zmienia sposób kontroli gromadzenia danych i wpływu na ich podaż na rynku w ramach kształtowania modeli zarządzania łańcuchem dostaw i analizy danych w czasie rzeczywistym².

Tymczasem obliczenia kwantowe na krawędzi mają potencjał rozwiązywania problemów wcześniej uważanych za nierozwiązywalne, co otwiera nowe możliwości dla kryptografii, odkryć naukowych o materiałach lub dla leków³. Jednak postępowi tym towarzyszy istotny wzrost zagrożeń w kontekście

¹ Zob: Robert Kroplewski, "Biepieczna, godna zaufania i odpowiedzialna sztuczna inteligencja w odpornym społeczeństwie", w pracy zbiorowej "Cyberbezpieczeństwo vs Sztuczna Inteligencja, Informatyka – Prawo - Zarządzenie", pod redakcją prof. Bolewstawa Szafrńskiego, wydawnictwo Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2024., a także Robert Kroplewski w: "Odporność AI a odporność wspólnoty" w: "Cyberbezpieczeństwo AI, AI w cyberbezpieczeństwie", wydawnictwo CyberPolicy NASK

² Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. McKinsey Global Institute.

<https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/disruptive-technologies> ;

Accenture. (2023). Technology vision 2023: When atoms meet bits: The foundations of our new reality.

<https://investor.accenture.com/~media/Files/A/Accenture-IR-V3/investor-toolkit/accenture-technology-vision-2023-full-report.pdf>

³ National Institute of Standards and Technology (NIST). (2024). Post-quantum cryptography standardization.

<https://csrc.nist.gov/Projects/post-quantum-cryptography/post-quantum-cryptography-standardization> ; IBM.

(n.d.). What is quantum computing?. Retrieved September 18, 2024, from <https://www.ibm.com/topics/quantum-computing> ; Accenture. (2023). Think beyond ones and zeros.

<https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/a-com-migration/r3-3/pdf/pdf-54/accenture-807510-quantum-computing-rgb-v02.pdf>

cyberbezpieczeństwa, co wymaga zasadniczej zmiany podejścia do rozwoju i wdrażania technologii tak w firmach, jak i organizmach jakim są państwa⁴.

Przestaje być już aktualne wąskie podejście “security by design”, które koncentruje się na osadzaniu funkcji bezpieczeństwa w nowych technologiach od samego początku, gdyż nie jest już wystarczające w obliczu złożonych i ewoluujących rozwiązań, współzależnych technologii i rosnącego krajobrazu nieopisanych korzyści, niewiadomego wpływu lub nieświadomionych zagrożeń. Stąd dostrzega się potrzebę natychmiastowej zmiany powyżej wspomnianego paradygmatu na zapewnienie od początku projektowania odporności systemu technologicznego oraz środowiska, w którym jest implementowany, czyli zmiany na podejście “resilience by design”. W ten sposób możliwe jest zapewnienie sytuacji, w której systemy charakteryzuje zdolność wytrzymywania ataków lub kryzysów, po których następuje ich regeneracja z zachowaniem możliwości działania i ich żywotności gospodarczo-społecznej. Podejście takie jest odpowiedzią na nieustanne zjawisko ewolucji i rozprzestrzeniania się technologii⁵.

Aktualnie dostrzega się 200 typów technologii, które mogą być uznane za krytyczne lub mogą stać się krytycznymi, jeśli są jeszcze w fazie wschodzącej, a które w sposób stały i codzienny oddziałują na cyfrową przestrzeń lokalnie i ponadnarodowo. Zwiększa się powierzchnia cyberataków, gdyż proliferacja połączonych urządzeń ma osiągnąć do 2030 r. liczbę ponad 32. miliardów. Każdy taki atak wpływa nie tylko na zaatakowany system techniczny, ale także na system polityczno-gospodarczo-społeczny, co dotyczy także suwerenności państwa w podejmowaniu decyzji⁶. Dlatego też dziś technologie krytyczne oraz wschodzące muszą być traktowane z ogromną powagą i rozważane w kontekście geostrategicznej konkurencji, autonomii i prawa do stanowienia.

W dzisiejszym pejzażu technologii należy dostrzegać różnice między technologiami nazywanymi krytycznymi, a technologiami wschodzącymi, aby podejmować właściwe decyzje strategiczne i inwestycyjne dla cyfrowej odporności państwa, gospodarki i społeczeństwa.

Krytyczne technologie to takie, które są niezbędne dla bezpieczeństwa narodowego, konkurencyjności gospodarczej i dobrobytu społecznego. Często mają potencjał podwójnego zastosowania, służąc zarówno cywilnym, jak i wojskowym zastosowaniom i są uważane za strategicznie ważne. Przykłady krytycznych technologii obejmują AI, komputery kwantowe, półprzewodniki i biotechnologię. Technologie te są ogólnie bardziej ugruntowane, przyciągając znaczne inwestycje ze strony rządu i przemysłu ze względu na ich natychmiastową i długoterminową wartość strategiczną. Dojrzałość krytycznych technologii oznacza, że są one już zintegrowane z infrastrukturą krajową i gospodarczą, co czyni je niezbędnymi do utrzymania przewagi strategicznej i ciągłości operacyjnej.

⁴ Zob: Robert Kroplewski, “Biepieczna, godna zaufania i odpowiedzialna sztuczna inteligencja w odpornym społeczeństwie”, w pracy zbiorowej “Cyberbezpieczeństwo vs Sztuczna Inteligencja, Informatyka – Prawo - Zarządzenie”, pod redakcją prof. Bolewstawa Szafrńskiego, wydawnictwo Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2024

⁵ R.Kroplewski, Odporność AI dla odpornej wspólnoty, w: Cyberbezpieczeństwo AI, AI w Cyberbezpieczeństwie, wydawnictwo: Cyber Policy NASK 2023. a także Navigating Cyber Resilience in the Age of Emerging Technologies: Collaborative Solutions for Complex Challenges, White Paper, wydawnictwo: World Economic Forum: Październik 2024.

⁶ Ibidem

Wschodzące technologie zaś to innowacyjne technologie, które są nadal w fazie rozwoju lub znajdują się na wczesnych etapach wdrażania. Mają potencjał, aby znacząco wpłynąć na różne sektory, ale nie są jeszcze w pełni ugruntowane ani szeroko wdrożone. Często wykraczają one poza czwartą rewolucję przemysłową, obejmując obszary, takie jak kryptografia postkwantowa, edycja genów, medycyna precyzyjna i zbieżne efekty zestawiania wielu technologii. W przeciwieństwie do technologii krytycznych, technologie wschodzące są bardziej spekulacyjne, przyciągając inwestycje skupione na badaniach i rozwoju, a nie na natychmiastowym wdrożeniu. Jednak ich szybka ewolucja i rosnące uznanie ich potencjału transformacyjnego wskazują, że mogą z czasem stać się technologiami krytycznymi⁷.

Zatem możliwe jest zaliczenie również niektórych technologii wschodzących jednak do kategorii krytycznych, jeśli przewiduje się, że ich wpływ dotknie problemy bezpieczeństwa gospodarki i społeczeństwa. Kwalifikację tę należy przeprowadzić kierując się oceną dojrzałości technologii i stopnia jej zintegrowania z infrastrukturą krajową, oceną znaczenia strategicznego, czyli uznania stopnia niezbędności dla interesów narodowych, bezpieczeństwa, konkurencyjności gospodarczej lub dobrobytu społecznego, oceną stopnia wpływu na system polityczno-gospodarczo-społeczny, a także oceną zaangażowania inwestycyjnego innych rządów lub organizacji.

Rozróżnienie między technologiami krytycznymi i wschodzącymi jest płynne: technologie wschodzące mogą z czasem stać się krytyczne, gdy ich potencjał i wpływ staną się bardziej widoczne. Ten dynamiczny krajobraz wymaga ciągłego monitorowania i dostosowywania strategii cyberbezpieczeństwa, aby zachować skuteczność w obliczu ewoluujących zagrożeń.

W poniższej analizie, autorzy skupili się na technologiach krytycznych, opisanych w powyższej tabeli. Warto jednak podkreślić, że zwłaszcza technologie kwantowe i biotechnologie, są równocześnie technologiami wschodzącymi i mają w sobie bardzo duży potencjał stania się technologiami przełomowymi.

⁷ Ibidem

2. TECHNOLOGIE W ZAKRESIE ZAAWANSOWANYCH PÓŁPRZEWODNIKÓW

Technologie półprzewodnikowe są podstawą nowoczesnej elektroniki i wykorzystują materiały o przewodności elektrycznej pomiędzy przewodnikiem a izolatorem. Najpopularniejszym materiałem półprzewodnikowym jest krzem. Technologie te są wykorzystywane do tworzenia bardzo małych komponentów elektronicznych, takich jak tranzystory, układy scalone (IC) i mikrochipy, które używane są w komputerach, smartfonach i niezliczonych innych urządzeniach.

Kluczowe aspekty technologii półprzewodnikowych obejmują:

- **Materiałoznawstwo**, które koncentruje się na opracowywaniu i udoskonalaniu materiałów półprzewodnikowych o określonych właściwościach elektrycznych.
- **Procesy produkcyjne**, które obejmuje skomplikowane etapy, takie jak litografia, trawienie i domieszkowanie w celu tworzenia złożonych wzorów i struktur na płytkach półprzewodnikowych.
- **Miniaturyzacja**, czyli ciągłe dążenie do zmniejszania rozmiarów tranzystorów i innych komponentów w celu zwiększenia wydajności i zmniejszenia zużycia energii.
- **Integracja**, czyli łączenie wielu komponentów i funkcji na jednym chipie w celu stworzenia potężnych i wydajnych układów scalonych.

To przede wszystkim technologie półprzewodnikowe zrewolucjonizowały informatykę, komunikację i automatyzację, umożliwiając rozwój mniejszych, szybszych i bardziej wydajnych urządzeń elektronicznych.

Półprzewodniki mają kluczowe znaczenie. Są niejako mózgiem prawie całej nowoczesnej elektroniki, od smartfonów i komputerów począwszy, po samochody i sprzęt medyczny. Półprzewodniki napędzają innowacje w dziedzinach, takich jak sztuczna inteligencja i umożliwiają korzystanie z podstawowych technologii, takich jak Internet. Są również kluczowe dla wzrostu gospodarczego, bezpieczeństwa narodowego i sprostania globalnym wyzwaniom, takim jak opieka zdrowotna i zmiany klimatu.

Niestety, w ostatnich latach Europa straciła na znaczeniu w światowym udziale w rynku półprzewodników, a główna ich produkcja przesunęła się do Azji, do Tajwanu i Chin. Polski rząd podejmował próby zbliżenia zwłaszcza z firmami tajwańskimi, ale nie skończyły się one jak dotychczas konkretnymi efektami⁸.

⁸ <https://www.digitimes.com/news/a20231204VL206/ic-manufacturing-poland-tsmc-green-energy.html>

2.1. Charakterystyka potencjału i know-how Polski

Polska stale rozwija swój potencjał jako centrum badań, rozwoju i produkcji w sektorze zaawansowanych półprzewodników. Chociaż nie jest głównym graczem, takim jak Tajwan, Korea Południowa czy Stany Zjednoczone, Polska rozwinęła dość znaczące know-how i potencjał w kilku kluczowych obszarach^{9 10}.

Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki (IMiO), będący częścią Sieci Badawczej Łukasiewicz, prowadzi najnowocześniejsze badania w dziedzinie mikroelektroniki i technologii półprzewodnikowych. IMiO ma doświadczenie w zakresie zaawansowanych opakowań, technologii krzemowych i systemów mikroelektromechanicznych (MEMS).

• DZIAŁALNOŚĆ FIRM W BRANŻY

Polski przemysł półprzewodników jest na etapie rozwoju. Działają krajowe i zagraniczne firmy zaangażowane na różnych etapach produkcji półprzewodników oraz badań i rozwoju¹¹.

Intel prowadzi w Polsce centrum badawczo-rozwojowe w Gdańsku, koncentrując się na sztucznej inteligencji, technologiach 5G i rozwiązaniach półprzewodnikowych¹². Inne firmy, takie jak Infineon Technologies i Micron Technologies, prowadzą przede wszystkim działalność dystrybucyjną oraz obsługi serwisowej/wsparcia technicznego.

• WSPARCIE RZĄDOWE I FINANSOWANIE UNII EUROPEJSKIEJ

Polska korzysta z programów finansowania Unii Europejskiej mających na celu pobudzenie innowacji i zaawansowanych technologii.

Horyzont Europa¹³ oferuje finansowanie badań i innowacji w zakresie zaawansowanych technologii, w tym półprzewodników.

Important Projects of Common European Interest - Ważne Projekty o Wspólnym Europejskim Znaczeniu (IPCEI)¹⁴ - przemysł półprzewodników jest głównym obszarem zainteresowania IPCEI, umożliwiając Polsce współpracę z innymi krajami UE.

• WYKWALIFIKOWANA SIŁA ROBOCZA I PRZEWAGA KONKURENCYJNA

W Polsce jest znacząca liczba inżynierów, szczególnie w dziedzinie elektroniki, fizyki i materiałoznawstwa oraz wysoko wykwalifikowanej siły roboczej¹⁵. Wiele międzynarodowych firm technologicznych posiada centra badawczo-rozwojowe w Polsce, prowadząc prace nad projektowaniem półprzewodników, oprogramowaniem dla chipów i integracji systemów.

⁹ <https://www.paih.gov.pl/en/wp-content/uploads/sites/2/2024/09/Achievements-and-Prospects-of-the-Semiconductor-Manufacturing-Industry-in-Poland-2024.pdf>

¹⁰ <https://www.trade.gov.pl/en/news/iss-europe-in-poland-the-future-of-the-semiconductor-industry-in-the-tri-city/>

¹¹ <https://biznesalert.pl/polska-tajwan-5g-polprzewodniki/>

¹² <https://www.intel.com/content/www/us/en/corporate-responsibility/intel-in-poland.html>

¹³ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/pl/news/europe-commits-semiconductor-innovation-new-testing-facilities>

¹⁴ <https://www.nowoczesnagospodarka.gov.pl/strony/dowiedz-sie-wiecej-o-programie/lista-projektow-o-znaczeniu-strategicznych-feng/ipcei/>

¹⁵ <https://www.trade.gov.pl/en/news/5-reasons-why-the-world-is-putting-its-bets-on-polish-it-engineers/>

- **SPECJALIZACJA**

Usługi testowania i weryfikacji półprzewodników stanowią istotną część cyklu produkcji półprzewodników.

W optoelektronice i fotonice Polska ma wieloletnią tradycję badań, zwłaszcza w zakresie technologii laserowych i czujników. Są one kluczowe dla niektórych wysokowydajnych zastosowań półprzewodników.

Wyzwania:

1. **Skala:** w Polsce brakuje dużych fabryk półprzewodników, co ogranicza jej zdolność do masowej produkcji w porównaniu z innymi krajami.
2. **Zależność od importu:** podobnie jak wiele krajów europejskich, Polska w dużym stopniu polega na imporcie półprzewodników z Azji i USA w zakresie surowców i najnowocześniejszego sprzętu produkcyjnego.

Potencjał na przyszłość:

1. Członkostwo Polski w UE i strategiczne powiązania z głównymi firmami technologicznymi oznaczają, że Polska ma szansę do odegrania bardziej znaczącej roli w realizacji celu Unii Europejskiej, jakim jest osiągnięcie większej niezależności w zaspakajaniu zapotrzebowania na półprzewodniki do 2030 roku.
2. Powiązanie talentów, badań akademickich i wsparcia rządowego oferuje atrakcyjne środowisko dla innowacji półprzewodnikowych, szczególnie w zakresie projektowania, prototypowania i zastosowań niszowych, takich jak fotonika, czujniki i MEMS.

2.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Do roku 21 września 2023 nie było właściwie żadnych specjalnych uregulowań prawnych dotyczących półprzewodników. Dopiero pandemia i światowy kryzys w dostępności do układów scalonych, który w Europie unieruchomił nawet produkcję samochodów w Niemczech (dziś każdy samochód jest jak komputer) uświadomił decydentom wagę technologii półprzewodników.

Dlatego we wrześniu 2023 ustanowiono **The European Chips Act**¹⁶. Jest to prawo Unii Europejskiej, Europejski Akt w Sprawie Czipów, które ma na celu wzmocnienie europejskiego przemysłu półprzewodników i zmniejszenie zależności od zagranicznych dostawców. Zapewnia ono możliwości finansowania, wspiera badania i rozwój oraz wprowadza regulacje, które mają wzmocnić branżę półprzewodników działających w Unii Europejskiej, w tym w Polsce.

Istniejące bodźce inwestycyjne:

- **Specjalne Strefy Ekonomiczne:** Polska oferuje ulgi podatkowe i inne zachęty dla firm inwestujących w Specjalnych Strefach Ekonomicznych. Korzystać z nich mogą również firmy prowadzące badania i produkujące półprzewodniki.

¹⁶ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/european-chips-act>

- **Dotacje na badania i rozwój:** rządowe granty i programy finansowania wspierające działalność badawczo-rozwojową w sektorze półprzewodników¹⁷.

Kluczowe wnioski:

- Firmy z branży półprzewodników działające w Polsce nie korzystają z formalnych ułatwień lub przywilejów finansowych, które wsparłyby ich rozwój.
- Wspomniane prawo unijne, od 21 września 2023 roku, reguluje rynek czipów i łańcuchów dostaw, tym samym tworząc ramy konkurencji dla polskich i europejskich firm. Prawo to może spowodować konieczność wprowadzenia nowego prawodawstwa również na poziomie krajowym.

2.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

W Polsce dedykowane przepisy dotyczących półprzewodników są rozwijane w ścisłej koordynacji z rozwojem prawa unijnego. Szereg kluczowych aktów prawnych tworzy ramy prawne tej branży:

Kluczowe dokumenty kierunkowe:

- **Europejski Akt w Sprawie Chipów (ECA)¹⁸:**
ECA jest unijnym rozporządzeniem, które znacząco wpływa na działalność w obszarze półprzewodników w Polsce. ECA zapewnia możliwości finansowania, wspiera badania i rozwój oraz może wprowadzać dalsze regulacje mające znaczenie dla firm półprzewodnikowych działających w Polsce.
- **Krajowe ramy dla przemysłu półprzewodników w Polsce** są obecnie w fazie rozwoju. Nad wdrażaniem ECA ze strony rządowej pracują przede wszystkim Ministerstwo Rozwoju i Technologii, które odpowiada za kształtowanie polityki w zakresie innowacyjności i technologii, także w obszarze półprzewodników, Centrum Projektów Polska Cyfrowa, zarządzające funduszami, z których mogą być finansowane projekty związane z ECA, a także - w zależności od specyfiki projektów - inne ministerstwa (od Ministerstwa Edukacji po Ministerstwo Obrony Narodowej).

Wspomniane powyżej dokumenty stanowią ramy strategiczne dla rozwoju branży półprzewodników. Tworzą one podstawy prawne dla działalności w Polsce sprzyjając rozwojowi tej strategicznej branży.

2.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

W branży półprzewodników istnieje szereg organizacji, które przyczyniają się do jej rozwoju poprzez zapewnianie możliwości kooperacji, innowacji i tworzenia sieci kontaktów. Poniżej znajduje się lista kluczowych podmiotów:

¹⁷ <https://studio.pwc.pl/aktualnosci/english/insights/over-pln-7-billion-of-support-for-the-semiconductor-sector>

¹⁸ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-chips-act_pl

- **Sieć Badawcza Łukasiewicz¹⁹**

Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki (IMiO): Instytut ten specjalizuje się w technologiach półprzewodnikowych, mikroelektronice, fotonice i zaawansowanych materiałach. IMiO współpracuje zarówno z lokalnymi, jak i międzynarodowymi firmami i instytucjami badawczymi w celu stymulowania innowacji w dziedzinie półprzewodników. Instytut posiada doświadczenie w testowaniu półprzewodników, MEMS, zaawansowanych opakowań i technologii krzemowych.

Sieć Badawcza Łukasiewicz jest narodową organizacją badawczą obejmującą wiele instytutów zajmujących się technologią i innowacjami, w tym mikroelektroniką.

- **Klaster Mikroelektroniki, Elektroniki i Fotoniki (microEPC)²⁰**

Klaster koncentruje się na wspieraniu współpracy między przemysłem, środowiskiem akademickim i rządem w dziedzinie mikroelektroniki, fotoniki i nanotechnologii. Jest to istotna inicjatywa w polskich wysiłkach na rzecz wspierania zaawansowanych badań i rozwoju w dziedzinie półprzewodników i nanotechnologii. Klaster obejmuje firmy, instytucje badawcze i uniwersytety, które pracują nad rozwojem technologii kluczowych dla zastosowań półprzewodnikowych, takich jak czujniki, optoelektronika i inne zaawansowane materiały.

- **Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii (IZTECH)²¹**

Izba koncentruje się na wspieraniu branży zaawansowanych technologii w Polsce, w tym tych związanych z technologiami kwantowymi. IZTECH ma na celu wspieranie współpracy między członkami i ułatwianie rozwoju branży.

- **Invest in Pomerania²²**

Inicjatywa ta koncentruje się na przyciąganiu inwestycji zagranicznych i promowaniu sektora półprzewodników w regionie pomorskim, w szczególności w Trójmieście (Gdańsk, Gdynia, Sopot). Jest pierwszą polską organizacją, która dołączyła do SEMI, podkreślając swoje zaangażowanie w branżę.

- **SEMI Europe²³**

Choć nie jest to wyłącznie polska organizacja, SEMI Europe odgrywa istotną rolę w łączeniu polskich firm półprzewodnikowych z globalnym przemysłem. Organizuje wydarzenia, zapewnia wgląd w branżę i działa na rzecz wspierania sektora półprzewodników w Europie, w tym w Polsce.

- **Polska Agencja Inwestycji i Handlu (PAIH)²⁴**

¹⁹ <https://imif.lukasiewicz.gov.pl/>

²⁰ <https://pptf.pl/klaster-mikroelektroniki-elektroniki-i-fotoniki/>

²¹ <https://www.iztech.pl/>

²² <https://investinpomerania.pl/en/news/12-07-2023-northern-poland-ready-to-host-next-semiconductor-manufacturing-projects-invest-in-pomerania-joins-semi/>

²³ <https://www.semi.org/en/technology-trends/topic/semi-europe>

²⁴ <https://www.paih.gov.pl/>

PAIH jest agencją rządową wspierającą inwestycje zagraniczne w Polsce, także w sektorze półprzewodników. Zapewnia informacje, pomoc i zachęty w celu zachęcenia firm międzynarodowych do inwestowania w Polsce.

- **Klastry i centra innowacji**

W Polsce rośnie liczba klastrów technologicznych i centrów innowacji wspierających branżę półprzewodników:

Krakowski Park Technologiczny²⁵: skupia firmy zajmujące się badaniami i rozwojem, elektroniką i mikroelektroniką, w tym startupy koncentrujące się na półprzewodnikach.

Wrocławski Park Technologiczny²⁶: ośrodek innowacji w elektronice i półprzewodnikach, w którym znajdują się ośrodki badawczo-rozwojowe dla międzynarodowych i lokalnych firm.

Witryna internetowa:

Mazowiecki Klaster ICT²⁷: z siedzibą w Warszawie, koncentruje się na ICT (Information and Communications Technology). Obejmuje technologię półprzewodnikową, szczególnie w odniesieniu do mikroelektroniki i oprogramowania.

Powyższe organizacje i instytucje odgrywają kluczową rolę we wspieraniu innowacji, napędzaniu badań i wspieraniu rozwoju polskiego przemysłu półprzewodników. Polski sektor półprzewodników jest nadal na wczesnym etapie rozwoju i rolę podmiotów takich jak powyżej wspomniane jest zapewnianie niezbędnej infrastruktury potrzebnej w procesie rozwoju i współpracy międzynarodowej.

2.5. Informacje o ośrodkach badawczych

W Polsce znajduje się kilka ośrodków badawczo-rozwojowych zajmujących się technologiami półprzewodnikowymi. Ośrodki te są często powiązane z instytucjami akademickimi, instytutami badawczymi wspieranymi przez rząd oraz ośrodkami badawczo-rozwojowymi sektora prywatnego.

Lista kluczowych ośrodków badawczo-rozwojowych w obszarze półprzewodników w Polsce:

- **Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki**²⁸

Badania naukowe: badania w zakresie mikroelektroniki, fotoniki i materiałoznawstwa, z zastosowaniami w półprzewodnikach, czujnikach i optoelektronice.

Specjalizacja: doświadczenie w takich dziedzinach, jak mikroobróbka krzemu, projektowanie układów scalonych i charakteryzacja materiałów półprzewodnikowych.

- **Politechnika Warszawska (PW) - Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych**²⁹

Badania naukowe: prowadzi badania w zakresie mikroelektroniki, nanotechnologii i telekomunikacji, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów, urządzeń i obwodów półprzewodnikowych.

²⁵ <https://www.kpt.krakow.pl/>

²⁶ <https://www.technologypark.pl/>

²⁷ <https://klasterict.pl/>

²⁸ <https://european-digital-innovation-hubs.ec.europa.eu/edih-catalogue/lukasiewicz-research-network-institute-microelectronics-and-photonics-imif>

²⁹ <https://www.elka.pw.edu.pl/>

Współpraca: wydział współpracuje z partnerami przemysłowymi przy projektach badawczo-rozwojowych i zapewnia szkolenia dla przyszłych inżynierów w dziedzinie półprzewodników.

Witryna internetowa:

- **Akademia Górniczo-Hutnicza - Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji**³⁰

Badania naukowe: w obszarze elektroniki, nanotechnologii, fizyki półprzewodników i systemów zintegrowanych, specjalizuje się zarówno w teoretycznych, jak i praktycznych aspektach mikroelektroniki, nanotechnologii i systemów czujników, jest zaangażowana w liczne międzynarodowe projekty koncentrujące się na innowacjach półprzewodnikowych.

Specjalizacja: Materiały półprzewodnikowe, MEMS, systemy czujników i zaawansowane technologie fotoniczne.

- **Politechnika Wrocławska - Wydział Elektroniki**³¹

Badania naukowe: w obszarze mikroelektroniki, VLSI, przyrządy półprzewodnikowe i nanotechnologia, koncentruje się na układach elektronicznych, urządzeniach mikroelektronicznych i systemach zintegrowanych, współpracuje z międzynarodowymi firmami technologicznymi i sieciami badawczymi w zakresie zaawansowanych rozwiązań półprzewodnikowych.

Specjalizacja: Przyrządy półprzewodnikowe, energoelektronika i materiały nanostrukturalne do zastosowań elektronicznych.

- **Polska Akademia Nauk - Instytut Fizyki**³²

Badania naukowe: prowadzi badania podstawowe w zakresie fizyki materii skondensowanej, w tym materiałów półprzewodnikowych i ich właściwości.

Współpraca: z uniwersytetami i partnerami przemysłowymi przy projektach badawczych związanych z technologią półprzewodników.

- **Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (PCSS)**³³

Badania naukowe: wysokowydajne obliczenia (HPC), symulacje półprzewodników i nanoelektronika, jest silnie zaangażowany w badania i rozwój związane z technologią półprzewodników poprzez symulacje, optymalizacje projektów i aplikacje w HPC, badania nad architekturami półprzewodnikowymi dla platform obliczeniowych nowej generacji, w tym sztucznej inteligencji i obliczeń kwantowych.

Specjalizacja: symulacje półprzewodników, wysokowydajne architektury obliczeniowe i nanotechnologia dla elektroniki.

- **Krakowski Park Technologiczny**³⁴

Obszary działalności: startupy i firmy zajmujące się mikroelektroniką, testowaniem półprzewodników i projektowaniem sprzętu, Krakowski Park Technologiczny zapewnia infrastrukturę i wsparcie dla startupów i firm związanych z półprzewodnikami w Polsce, kilka

³⁰ <https://iet.agh.edu.pl/>

³¹ <https://weka.pwr.edu.pl/>

³² <https://www.ifpan.edu.pl/>

³³ <https://www.pcass.pl/>

³⁴ <https://www.kpt.krakow.pl/>

laboratoriów badawczo-rozwojowych w ramach parku pracuje nad testowaniem urządzeń półprzewodnikowych, prototypowaniem sprzętu i zaawansowaną elektroniką.

Specjalizacja: wsparcie dla innowacji związanych z półprzewodnikami, w tym hosting obiektów badawczo-rozwojowych dla firm mikroelektronicznych.

- **VIGO Photonics S.A.**³⁵

Obszary działalności: półprzewodnikowe detektory podczerwieni (IR), optoelektronika, urządzenia fotoniczne, prace badawczo-rozwojowe w zakresie półprzewodnikowych detektorów podczerwieni i technologii fotonicznych, opracowywanie zaawansowanych fotodetektorów wykorzystywanych w różnych gałęziach przemysłu, w tym w przemyśle obronnym, kosmicznym i automatyce przemysłowej.

Specjalizacja: technologie w dziedzinie półprzewodników podczerwieni i fotoniki.

- **Intel R&D Center – Gdańsk**³⁶

Obszary działalności: projektowanie półprzewodników, architektura mikroprocesorów, chipy AI, 5G i powiązane zaawansowane technologie, Intel posiada znaczące centrum badawczo-rozwojowe w Gdańsku, koncentruje się na projektowaniu i rozwijaniu technologii półprzewodnikowych, w szczególności tych wykorzystywanych w mikroprocesorach i sprzęcie AI. Centrum pracuje nad innowacyjnymi rozwiązaniami związanymi z architekturą chipów, testowaniem półprzewodników i technologią 5G.

Specjalizacja: gdański ośrodek Intela jest jednym z największych centrów badawczo-rozwojowych firmy w Europie i wnosi znaczący wkład w globalne badania nad półprzewodnikami.

Powyższe centra odgrywają kluczową rolę w rozwoju polskiego przemysłu półprzewodników, prowadząc badania na wysokim poziomie, wspierając innowacje i współpracując z globalnymi firmami technologicznymi w celu dalszego rozwoju krajowej wiedzy specjalistycznej w zakresie technologii półprzewodnikowych.

2.6. Bariery rozwoju

Rozwój branży półprzewodników w Polsce napotyka na kilka znaczących barier, które są wypadkową wyzwań ekonomicznych, technologicznych, środowiskowych³⁷ i politycznych³⁸. Oto wybór ważniejszych barier:

- **BRAK ZAAWANSOWANEJ INFRASTRUKTURY**

Niedostatek technologiczny: Polska nie posiada zaawansowanej infrastruktury potrzebnej do projektowania i produkcji zaawansowanych półprzewodników (np. niezbędne są sterylne pomieszczenia i zakłady produkcji płytek półprzewodnikowych).

Ograniczenia w zakresie badań i rozwoju: ograniczone możliwości badawczo-rozwojowe (R&D) w zakresie mikroelektroniki i technologii półprzewodnikowych, zwłaszcza w porównaniu z innymi globalnymi centrami półprzewodników takimi jak: Tajwan, Korea Południowa czy USA.

³⁵ <https://vigophotonics.com/>

³⁶ <https://www.intel.com/content/www/us/en/newsroom/resources/intel-invests-poland.html>

³⁷ <https://fpt-semiconductor.com/blogs/the-semiconductor-industry/>

³⁸ <https://cepa.org/article/polish-tech-grand-ambitions-on-a-shaky-foundation/>

- **NIEDOBÓR WYSOKO WYKWALIFIKOWANEJ SIŁY ROBOCZEJ**

Niedobór talentów: w Polsce brakuje wystarczającej ilości wysoko wykwalifikowanych i wyspecjalizowanych inżynierów i techników z doświadczeniem w projektowaniu i produkcji półprzewodników. Liczba wykwalifikowanych talentów jest ograniczona.

Odptyw talentów: wykwalifikowani polscy naukowcy, inżynierowie i technicy często opuszczają Polskę i przenoszą się do krajów z silniej rozwiniętą branżą półprzewodników (w poszukiwaniu wyższych zarobków i większych szans zawodowego rozwoju).

- **ZAGRANICZNA KONKURENCJA**

Dominacja ośrodków o ugruntowanej pozycji: globalna produkcja półprzewodników skoncentrowana jest w regionach takich jak Stany Zjednoczone, Azja Wschodnia i część Europy (np. Niderlandy, Niemcy). Stanowi to bardzo poważną konkurencję dla Polski.³⁹

Zależność od bezpośrednich inwestycji zagranicznych: rozwój półprzewodników w Polsce może być nadmiernie uzależniony od przyciągania zagranicznych firm, zamiast wspierać silny krajowy ekosystem innowacji i przedsiębiorczości.

- **POTENCJAŁ BADAWCZO-ROZWOJOWY**

Zwiększenie inwestycji w badania i rozwój: chociaż Polska posiada kilka ośrodków badawczo-rozwojowych, zwiększenie inwestycji w badania i rozwój ma kluczowe znaczenie dla napędzania innowacji i rozwoju zaawansowanych technologii półprzewodnikowych.

Współpraca: wzmocnienie współpracy między instytucjami badawczymi, uniwersytetami i przemysłem jest niezbędne do maksymalizacji wysiłków w zakresie badań i rozwoju.

- **WYSOKIE WYMOGI KAPITAŁOWE**

Wysokie koszty wejścia: tworzenie fabryk półprzewodników i zakładów produkcyjnych wymaga znacznych inwestycji kapitałowych. Polska może mieć trudności z przyciągnięciem inwestycji na dużą skalę ze względu na ryzyko finansowe i rynkowe związane z takimi projektami.⁴⁰

Długi okres zwrotu z inwestycji: branża półprzewodników wymaga długiego czasu, zanim inwestycje staną się rentowne.

- **KOSZTY ENERGII I STABILIZACJA**

Przemysł energochłonny: produkcja półprzewodników wymaga znacznych i stałych dostaw energii. Infrastruktura energetyczna w Polsce może nie być obecnie zdolna do obsługi tak intensywnych potrzeb.

Przejsie na energię odnawialną: w miarę jak globalny przemysł półprzewodników zmierza w kierunku zrównoważonego rozwoju, zależność Polski od wysokoemisyjnego wytwarzania energii może stanowić blokującą barierę.

- **OGRANICZENIA ŁAŃCUCHA DOSTAW**

Zależność od globalnych łańcuchów dostaw: Polska jest uzależniona od zewnętrznych łańcuchów dostaw surowców, specjalistycznego sprzętu i komponentów, które mogą zostać zakłócone przez globalne napięcia handlowe lub niedobory.

³⁹ <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=6717>

⁴⁰ <https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/semiconductor-design-and-manufacturing-achieving-leading-edge-capabilities>

Ryzyko geopolityczne: branża półprzewodników jest wrażliwa na globalne kwestie geopolityczne, w tym wojny handlowe i sankcje. Mogą one wpłynąć na zdolność Polski do uzyskania dostępu do niektórych krytycznych materiałów lub technologii.

- **NIEWYSTARCZAJĄCE WSPARCIE RZĄDOWE**

Brak polityki przemysłowej: chociaż polski rząd ma programy wspierające innowacje i przemysł, mogą one nie być dostatecznie dostosowane do stale zmieniających się specjalistycznych potrzeb rozwijającego się sektora półprzewodników.

Barьеры regulacyjne: złożone procedury biurokratyczne i przeszkody regulacyjne spowalniają inwestycje i rozwój branży zaawansowanych technologii.

- **OGRANICZONA WSPÓŁPRACA Z GLOBALNYMI GRACZAMI**

Partnerstwa międzynarodowe: Polska ma niewystarczającą liczbę partnerstw z głównymi globalnymi firmami półprzewodnikowymi i instytucjami badawczymi, co ogranicza transfer wiedzy, technologii i inwestycji.

Konieczne czynniki do przewyższenia barier to:

- **Wsparcie rządowe:** ze względu na bardzo wysokie ryzyka inwestycyjne związane z działalnością w obszarze innowacyjności najnowocześniejszych technologii, takich jak rozwój technologii półprzewodnikowych, kluczową rolę odgrywa wsparcie rządowe, poprzez wsparcie minimalizujące te ryzyka, zwłaszcza dające wiarygodną przewidywalność warunków działania. Jest to istotniejsze od – także koniecznego – bezpośredniego wsparcia finansowego.
- **Współpraca branżowa:** współpraca między podmiotami branżowymi, instytucjami badawczymi i agencjami rządowymi jest niezbędna do pokonania wymienionych barier i wspierania dobrze prosperującego ekosystemu półprzewodników w Polsce.

2.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Branża półprzewodników jest bardzo złożona i wymagająca. Wymaga połączenia specjalistycznych umiejętności, solidnej infrastruktury i znacznych zasobów finansowych. Poniżej znajduje się zestawienie kluczowych elementów⁴¹ składowych.

Potencjał ludzki:

- **Wykwalifikowana siła robocza**

Branża półprzewodników wymaga wysoko wykwalifikowanej siły roboczej z doświadczeniem w różnych dyscyplinach:

Naukowcy: naukowcy i badacze napędzają innowacje w zakresie materiałów, procesów i projektowania chipów⁴².

Menedżerowie: doświadczeni menedżerowie ze znajomością branży są potrzebni do nadzorowania operacji i kierowania zespołami⁴³.

⁴¹ <https://www.csis.org/blogs/perspectives-innovation/geotech-wars-semiconductors-most-complex-device-history-syed-alam>

⁴² <https://new.nsf.gov/tip/updates/future-of-semiconductors-2023>

⁴³ <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/technology/articles/global-semiconductor-talent-shortage.html>

Inżynierowie: inżynierowie elektryczni, chemiczni, materiałowi i oprogramowania mają kluczowe znaczenie dla projektowania, produkcji i testowania⁴⁴ produktów.

Technicy: wykwalifikowani technicy obsługują i konserwują zaawansowany sprzęt w zakładach produkcyjnych⁴⁵.

- **Napływ talentów**

Silny system edukacyjny i programy szkoleniowe są niezbędne do zapewnienia i rozwoju ciągłego strumienia wykwalifikowanych pracowników⁴⁶.

- **Przyciąganie talentów**

Konkurencyjne wynagrodzenia, świadczenia i możliwości rozwoju kariery mają kluczowe znaczenie dla przyciągnięcia i zatrzymania najlepszych talentów na globalnym rynku⁴⁷.

Wymagana infrastruktura:

- **Zakłady produkcyjne**

Produkcja półprzewodników wymaga specjalistycznych obiektów z pomieszczeniami, które charakteryzują czystość, precyzyjna kontrola temperatury i wilgotności oraz wyposażenie w zaawansowany sprzęt⁴⁸.

- **Wysoka inwestycja początkowa**

Budowa infrastruktury i zakładów produkcyjnych wiąże się ze znacznymi kosztami⁴⁹.

- **Media**

Niezawodne i stabilne dostawy energii elektrycznej, wody i innych mediów mają kluczowe znaczenie dla efektywnego, nieprzerwanego działania⁵⁰.

- **Branże wspierające**

Branże wspierające, takie jak dostawcy sprzętu i materiałów, są niezbędne dla zapewnienia dobrze prosperującego ekosystemu półprzewodników.

Finansowanie:

- **Nakłady kapitałowe**

Produkcja półprzewodników jest kapitałochłonna i wymaga znacznych inwestycji w:

Sprzęt: zaawansowane maszyny litograficzne, narzędzia do trawienia i inny specjalistyczny sprzęt są niezwykle kosztowne⁵¹.

Obiekty: budowa i utrzymanie zakładów produkcyjnych wiąże się ze znacznymi kosztami⁵².

⁴⁴ <https://corporatetraining.usf.edu/blog/what-is-semiconductor-technology-and-why-is-it-important>

⁴⁵ <https://www.csis.org/blogs/perspectives-innovation/geotech-wars-semiconductors-most-complex-device-history-syed-alam>

⁴⁶ <https://www.commerce.gov/news/blog/2023/10/training-world-leading-and-diverse-manufacturing-workforce>

⁴⁷ <https://www.maximaconsulting.com/newsroom/navigating-talent-acquisition-in-the-semiconductor-manufacturing-industry>

⁴⁸ <https://angstromtechnology.com/what-are-semiconductor-cleanrooms/>

⁴⁹ <https://www.bcg.com/publications/2023/navigating-the-semiconductor-manufacturing-costs>

⁵⁰ <https://disclosure.spglobal.com/ratings/en/regulatory/article/-/view/type/HTML/id/3260139>

⁵¹ <https://www.taipeitimes.com/News/biz/archives/2024/05/16/2003817914>

⁵² <https://www.bcg.com/publications/2023/navigating-the-semiconductor-manufacturing-costs>

- **Badania i rozwój** Ciągłe inwestycje w badania i rozwój są kluczowe dla utrzymania konkurencyjności i rozwoju nowych technologii półprzewodnikowych⁵³.
- **Kapitał obrotowy** Fundusze są potrzebne na bieżące operacje, w tym surowce, koszty pracy i zapasy.
- **Źródła finansowania** Niezbędne jest zapewnienie finansowania z różnych źródeł:
Inwestycje prywatne: *venture capital*, *private equity* i inwestycje korporacyjne⁵⁴.
Finansowanie rządowe: dotacje, subsydia i zachęty podatkowe mogą odgrywać znaczącą rolę. Kluczowa będzie umiejętność pozyskiwania finansowania w ramach programów Unii Europejskiej zwłaszcza, że konieczność posiadania europejskich zdolności wytwarzania półprzewodników została zrozumiana przez decydentów Komisji Europejskiej⁵⁵.
Rynki publiczne: pierwsze oferty publiczne i emisje obligacji mogą zapewnić kapitał.

Trzy elementy - potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie - są ze sobą powiązane i stanowią trzy filary sukcesu w branży półprzewodników. Przyciągnięcie największych talentów wymaga konkurencyjnych wynagrodzeń i najnowocześniejszych obiektów. Budowa zaawansowanych obiektów wymaga znacznych inwestycji finansowych. Pozyskanie finansowania często zależy od wykazania istnienia silnego zespołu z realnym biznesplanem.

2.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze technologii zaawansowanych półprzewodników wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
KPLabs Sp. z o.o.	https://kplabs.space/	Firma	Antelope Leopard	Zestawy Data Processing Unit (DPU) także dla przemysłu kosmicznego
Ensemble 3	https://ensemble3.eu/	Firma	Różne zaawansowane materiały do detektorów i fotodiod	Zaawansowane materiały oparte na wzroście kryształów, nanofotonika,
Space Forest Sp. z o.o.	https://spaceforest.pl/	Firma	RASEL HUSSAR	System śledzenia i transmisji

⁵³ <https://www.itic.org/news-events/techwonk-blog/chips-rd-funding-is-essential-to-building-a-stronger-lasting-semiconductor-ecosystem>

⁵⁴ <https://allpros.eu/news/eu-100-billion-private-investment-european-semiconductor-industry>

⁵⁵ <https://studio.pwc.pl/aktualnosci/english/insights/over-pln-7-billion-of-support-for-the-semiconductor-sector>

				danych. Radar
Thorium Space Sp. z o.o.	https://thorium.space/	Firma/ Zespół badawczy	Aurora Satellite Terminal Thorium Space Chipsets / Small Geo HTS Satelite	Układy elektroniczne/ Mały cyfrowy satelita nowej generacji dla pasma Ka
VIGO Photonics S.A.	https://vigophotonics.com/	Firma	Detektory nGaAs, InAs i InAsSb IR Czujniki podczerwieni	Układy elektroniczne
Wilk Elektronik S.A.	https://www.goodram.com/	Firma	GoodRAM	Kostki pamięci RAM
XTPL S.A.	https://xtpl.com/pl/	Firma	XTPL Delta Printing System	Ultraprecyzyjna technologia druku

3. TECHNOLOGIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

Rozwiązania sztucznej inteligencji to zaawansowane technologie, które umożliwiają maszynom analizowanie, interpretowanie i podejmowanie decyzji na podstawie dużych zbiorów danych. Jednym z ich kluczowych elementów są obliczenia wielkiej skali, które pozwalają przetwarzać ogromne ilości informacji w krótkim czasie, co jest niezbędne dla efektywnego działania AI. Do rozwiązań tych zalicza się również przetwarzanie danych w chmurze oraz na obrzeżach sieci, umożliwiające szybki dostęp do danych i analizowanie ich blisko miejsca powstawania, co skraca czas reakcji systemu. Sztuczna inteligencja wykorzystuje także zaawansowane technologie analizy danych, które potrafią wydobyć kluczowe informacje z dużych i złożonych zbiorów danych. Komputerowe rozpoznawanie obrazów oraz rozpoznawanie obiektów pozwala na identyfikację i klasyfikację elementów na zdjęciach i filmach, co jest kluczowe w takich obszarach jak: bezpieczeństwo, medycyna czy produkcja. Przetwarzanie języka, znane też jako NLP, umożliwia zrozumienie i generowanie języka naturalnego, co pozwala maszynom komunikować się z ludźmi w sposób bardziej intuicyjny i przystępny. Wszystkie te technologie razem stanowią fundament nowoczesnych systemów sztucznej inteligencji, które coraz częściej wspierają działania ludzi w różnorodnych branżach i dziedzinach życia.

Sztuczna technologia stała się również obszarem geopolityki i światowej rywalizacji. Chińska Republika Ludowa ogłosiła swoją strategię rozwoju sztucznej inteligencji w 2017 ("New Generation Artificial Intelligence Development Plan"⁵⁶), przed Stanami Zjednoczonymi, które swoją strategię („American AI Initiative”⁵⁷) ogłosiły w 2018. Chińczycy deklarują, że do 2025 roku chcą osiągnąć znaczący przełom technologiczny w AI, który znajdzie szerokie zastosowanie w gospodarce i społeczeństwie. Do 2030 chcą stać się światowym liderem w dziedzinie sztucznej inteligencji, z wiodącymi technologiami i zastosowaniami. Celem Amerykanów jest natomiast zachowanie pozycji lidera. Kolejny kraj – Francja ogłosiła swoją strategię jeden miesiąc po Stanach Zjednoczonych, pod nazwą „AI for Humanity”⁵⁸, kładąc akcent na etyczny rozwój AI oraz inwestycje w badania, edukację oraz współpracę międzynarodową. W podobnym duchu swoje strategie ogłosiły inne państwa europejskiej. Razem ze strategiami, wszystkie te kraje przeznaczają miliardy dolarów i euro na inwestycje w rozwiązania sztucznej inteligencji.

3.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

Potencjał Polski w obszarze sztucznej inteligencji (AI) dynamicznie rośnie. Jest to wynik przede wszystkim posiadania przez Polskę dobrego systemu kształcenia technicznego, przede wszystkim informatycznego, a także długiej tradycji tworzenia algorytmów (lwowska szkoła matematyczna, zespół rozpracowujący niemiecką maszynę szyfrującą Enigma) oraz powstania całego ekosystemu firm informatycznych oraz kultury startupów.

Główne atuty Polski w obszarze technologii sztucznej inteligencji to:

- **Kapitał ludzki i edukacja**

Polska dysponuje wysoko wykwalifikowaną kadrą inżynierów, programistów i specjalistów IT. Polskie uczelnie techniczne, takie jak Politechnika Warszawska, Politechnika Wrocławska, Politechnika

⁵⁶ [EPRS | European Parliamentary Research Service Author: Ulrich Jochheim, Members' Research Service PE 696.206 – September 2021](#)

⁵⁷ [AMERICAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE INITIATIVE: YEAR ONE ANNUAL REPORT February 2020](#)

⁵⁸ https://ai-watch.ec.europa.eu/countries/france/france-ai-strategy-report_en

Gdańska, Uniwersytet Jagielloński, AGH w Krakowie i inne co roku wypuszczają na rynek ok. 13 tysięcy absolwentów, którzy studiowali technologie informatyczne (Tab. 1).

Polskie zespoły informatyków regularnie wygrywają lub są w czołówce w prestiżowym konkursie programistycznym pod nazwą Akademickie Mistrzostwa Świata w Programowaniu Zespołowym (ICPC - International Collegiate Programming Contest). To właśnie Polacy byli twórcami OpenAI, najgłośniejszego projektu AI w ostatnich trzech latach - Wojciech Zaremba, Jakub Pachocki, Jerzy Tworek, Szymon Sidor i Łukasz Kaiser.

WYSZCZEGÓLNIENIE	Ogółem	W tym kobiety
Ogółem	292605	183817
Kształcenie	19909	16533
Nauki humanistyczne i sztuka	26524	19232
Nauki społeczne, dziennikarstwo i informacja	31690	22118
Biznes, administracja i prawo	71112	46989
Nauki przyrodnicze, matematyka i statystyka	10978	7768
Technologie teleinformatyczne	13512	2131
Technika, przemysł, budownictwo	44431	17415
Rolnictwo	5403	3185
Zdrowie i opieka społeczna	36533	29582
Usługi	25466	15450
Indywidualne studia międzyobszarowe	7047	3414

Tab. 1 Absolwenci uczelni według grup kierunków kształcenia w roku akademickim 2021/22⁵⁹.

- **Dynamicznie rozwijająca się branża IT**

Polska jest jednym z najszybciej rozwijających się rynków IT w Europie Środkowo-Wschodniej. Wiele międzynarodowych firm, takich jak Google, Microsoft, IBM, oraz Amazon, zdecydowało się na otwarcie swoich centrów badawczo-rozwojowych w Polsce. Te centra często koncentrują się na projektach związanych z AI, co sprzyja transferowi wiedzy i technologii.

- **Innowacyjne startupy**

Na polskiej scenie startupowej pojawia się coraz więcej firm związanych z AI. Przykładem są takie firmy jak **Brainly** (platforma edukacyjna z elementami AI), **Deep.Sense.ai** (analityka danych oparta na sztucznej inteligencji), **SentiOne** (narzędzia do analizy mediów społecznościowych z wykorzystaniem AI) czy **Allegro**, które wdraża AI do optymalizacji operacji *e-commerce*. Rozwój startupów wspierają inkubatory i akceleratory, finansowane przez Polski Fundusz Rozwoju, kapitał VC oraz gigantów technologicznych w ramach takich programów jak Google for Startups czy MIT Enterprise Forum.

⁵⁹ <https://stat.gov.pl>

- **Infrastruktura technologiczna**

Dzięki działalności Urzędu Komunikacji Elektronicznej (UKE) w Polsce, zwłaszcza w latach 2006–2012, mamy jeden z bardziej konkurencyjnych rynków telekomunikacyjnych na świecie. Przyczyniło się to do obniżenia cen usług telefonicznych i internetowych. Polska, dzięki kolejnym rządów zdecydowanie rozwija infrastrukturę teleinformatyczną, która sprzyja również rozwojowi firm zajmujących się AI. Inwestycje w infrastrukturę komunikacyjną i obliczeniową są kluczowe dla prowadzenia zaawansowanych badań w obszarze sztucznej inteligencji i analizy dużych zbiorów danych.

Rozwiązania sztucznej inteligencji wymagają infrastruktury, która zapewnia firmom i zespołom badawczym dostęp do komputerów z procesorami graficznymi (GPU) dostosowanymi do równoległego przetwarzania danych, treningu modeli AI i dostęp do dużych zbiorów danych. Konieczne jest obecnie zapewnienie takiej samej dynamiki rozwoju centrów przetwarzania w Polsce, jak przez ostatnie lata zapewniona była dynamika rozwoju infrastruktury szerokopasmową (takiej, która umożliwia transmisję danych z prędkością >30 Mbps, gdzie 1 megabit na sekundę = 1 000 000 bitów na sekundę. 1 bit (b) to najmniejsza jednostka informacji, reprezentująca jeden z dwóch stanów (0 lub 1)).

- **Rynek pracy i konkurencyjne koszty**

W porównaniu ze Stanami Zjednoczonymi i Europą Zachodnią, Polska oferuje ciągle konkurencyjne koszty pracy specjalistów IT. W powiązaniu z jakością kadry, powoduje to, że coraz więcej firm decyduje się na otwieranie swoich biur badawczo-rozwojowych w Polsce. Przyciąga to również inwestorów i pozwala na zwiększenie liczby przedsięwzięć związanych z AI. Atutem Polski jest powszechna znajomość angielskiego wśród zdecydowanej większości dwudziestolatków i trzydziestolatków, co umożliwia współpracę międzynarodową.

3.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

W obszarze technologii cyfrowych otoczenie prawne oraz liczba strategii i polityk w Unii Europejskiej jest wręcz olbrzymia. Wszystkie one zostały w bardzo obrazowy sposób zebrane przez *think-tank* Bruegel⁶⁰.

Dostęp do interaktywnego zbioru aktów prawnych oraz strategii i polityk UE dotyczących rynku cyfrowego, które przedstawione są na kolejnej stronie, jest dostępny pod poniższym linkiem:

<https://media.licdn.com/dms/document/media/D561FAQFPkErJVEDUmg/feedshare-document-pdf-analyzed/0/1726155573231?e=1727308800&v=beta&t=s8Us4wzHiUF4tD8MP1HB1UzCBQMAN95hsYym0KHNRvc>

⁶⁰ <https://www.bruegel.org/bruegel-european-think-tank-specialises-economics>

Table 1: Overview of EU Legislations in the Digital Sector

Research & Innovation	Industrial Policy	Connectivity	Data & Privacy	IPR	Cybersecurity	Law Enforcement	Trust & Safety	E-commerce & Consumer Protection	Competition	Media	Finance
Digital Europe Programme Regulation, (EU) 2021/1461	Recovery and Resilience Facility Regulation, (EU) 2021/1461	Frequency Bands Directive, (EU) 1997/172	ePrivacy Directive, (EC) 2002/58, 2011/259, 2009/59	Database Directive, (EC) 1996/9	Regulation for a Cybersecurity Act, (EU) 2019/881, 2022/01196(COD)	Law Enforcement Directive, (EU) 2016/680	Product Liability Directive (PLD), (EU) 2021/2107	Unfair Contract Terms Directive (UCTD), (EU) 1993/13	EC Merger regulation, (EC) 2002/138	Satellite and Cable Directive, (EU) 1993/13	Common VAT system, (EC) 2006/112, 2009/067, 2009/067
Horizon Europe Regulation, (EU) 2021/1060, (EU) 2021/1060	InvestEU Programme Regulation, (EU) 2021/1323	Radio Spectrum Decision, (EU) 2002/976	European Statistics, (EC) 2002/23, 2022/0217(COD)	Community Design Directive, (EC) 2009/24, 2022/0591(COD)	Regulation to establish a European Cybersecurity Competence Centre, (EU) 2019/881	Directive on combating fraud and counterfeiting of non-cash means of payment, (EU) 2013/113	Toy Regulation, (EU) 2023/2055(COD)	Price Indication Directive, (EC) 1999/6	Technology Transfer Block Exemption, (EU) 2015/118	Information Society Directive, (EC) 2000/13	Administrative cooperation in the field of taxation, (EU) 2011/16
Regulation on a pilot regime for distributed ledger technologies, (EU) 2022/055	Connecting Europe Facility Regulation, (EU) 2021/1113	Open Internet Access Regulation, (EU) 2015/1212	General Data Protection Regulation (GDPR), (EU) 2016/679	Enforcement Directive (IPR), (EC) 2004/48	NIS 2 Directive, (EU) 2022/2555	Regulation on interoperability between EU information systems in the field of borders and visa, (EU) 2016/812	European Standardisation Regulation, (EU) 2017/1325	E-commerce Directive, (EC) 2000/31	Company Law Directive, (EU) 2017/1332, 2022/0086(COD)	Audio-visual Media Services Directive (AVMSD), (EU) 2010/13	Payment Services Directive 2 (PSD2), (EU) 2015/2366, 2023/0209(COD)
	Regulation on High Performance Computing Joint Undertaking, (EU) 2022/055	European Electronic Communications Code Directive (EECC), (EU) 2018/1872	Regulation to protect personal data processed by EU institutions bodies, offices and agencies, (EU) 2018/1725	Directive on the protection of trade secrets, (EU) 2016/943	Cybersecurity Regulation, (EU) 2022/2555	Regulation on terrorist content online, (EU) 2021/1784	Radio Equipment Directive (RED), (EU) 2016/875	Unfair Commercial Practices Directive (UCPD), (EC) 2005/29	Market Surveillance, (EU) 2018/1820	Portability Regulation, (EU) 2017/1128	Digital Operational Resilience Act (DORA) Regulation, (EU) 2022/2554
	Regulation on Joint Undertakings under Horizon Europe, (EU) 2021/1113, 2022/0332(COD)	eu Inter-level domain Regulation, (EU) 2019/517	Regulation on the free flow of non-personal data, (EU) 2018/1807	Design Directive, 2022/0082(COD)	Information Security Regulation, 2022/0081(COD)	Temporary CSAM Regulation (European Digital Identity Framework), (EU) 2016/1010	eIDAS Regulation (European Digital Identity Framework), (EU) 2016/1010	Directive on Consumer Rights (CRD), (EU) 2011/83	PSR Regulation, (EU) 2018/1160	Satellite and Cable II Directive, (EU) 2019/788	Crypto-assets Regulation (MiCA), (EU) 2023/1114
	Decision on a path to the Digital Decade, (EU) 2022/2481	Roaming Regulation, (EU) 2022/012	Open Data Directive (PSD), (EU) 2019/1024	Compulsory licensing of patents, 2023/0129(COD)	Cyber Resilience Act, 2022/0220(COD)	E-evidence Regulation, (EU) 2022/1543	Regulation for a Single Digital Gateway, (EU) 2018/1724	e-Invoicing Directive, (EU) 2016/665	Single Market Programme, (EU) 2021/690	Copyright Directive, (EU) 2019/790	Financial Data Access Regulation, 2022/0225(COD)
	European Chips Act (Regulation), (EU) 2022/1731	Union Secure Connectivity Programme, (EU) 2022/058	Data Governance Act (DGA) Regulation, (EU) 2022/068	Standard essential patents, 2023/0130(COD)	Cyber Solidarity Act (Regulation), 2023/0108(COD)	Digitalisation of cross-border judicial cooperation, (EU) 2022/2894	General Product Safety Regulation (GPSR), (EU) 2023/2088	Regulation on cooperation for the enforcement of consumer protection laws, (EU) 2017/2334	Vertical Block Exemption Regulation (VBER), (EU) 2022/2729	European Media Freedom Act, (EU) 2022/1063	Payment Services Regulation, 2023/0106(COD)
	Establishing the Strategic Technologies for Europe Platform (STEP), (EU) 2024/750	Gigabit Infrastructure Act, (EU) 2023/1309	European Data Act (Regulation), (EU) 2022/2854			Directive on combating violence against women, 2022/0086(COD)	Machinery Regulation, (EU) 2016/1230	Geo-Blocking Regulation, (EU) 2018/2037	Digital Market Act (DMA) Regulation, (EU) 2022/1925	Remuneration of musicians from third countries for recordings made played in the EU	Digital euro, 2023/0212(COD)
	European critical raw materials act (Regulation), (EU) 2023/1522	New radio spectrum policy programme (RSP-2), (EU) 2023/1522	Interoperable Europe Act, (EU) 2023/093			Directive for combating sexual abuse and child sexual abuse material, 2023/0030(COD)	AI Act (Regulation), 2021/0186(COD)	Digital content Directive, (EU) 2019/1770	Regulation on distortive foreign subsidies, (EU) 2023/2560		Regulation on combating late payment, 2023/0239(COD)
	Net Zero Industry Act, 2023/0081(COD)	Digital Networks Act	Regulation on data collection for short-term rental, (EU) 2024/1928			Digitalization of travel documents	Eco-design Regulation, 2022/0095(COD)	Directive on certain aspects concerning contracts for the sale of goods, (EU) 2018/1773	Horizontal Block Exemption Regulations (HBER), (EU) 2023/1506, (EU) 2023/1507		
	EU Space Law		European Health Data Space Regulation, 2022/0140(COD)				AI Liability Directive, 2022/0203(COD)	Digital Services Act (DSA) Regulation, (EU) 2022/2005	Platform Work Directive, 2024/0418(COD)		
			Harmonisation of GDPR enforcement procedures, 2023/0229(COD)					Political Advertising Regulation, (EU) 2023/2900	Single Market Emergency Instrument (SMEI), 2022/0273(COD)		
			Access to vehicle data, functions and resources					Right to repair Directive, 2023/0083(COD)			
			GreenDataAct					Consumer protection, strengthened enforcement cooperation			

Tab. 2 Obrazowa reprezentacja legislacji UE w obszarze cyfryzacji. Źródło: think-tank Bruegel.

Explanation			
1 EU Institution	2 Decentralised agency	3 Independent body	4 Network of Member States
5 Executive agency	6 Governing board	7 Advisory body	8 European Standardisation Organisations

Research & Innovation	Industrial Policy	Connectivity	Data & Privacy	IPR	Cybersecurity	Law Enforcement	Trust & Safety	E-Commerce & Consumer Protection	Competition	Media	Finance
European Commission (DG CHC1) Unit B.1 (EUJ 2021/595) (EUA 2021/995)	Governing Board of European High-Performance Computing Joint Undertaking (EuroHPC) JA (EUA 2021/1173)	European Commission (DG DERS) Unit B.1 (EUA 2022/588)	European Health and Digital Executive Agency (HDEA) (EUA 2021/1731)	European Union Intellectual Property Office (EUIPO) (EUA 2017/2386) (EUA 2017/1903)	CERT-EU (EUA 2020/6) (EUA 2020/61)	European Anti-Fraud Office (OLAF) (EUA 1999/252)	European Commission (DG CHC1) AI Office (EUA 2022/1036) (EUA 2022/1036)	European Commission (DG JUST) Unit B.3 Consumer Enforcement and Redress	European Commission (DG CHC1) Unit D.2 & D.3 (EUA 2022/1953) (EUA 2022/2063)	European Board for Media Services (EUA 2024/1008)	European Central Bank (ECB) (EUA 2012/2366) (EUA 2023/12) (EUA 2023/12)
European Research Council Executive Agency (ERCEA) (EUA 2021/1173) (EUA 2021/994) (EUA 2021/995)	Governing Board of Chips Joint Undertaking (Chips JA) (EUA 2022/593) (EUA 2022/593)	Body of European Regulators for Electronic Communications (BEREC) (EUA 2017/221) (EUA 2018/1972) (EUA 2020/1812)	European Data Protection Board (EDPB) (EUA 2016/578)	European Patent Organisation (EPO) (EUA 2012/1257) (EUA 2017/398)	European Cybersecurity Competence Centre (ECCC) (EUA 2021/1987)	EU Fundamental Rights Agency (FRA) (EUA 2007/168)	Gateway coordination group (EUA 2018/1724)	European Board for Digital Services (EUA 2022/2063)	European Commission (DG COMP- Antitrust)		European Securities and Markets Authority (ESMA) (EUA 2012/988) (EUA 2022/2954) (EUA 2023/1118)
European Innovation Council & SMEs Executive Agency (ISMEIA) (EUA 2021/1173) (EUA 2021/994) (EUA 2021/995)	European Digital Infrastructure Consortium (EDIC) (EUA 2022/2481)	European Union Agency for the Space Programme (ESA) (EUA 2021/596) (EUA 2023/598)	European Data Protection Supervisor (EDPS) (EUA 2018/1723)	European Observatory on Integrations of IPR (EUA 2017/398)	European Defence Agency (EDA) (EUA 2016/1839)	Europol (EUA 2012/793)	European Artificial Intelligence Board (EUA 2021/918) (EUA 2021/918)	Consumer Protection Cooperation Network (CPC) (EUA 2017/2384)	European Commission (DG GROW) Unit A.4 (EUA 2022/2278) (EUA 2022/2278)		European Banking Authority (EBA) (EUA 2012/2266) (EUA 2022/2554) (EUA 2023/1114) (EUA 2023/2026) (EUA 2023/2026)
European Research Executive Agency (REA) (EUA 2021/1173) (EUA 2021/994) (EUA 2021/995)	European Chips Infrastructure Consortium (ECIC) (EUA 2023/1781)	Governing Board of Smart Infrastructure and Services Joint Undertaking (SINS JA) (EUA 2022/1208)	European Statistical System Committee (ESSC) (EUA 2009/223)	Compulsory licences advisory body (EUA 2023/012) (EUA 2023/012)	EU Agency for Cybersecurity (ENISA) (EUA 2018/981)	European Public Prosecutor's Office (EPPO) (EUA 2017/1193)	European Committee for Electrotechnical Standardisation (CENELEC) (EUA 2017/1949)	European Consumer Centres Network (EUA 2021/693)	Advisory Committee on Restrictive Practices and Dominant Positions (EUA 2003/1)		European Insurance and Occupational Pension Authority (EIOPA) (EUA 2012/2266) (EUA 2023/2554) (EUA 2023/2026) (EUA 2023/2026)
European Institute of Innovation & Technology (EIT) (EUA 2021/1173) (EUA 2021/994) (EUA 2021/995)	European Semiconductor Board (EUA 2023/1781)	European Space Agency (ESA) (EUA 2022/598)	European Data Innovation Board (EDIB) (EUA 2022/596) (EUA 2023/2854)	European Cyber Shield (EUA 2023/108) (EUA 2023/108)	eu-LSA (EUA 2010/6817) (EUA 2018/1723)	European Committee for Standardisation (CEN) (EUA 2017/1053)	Consumer Safety Network (EUA 2023/698)	Advisory Committee on Concentrations (EUA 2004/139)			Committee on Administrative Cooperation for Tax (EUA 2017/118)
European Digital Innovation Hub Network (EDIH) (EUA 2021/694)	European Critical Raw Materials Board (EUA 2024/1252)	Communications Committee (CCOM) (EUA 2018/1972) (EUA 2018/6517) (EUA 2023/513)	Interoperable Europe Board (EUA 2024/953)	European Cybersecurity Certification Group (ECCG) (EUA 2018/981)	Europol (EUA 2018/1723)	European Telecommunications Standards Institute (ETSI) (EUA 2012/1045)	Contact Committee (EUA 2017/1122)				VAT Committee (EUA 2006/112) (EUA 2023/2040) (EUA 2023/2040)
	Net-Zero Europe Board (EUA 2023/061) (EUA 2023/061)	eu Multistakeholder Advisory Group (EUA 2019/517)	European Health Data Space Board (EHDS) (EUA 2022/140) (EUA 2022/140)	Interinstitutional Cybersecurity Board (ICBS) (EUA 2023/2041)	Frontex (EUA 2013/1898)			High-Level Group on DMA (EUA 2022/1923)			The Standing Committee on Administrative Cooperation (SCAC) (EUA 2022/0427)
	European network of competence centers in semiconductors (EUA 2023/1781)	Interoperable Europe Board (EUA 2024/953)		NIS cooperation group (EUA 2022/2555)	Interdisciplinary Advisory Group (EUA 2019/617)			European Competition Network (ECN) (EUA 2003/1)			Union Product Compliance Network (EUA 2018/700)
				Intinstitutional Information Security Coordination group (EUA 2022/008) (EUA 2022/008)	European Judicial Network in criminal matters (EUA 2022/008) (EUA 2022/008)						
				Network of National Coordination Centres (EUA 2021/987)							
				CSIRT Network (EUA 2022/2555)							
				EU CyCLONe (EUA 2023/0001)							



W Polsce otoczenie prawne i instytucjonalne dla rozwoju informatyki i sztucznej inteligencji (AI) jest zróżnicowane, obejmuje zarówno regulacje krajowe, jak i działania instytucji rządowych, agencji oraz organizacji naukowych i przemysłowych.

- **AI Act⁶¹** (2024) - kluczowy akt prawny dotyczący AI, przygotowany przez Komisję Europejską i przyjęty przez Parlament Europejski, który określa ramy regulacyjne dla rozwoju, wdrażania i użytkowania sztucznej inteligencji na terenie Unii Europejskiej.
- **Global Partnership on AI (GPAI) przy OECD⁶²** (2019) - forum, którego celem jest opracowanie zasad budowania rozwiązań sztucznej inteligencji, której można będzie ufać. Kraje OECD opracowały zasady AI OECD, pierwszy międzyrządowy standard dotyczący sztucznej inteligencji, do którego zadeklarowały gotowość stosowania się.

⁶² The OECD Artificial Intelligence Policy Observatory - OECD.AI

- **Polityka Rozwoju Sztucznej Inteligencji**⁶³ (2020) – dokument rządowy, który wyznacza kierunki rozwoju AI w Polsce.
- **Prawo o ochronie danych osobowych**⁶⁴ (RODO/GDPR) – ma duże znaczenie dla rozwoju technologii AI, zwłaszcza w kontekście przetwarzania danych osobowych. Ochrona danych to kluczowa kwestia przy budowaniu systemów AI.
- **Prawo telekomunikacyjne**⁶⁵ – reguluje kwestie związane z infrastrukturą teleinformatyczną, która jest niezbędna dla rozwoju informatyki i AI, zwłaszcza w kontekście sieci 5G.
- **Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/790**⁶⁶ z dnia 17 kwietnia 2019 roku. Dyrektywa o prawach autorskich na jednolitym rynku cyfrowym (Copyright Directive) – wpływa na rozwój AI w zakresie ochrony praw autorskich, w szczególności w zakresie tworzenia narzędzi bazujących na danych czy przetwarzania treści chronionych prawami autorskimi.
- **Ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa**⁶⁷ – reguluje kwestię bezpieczeństwa systemów IT, które są kluczowe dla rozwoju infrastruktury cyfrowej i AI. Wymusza stosowanie norm i procedur bezpieczeństwa przez podmioty publiczne oraz przedsiębiorstwa.

Otoczenie instytucjonalne definiują:

- **Ministerstwo Cyfryzacji** – koordynuje politykę państwa w zakresie cyfryzacji i rozwoju nowych technologii, w tym sztucznej inteligencji. Ministerstwo opracowuje strategie rozwoju AI oraz wspiera innowacje cyfrowe.
- **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR)** – agencja rządowa, która finansuje projekty badawczo-rozwojowe, w tym te związane z AI, cyfryzacją i informatyką. NCBR organizuje konkursy, które wspierają innowacje technologiczne w tych obszarach.
- **Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP)** – wspiera rozwój sektora małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP), także w dziedzinie informatyki i AI. PARP organizuje programy grantowe i doradcze, które mają na celu wsparcie przedsiębiorstw technologicznych.
- **Instytut Łączności** – Państwowy Instytut Badawczy – zajmuje się badaniami w obszarze telekomunikacji, informatyki oraz systemów AI. Jest jednym z czołowych ośrodków badawczych w Polsce w zakresie zaawansowanych technologii cyfrowych.
- **Polska Platforma Przemysłu Przyszłości (FPPP)** – instytucja wspierająca rozwój przemysłu 4.0, w tym wdrażanie sztucznej inteligencji i automatyzacji w przedsiębiorstwach. FPPP działa na rzecz cyfryzacji przemysłu w Polsce.
- **Komitet ds. Sztucznej Inteligencji przy Polskiej Akademii Nauk (PAN)** – organ naukowy skupiający ekspertów z różnych dziedzin, który zajmuje się promocją i badaniami nad sztuczną inteligencją w Polsce. Komitet współpracuje z instytucjami krajowymi i zagranicznymi w zakresie rozwoju AI.

⁶³ <https://www.gov.pl/web/ai/polityka-dla-rozwoju-sztucznej-inteligencji-w-polsce-od-roku-2020>

⁶⁴ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180001000/U/D20181000Lj.pdf>

⁶⁵ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20041711800/U/D20041800Lj.pdf>

⁶⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0790>

⁶⁷ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20180001560/U/D20181560Lj.pdf>

3.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Technologie sztucznej inteligencji, razem z technologiami zaawansowanej łączności i nawigacji oraz zaawansowanych technologii cyfrowych są częścią rynku rozwiązań informatycznych. Informatyzacja kraju jest od wielu lat obszarem działania rządu i jest reprezentowana na poziomie rządowym w randze Ministra ds. Cyfryzacji lub Pełnomocnika.

Obecnie zostało ponownie powołane **Ministerstwo Cyfryzacji**, a sam Minister jest również wicepremierem rządu Rzeczypospolitej Polskiej. Nowo powstałe ministerstwo określiło również swoją wizję, misję oraz wartości, którymi chce się kierować. Są to:

Wizja: <<Chcemy, żeby Polska była państwem innowacyjnym i przyjaznym, w którym interakcje między państwem, obywatelami i przedsiębiorcami są proste>>.

Misja: <<Naszym celem jest doprowadzenie do tego, żeby dzięki cyfryzacji ludziom żyło się lepiej>>.

Wartości: <<Obywatel jest najważniejszy. Dotrzymujemy słowa. Budujemy fundamenty. Szanujemy pieniądze publiczne. Jesteśmy gotowi na więcej>>.

Znaczącym aktorem polskiego rynku jest **Urząd Komunikacji Elektronicznej**, który zwłaszcza w latach 2006-2012 doprowadził do powstania jednego z najbardziej konkurencyjnych rynków teleinformatycznych, co umożliwiło obniżenie cen usług operatorów.

Dla rozwoju polskiej informatyki, w ostatnich 10. latach najważniejsze było uchwalenie rządowych dokumentów kierunkowych dotyczących następujących programów i inicjatyw:

- **Program Operacyjny Polska Cyfrowa (POPC)**
Jeden z kluczowych programów finansowanych z funduszy europejskich, mający na celu rozwój społeczeństwa informacyjnego w Polsce. Program skupia się na rozwoju infrastruktury szerokopasmowej, e-usług publicznych oraz umiejętności cyfrowych społeczeństwa.
- **Programy wsparcia dla startupów i innowacji**
Różnorodne inicjatywy wspierające startupy technologiczne, w tym fundusze *venture capital*, akceleratorzy oraz programy takie jak Start In Poland.
- **Program Innowacyjna Gospodarka**
Program funduszy UE skierowany na rozwój nowoczesnych technologii i rozwój sektora B+R oraz wsparcie dla projektów badawczych, wdrożeniowych oraz rozwój platform współpracy pomiędzy nauką a biznesem.
- **Program Rozwoju Przemysłu 4.0**
Inicjatywa wspierająca cyfryzację przemysłu poprzez wdrażanie nowych technologii, automatyzację procesów oraz wykorzystanie Internetu Rzeczy (IoT) i *big data* w produkcji. W ramach programu powołano Fundację Platforma Przemysłu Przyszłości.
- **GovTech Polska**
GovTech Polska była inicjatywą, mającą na celu promowanie innowacji technologicznych w sektorze publicznym oraz zwiększenie efektywności administracji publicznej poprzez wykorzystanie nowoczesnych technologii. Została rozwiązana na początku 2024.
- **Polityka Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Polsce**

Rząd Polski przyjął „Politykę Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Polsce na lata 2020-2027” 28 grudnia 2020 roku. Celem polityki jest wspieranie rozwoju technologii AI w kraju, zwiększenie konkurencyjności polskiej gospodarki, a także zapewnienie, że rozwój sztucznej inteligencji będzie przebiegał w sposób odpowiedzialny, z poszanowaniem praw człowieka i etyki.

Obecnie, ważny wpływ na dalszy rozwój polskiej sztucznej inteligencji powinna mieć następująca inicjatywa. 15 listopada 2024 w Warszawie, podpisano list intencyjny w sprawie utworzenia **Funduszu Sztucznej Inteligencji**⁶⁸. List podpisali przedstawiciele Ministerstwa Cyfryzacji, Obrony Narodowej oraz Nauki i Szkolnictwa Wyższego, a także Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, Narodowego Centrum Nauki, Polskiego Funduszu Rozwoju oraz Banku Gospodarstwa Krajowego. Zgodnie z deklaracjami, polski rząd na przeznaczyć na rozwój AI 1 mld zł. Podpisanie samego porozumienia o współpracy zaplanowano na 31 marca 2025 roku.

3.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Dla środowiska informatycznego nie ma żadnych regulacji czy też prawa nakazującego zrzeszanie się branży w jednej izbie (jak to jest na przykład w przypadku architektów). W związku z tym w Polsce działa bardzo wiele organizacji założonych niezależnie. Niestety wszystkie są relatywnie nieduże, skupiają tylko część branży i w wielu przypadkach są animowane i w dużej części finansowane przez firmy zagraniczne. W innych państwach europejskich oraz na poziomie Unii Europejskiej finansowanie branżowych organizacji informatycznych jest również zapewniane przez koncerny amerykańskie i azjatyckie. Na przykład organizacja Digital Europe (www.digitaleurope.org) skupia 109 globalnych firm, z których większość jest spoza Europy.

Najbardziej reprezentacyjne polskie organizacje branżowe skupiające firmy informatyczne w Polsce to:

- **Polska Izba Informatyki i Telekomunikacji (PIIT)** - organizacja zrzeszająca firmy z branży IT i telekomunikacyjnej. PIIT promuje rozwój sektora technologicznego (w tym AI) oraz reprezentuje interesy branży na szczeblu krajowym i unijnym.
- **Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji (KIGEiT)** - organizacja zrzeszająca przede wszystkim firmy z branży IT. KIGEiT jest również członkiem Digital Europe, gdzie reprezentuje interesy branży na szczeblu unijnym.
- **Polskie Towarzystwo Informatyczne (PTI)** - organizacja skupiająca profesjonalistów z dziedziny informatyki, zajmująca się rozwojem kompetencji informatycznych w Polsce.
- **Polska Izba Gospodarki Elektronicznej (PIGE)** - choć głównie skupia polskich producentów elektroniki, to część jej członków działa również w obszarze teleinformatyki.
- **Fundacja Digital Poland** - organizacja, która zrzesza duże firmy międzynarodowe i wspiera cyfrową transformację kraju, w tym rozwój rynku sztucznej inteligencji i informatyki.

⁶⁸ <https://www.gov.pl/web/nauka/podpisano-list-intencyjny-w-sprawie-powolania-funduszu-sztucznej-inteligencji>

Warto również zaznaczyć, że w obszarze sztucznej inteligencji powstała **silna społeczność profesjonalistów** i, jak sami o sobie mówią, entuzjastów rozwoju sztucznej inteligencji w Polsce. Ta wspólnota jest na tyle silna, że poprzez oddolne działania głównie w mediach społecznościowych, wymusiła wycofanie się obecnego rządu Donalda Tuska z błędnych decyzji dotyczących zmiany szefostwa zespołu IDEAS NCBR na początku października 2024 r. Zespół zajmował się badaniem rozwoju polskich kompetencji w obszarze sztucznej inteligencji i był kierowany przez bardzo szanowanego prof. Piotra Sankowskiego. W wyniku presji społecznej profesor został poproszony o pozostanie i kierowanie zespołem nie w ramach NCBR, ale w nowotworzonym Instytucie Badawczym IDEAS.

Instytut Badawczy IDEAS, zgodnie z ogłoszeniem Ministra Cyfryzacji z dnia 3 października 2024⁶⁹, będzie działał w oparciu o współpracę Ministra Cyfryzacji, Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Ministra Obrony Narodowej, Uniwersytetu Warszawskiego i Politechniki Warszawskiej. Nowym instytutem ma kierować właśnie prof. Piotr Sankowski.

3.5. Informacje o ośrodkach badawczych

Zgodnie z danymi opublikowanymi w raporcie pt. *SZTUCZNA INTELIGENCJA: OSIĄGNIĘCIA PUBLIKACYJNE Z ZAKRESU NAUK ŚCISŁYCH I TECHNICZNYCH W LATACH 2010–2021*⁷⁰ (Tab. 4) najwięcej publikacji o AI w Polsce ma AGH, Politechnika Warszawska i Politechnika Wrocławska.



Uwaga: Uwzględniono anglojęzyczne artykuły i materiały konferencyjne, które w tytule lub słowach kluczowych zawierały co najmniej jeden termin z listy 345 słów kluczowych opracowanych przez ekspertów w zakresie SI. Analizę zawężono do czasopism, które według klasyfikacji ASJC, przypisano do nauk ścisłych i technicznych. Obliczając udział procentowy, zastosowano zliczanie ułamkowe na poziomie autorów.

Źródło: opracowanie OPI PIB na podstawie bazy SCOPUS, stan na 5.04.2022.

Tab. 4 Ranking polskich instytucji naukowych z największą liczbą prac z zakresu SI w naukach ścisłych i technicznych opublikowanych w latach 2010–2021.

⁶⁹ <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/powstanie-instytut-badawczy-ideas>

⁷⁰ <https://radon.nauka.gov.pl/analizy/badacze-si-i-ich-publicacje>

Wśród przodujących ośrodków badawczych zajmujących się sztuczną inteligencją należy wymienić:

- **AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie**

Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji – zajmuje się badaniami nad sztuczną inteligencją, przetwarzaniem dużych zbiorów danych, uczeniem maszynowym oraz autonomicznymi systemami sterowania. AGH prowadzi liczne projekty badawcze we współpracy z przemysłem.

Laboratorium Inteligentnych Systemów Informatycznych – specjalizuje się w zastosowaniach AI w medycynie, robotyce i systemach wspomagania decyzji.

- **Politechnika Warszawska**

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych – prowadzi badania nad zaawansowanymi technologiami AI, przetwarzaniem języka naturalnego (NLP), uczeniem maszynowym i robotyką. Zakład Sztucznej Inteligencji – zajmuje się badaniami nad systemami eksperckimi, logiką rozmytą, sieciami neuronowymi oraz zastosowaniami AI w inżynierii i medycynie

- **Politechnika Wrocławska**

Katedra Inteligencji Obliczeniowej na Wydziale Informatyki i Zarządzania – specjalizuje się w badaniach nad algorytmami sztucznej inteligencji, optymalizacją ewolucyjną, sieciami neuronowymi, przetwarzaniem obrazów i dużych zbiorów danych. Centrum Zastosowań Matematyki i Inżynierii Systemów – prowadzi badania nad zastosowaniami AI w przemyśle i optymalizacją procesów.

- **Politechnika Śląska**

Sztuczną inteligencją zajmuje się głównie Katedra Informatyki oraz Katedra Automatyki i Robotyki. W ramach tych jednostek prowadzone są badania oraz zajęcia dydaktyczne związane z tematyką sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego, analizy danych oraz robotyki. Dodatkowo, uczelnia angażuje się w projekty badawcze i współpracę z przemysłem w obszarze AI.

- **Politechnika Poznańska**

Sztuczną inteligencją zajmuje się głównie Instytut Informatyki oraz Zakład Sztucznej Inteligencji, który jest częścią tego instytutu. W ramach tych jednostek prowadzone są badania naukowe oraz zajęcia dydaktyczne związane z tematyką sztucznej inteligencji, uczenia maszynowego oraz analizy danych. Ponadto, współprace z przemysłem i projekty badawcze w dziedzinie AI są również realizowane w różnych laboratoriach i grupach badawczych.

- **Uniwersytet Warszawski**

Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki – prowadzi szeroko zakrojone badania nad sztuczną inteligencją, w tym uczeniem maszynowym, przetwarzaniem języka naturalnego, rozpoznawaniem obrazów i teorią AI.

Ośrodek Badań nad Sztuczną Inteligencją i Robotyką – specjalizuje się w rozwijaniu algorytmów AI oraz ich zastosowaniach w robotyce, autonomicznych systemach i interfejsach człowiek-maszyna.

- **Uniwersytet Jagielloński w Krakowie**

Instytut Informatyki – prowadzi badania nad sztuczną inteligencją, uczeniem maszynowym, analizą danych oraz systemami wspomagania decyzji. Instytut współpracuje z przemysłem w zakresie komercjalizacji wyników badań.

Zespół Badawczy AI i Data Science – zajmuje się badaniami nad uczeniem głębokim (ang. *deep learning*), analizą dużych zbiorów danych (ang. *big data*), analizą predykcyjną oraz sieciami neuronowymi.

- **Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN (IITiS PAN)**

Instytut ten, należący do Polskiej Akademii Nauk, prowadzi zaawansowane badania w zakresie sztucznej inteligencji, w tym algorytmów AI, przetwarzania obrazów, systemów ekspertowych i rozpoznawania wzorców. IITiS współpracuje z wieloma instytucjami międzynarodowymi oraz przemysłem.

- **Instytut Badań Systemowych PAN (IBS PAN)**

IBS PAN prowadzi badania w dziedzinie zaawansowanych technologii informatycznych i sztucznej inteligencji, w tym systemów ekspertowych, inteligentnych systemów decyzyjnych oraz modelowania matematycznego i optymalizacji.

- **Politechnika Gdańska**

Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki – prowadzi badania nad zastosowaniem sztucznej inteligencji w przetwarzaniu języka naturalnego, wizji komputerowej, automatyzacji i w robotyce. Politechnika Gdańska współpracuje również z przemysłem w zakresie rozwoju aplikacji AI.

- **Centrum Badań nad Sztuczną Inteligencją i Robotyką na Politechnice Łódzkiej**

Prowadzi badania nad systemami inteligentnymi, uczeniem maszynowym, robotyką i autonomicznymi systemami sterowania. Centrum rozwija także projekty związane z AI w kontekście automatyzacji procesów przemysłowych.

- **Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Cybernetyki**

Naukowcy Wydziału Cybernetyki uczestniczą w przedsięwzięciach naukowo-badawczych, głównie z dziedziny kryptologii i cyberbezpieczeństwa.

- **Akademia Leona Koźmińskiego**

Prowadzi badania z zakresu kognitywnej sztucznej inteligencji.

3.6. Bariery rozwoju

Mimo potencjału Polska posiada poważne bariery rozwoju, związane przede wszystkim z następującymi czynnikami:

- **Kulturowa bariera otwartości na innowacyjność wśród decydentów**

Zdecydowana większość polskich decydentów to osoby wychowane pod koniec lat 80-tych. Z jednej strony nie rozumieją w pełni nowych technologii cyfrowych, z drugiej mają awersję do podejmowania ryzyka, a każda innowacyjność wiąże się z ryzykiem. Problem dotyczy przede wszystkim spółek Skarbu Państwa i Sił Zbrojnych RP. Niechęć do wydania publicznych środków na innowacje związany jest często z ryzykiem oskarżenia o niegospodarność. Nikt, a zwłaszcza następcy z innego rozdania politycznego, nigdy nie chwalią za sukces, a ciągnące się latami oskarżenia o niegospodarność są bardzo częste. W takich warunkach najbardziej racjonalnym sposobem działania urzędnika lub generała jest niepodejmowanie żadnej decyzji zakupowej lub wdrożeniowej.

- **Brak wystarczającej liczby specjalistów**

Braki specjalistów dotyczą wszystkich krajów, ale w przypadku Polski dodatkowym wyzwaniem są dużo mniejsze możliwości atrakcyjnego wynagrodzenia dla najlepszych specjalistów, co skutkuje ich zatrudnianiem przez firmy głównie ze Stanów Zjednoczonych. Drenaż talentów IT jest zresztą głównym wyzwaniem wszystkich krajów europejskich.

- **Ograniczone finansowanie**

Inwestycje w badania i rozwój w obszarze AI w Polsce wciąż są zdecydowanie mniejsze niż w krajach takich jak: Stany Zjednoczone, Niemcy czy Wielka Brytania. Braki finansowania dotyczą przede wszystkim okresu pre-IPO. Jest to etap finansowania przedsiębiorstwa, który poprzedza pierwszą ofertę publiczną (*IPO – Initial Public Offering*). W tym okresie przedsiębiorstwo przeprowadza niepubliczną emisję akcji, zazwyczaj skierowaną do doświadczonych inwestorów, takich jak fundusze *private equity* czy *venture capital*. Finansowanie pre-IPO jest kluczowym momentem dla przedsiębiorstwa, ponieważ pozwala na zebranie niezbędnych funduszy na dalszy rozwój i ekspansję przed wejściem na giełdę. Po udanej rundzie finansowania pre-IPO, przedsiębiorstwo przystępuje do publicznej oferty pierwotnej, podczas której akcje są oferowane szerszemu gronu inwestorów.

W realiach europejskich, a zwłaszcza polskich, na etapie pre-IPO dochodzi do przejmowania spółek technologicznych przez duże firmy. Symboliczne przykłady z Polski to, w okresie powstawania wielkich portali, przejęcie spółki **Wirtualna Polska**, bardzo innowacyjnej firmy, przez France Telecom (dziś Orange) w 2001 r., a w momencie rodzenia się rozwiązań syntezy mowy, przejęcie firmy **IVONA Software** przez Amazon w 2013 r.

- **Brak odpowiednich regulacji prawnych**

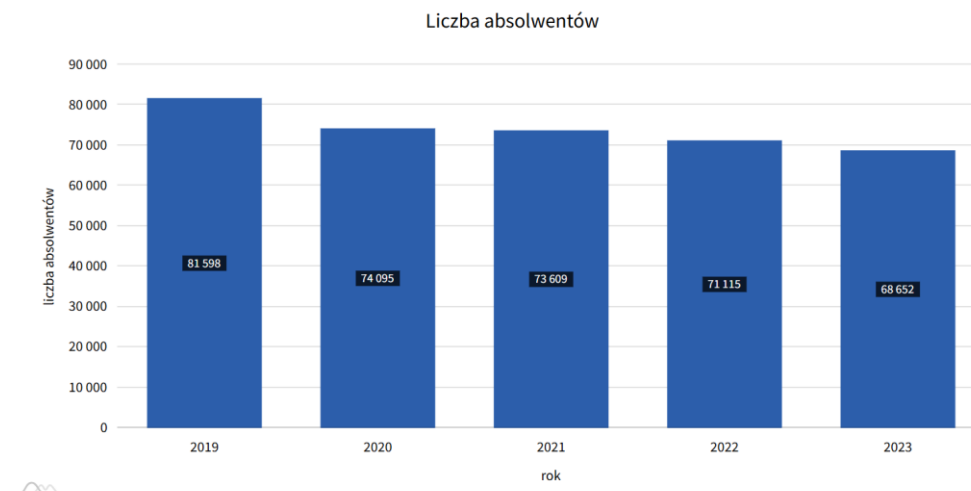
Wciąż rozwijające się ramy prawne w obszarze ochrony danych i etyki AI mogą wpłynąć na tempo wdrażania rozwiązań AI. W Europie brakuje prostych i prorozwojowych rozwiązań prawnych, a te które powstają są w dużej mierze tworzone przez osoby, które nie znają się na technologiach lub też są to rozwiązania bardzo drogie dla firm w procesie ich implementacji. W efekcie w UE mamy bardzo dużo regulacji w obszarze cyfryzacji (Tab. 2 i Tab. 3), a równocześnie wśród 10. największych firm technologii cyfrowych nie ma już żadnej firmy europejskiej.

3.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Potencjał ludzki jest głównym atutem Polski. W przypadku technologii sztucznej inteligencji, obok posiadania odpowiednich mocy obliczeniowych i zasobu danych, to atut kluczowy. Według wyników Narodowego Spisu Powszechnego 2021, 23% Polaków w wieku co najmniej 13 lat (około 7,6 miliona osób) legitymowało się wyższym wykształceniem. W poprzednim spisie w 2011 r., wykształcenie wyższe posiadało 17% populacji (około 5,7 miliona). To znaczy, że w okresie od 2011 do 2021 r. liczba Polaków z wyższym wykształceniem wzrosła o niemal 33%.

Od 2011 do 2021 r. udział osób posiadających tytuł magistra, magistra inżyniera lub równorzędny wzrósł z 12% do 17%. Z danych NSP 2021 r. wynika, że wyższe wykształcenie częściej występuje wśród kobiet (27%) w porównaniu do mężczyzn (19%), oraz mieszkańców miast (27%) w porównaniu do mieszkańców wsi (17%).

W ostatnich pięciu latach obserwuje się jednak systematyczny spadek liczby absolwentów uczelni wyższych, co potwierdzają dane GUS z 2023 roku. W 2019 r. dyplom uczelni wyższej uzyskało niemal 314 tysięcy osób, natomiast w 2022 roku liczba ta spadła do 291 tysięcy, co oznacza spadek o 7% w porównaniu do roku 2019. Niestety spadek liczby absolwentów kończących studia techniczne z tytułem inżyniera lub magistra inżyniera w latach 2019 i 2022 jest większy niż spadek liczby wszystkich absolwentów studiów wyższych. W 2019 r. absolwentów uczelni technicznych było 81'598, a w 2022 – 71'115 (Tab. 5), czyli spadła o 12,8%.



Źródło: opracowanie własne Ośrodka Przetwarzania Informacji – Państwowego Instytutu Badawczego na podstawie systemu POL-on (sprawozdanie S-10 dla GUS).

Tab. 5 Roczna ilość absolwentów z tytułem inżyniera lub magistra inżyniera.

Dla rozwoju sztucznej inteligencji oraz innych technologii krytycznych, kluczowe są moce obliczeniowe. Zgodnie z rankingiem TOP500⁷¹, trzy najpotężniejsze komputery świata to:

- **Frontier** – superkomputer należący do Oak Ridge National Laboratory w USA, obsługiwany przez Departament Energii Stanów Zjednoczonych. To pierwszy komputer, który przekroczył granicę eksaflopsa, co oznacza, że jego moc obliczeniowa wynosi 1'100 petaflopsów.
- **Aurora** – Superkomputer w Argonne National Laboratory, także w USA. Jego architektura opiera się na procesorach Intel oraz GPU, co czyni go jednym z najbardziej zaawansowanych pod kątem sztucznej inteligencji. Aurora osiąga moc ponad 2'000 petaflopsów i jest stosowana do zaawansowanych badań, takich jak mapowanie ludzkiego mózgu oraz modelowanie zmian klimatycznych.
- **Eagle** – Superkomputer z USA, zajmujący trzecie miejsce na świecie. Jego wydajność wynosi 1'300 petaflopsów. Eagle jest również używany do szerokiej gamy badań, od nauk przyrodniczych po technologie inżynieryjne.

1 petaflops (PFLOPS) to 10^{15} (1 000 000 000 000 000) operacji na sekundę.

Trzy najmocniejsze superkomputery w Polsce to:

- **Helios** – najpotężniejszy superkomputer w Polsce, zainstalowany w Akademickim Centrum Komputerowym CYFRONET AGH w Krakowie. Jego moc obliczeniowa wynosi 35 petaflopsów, co czyni go 55 superkomputerem na świecie, a jego wydajność porównywana jest do 50 tysięcy laptopów.
- **Proxima** – zainstalowana w Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym (PCSS), z mocą obliczeniową wynoszącą 23,32 petaflopsów.
- **Lem** – superkomputer wrocławskiego Centrum Sieciowo-Superkomputerowego (WCSS) Politechniki Wrocławskiej, którego moc obliczeniowa to 20,37 petaflopsów.

⁷¹ <https://top500.org/lists/top500/list/2024/06/>

Chociaż polskie superkomputery są 30 razy słabsze od tych najbardziej wydajnych na świecie, są kluczowymi narzędziami w polskiej nauce, szczególnie w dziedzinach takich jak sztuczna inteligencja, prognozy klimatyczne i badania medyczne.

Inne polskie superkomputery to:

- Prometheus o sile obliczeniowej 1,67 petaflopsa operacji na sekundę, znajdujący się w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (sieć Cyfronet),
- Orzeł/Eagle o sile obliczeniowej 1,013 petaflopsa znajdujący się w Poznańskim Centrum Superkomputerowo-Sieciowym (PCSS), afiliowanym przy Instytucie Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk,
- Tryton o sile obliczeniowej 1,010 petaflopsa znajdujący się na Politechnice Gdańskiej (Akademickie Centrum Komputerowe w Gdańsku),
- Okeanos o sile 909,6 teraflopów (bilionów operacji na sekundę) znajdujący się w Uniwersytecie Warszawskim (ICCM),
- Bem o sile 695,6 teraflopów znajdujący się na Politechnice Wrocławskiej (Wrocław Center for Networking and Supercomputing),
- Świerk Computing Centre (miejsce 292) o sile 423,2 teraflopa znajdujący się w Narodowym Centrum Badań Jądrowym w Świerku.

Tak jak było to zaznaczone w rozdziale 3.6 *Bariera rozwoju* głównym wyzwaniem dla polskich firm i zespołów badawczych jest finansowanie. W przypadku firm głównie dotkliwy jest niski poziom dostępnych polskich funduszy w okresie pre-IPO i pozyskiwanie środków na skalowanie sprzedaży ich produktów i usług na całym świecie.

Oddzielną barierą rozwoju jest brak programów wsparcia zarządzania talentami, kumulacji ich wiedzy w kraju i pomoc w komercjalizacji własności intelektualnej, którą wytwarzają. Warto byłoby przeanalizować chińskie programy stypendialne z lat przełomu wieku XX i XXI. Wówczas bardzo wielu najzdolniejszych Chińczyków studiowało na najlepszych uczelniach Zachodu, a następnie wracało do swojego kraju, bowiem Chiny oferowały im świetne możliwości dalszego rozwoju. Warto takie programy powtórzyć w Polsce.

3.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze technologii sztucznej inteligencji wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Allegro Sp. z o.o.	https://allegro.pl	Firma	Platforma Allegro	Platforma e-commerce
Bin-e Sp. z o.o.	https://www.bine.world/	Firma	Bin-e	Inteligentne urządzenie na śmieci
Brainly sp. z o.o.	https://brainly.com	Firma	Platforma Brainly	Platforma do odrabiania lekcji

BrainScan S.A.	https://brainscan.ai/	Firma	BrainScan CT	System do diagnostyki mózgu
CitiesAI Sp. z o.o.	https://citiesai.com/	Firma	MapaPieszych	System analizy przestrzeni miejskiej
DATASERVE S.A.	https://dataserve.eu/	Firma	DoRIS	Rozwiązanie do budowania inteligentnych baz wiedzy
Deepflare Sp. z o.o.	https://www.deepflare.ai/	Firma	PepRank	Model wspierający proces opracowywania szczepionek mRNA
Deepsense.ai Sp. z o.o.	https://deepsense.ai	Firma	AI Guidance Services	Usługi wdrażania AI
iSALUS Sp. z o.o.	https://ailiscare.com/kontakt/	Firma	AILIS	System diagnostyki raka piersi
Konsorcjum: • Politechnika Wrocławska • NASK PIB • Instytut Podstaw Informatyki Polskiej PAN • OPIPIB • Uniwersytet Łódzki • Instytut Sławistyki PAN	https://pllum.org.pl/	Zespół	PLLuM	Projekt PLLuM (Polish Large Language Model) to inicjatywa mająca na celu stworzenie otwartego polskiego modelu językowego.
Polski Standard Płatności Sp. z o.o.	https://www.blik.com/	Firma	BLIK	System płatności natychmiastowych
Reliability Solutions Sp. z o.o.	https://reliasol.ai/	Firma	RSIMS	Usługa predykcji na podstawie danych
ReSpo.Vision Sp. z o.o.	https://respo.vision/	Firma	Generacja obrazów 3D. Generacja bliźniaków cyfrowych	Usługi cyfrowe
SATIM Monitoring Satelitarny Sp. z o.o.	https://satim.co/	Firma	OREC	Automatyczne rozpoznawanie celów, oparte na sztucznej inteligencji
Sky Tronic Sp. z o.o.	http://www.skytronic.com.pl/	Firma	Algorytmy sterowania i	Oprogramowanie dla dronów i

			stabilizacji lotu	statków powietrznych
SpeakLeash - LLM Bielik.	https://speakleash.com	Zespół	Bielik.ai	Polski duży model językowy stworzony przez inicjatywę społeczną
Tensorflight Sp. z o.o.	https://tensorflight.com	Firma	Platforma Tensorflight	Analizowanie zdjęć budynków
VoiceLab.ai Sp. z o.o.	https://voicelab.ai	Firma	Platforma VoiceLab	Rozwiązania AI do syntezy głosu

4. TECHNOLOGIE KWANTOWE

Technologie kwantowe są obecnie rozwijanymi nowatorskimi technologiami. Oparte są one na zasadach mechaniki kwantowej, tzn. wykorzystują zachowania cząsteczek na poziomie atomowym i subatomowym. Przykładem takich zachowań jest superpozycja, czyli zdolność systemu kwantowego do znajdowania się w wielu stanach jednocześnie, oraz splątanie, czyli zjawisko, w którym dwie lub więcej cząstek kwantowych zostaje połączonych, nawet jeżeli są fizycznie oddzielone.

Oto kluczowe elementy technologii kwantowych:

- **Obliczenia kwantowe:** wykorzystuje q-bity, które mogą być jednocześnie 0 i 1, i mogą pozwalać na rozwiązywanie problemów zbyt złożonych dla zwykłych komputerów, takich jak odkrywanie leków i projektowanie materiałów.
- **Komunikacja kwantowa:** wykorzystuje zjawiska kwantowe do przesyłania informacji z bardzo wysokim poziomem bezpieczeństwa, potencjalnie niemożliwym do zhakowania.
- **Czujniki kwantowe:** wykorzystuje efekty kwantowe do tworzenia niezwykle wrażliwych czujników do zastosowań takich jak obrazowanie medyczne i nawigacja.
- **Symulacja kwantowa:** symuluje złożone systemy, takie jak cząsteczki, za pomocą komputerów kwantowych, prowadząc do przełomów w chemii i materiałoznawstwie.

Te połączone ze sobą dziedziny mają potencjał, by zrewolucjonizować informatykę, komunikację, sensorykę i nasze zrozumienie samego wszechświata.

Zjawiska, na których oparte są technologie kwantowe, są często sprzeczne z intuicją, gdy je zastosujemy w praktyce pozwalają na rozwój urządzeń i systemów o możliwościach, które są niemożliwe do osiągnięcia za pomocą klasycznych technologii⁷².

Rozwój technologii kwantowych uzależniony jest od kilku kluczowych procesów. Należą do nich:

- Rozwój mechaniki kwantowej jako nauki
- Rozwój technologii zaawansowanych materiałów,
- Rozwój technik precyzyjnej kontroli procesów kwantowych,
- Rozwój interdyscyplinarnej współpracy.

Zasadniczo chodzi o przesuwanie granic nauki i inżynierii w celu tworzenia technologii wykorzystujących unikatowe cechy mechaniki kwantowej. Jest to dziedzina pionierska, której kierunków dalszego rozwoju nie da się przewidzieć, tak jak nie da się przewidzieć wynalazczości z tym związanej. Obecnie nawet jeden rodzaj wynalazku może zdefiniować kierunek dalszego rozwoju technologii kwantowych.

4.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

W Polsce widoczny jest postęp w rozwoju badań w zakresie informatyki kwantowej. Jest to efektem wsparcia rządowego oraz badań akademickich, a także inicjatyw prywatnych firm. Badania akademickie,

⁷² <https://www.csis.org/analysis/quantum-technology-applications-and-implications>

zwłaszcza tzw. fundamentalne, korzystają przede wszystkim z budżetu państwa w szerokim rozumieniu (finansowanie wyższych uczelni, edukacji akademickiej, instytucji badawczych, grantów naukowych).

Poniżej pokazujemy kilka kluczowych obszarów, działań i możliwości w zakresie kwantowych technologii w Polsce:

- **INICJATYWY RZĄDOWE**

Władze Polski dostrzegają potencjał technologii kwantowych. Wspierają ich rozwój poprzez działania systemowe finansujące działania prorozwojowe, w tym zapewniające środki inwestycyjne. Przykładem jest międzyuczelniana współpraca dotycząca badań nad rozwojem technologii kwantowych, uruchomiona w 2021r., która obejmuje obliczenia kwantowe.

Inwestycje w instytucje badawcze: rząd polski inwestuje w instytucje badawcze, które koncentrują się na technologiach kwantowych, przeznaczając fundusze na laboratoria, sprzęt i szkolenia personelu. Inwestycje te wzmacniają infrastrukturę niezbędną do prowadzenia zaawansowanych badań kwantowych.

- **INICJATYWY UCZELNIANE**

Międzyuczelniana współpraca dotycząca rozwoju badań kwantowych⁷³: Uruchomiony w 2021 r. program ma na celu konsolidację i wzmocnienie pozycji Polski w dziedzinie technologii kwantowych. Program koncentruje się na wspieraniu badań, rozwoju i innowacji w zakresie obliczeń kwantowych, komunikacji kwantowej i sensoryki kwantowej, mają na celu stworzenie ram współpracy między środowiskiem akademickim, przemysłem i instytucjami rządowymi.

Badania akademickie: w Polsce, uniwersytety i instytucje badawcze, takie jak Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet Jagielloński i Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), są zaangażowane w najnowocześniejsze badania w dziedzinie obliczeń kwantowych i informatyki kwantowej.

- **FINANSOWANIE I GRANTY**

Rząd zapewnia możliwości finansowania projektów badawczych związanych z rozwojem i wdrażaniem technologii kwantowych. Za pośrednictwem krajowych agencji finansujących, polscy naukowcy i firmy mogą ubiegać się o dotacje na wsparcie swoich inicjatyw i współpracy w zakresie prac badawczych, rozwojowych i wdrożeniowych w obszarze technologii kwantowych.

- **UDZIAŁ W INICJATYWACH UNII EUROPEJSKIEJ**

Polska jest zaangażowana w inicjatywy Unii Europejskiej związane z technologią kwantową, takie jak program Quantum Flagship⁷⁴. Udział ten umożliwia polskim naukowcom i firmom współpracę z

⁷³ https://www.uj.edu.pl/wiadomosci/-/journal_content/56_INSTANCE_d82IKZvhit4m/10172/147122449

⁷⁴ <https://qt.eu/>

europejskimi partnerami oraz dostęp do dodatkowych funduszy i zasobów.

- **ZAANGAŻOWANIE PRZEMYSŁU / BIZNESU**

Nieliczne polskie firmy, niektóre na etapie startupu, wkraczają w przestrzeń obliczeń kwantowych. Firmy te koncentrują się na rozwoju oprogramowania, algorytmach kwantowych i zastosowaniach technologii kwantowej w różnych sektorach, takich jak finanse, cyberbezpieczeństwo i problemy optymalizacyjne.
- **WSPÓŁPRACA I FINANSOWANIE**

Polska aktywnie angażuje się we współpracę międzynarodową, wnosząc wkład w finansowane przez UE projekty i partnerstwa, które koncentrują się na technologiach kwantowych. Pomogło to w uzyskaniu dostępu do szerszej sieci wiedzy i zasobów.
- **EDUKACJA**

Uczelnie akademickie rozwijają programy nauczania, szkoląc kolejne pokolenie naukowców i inżynierów w tej dziedzinie.
- **UDZIAŁ W GLOBALNYCH PROJEKTACH**

Polska uczestniczy w inicjatywach Unii Europejskiej oraz w międzynarodowych projektach badawczych mających na celu rozwój technologii kwantowych. Zwiększa to możliwości oraz uczestnictwo w globalnej społeczności kwantowej.

Chociaż obecnie Polska nie jest wiodącym krajem w obszarze rozwoju technologii kwantowych stopniowo buduje swoją obecność i możliwości w tym obszarze badań i rozwoju technologii.

4.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Technologie kwantowe są nowym obszarem działalności rozwojowej i biznesowej. W związku z tym otoczenie formalno-prawne technologii kwantowych w Polsce - podobnie jak i praktycznie we wszystkich innych krajach - nie jest do końca ukształtowane. Można uznać, że otoczenie to jest na etapie kształtowania się w odpowiedzi na wyzwania i osiągnięcia jakie pojawiają się dookoła. Istniejące ramy formalno-prawne odzwierciedlają zaangażowanie naszego kraju w rozwój w tym obszarze.

Poniżej wymienione zostały kluczowe aspekty dotyczące ram formalno-prawnych związanych z technologiami kwantowymi w Polsce:

- **RZĄDOWE POLITYKI I STRATEGIE**

Narodowe Centrum Nauki: udział w międzynarodowej sieci QuantERA⁷⁵. Jej celem jest finansowanie badań i innowacji w dziedzinie technologii kwantowych w Europie: organizacja konkursów na międzynarodowe projekty badawcze, promowanie ambitnych badań dotyczących najnowocześniejszej inżynierii w dziedzinie technologii kwantowych, wspieranie współpracy międzynarodowej pomiędzy naukowcami i agencjami

⁷⁵ <https://ncn.gov.pl/quantera>

finansującymi badania naukowe w Europie, monitorowanie działań i strategii w zakresie technologii kwantowych w Europie, oraz tworzenie wytycznych w sprawie odpowiedzialnego prowadzenia badań naukowych.

Strategia badań i rozwoju: jest efektem szerszych strategii rządowych mających na celu zwiększenie potencjału innowacyjnego i konkurencyjności Polski w sektorach technologicznych. Program wspiera współpracę między instytucjami akademickimi, ośrodkami badawczymi i przemysłem w celu stymulowania postępu w technologiach kwantowych.

- **PRAWODAWSTWO I
REGULACJE**

Ramy dotyczące badań i innowacji: technologie kwantowe są częścią szerszego prawodawstwa regulującego finansowanie badań i innowacji w Polsce, kierując się krajowymi ramami prawnymi, takimi jak ustawa o zasadach finansowania nauki⁷⁶. Przepisy te regulują sposób finansowania projektów badawczych, w tym dotacji na badania nad technologiami kwantowymi. **Przepisy dotyczące ochrony danych i prywatności:** wraz z postępującą technologią kwantową, zwłaszcza w dziedzinach takich jak kryptografia kwantowa, mogą pojawić się konsekwencje dla istniejących przepisów o ochronie danych, takich jak ogólne rozporządzenie o ich ochronie (RODO)⁷⁷. Te ramy prawne wymagają starannego rozważenia aspektów bezpieczeństwa i prywatności aplikacji kwantowych.

Prawa własności intelektualnej (IPR): firmy i instytucje badawcze zaangażowane w technologie kwantowe muszą poruszać się w ramach prawnych dotyczących praw własności intelektualnej w celu ochrony innowacji. Polski Urząd Patentowy i przepisy na szczeblu Unii Europejskiej odgrywają w tym względzie kluczową rolę⁷⁸.

- **UCZESTNICTWO W
INICJATYWACH UNII
EUROPEJSKIEJ**

Polska jest aktywnym uczestnikiem inicjatyw UE dotyczących technologii kwantowych, takich jak program **Quantum Flagship**⁷⁹. Program ten ma na celu wypełnienie luki między nauką a przemysłem w zakresie technologii kwantowych, przy jednoczesnym ustanowieniu jednolitych europejskich ram rozwoju. Przepisy wynikające z prawodawstwa Unii Europejskiej również kształtują podejście Polski do technologii kwantowych, w tym zgodność z kryteriami finansowania, wytycznymi etycznymi i umowami o współpracy w zakresie projektów badawczych.

⁷⁶ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20100960615>

⁷⁷ <https://uodo.gov.pl/pl/395/1192>

⁷⁸ <https://www.biznes.gov.pl/pl/portal/00367>

⁷⁹ <https://qt.eu/>

- **KWESTIE ETYCZNE I
BEZPIECZEŃSTWA**

Wdrażanie technologii kwantowych, zwłaszcza w obszarach takich jak kryptografia i komunikacja, rodzi pytania natury etycznej oraz ryzyka dla bezpieczeństwa narodowego. Polski rząd będzie musiał to wziąć pod uwagę przy opracowywaniu ram prawnych, aby zapewnić, że rozwój technologii kwantowych nie będzie stanowił zagrożenia dla bezpieczeństwa narodowego lub publicznego.

- **RAMY EDUKACYJNE I
BADAWCZE**

Polski system edukacji i instytucje badawcze dostosowują się do włączenia technologii kwantowych do swoich programów nauczania i programów badawczych, wspierając kształcenie siły roboczej, wykwalifikowanej w tych najnowocześniejszych dziedzinach. Proces ten jest wspomagany przez politykę rządową i finansowanie inicjatyw edukacyjnych związanych z naukami kwantowymi.

Ramy formalno-prawne otaczające rozwój technologii kwantowych w Polsce ewoluują. Ma to na celu zachęcanie do innowacji oraz rozwoju edukacji i nauki przy jednoczesnym zarządzaniu wyzwaniami etycznymi, bezpieczeństwa i własności intelektualnej. W miarę rozwoju technologii kwantowych, ramy prawne będą prawdopodobnie dostosowywane do nowych postępów i wyzwań.

4.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Polska nie posiada dedykowanych rządowych dokumentów kierunkowych zawierających wytyczne dotyczące rozwoju technologii kwantowych.

Ostatnim działaniem rządu RP w kierunku stworzenia skoordynowanych działań w obszarze technologii kwantowych mających na celu stworzenie komputerów kwantowych w Unii Europejskiej było podpisanie 20 marca 2024 r. Europejskiej Deklaracji dotyczącej Technologii Kwantowych (Quantum Pact)⁸⁰.

4.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Dotychczas nie powstały wyspecjalizowane agencje i stowarzyszenia branżowe w branży technologii kwantowych. Niektóre organizacje zawodowe i stowarzyszenia przemysłowe wspierają badania, rozwój, współpracę i edukację w tej szybko rozwijającej się dziedzinie.

Agencje i stowarzyszenia branżowe wspierające rozwój technologii kwantowych:

- **Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej Polskiej Akademii Nauk (IITiS PAN)⁸¹**
IITiS, będący częścią Polskiej Akademii Nauk, prowadzi badania nad obliczeniami kwantowymi i ich zastosowaniami, przyczyniając się do akademickiego i praktycznego zrozumienia technologii kwantowych.

⁸⁰ <https://www.gov.pl/web/nauka/podpisanie-quantum-pact--europejskiej-deklaracji-dotyczacej-technologii-quantowych>

⁸¹ <https://www.iitis.pl/pl>

- **Narodowe Centrum Badań Jądrowych⁸²**

NCBJ jest zaangażowane w różne działania badawcze związane z technologiami kwantowymi, w tym obliczeniami kwantowymi i informacjami kwantowymi. Angażuje się również we współpracę międzynarodową.

- **Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii⁸³**

Izba koncentruje się na wspieraniu branży zaawansowanych technologii w Polsce, w tym tych związanych z technologiami kwantowymi. IZTECH ma na celu wspieranie współpracy między członkami i ułatwianie rozwoju branży.

4.5. Informacje o ośrodkach badawczych

W Polsce istnieją ośrodki akademickie i badawczo-rozwojowe zajmujące się nie tylko rozwojem teorii i technologii kwantowych, ale także prowadzące działania mające na celu zbudowanie pierwszego komputera kwantowego.

Poniżej znajduje się lista kluczowych ośrodków zaangażowanych w badania nad technologiami kwantowymi w Polsce. Nie jest to lista wyczerpująca: w wielu polskich uczelniach prowadzone są prace i badania mające związek z rozwojem technologii kwantowych.

Ośrodki badawcze:

- **Politechnika Gdańska⁸⁴**

Współpraca z IQM Quantum Computers, której celem jest zbudowanie komputera kwantowego.

- **Uniwersytet Gdański**

Międzynarodowe Centrum Teorii Technologii Kwantowych⁸⁵ - The International Centre for Theory of Quantum Technologies (ICTQT) - jest wspólną jednostką badawczą Uniwersytetu Gdańskiego oraz Instytutu Optyki Kwantowej i Informacji Kwantowej Austriackiej Akademii Nauk (IQOQI-Vienna), który jest partnerem strategicznym. ICTQT jest finansowane przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej w ramach realizacji projektu „Międzynarodowe Centrum Teorii Technologii Kwantowych”.

Projekt jest finansowany przez Fundację na rzecz Nauki Polskiej ze środków Unii Europejskiej w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.

Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej (KCIK)⁸⁶ - jednostka badawcza zrzeszająca osiem polskich uczelni i instytucji badawczych: Politechnikę Gdańską, Uniwersytet im. Adama

⁸² <https://www.ncbj.gov.pl/>

⁸³ <https://www.iztech.pl/>

⁸⁴ <https://pg.edu.pl/en/news/2024-05/iqm-quantum-computers-expands-operations-poland-and-inks-mou-gdansk-tech>
<https://www.meetiqm.com/newsroom/press-releases/iqm-expands-to-poland>

⁸⁵ <https://ictqt.ug.edu.pl/>

⁸⁶ <https://kcik.ug.edu.pl/pl/home/>

Mickiewicza, Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Jagielloński, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Uniwersytet Łódzki, Uniwersytet Wrocławski oraz Polską Akademię Nauk.

- **Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie**

Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet AGH - Laboratorium Obliczeń Kwantowych⁸⁷ - prowadzi prace badawcze w zakresie wykorzystania komputerów kwantowych w obliczeniach i wsparcia obliczeń klasycznych akceleratorami kwantowymi. Do kluczowych zadań należą śledzenie rozwoju technologii obliczeń kwantowych oraz dostępnych platform akceleratorów kwantowych celem ich wykorzystania w dedykowanych usługach ACK Cyfronet AGH. Współpracuje z innymi podmiotami badawczymi i partnerami przemysłowymi.

- **Uniwersytet Warszawski**

Zakład Optyki, Instytut Fizyki Doświadczalnej, Wydział Fizyki

Centrum Optycznych Technologii Kwantowych / Quantum Imaging Lab⁸⁸ – pracuje nad kwantowymi technikami optycznymi oraz technologiami pamięci kwantowych

Instytut Informatyki, Wydział Matematyki, Informatyki i Mechaniki, Quantum Information Technologies Research Group, QCAT Research Group⁸⁹ – prowadzi interdyscyplinarne badania w obszarze fizyki kwantowej, informatyki i matematyki z perspektywą zastosowania w telekomunikacji kwantowej i informatyce kwantowej.

- **Polska Akademia Nauk (PAN)**

Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe⁹⁰ afiliowane przy Instytucie Chemii Bioorganicznej PAN dołączyło do węzła obliczeń kwantowych, **IBM Quantum Innovation Center**, którego jednym z celów jest uruchomienie pierwszego komputera kwantowego w Polsce.

Do inicjatywy dołączył Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

4.6. Bariery rozwoju

Tak jak w wielu krajach, rozwój technologii kwantowych w Polsce napotyka na szereg barier charakterystycznych dla nowych, wschodzących branż, które utrudniają postęp.

Najważniejsze bariery to:

- **FINANSOWANIE I INWESTYCJE**

Odpowiednie finansowanie ma kluczowe znaczenie dla badań i rozwoju technologii kwantowych. Polska ma stosunkowo ograniczone zasoby finansowe oraz słabo rozwinięty i mało płynny rynek kapitałowy finansujący w znaczący sposób wschodzące technologie w porównaniu z wiodącymi krajami w tej dziedzinie. Utrudnia to wspieranie ambitnych projektów.

- **SYSTEM PODATKOWY**

Brak jest strukturalnego podejścia w ramach systemu podatkowego zachęcającego do inwestowania w obszarach

⁸⁷ https://www.cyfronet.pl/18327,artykul,laboratorium_obliczen_kwantowych.html

⁸⁸ <https://optics.fuw.edu.pl>

⁸⁹ <https://www.stobinska-group.eu>

⁹⁰ <https://ibm.quantum.psn.pl/>

wysokiego ryzyka. Nie chodzi o dotacje ze strony państwa, ale takie ustrukturyzowanie systemu podatkowego, które w przypadku sukcesu daje premię inwestorowi w postaci sporej i nieograniczonej w czasie książki odpisów podatkowych redukujących zobowiązania podatkowe w przypadku zysków. Są to np. możliwość przenoszenia z roku na rok strat spółek bez ograniczenia w czasie (i dodatkowo indeksowania tych strat corocznie zgodnie ze wskaźnikiem inflacji), czy możliwości księgowania wydanych nakładów inwestycyjnych w sposób podniesiony (np. każda wydana złotówka w inwestycjach wysokiego ryzyka księgowana jest tak, jak gdyby wydano jeden złoty i 25 groszy),

- **NIEDOBÓR I ODPŁYW TALENTÓW**

W przypadku wzrastającego tempa rozwoju, w Polsce może brakować wykwalifikowanych specjalistów w dziedzinie fizyki i inżynierii kwantowej. Jest to istotny problem związany z możliwością wyjazdów najbardziej utalentowanych i wykwalifikowanych kadr z Polski do krajów znacznie zasobniejszych pod względem finansowania i prowadzących atrakcyjne projekty. Zatrzymanie talentów, a tym bardziej przyciągnięcie nowych ze świata, stanowi istotne wyzwanie.

- **MIĘDZYNARODOWA I MIĘDZYINSTYTUCJONALNA WSPÓŁPRACA**

Międzynarodowa i międzyinstytucjonalna współpraca interdyscyplinarna jest bardzo istotna dla rozwoju technologii kwantowych wymaga jednak sporych środków finansowych. Brak dynamicznie rozwijającej się współpracy między środowiskiem akademickim, przemysłem i organami rządowymi - w tym w relacjach międzynarodowych - będą spowalniać postęp.

- **OTOCZENIE REGULACYJNE**

Ustanowienie ram regulacyjnych sprzyjających innowacjom przy jednoczesnym zapewnieniu etycznego i bezpiecznego korzystania z technologii kwantowych jest sporym wyzwaniem ze względu na niepewności sposobu i skutków oddziaływania zupełnie nowych technologii. Dotyczy to zarówno dziedzin mających bezpośrednie skutki społeczne, takie jak skutki dla bezpieczeństwa, jak i mniej społecznie bezpośrednich, takich jak nadążanie prawa własności intelektualnej za rozwijającymi się technologiami.

- **ŚWIADOMOŚĆ SPOŁECZNA**

Opinia publiczna, a przede wszystkim decydenci polityczni decydujący o tworzeniu ram prawnych i wsparciu finansowym, nie są w pełni świadomi potencjału cywilizacyjnego, wpływu oraz korzyści jakie niesie za sobą rozwój technologii kwantowych. To może skutkować

niewystarczającym wsparciem inwestycji, np. w przypadku cięć budżetowych.

- **GLOBALNA KONKURENCJA**

Polska stoi w obliczu silnej konkurencji ze strony krajów, które już stały się liderami w dziedzinie badań i rozwoju technologii kwantowych, mają znacznie bardziej rozbudowaną bazę naukową oraz większe zasoby finansowe (Stany Zjednoczone, Japonia, Wielka Brytania, Niemcy, itd.). W tej branży Polska musi nadrobić zaległości lub też skoncentrować się na kilku wybranych obszarach, w których potencjalnie jest w stanie osiągnąć przewagi konkurencyjne.

Przezwyciężanie powyższych barier – a jest to proces ciągły i nieograniczony w czasie - wymaga skoordynowanych działań ze strony rządu, środowiska akademickiego i przemysłu. Koordynacja i zrozumienie, ponad partykularnymi interesami środowiskowymi, jest kluczem do sukcesu.

4.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Technologie kwantowe mające potencjał zrewolucjonizować różne gałęzie przemysłu wymagają znacznych inwestycji w kapitał ludzki i w infrastrukturę.

Potencjał ludzki:

- **Rozwój talentów**

Konieczne jest inwestowanie w programy edukacyjne i szkoleniowe, w kształtowanie nowego pokolenia naukowców i inżynierów kwantowych.

Należy do tego wspierać programy dla absolwentów, stypendiów podoktoranckich i staży branżowych.

- **Wiedza specjalistyczna**

Technologie kwantowe wymagają głębokiego zrozumienia, opanowania złożonych zagadnień fizyki, modelowania matematycznego i zasad inżynierii. Wymaga to wielu wysoko wykształconych badaczy i praktyków: fizyków, inżynierów i informatyków.

- **Interdyscyplinarna współpraca i przedsięwzięcia**

Rozwój technologii kwantowych wymaga współpracy między ekspertami z różnych dziedzin, takich jak fizyka i inżynieria materiałowa, optyka i kryptografia. Wsparcie interdyscyplinarnych działań jest krytyczne dla rozwoju technologii kwantowych i ich wdrażania.

Wymagana infrastruktura:

- **Ośrodki badawczo-rozwojowe**

Najnowocześniejsze laboratoria wyposażone w sprzęt specjalistyczny, taki jak komputery kwantowe, komory kriogeniczne

i precyzyjne urządzenia pomiarowe, są konieczne do prowadzenia najnowocześniejszych badań.

- **Centra obliczeń kwantowych**

Centra te mają na celu zapewnienie dostępu do komputerów kwantowych, z czasem coraz to nowocześniejszych - co jest związane z niekończącą się eskalacją zapotrzebowania na środki finansowe (do czasu, kiedy te technologie staną się dojrzałe i koszty te jednostkowo spadną), umożliwiając naukowcom i programistom badanie potencjalnych zastosowań i testowanie algorytmów.

- **Bezpieczne sieci telekomunikacyjne**

Rozwój kwantowo bezpiecznych sieci telekomunikacyjnych jest niezbędny do ochrony wrażliwych danych przed przyszłymi atakami na przesył danych przy użyciu technologii kwantowych. Wymaga to stworzenia infrastruktury służącej do bezpiecznej kwantowej dystrybucji kluczy oraz do wdrażania metod kryptografii kwantowej.

Finansowanie:

- **Partnerstwa przemysłowe**

Współpraca między środowiskiem akademickim, przemysłem i rządem jest krytyczna, aby przyspieszać wdrażanie technologii kwantowych. Finansowanie przez przemysł wspiera badania stosowane, rozwój produktów i penetrację rynku oraz stanowi komercyjny nadzór nad ekonomicznością prowadzonej działalności.

- **Venture Capital**

Firmy *venture capital* są w stanie zapewnić niezbędne finansowanie dla startupów i małych firm pracujących nad zastosowaniami technologii kwantowych. Tego rodzaju inwestycje, gdy osiągną masę krytyczną, prowadzą do komercjalizacji badań na produkty i usługi. Jednakże w celu przyciągnięcia inwestorów wysokiego ryzyka, prawo finansowe – w tym przepisy podatkowe – w powiązaniu z atrakcyjnością bazy naukowo-technicznej, zasobów ludzkich i możliwości wdrażania projektów, muszą być konkurencyjne w stosunku do ich odpowiedników w innych krajach. Warto zaznaczyć, że w przypadku inwestycji wysokiego ryzyka, kraje konkurują między sobą o inwestycje w systemie prawno-finansowym, który takie ryzyka minimalizuje.

- **Inwestycje rządowe i Unii Europejskiej**

Rząd i Unia Europejska odgrywają krytyczną rolę w finansowaniu badań podstawowych, rozwoju infrastruktury i rozwoju kapitału ludzkiego we wszystkich dziedzinach, w tym w zakresie technologii kwantowej. Długoterminowe i konsekwentne inwestycje są niezbędne dla innowacyjności.

Rozwój technologii kwantowych wymaga skoordynowanych działań: inwestycji w kapitał ludzki i infrastrukturę wraz ze wsparciem finansowym. Efektem tych działań ma być ustawiczne kształcenie coraz to bardziej wykształconej, wybitnej kadry naukowców, inżynierów, techników, programistów, konstruktorów, itd. Ma to pozwolić na budowanie własnych prototypów i ulepszanie już istniejących, rozwój nowych algorytmów i technik oprogramowania (które- w przypadku informatyki kwantowej – dopiero czekają na swój pełny rozwój), a także rozwój modeli komercjalizacji i działań biznesowych.

4.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze technologii kwantowych wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Beit Sp. z o.o.	https://beit.tech/	Firma	Platforma Beit, oprogramowanie	Prace nad oprogramowaniem komputerów kwantowych
Creotech Instruments S.A.	https://creotech.pl/pl/	Firma	Sinara	Ekosystem sprzętowy do kontroli q-bitów
Instytut PCSS	https://pcss.pl	Zespół badawczy	Węzeł obliczeń kwantowych	Prace nad technologią kwantową
ML System S.A.	https://mlsystem.pl/	Firma	Szyby z powłoką kwantową	Szyby z powłoką kwantową generujące energię elektryczną.
Zespół CYFRONET	https://cyfronet.pl	Zespół badawczy	Węzeł obliczeń kwantowych	Prace nad technologią kwantową
Zespół Q-Cluster	https://q-cluster.pl	Zespół badawczy	Wsparcie rozwoju technologii kwantowych	Prace nad technologią kwantową

5. BIOTECHNOLOGIE

Biotechnologia to interdyscyplinarna dziedzina nauki i technologii, która wykorzystuje procesy biologiczne, organizmy, komórki oraz ich komponenty do tworzenia nowych produktów i rozwiązań w różnych sektorach, takich jak medycyna, rolnictwo, przemysł spożywczy oraz ochrona środowiska. Współczesna biotechnologia obejmuje szeroką gamę zaawansowanych technik i narzędzi, które umożliwiają manipulację genami i modyfikację organizmów w sposób precyzyjny i kontrolowany. Zgodnie z wytycznymi MSZ, w rozdziale dotyczącym biotechnologii zawarto informacje na temat technologii krytycznych w czterech obszarach: techniki modyfikacji genetycznej, nowych technik genomowych, nadpisywania genów i biologii syntetycznej oraz dodatkowo w obszarach o największym potencjale rozwoju, gdzie w najbliższej dekadzie elementy wymienionych technologii krytycznych będą odgrywać ważną rolę.

Techniki modyfikacji genetycznej rozwijane w Polsce umożliwiają zmiany struktury genów, aby nadać organizmom pożądane cechy. Przykładem jest firma Proteon Pharmaceuticals, która opracowuje biologiczne alternatywy dla antybiotyków w rolnictwie, co jest możliwe dzięki precyzyjnym modyfikacjom genetycznym. Drugą grupą są nowe techniki genomowe – zaawansowane metody sekwencjonowania i edycji genomów, które umożliwiają dokładne mapowanie oraz manipulowanie materiałem genetycznym. Takie działania podejmuje firma intoDNA S.A., specjalizująca się w detekcji uszkodzeń DNA, oraz Europejskie Centrum Bioinformatyki i Genomiki.

Nadpisywanie genów to kolejna technologia, kluczowa w badaniach nad terapiami genowymi i medycyną spersonalizowaną. Przykładem jest firma ExploRNA Therapeutics, zajmująca się badaniami związanymi z terapiami genowymi, oraz Molecule.one, która wykorzystuje sztuczną inteligencję do optymalizacji syntez chemicznych dla leków. Czwarty obszar – biologia syntetyczna – obejmuje tworzenie sztucznych organizmów i układów biologicznych zaprojektowanych od podstaw. Polbionica Sp. z o.o. to pionier w technologii biodruku 3D, umożliwiającej tworzenie funkcjonalnych tkanek i organów z komórek ludzkich.

Raport zawiera informacje na temat aktualnych technologii biotechnologicznych oraz firm działających w Polsce, co pozwala na lepsze zrozumienie potencjału tego sektora i jego znaczenia dla gospodarki. Analiza uwzględnia również kluczowe wyzwania oraz możliwości rozwoju, które mogą wspierać innowacyjność i przyciągać inwestycje, wzmacniając pozycję Polski na arenie międzynarodowej w dziedzinie biotechnologii.

5.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

Polska dysponuje rozwiniętym sektorem edukacji technicznej i nauk przyrodniczych, choć modele kształcenia są przestarzałe, a programy niedopasowane do potrzeb rynku co skutkuje odpływem wielu wysoko wykwalifikowanych specjalistów do innych branż, korporacji lub do zagranicznych ośrodków i centrów R&D. Należy na to zwrócić uwagę, ponieważ kształcenie na kierunkach takich jak biotechnologia jest drogie. Ubytek kadr w tym krytycznym obszarze technologicznym jest podwójną stratą z uwagi na poniesione koszty ekonomiczne edukacji oraz brak wartości dodanej dla gospodarki.

Sektor przedsiębiorstw biotechnologicznych jest relatywnie niewielki i nie jest w stanie wchłonąć kadr kształconych na kierunkach biotechnologii i biomedycyny, choć większość przedsiębiorstw w tym sektorze prowadzi działalność badawczo-rozwojową. Znacząca ich część koncentruje się na bioinformatyce, telemedycynie, przetwarzaniu danych medycznych, urządzeniach medycznych oraz sztucznej inteligencji

i uczeniu maszynowym. Są to niewątpliwie obszary dynamicznego rozwoju. Jednak pod względem wielkości badanych podmiotów są to przedsiębiorstwa klasyfikowane jako małe (o liczbie pracujących 49 osób i mniej). Małe przedsiębiorstwa stanowiły 55,6% ogólnej liczby przedsiębiorstw biotechnologicznych; udział przedsiębiorstw średnich (od 50 do 249 osób) i dużych (250 osób i więcej) wyniósł odpowiednio 27,8% i 16,6%⁹¹.

Dynamiczny rozwój technologii następuje szczególnie w obszarze zastosowań w kardiologii (31%) i psychologii (23%). Startupy chętniej współpracują bezpośrednio z naukowcami niż z uczelniami. Niemal połowa z nich, w zakresie prac badawczo-rozwojowych, współpracuje z indywidualnymi pracownikami naukowymi. 84% startupów prowadzi politykę ekspansji i w planach rozwoju planuje wejścia na nowe rynki z uwagi na ogólnoswiatowe zastosowania wytwarzanych rozwiązań⁹².

W sektorze większych przedsiębiorstw dominuje przemysł farmaceutyczny, który obejmuje zarówno wytwarzanie leków generycznych, jak i prace nad innowacyjnymi terapiami, w tym biofarmaceutykami. W kraju funkcjonują takie firmy jak Polpharma Biologics S.A., Celon Pharma S.A. czy Mabion S.A., które aktywnie inwestują w badania i rozwój (B+R) oraz uczestniczą w projektach międzynarodowych. Przemysł farmaceutyczny w Polsce charakteryzuje się znaczną różnorodnością, obejmując produkcję insuliny, biofarmaceutyków, leków przeciwnowotworowych, a także innowacyjne terapie genowe i komórkowe.

Na giełdzie papierów wartościowych (GPW) jest notowanych ponad 20 firm zajmujących się biotechnologią i medycyną. Największą kapitalizację mają: Neuca (jest dystrybutorem farmaceutyków, ale też rozwija biznes kliniczny), Celon (1,3 mld zł), Selvita (ponad 1,2 mld zł), Synektik (1,2 mld zł), Ryvu (1,2 mld zł), Scope Fluidics (450 mln zł), Synthaverse (400 mln zł), Captor (370 mln zł), Bioceltix (320 mln zł), Bioton (290 mln zł), Mabion (290 mln zł), PolTreg (245 mln zł) i Molecure (230 mln zł)⁹³. Łączna kapitalizacja największych firm to 7.5 mld zł (dla porównania wartość firmy AstraZeneca to 211 miliardów USD⁹⁴).

Warto podkreślić, że przemysł farmaceutyczny w Polsce jest jednym z najlepiej rozwiniętych segmentów biotechnologii, a jego produkty odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa zdrowotnego kraju. Zwiększone inwestycje w infrastrukturę badawczą oraz wsparcie ze strony instytucji takich jak Agencja Badań Medycznych (ABM) i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) umożliwiają intensyfikację działań badawczo-rozwojowych oraz przyczyniają się do powstawania innowacyjnych produktów leczniczych. Mimo to branża wciąż napotyka na wyzwania związane ze wsparciem instytucjonalnym, zachowawczością środowiska akademickiego oraz brakiem funduszy publicznych dla ryzykownych projektów.

Infrastruktura technologiczna

- **Sektor prywatny:**

Centra badawczo-rozwojowe

⁹¹ RZĄDOWY PLAN ROZWOJU SEKTORA BIOMEDYCZNEGO NA LATA 2022–2031

⁹² <https://www.mckinsey.com/industries/life-sciences/our-insights/the-bio-revolution-innovations-transforming-economies-societies-and-our-lives>

⁹³ <https://www.parkiet.com/analizy-rynkowe/art40817661-polska-biotechnologia-sie-budzi-celon-to-dopiero-poczetek>

⁹⁴ <https://companiesmarketcap.com/astrazeneca/marketcap/>

W roku 2024 Polpharma oficjalnie zakończyła realizację projektu „Prometeusz”, otwierając w Starogardzie Gdańskim nowoczesne laboratorium badawczo-rozwojowe oraz centrum produkcji wysokoaktywnych substancji farmaceutycznych. Ta dwuletnia inwestycja, warta 100 mln zł, ma na celu odbudowanie krajowej produkcji API (substancji czynnych) oraz wsparcie rozwoju nowych leków, w szczególności onkologicznych⁹⁵.

Adamed w 2016 r. w Pieńkowie pod Warszawą utworzył centrum badawczo-rozwojowe, w którym rozwijane są technologie farmaceutyczne oraz różne postaci leków. Szacuje się, że łączna wartość inwestycji w infrastrukturę B+R (w tym rozbudowę centrum BR i zakup aparatury) przekroczyła 300 mln zł. Firma uruchamia też laboratoria w Pabianicach i zapowiada, że do końca dekady przeznaczy prawie 2 mld zł na badania i rozwój⁹⁶.

W 2021 Celon Pharma zakończyła budowę Centrum Badawczo-Rozwojowego w Kazuniu Nowym pod Warszawą, Centrum skupia się na innowacjach biotechnologicznych i genowych. Wartość inwestycji szacuje się na poziomie ok. 80-100 mln zł⁹⁷.

W 2020 roku Ryvu Therapeutics otworzyła nową siedzibę centrum badawczo-rozwojowego w Krakowie, finansowaną częściowo ze środków własnych i grantów, o wartości kilkudziesięciu milionów złotych. Natomiast Mabion zainwestował w kompleks naukowo-przemysłowy biotechnologii medycznej w Konstancynie Łódzkim oraz centrum badawczo-rozwojowe biotechnologicznych produktów leczniczych w Łodzi.

- **Sektor publiczny:**

W sektorze publicznym infrastruktura badawcza skupiona jest głównie wokół ośrodków akademickich i instytutów badawczych. Często są to ośrodki wpisane na Polską Mapę Infrastruktury Badawczej, która finansowana jest z budżetu państwa lub programów UE. Zawiera ona 70 najważniejszych projektów badawczych, które wspierają m.in. badania biologiczno-medyczne, badania nad mikroorganizmami, genomiką, biobankowaniem oraz nowoczesnymi technologiami farmakologicznymi.

Warto podkreślić, iż pomimo rozbudowanej infrastruktury, startupy i mniejsze podmioty prywatne z branży biotechnologicznej z ograniczonymi zasobami finansowymi napotykają trudności w dostępie do infrastruktury zlokalizowanej na uczelniach i w państwowych centrach badawczych. Bariery biurokratyczne i wysokie opłaty na uczelniach stanowią znaczącą przeszkodę, co zniechęca do współpracy z uniwersytetami i sprawia, że startupy częściej współpracują bezpośrednio z indywidualnymi naukowcami, pomijając formalne struktury akademickie.

5.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Otoczenie prawne

Otoczenie prawne i strategia rozwoju biotechnologii i biomedycyny w Polsce jest kształtowane głównie przez przepisy zgodne z regulacjami UE i w synergii ze strategią UE.

⁹⁵ <https://aptekarski.com/arttykul/nowe-laboratorium-i-centrum-produkcyjne-polpharma-i-projekt-prometeusz-w-starogardzie-gdanskim>

⁹⁶ <https://www.pb.pl/adamed-planuje-miliardowe-inwestycje>

⁹⁷ <https://www.urbanity.pl/mazowieckie/nowodworski/czosnow/nowe-miejsca-pracy-pod-warszawa-gotowe-nowoczesne-centrum-badawcze,w20127>

Polska wdraża regulacje UE w zakresie ochrony zdrowia, bezpieczeństwa produktów biomedycznych, bioetyki oraz standardów badań klinicznych. Przepisy te określają wymagania dotyczące badań nad nowymi terapiami i lekami, a także standaryzację procedur badawczych i ich transparentność.

Regulacje prawne dotyczące zasad prowadzenia badań w instytucjach akademickich i naukowych oraz ochrony wyników prac badawczo-rozwojowych poprzez prawo własności intelektualnej stanowi ustawa o szkolnictwie wyższym i nauce oraz system ochrony własności intelektualnej z polskim Urzędem Patentowym na czele.

W ujęciu strategicznym Unia Europejska uznaje biotechnologię za ważny obszar rozwoju ze względu na jej potencjał w kontekście modernizacji kluczowych sektorów, w tym leków, terapii genowych i medycyny. Polska stara się dostosować swoją strategię w obszarach, gdzie UE chce mieć wiodącą rolę. Przykładowo UE postrzega biotechnologię jako narzędzie do tworzenia nowoczesnych rozwiązań w opiece zdrowotnej, co przekłada się na możliwość opracowywania nowych leków, innowacyjnych terapii (w tym genowych i komórkowych) oraz lepszego zabezpieczenia potrzeb zdrowotnych obywateli. Bioprodukcja, w kontekście leków i terapii, oznacza efektywniejsze wytwarzanie białek terapeutycznych, przeciwciał monoklonalnych, szczepionek czy wektorów do terapii genowej. Unia dąży do stworzenia warunków, w których procesy B+R oraz transfer technologii do przemysłu będą prostsze i szybsze. Ma to znaczenie dla rozwoju leków biologicznych, które są często kluczowe w leczeniu chorób autoimmunologicznych, onkologicznych czy rzadkich.

W kontekście biotechnologii i polityki nowoczesnych leków UE podkreśla potrzebę uproszczenia regulacji w celu przyspieszenia procesu wprowadzania produktów na rynek. Biurokracja często opóźnia dostęp pacjentów do nowoczesnych terapii.

W kontekście biotechnologii i biomedycyny zarys prawny stworzony został w ramach Planu Rozwoju Sektora Biomedycznego na lata 2022–2031 – Rządowy plan stanowi strategiczny dokument, który wyznacza cele rozwoju sektora biomedycznego w Polsce, w tym wsparcie dla rozwoju innowacyjnych terapii, leków i wyrobów medycznych. Plan zakłada również rozwój infrastruktury badawczej, zwiększenie koordynacji projektów oraz zacieśnienie współpracy między instytucjami naukowymi, publicznymi i prywatnymi.

Otoczenie instytucjonalne

- **Agencja Badań Medycznych (ABM)** – ABM jest kluczową instytucją wspierającą rozwój sektora biomedycznego w Polsce. Agencja odpowiada za finansowanie niekomercyjnych badań klinicznych i projektów badawczo-rozwojowych oraz za przyspieszanie procedur związanych z dopuszczaniem innowacyjnych produktów biomedycznych na rynek. ABM zarządza również środkami z Krajowego Planu Odbudowy, które wspierają rozwój sektora biomedycznego, szczególnie w obszarze innowacyjnych terapii i rozwiązań.
- **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR)** – NCBR wspiera innowacje technologiczne poprzez konkursy i programy grantowe dla przedsiębiorstw oraz jednostek naukowych. Centrum koncentruje się na wspieraniu projektów o wysokim potencjale komercyjnym i prowadzi liczne programy wspierające rozwój sektora biotechnologii i biomedycyny, takie jak „Strategmed”.
- **Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP)** – PARP wspiera rozwój przedsiębiorczości w Polsce, w tym w sektorze biotechnologicznym. Agencja oferuje programy wspierające startupy i małe oraz średnie przedsiębiorstwa, pomagając im w rozwoju i komercjalizacji innowacyjnych produktów oraz w poszukiwaniu rynków zbytu.

- **Polski Fundusz Rozwoju (PFR)** to instytucja wspierająca rozwój polskiej gospodarki poprzez inwestycje i finansowanie innowacyjnych projektów. PFR oferuje wsparcie kapitałowe, szczególnie dla startupów i przedsiębiorstw z sektorów takich jak MedTech, biotechnologia czy technologie cyfrowe. Fundusz działa na rzecz zrównoważonego rozwoju, wspierając przedsiębiorców na różnych etapach działalności – od startupów po duże firmy, a także realizuje programy dla innowacji, eksportu i inwestycji w kluczowe sektory gospodarki.
- **Narodowe Centrum Nauki (NCN)** – jest kluczową instytucją wspierającą rozwój badań podstawowych w Polsce, w tym w zakresie biotechnologii i biomedycyny. NCN finansuje projekty badawcze prowadzone przez jednostki naukowe i indywidualnych naukowców, umożliwiając im realizację nowatorskich badań, które stanowią podstawę do dalszych prac rozwojowych. Centrum oferuje programy konkursowe, takie jak OPUS, SONATA i PRELUDIUM, wspierające badania podstawowe we wczesnych etapach. NCN przyczynia się do podnoszenia poziomu nauki w Polsce oraz zwiększenia międzynarodowej konkurencyjności polskich naukowców, co ma szczególne znaczenie w dziedzinach szybko rozwijających się, takich jak biotechnologia i medycyna.
- **Ministerstwo Zdrowia** – Ministerstwo Zdrowia w Polsce odpowiada za regulacje w zakresie ochrony zdrowia, w tym także za programy dotyczące polityki refundacyjnej oraz dopuszczania innowacyjnych terapii na rynek. Ministerstwo współpracuje z ABM i NCBR oraz wyznacza priorytety zdrowotne państwa, wspierając rozwój sektora biomedycznego i jego integrację z systemem ochrony zdrowia.
- **Instytuty naukowe i uczelnie wyższe** – Instytuty takie jak Instytut Biotechnologii i Antybiotyków oraz ośrodki akademickie, jak Uniwersytet Warszawski, Uniwersytet Jagielloński i Politechnika Warszawska, prowadzą intensywne badania w dziedzinach biotechnologii i biomedycyny. Uczelnie te tworzą specjalistyczne zespoły badawcze, które realizują projekty wspierane przez granty z ABM, NCBR, PARP, NCN oraz współpracują z sektorem prywatnym.

5.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

W Polsce istnieje kilka ogólnych dokumentów zawierających informacje o sektorze biotechnologii. Są to:

Strategia na rzecz odpowiedzialnego rozwoju (SOR) (z perspektywą do 2030 r.) została przyjęta przez Radę Ministrów w 2017 roku. W ramach strategii wskazano na znaczenie innowacji, badań naukowych i rozwoju technologicznego w różnych dziedzinach, w grupie których biotechnologia stanowi jeden z obszarów o wysokim potencjale tworzenia innowacyjnych produktów i usług. Kolejny ogólny dokument wypracowany w ramach polityki Unii Europejskiej i zaadaptowany przez polski rząd to Krajowa Inteligentna Specjalizacja (KIS). W ramach KIS wymieniono procesy biotechnologiczne oraz produkty (np. bioprodukty). Kolejne KIS to zdrowe społeczeństwo i medycyna spersonalizowana (w tym biotechnologia medyczna) oraz innowacyjne rozwiązania dla sektora rolno-spożywczego, oparte również na biotechnologii. Istnieje również Krajowy Program Badań (KPB) – dokument rządowy (przyjmowany przez Radę Ministrów) wyznaczający priorytetowe kierunki badań i rozwoju (B+R) w Polsce. Biotechnologia, jako dziedzina kluczowa dla medycyny, rolnictwa, ochrony środowiska czy przemysłu, figuruje w ramach wybranych priorytetów badawczych, takich jak nowoczesne technologie medyczne i farmaceutyczne (biotechnologia medyczna), bezpieczna i wysokiej jakości żywność (biotechnologia rolno-spożywcza), technologie środowiskowe i zrównoważony rozwój (m.in. biotechnologia środowiskowa). W obszarze farmacji Polska posiada politykę lekową państwa, która jest opracowana przez Ministerstwo Zdrowia (przyjmowana przez Radę Ministrów). MZ formułuje strategiczne założenia dotyczące dostępności i jakości leków w Polsce, a

także rozwoju krajowego przemysłu farmaceutycznego. Polityka Lekowa Państwa definiuje cele w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa lekowego, wspierania krajowej produkcji farmaceutycznej, zwiększania innowacyjności, a także wspiera działania na rzecz lepszej dostępności medykamentów dla pacjentów.

Z perspektywy rozwoju biotechnologii, biomedycyny i produktów farmaceutycznych głównym dokumentem rządowym jest Plan Rozwoju Sektora Biomedycznego na lata 2022-2031, uchwała nr 141/2022 Rady Ministrów z dnia 21 czerwca 2022 r. Plan został opracowany w odpowiedzi na potrzebę skonsolidowania działań i zwiększenia efektywności w sektorze biotechnologicznym i biomedycznym. Pandemia COVID-19 uwypukliła konieczność wzmocnienia tego krytycznego sektora jako elementu kluczowego dla bezpieczeństwa państwa w kontekście lekowym.

Plan obejmuje cele, takie jak rozwój innowacyjnych terapii, szczególnie w zakresie terapii komórkowych, genowych i RNA, rozwój wyrobów medycznych oraz poprawę systemu zarządzania ochroną zdrowia. Przewiduje także wsparcie dla działalności badawczo-rozwojowej (B+R) oraz komercjalizacji produktów, co jest kluczowe dla dynamicznego wzrostu sektora biomedycznego. Na realizację planu zabezpieczono środki w wysokości 2 mld zł, finansowane z Krajowego Planu Odbudowy oraz funduszy Agencji Badań Medycznych.

Plan koncentruje się na wsparciu badań klinicznych oraz projektów o wysokim potencjale komercjalizacyjnym. Przewiduje się również rozwój platform IT dla Polskiej Sieci Badań Klinicznych, co ma na celu poprawę monitorowania i zarządzania projektami w sektorze biomedycznym. Dokument zakłada także współpracę z sektorem prywatnym i modelami partnerstwa publiczno-prywatnego w celu zwiększenia inwestycji i efektywności wdrożeń. Przewiduje wzrost liczby projektów innowacyjnych, o co najmniej 40 projektów w fazie badań klinicznych oraz zwiększenie liczby Centrów Wsparcia Badań Klinicznych w Polsce. Długoterminowym celem jest także wprowadzenie na rynek pierwszego polskiego innowacyjnego leku oraz osiągnięcie przez Polskę pozycji lidera w biotechnologii i biomedycynie w Europie Środkowo-Wschodniej.

5.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Na polskim rynku działa kilka organizacji zrzeszających firmy i instytucje biotechnologiczne:

1. **Polska Izba Biotechnologii** – Polska Izba Biotechnologii zrzesza firmy biotechnologiczne, zapewniając wsparcie w nawiązywaniu współpracy biznesowej i naukowej, a także w reprezentowaniu interesów branży. Izba organizuje konferencje, szkolenia i spotkania branżowe, wspierając wymianę wiedzy i rozwój innowacyjnych projektów.
2. **Polski Związek Innowacyjnych Firm Biotechnologii Medycznej BioInMed** – to organizacja zrzeszająca polskie firmy działające w sektorze biotechnologii medycznej, założona w 2021 roku. BioInMed wspiera projekty badawczo-rozwojowe w obszarach, takich jak nowe leki, terapie i metody diagnostyczne, a także innowacyjne technologie wspierające, jak sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe. Celem organizacji jest rozwój polskiego sektora biotechnologii medycznej poprzez współpracę z administracją publiczną oraz stworzenie ekosystemu sprzyjającego innowacjom, które odpowiadają na istotne potrzeby zdrowotne pacjentów w Polsce i na świecie.
3. **Polski Związek Pracodawców Przemysłu Farmaceutycznego (PZPPF)**: Reprezentuje krajowych producentów leków, którzy odpowiadają za około 50% polskiego rynku farmaceutycznego.

Organizacja ta działa na rzecz rozwoju przemysłu farmaceutycznego w Polsce, podkreślając jego znaczenie dla gospodarki i bezpieczeństwa zdrowotnego obywateli.

4. **Związek Pracodawców Innowacyjnych Firm Farmaceutycznych INFARMA:** Skupia innowacyjne firmy farmaceutyczne działające w Polsce.
5. **BioForum Poland** – to organizacja i wydarzenie wspierające polski sektor biotechnologiczny. Od ponad 20 lat BioForum organizuje międzynarodowe konferencje, które stanowią platformę do nawiązywania współpracy pomiędzy przedsiębiorstwami, naukowcami i przedstawicielami administracji. Główne cele to promocja polskiego sektora nauk przyrodniczych, warsztaty oraz spotkania networkingowe, które pomagają w rozwijaniu relacji biznesowych w dziedzinie biotechnologii i innowacji medycznych. Dzięki swojemu członkostwu w organizacjach takich jak EuropaBio, BioForum również reprezentuje polską biotechnologię na arenie europejskiej, umożliwiając udział polskich firm w międzynarodowych projektach i debatach branżowych.
6. **Klaster LifeScience Kraków** – to inicjatywa wspierająca rozwój sektora *life science* i biotechnologii w regionie Małopolski. Klaster zrzesza przedsiębiorstwa, instytucje badawcze, uniwersytety, szpitale, organizacje wsparcia biznesu oraz lokalne samorządy, tworząc platformę współpracy i innowacji w obszarach, takich jak e-zdrowie, medycyna, farmacja, nowoczesne rolnictwo, zdrowa żywność i bioekonomia. Działania Klastra, koordynowane przez Fundację Klaster LifeScience Kraków, obejmują projekty wspierające komercjalizację badań naukowych oraz wzmacnianie regionalnej konkurencyjności poprzez tworzenie innowacyjnych rozwiązań w medycynie i zrównoważonym rozwoju.
7. **Sieć Otwartych Innowacji** – Program realizowany przez Agencję Rozwoju Przemysłu (ARP) wspierający transfer technologii i komercjalizację wyników badań z zakresu biotechnologii i biomedycyny, umożliwiający współpracę między ośrodkami badawczymi a przedsiębiorstwami.
8. **Centra Wsparcia Badań Klinicznych** – Centra te są rozproszone po całym kraju i działają pod egidą ABM, wspierając prowadzenie badań klinicznych. Zapewniają infrastrukturę, zasoby i wiedzę niezbędną do przeprowadzania badań klinicznych zgodnie z międzynarodowymi standardami, zwiększając atrakcyjność Polski jako miejsca dla badań biomedycznych.

5.5. Informacje o ośrodkach badawczych

Oprócz ośrodków akademickich, które prowadzą badania w obszarze biotechnologii i biomedycyny od poziomu badań podstawowych do wdrożeń, można znaleźć również specjalistyczne ośrodki przy uczelniach, instytutach badawczych i szpitalach. Jako technologie krytyczne i unikatowe zostały one wpisane w Polską Mapę Infrastruktury Badawczej⁹⁸. W obszarze biotechnologii i biomedycyny są to:

- **Centrum Krioobrazowania** – placówka badawcza zajmująca się obrazowaniem biologicznym i biomedycznym w niskich temperaturach, umożliwiając precyzyjną wizualizację struktur molekularnych i komórkowych w ich naturalnym stanie (Lider: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu).
- **Centrum Rozwoju Nowych Farmakoterapii Zaburzeń Ośrodkowego Układu Nerwowego – Cephares** – prowadzi badania nad innowacyjnymi lekami na schorzenia ośrodkowego układu nerwowego, w tym zaburzenia neuropsychiatryczne (Lider: Instytut Farmakologii im. Jerzego Maja Polskiej Akademii Nauk w Krakowie).

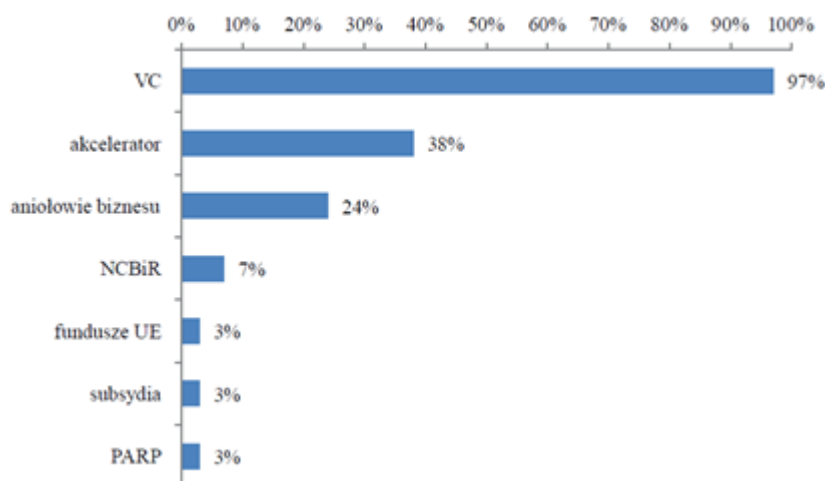
⁹⁸ https://dn.po.edu.pl/images/Polska_Mapa_Infrastruktury_Badawczej/lista_infra_korekta.pdf

- **Centrum Rozwoju Terapii Chorób Cywilizacyjnych i Związanych z Wiekami** – prowadzi badania nad nowymi metodami leczenia schorzeń przewlekłych, takich jak choroby serca, cukrzyca i nowotwory, które często występują u osób starszych (Lider: Uniwersytet Jagielloński w Krakowie).
- **Bio-Imaging Poland (BIPol)** – platforma obrazowania biologicznego i biomedycznego wspierająca badania nad chorobami cywilizacyjnymi, takimi jak cukrzyca, nowotwory i choroby neurodegeneracyjne (Lider: Instytut Biologii Doświadczalnej im. Marcelego Nenckiego w Warszawie).
- **POL-OPENSREEN** – polska platforma skryningowa dla chemii biologicznej, umożliwiająca rozwój nowych terapii dzięki międzynarodowej współpracy (Lider: Instytut Biologii Medycznej Polskiej Akademii Nauk w Łodzi).
- **Europejskie Centrum Bioinformatyki i Genomiki (ECBiG)** – wspiera badania genetyczne i bioinformatyczne, umożliwiając zaawansowaną analizę danych genomowych (Lider: Instytut Chemii Bioorganicznej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu).
- **Infrastruktura Badawcza Molekuł i Komórek (IBMiK)** – zajmuje się badaniami molekularnymi i komórkowymi, z naciskiem na biologię molekularną (Lider: Międzynarodowy Instytut Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie).
- **Polska Sieć Biobanków BBMRI.pl** – uczestniczy w europejskim projekcie biobankowania, wspierającym rozwój medycyny spersonalizowanej (Lider: Gdański Uniwersytet Medyczny)
- **Centrum Wielopoziomowego Obrazowania Struktur Biologicznych** – skupia się na zaawansowanych technikach obrazowania, co wspiera interdyscyplinarne badania biomedyczne (Lider: Uniwersytet Jagielloński w Krakowie).
- **Parki Technologiczne w całym kraju** – celem jest wspieranie rozwoju nauki i przemysłu poprzez prowadzenie badań, konsultacje technologiczne oraz szkolenia dla małych i średnich przedsiębiorstw. Parki oferują również przestrzeń laboratoryjną i biurową dla firm z różnych sektorów, w tym biotechnologii.

5.6. Bariery rozwoju

Zarówno na świecie jak i w Polsce barierą rozwoju branży biotechnologicznej jest konieczność poniesienia wysokich nakładów finansowych na wczesnym etapie rozwoju technologii, co odróżnia ją od sektorów takich jak teleinformatyka. W branży teleinformatycznej relatywnie niewielkie inwestycje mogą szybko przynieść znaczące zyski, a proces wdrażania nowych produktów jest zazwyczaj szybszy i mniej kosztowny. W biotechnologii natomiast koszty badań, rozwoju oraz przeprowadzania wieloetapowych testów i procedur regulacyjnych są bardzo wysokie, a zwrot z inwestycji jest niepewny i często wymaga lat oczekiwania. Stąd mniejsza jest chęć angażowania się we wczesnym etapie rozwoju biotechnologii inwestorów prywatnych.

Dość szczególnym sektorem jest MedTech. Startupy w tym sektorze często napotykają na trudności dostępu do publicznych źródeł finansowania oraz ograniczone możliwości współpracy z sektorem publicznym. Jednakże źródłem kapitału dla tego typu projektów z pogranicza teleinformatyki i biotechnologii są fundusze *Venture Capital* (VC) oraz wsparcie od aniołów biznesu, co spowodowane jest możliwością szybkiej kapitalizacji zysków w stosunkowo krótkim czasie, przy względnie niewielkich nakładach wejściowych w porównaniu do projektów eksperymentalnych. Dodatkowo, ze względu na złożoność procesów biotechnologicznych, istnieje wysokie ryzyko, że produkt nie przejdzie wszystkich faz testów lub nie osiągnie zakładanych efektów, co może skutkować całkowitą utratą zainwestowanych środków przez prywatnych inwestorów.



Tab.6 Źródła finansowania startupów MedTech w Polsce w latach 2011-2021⁹⁹.



Tab. 7 Całkowita wartość finansowania biotechnologii w Polsce i na świecie ze środków prywatnych¹⁰⁰.

Dane przedstawione na wykresie (Tab.6.) potwierdzają, że rozwój polskich startupów w sektorze MedTech opiera się głównie na inwestycjach prywatnych. Aż 97% startupów otrzymuje finansowanie z funduszy VC. Spory udział mają również aniołowie biznesu (24%), podczas gdy NCBR czy PARP to odpowiednio 7% i 3%. Fundusze prywatne to ciągle jednak nie jest duża kwota w skali świata czy w zestawieniu z budżetem NCBR (5.2 mld zł)¹⁰¹.

Biorąc pod uwagę, że biotechnologia jest technologią krytyczną dla państwa, oczekuje się, że tego typu ryzykowne projekty inwestycyjne będą finansowane przez instytucje dystrybuujące środki publiczne lub działające w ramach partnerstw publiczno-prywatnych. W branży biotechnologii eksperymentalnej brak stabilnego wsparcia ze strony funduszy publicznych znacząco utrudnia startupom uzyskanie niezbędnego kapitału na etapie rozwoju.

Dodatkowym wyzwaniem są złożone wymogi regulacyjne, awersja do ryzyka wydatkowania środków (szczególnie unijnych), ograniczona pomoc administracyjna ze strony grantodawców (NCBR, PARP, PFR etc.) i długi czas potrzebny na zatwierdzenie produktów medycznych, co ogranicza tempo wdrażania

⁹⁹ Mańkowska, Natalia. "Charakterystyka; źródła finansowania i wartość start-upów branży MedTech w Polsce." *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu* 66.4 (2022): 100-115.

¹⁰⁰ <https://markethub.pl/rynek-biotechnologiczny-w-polsce>

¹⁰¹ <https://biotechnologia.pl/biotechnologia/aktualnosci/ranking-polskich-uczelni-wyzszych-na-ktorych-mozna-studiowac-biotechnologie,129586>

innowacyjnych technologii w sektorze ochrony zdrowia. Procedury te, choć niezbędne dla bezpieczeństwa, mogą stanowić barierę dla młodych firm, które nie mają doświadczenia ani zasobów, by poruszać się w skomplikowanym środowisku prawnym i spełniać restrykcyjne normy.

Zgodnie z opracowaniem M. Osowskiej¹⁰² przed Polską stoi kilka wyzwań, w tym brak komunikacji i współpracy między sektorami, co skutkuje sceptycyzmem środowiska naukowego i biznesowego. Istotnym problemem jest również niewystarczające przekształcanie odkryć naukowych w praktyczne rozwiązania dla przemysłu, co częściowo wynika z braku infrastruktury wspierającej wdrażanie innowacji. W opracowaniu autorka postuluje kompleksowe podejście do edukacji, obejmujące wszystkie poziomy – od wczesnej edukacji szkolnej po specjalistyczne szkolenia, aby wspierać rozwój biotechnologii w Polsce.

5.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Polska posiada solidny potencjał ludzki w zakresie biotechnologii, kształcąc specjalistów w tej dziedzinie na ponad 30 uczelniach wyższych¹⁰³. Absolwenci tych uczelni, dzięki wszechstronnemu wykształceniu w naukach przyrodniczych, stanowią kluczowy zasób dla rozwijającego się sektora biotechnologicznego. W 2023 roku pracą badawczą i rozwojową w dziedzinie biotechnologii w przedsiębiorstwach zajmowały się 4 482 osoby przy łącznej liczbie osób zaangażowanych w ten sektor 8 419¹⁰⁴.

W roku 2023, na działalność biotechnologiczną przedsiębiorstwa przeznaczyły ponad 2 mld zł i jest to wzrost w skali roku o ponad 20%¹⁰⁵. Nakłady poniesione przez sektor prywatny i publiczny na działalność B+R w dziedzinie biotechnologii wyniosły 1.7 mld zł i wzrosły również o ponad 20% w skali roku.

¹⁰² Osowska, Małgorzata. "Polska na drodze do utworzenia pierwszego biocentrum edukacji." *Edukacja Biologiczna i Środowiskowa* 1 (2022).

¹⁰³ <https://biotechnologia.pl/biotechnologia/aktualnosci/ranking-polskich-uczelni-wyzszych-na-ktorych-mozna-studiowac-biotechnologie,129586>

¹⁰⁴ <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2023-roku,10,12.html?contrast=default>

¹⁰⁵ <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2023-roku,10,12.html?contrast=default>

Sektory wykonawcze	2021	2022	2023
	w tys. zł		
Ogółem	1 184 735,1	1 432 365,7	1 719 941,3
Sektor przedsiębiorstw	536 196,0	700 258,2	924 358,1
w tym przedsiębiorstwa	459 609,0	604 399,1	852 405,1
Sektor rządowy i sektor prywatnych instytucji niekomercyjnych	23 055,5	31 492,1	44 447,8
Sektor szkolnictwa wyższego	625 483,6	700 615,4	751 135,4

Tab. 8 Nakłady wewnętrzne na działalność B+R w dziedzinie biotechnologii według sektorów wykonawczych¹⁰⁶.

Polska infrastruktura badawcza biotechnologii i biomedycyny zlokalizowana jest głównie przy ośrodkach akademickich, instytutach naukowych i przy szpitalach. Instytucje takie jak Agencja Badań Medycznych (ABM) i Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) odgrywają kluczową rolę w finansowaniu biotechnologii, przekazując znaczące środki na rozwój innowacyjnych projektów oraz badań klinicznych.



Tab. 9 Mapa centrum wsparcia badań klinicznych w Polsce¹⁰⁷.

¹⁰⁶ <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/nauka-i-technika-spoleczenstwo-informacyjne/nauka-i-technika/biotechnologia-i-nanotechnologia-w-polsce-w-2023-roku,10,12.html?contrast=default>

¹⁰⁷ <https://abm.gov.pl/pl/polska-siec-badan-klinicznych/centra-wsparcia-badan-kliniczn/opis-projektu/937,Opis-projektu.html>

Finansowanie sektora biotechnologicznego w Polsce staje się coraz bardziej intensywne, szczególnie dzięki wsparciu publicznemu i programom europejskim, które pozwalają na rozwój infrastruktury i technologii badawczych. Jednak dostęp do zaawansowanych laboratoriów i urządzeń bywa ograniczony dla mniejszych firm i start-upów ze względu na bariery finansowe oraz blokady biurokratyczne na uczelniach, co powoduje, że młode firmy często współpracują bezpośrednio z indywidualnymi naukowcami, pomijając formalne procedury instytucji badawczych.

5.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze biotechnologii wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Adamed Pharma S.A.	https://adamed.com.pl	Firma	Leki onkologiczne i terapie	Terapie przeciwnowotworowe
Bioresearch Pharma S.A.	https://bioresearchpharma.com/pl/	Firma	Repozycjonowanie leków	Terapie oparte na repozycjonowaniu istniejących leków
Bioton S.A.	https://bioton.com/	Firma	Leki dla cukrzyków	Producent insuliny
Captor Therapeutics S.A.	https://captortherapeutics.pl/	Firma	Terapie	Białka celowane
Cellis Sp. z o.o.	https://cellis.eu/	Firma	Leki onkologiczne i terapie	Terapie onkologiczne - Macrophage Drug Conjugate (MDC)
Celon Pharma S.A.	https://celonpharma.com/	Firma	Terapie	Leki przeciwnowotworowe i neurologiczne
ExplorNA Therapeutics Sp. z o.o.	https://explorna.com/	Firma	Terapie genowe	Terapie genowe oparte o technologie mRNA
Human Biome Institute S.A.	https://human-biome.com/	Firma	Bioterapeutyki	Tworzenie bioterapeutyków mikroflory
IBSS BIOMED S.A.	https://biomed.pl/	Firma	Surowice i szczepionki	Producent leków, szczepionek i wyrobów medycznych
INTERMAG Sp. z o.o.	https://intermag.pl	Firma	Biostymulatory Produkty mikro-biologiczne	Produkty do upraw i hodowli rolniczej
intoDNA S.A.	https://intodna.com/	Firma	Detekcja genowa	Detekcja uszkodzeń DNA

JJP Biologics Sp. z o. o.	https://jjpbiologics.com/pl/	Firma	Leki	Leki chorób autoimmunologicznych i onkologicznych.
Klaster LifeScience Kraków	https://lifescience.pl/	Zespół	Szereg inicjatyw naukowych	Nowe technologie w obszarze ochrony zdrowia
Mabion S.A.	https://www.mabion.eu/pl/	Firma	Leki onkologiczne	Biologiczne substancje lecznicze
Medicofarma Biotech S.A.	https://medicofarmabiotech.pl/	Firma	Terapie nowotworowe	Terapie przeciwnowotworowe po COVID-19
Molecule.one Sp. z o.o.	https://molecule.one	Firma	M1 RetroScore	Wsparcie procesu tworzenia cząsteczek
Molecure S.A.	https://molecure.com/pl/	Firma	Terapie onkologiczne	Terapie celowane dla różnych schorzeń
NanoGroup S.A.	https://nanogroup.eu/	Firma	Terapie spersonalizowane	Terapie celowane i substytut krwi
Pikralida Sp. z o.o.	https://pikralida.eu/	Firma	Terapie neuroprotektoryjne	Terapie neuroprotektoryjne chorób cywilizacyjnych
Polbionica Sp. z o.o.	https://polbionica.com/	Firma	Biodruk Biopreparaty	Biodruk tkanek i organów
Polpharma Biologics S.A.	https://polpharmabiologics.com/pl/	Firma	Leki i terapie	Produkcja biofarmaceutyków i terapie monoklonalne
PolTreg S.A.	https://poltreg.com/pl/	Firma	Terapie	Terapie komórkowe cukrzycy typu I i stwardnienia rozsianego
Proteon Pharmaceuticals S.A.	https://www.proteonpharma.com/	Firma	Biopreparaty rolnicze	Biopreparaty biologiczne dla rolnictwa
Pure Biologics S.A.	https://purebiologics.com/pl/	Firma	Terapie onkologiczne	Terapie onkologicznym i nefrologiczne
Ryvu Therapeutics S.A.	https://ryvu.com/pl/	Firma	Leki nowotworowe	Leki przeciwnowotworowe - hematologiczne
Selvita S.A.	https://selvita.com	Firma	B&R leków	Usługi w obszarze odkrywania i rozwoju leków.
WPD Pharmaceuticals Sp. z o. o.	https://www.wpdpharmaceuticals.pl/	Firma	Terapie onkologiczne	specjalizuje się w badaniach nad terapiami na glejaki

				i nowotwory mózgu.
Neuce S.A. (poprzez Humaneva Inc i Kapadi)	https://www.neuca.pl/	Firma	Terapie	Specjalizuje się w immuno-onkologii i terapiach komórkowych/genowych
Synektik S.A.	https://synektik.com.pl/	Firma	radiofarmaceutyki	Leki do diagnostyki onkologicznej, kardiologicznej i neurologicznej.
Synthaverse S.A.	https://synthaverse.com/pl/	Firma	Leki i szczepionki	immunoterapie onkologiczne, szczepionki przeciwwirusowe, probiotyki
Scope Fluidics S. A.	https://scopefluidics.com/	Firma	Diagnostyka molekularna	System do ultraszybkiej diagnostyki genowej wirusów i bakterii
Bioceltix S.A.	https://bioceltix.com/	Firma	Leki dla zwierząt	leki biologiczne, komórki macierzyste
TZF Polfa S.A.	https://www.polfa-tarchomin.com.pl/	Firma	Leki	produkcja antybiotyków, leków dermatologicznych, preparatów oddziałujących na ośrodkowy układ nerwowy (CNS), insuliny ludzkiej oraz suplementów diety

6. ZAAWANSOWANA ŁĄCZNOŚĆ I NAWIGACJA ORAZ ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE CYFROWE

Technologie zaawansowanej łączności i nawigacji oraz zaawansowane technologie cyfrowe zostały zaliczone do osobnej, ale wspólnej grupy technologii na liście technologii krytycznych. Ich wspólną funkcję należy upatrywać w bezpiecznej komunikacji i zapewnieniu odporności na zagrożenia¹⁰⁸.

¹⁰⁸ Zalecenie Komisji (UE) 2023/2113 z dnia 3 października 2023 r. w sprawie obszarów technologii krytycznych dla bezpieczeństwa gospodarczego UE, na potrzeby pogłębionej oceny ryzyka z udziałem państw członkowskich

W praktyce można odnotować kilka z najbardziej zaawansowanych typów tych technologii, które mogą i winny wspierać krytyczną infrastrukturę komunikacyjną oraz systemy zarządzania protokołami zaufania:

- **Bezpieczna komunikacja cyfrowa i łączność cyfrowa, jak np. RAN i Open RAN (sieć dostępu radiowego) oraz 6G** – to zbiór technologii i systemów komunikacji elektronicznej umożliwiających bezpieczne przesyłanie danych i komunikację między systemami i urządzeniami w sieciach cyfrowych. RAN (Radio Access Network) to część sieci telekomunikacyjnej, która łączy urządzenia użytkowników (np. telefony komórkowe) z rdzeniem sieci. Składa się z anten, stacji bazowych i innych urządzeń, które umożliwiają bezprzewodową komunikację. Open RAN to podejście do budowy sieci RAN, które promuje interoperacyjność i standaryzację komponentów od różnych dostawców. Dzięki temu operatorzy sieci mogą łączyć sprzęt i oprogramowanie od różnych producentów, co zwiększa elastyczność i obniża koszty. 6G to przyszła generacja technologii komunikacji mobilnej, która ma zastąpić 5G (sieć szybkich prędkości). Oczekuje się, że 6G będzie oferować jeszcze wyższe prędkości transmisji danych, niższe opóźnienia i większą niezawodność. I co ważne dla zespalańa różnych technologii krytycznych czy przełomowych w jeden system, będzie również wspierać zaawansowane aplikacje, takie jak rzeczywistość rozszerzona (AR), rzeczywistość wirtualna (VR) i Internet rzeczy (IoT). Niezwykle istotną funkcją bezpiecznej komunikacji cyfrowej i łączności cyfrowej jest zapewnienie prywatności i ochrony danych w coraz bardziej połączonym świecie współzależnych i współpołączonych technologii cyfrowych.
- **Technologie bezpieczeństwa cybernetycznego, w tym systemy cyberinwigilacji, bezpieczeństwa oraz wykrywania włamań i zapobiegania włamaniom, kryminalistyka cyfrowa** - to zestaw narzędzi i technik stosowanych do ochrony systemów komputerowych, sieci i danych przed cyberatakami. Zaliczyć do nich można: systemy cyberinwigilacji¹⁰⁹, systemy bezpieczeństwa¹¹⁰, systemy wykrywania włamań i zapobiegania włamaniom (IDS/IPS)¹¹¹, kryminalistykę cyfrową¹¹², w tym analizę behawioralną, analizę wzorców ataków, wykrywanie anomalii, uczenie maszynowe wzorów ruchu w sieci. Technologie te są niezbędne do ochrony przed coraz bardziej zaawansowanymi zagrożeniami cybernetycznymi i zapewnienia bezpieczeństwa w cyfrowym świecie.
- **Internet rzeczy i rzeczywistość wirtualna** – tzw. *Internet of Things*, to sieć połączonych urządzeń, które komunikują się ze sobą i wymieniają dane przez internet. Można wskazać na niektóre z przypadków zastosowań IoT, jak: inteligentne domy, inteligentne maszyny (przemysł 4.0), zdrowie (telemedycyna), transport (inteligentne miasta), logistyka, inteligentne systemy komunikacyjne

¹⁰⁹ Narzędzia i technologie używane do monitorowania aktywności w sieci w celu wykrywania i zapobiegania zagrożeniom. Mogą obejmować analizę ruchu sieciowego, monitorowanie logów i wykrywanie anomalii.

¹¹⁰ Obejmują różne rozwiązania, takie jak zapory sieciowe (firewalle), systemy antywirusowe, oprogramowanie do zarządzania tożsamością i dostępem (IAM), oraz systemy szyfrowania danych. Ich celem jest ochrona przed nieautoryzowanym dostępem i zapewnienie integralności danych

¹¹¹ IDS (Intrusion Detection Systems) to systemy, które monitorują sieć lub systemy komputerowe w poszukiwaniu podejrzanych działań lub naruszeń polityki bezpieczeństwa. IPS (Intrusion Prevention Systems) nie tylko wykrywają, ale również podejmują działania w celu zapobieżenia wykrytym zagrożeniom.

¹¹² Dziedzina zajmująca się identyfikacją, zbieraniem, analizą i prezentacją dowodów cyfrowych. Kryminalistyka cyfrowa jest kluczowa w dochodzeniach dotyczących cyberprzestępczości, takich jak włamania, oszustwa internetowe czy kradzież tożsamości.

zespolonych technologii cywilnych, wojskowych i kosmicznych, lub cyfrowe bliźniaki. Zaś *Virtual Reality* (VR) to technologia, która pozwala użytkownikom zanurzyć się w cyfrowym środowisku za pomocą specjalnych gogli VR i kontrolerów, co pozwala im eksplorować wirtualne światy, grać w gry, uczestniczyć w wirtualnych spotkaniach czy szkoleniach. VR jest wykorzystywana w edukacji, medycynie (np. symulacje chirurgiczne), rozrywce (gry VR) i wielu innych dziedzinach (*mixed reality*, *assisted reality*, *augmented reality*). Tworzą one zbiór tzw. technologii immersyjnych (*metaverse*), i ich zastosowania aplikacyjne zależą od branży.

- **Technologie rozproszonego rejestru i tożsamości cyfrowej** – składają się na nie takie technologie jak Distributed Ledger Technology (DTL, *blockchain*), które umożliwiają przechowywanie danych w sposób zdecentralizowany, w praktyce dane są replikowane i synchronizowane na wielu komputerach (węzłach) jednocześnie, co zwiększa ich bezpieczeństwo i odporność na manipulacje, a na ich bazie aplikuje się technologie tożsamości cyfrowej¹¹³, co pozwala na przechowywanie i zarządzanie danymi tożsamości w sposób zdecentralizowany. W ten sposób użytkownicy mogą kontrolować kto ma dostęp do ich danych i w jaki sposób są wykorzystywane. Przykładem zastosowań jest tożsamość zdecentralizowana (DiD).
- **Technologie naprowadzania, nawigacji i kontroli, w tym elektronika lotnicza i pozycjonowanie na morzu** - obejmują różnorodne systemy i urządzenia, które zapewniają bezpieczne i precyzyjne poruszanie się pojazdów, zarówno w powietrzu, jak i na morzu. Można do nich zaliczyć: radiokomunikację i radionawigację (pozwalające na utrzymanie łączności między pilotami a kontrolerami ruchu lotniczego oraz precyzyjne nawigowanie statkami powietrznymi), systemy automatycznego sterowania (zapewniające utrzymanie stabilności i kontroli nad statkiem powietrznym, tak przy starcie, locie, jak i lądowaniu), systemy pilotażowo-nawigacyjne (dostarczające informacji o położeniu, prędkości i kierunku lotu), a na morzu szczególnie ważne są Systemy GPS (umożliwiające precyzyjne określenie pozycji), systemy radarowe (wykrywające przeszkody lub inne jednostki pływające), systemy automatycznego identyfikowania AIS (zapewniają wymianę informacji o położeniu i kursie statków).

6.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

Polska ma znaczący potencjał w dziedzinie technologii zaawansowanej łączności i nawigacji oraz zaawansowanych technologii cyfrowych. Świadczą o tym doświadczone zespoły inżynierskie, ośrodki badawcze oraz wdrożenia, tak w polskim przemyśle, jak i w wykorzystaniu aplikacji przez zagranicznych odbiorców w ich produktach systemowych. Wspomniane technologie, choć zostały zaliczone do wspólnej kategorii technologii krytycznych różnią się jednak nasyceniem w ich implementacji oraz stanem rozwoju i doskonałości także wśród polskich przedsiębiorstw.

¹¹³ Dla porównania flagowa polska aplikacja mObywatel nie jest oparta na rozwiązaniach blockchain. Alternatywnie korzysta ona z zaawansowanych mechanizmów zabezpieczających wykorzystujących szyfrowanie danych, certyfikację bezpieczeństwa, biometrię oraz dwuetapową weryfikację tożsamości. Dane użytkowników są przechowywane w specjalnym, zewnętrznym kontenerze, aby dodatkowo zwiększyć ich bezpieczeństwo. Por: [mObywatel - mObywatel - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](https://mObywatel.gov.pl)

Głównym ośrodkiem badań i analiz rozwoju i zastosowań tych technologii w Polsce jest Instytut Łączności, działający pod nadzorem właścielskim Ministerstwa Cyfryzacji. Instytut Łączności jest aktywny w obszarze radiokomunikacji, sieci komórkowych (4G, 5G, 6G) telekomunikacji optycznej, fotonice czy cyberbezpieczeństwie. Rozwój tych technologii jest również kluczowy dla projektowania i implementacji rozwiązań opartych na systemach sztucznej inteligencji, w zarządzaniu danymi i w komunikacji maszyn¹¹⁴. W dziedzinie telekomunikacji kwantowej przodującym projektem jest sieć PIONIER-Q¹¹⁵, łącząca sieć szybkich komputerów wielkiej mocy z różnych miast Polski dzięki Poznańskiemu Centrum Superkomputerowo Sieciowego, Akademii Górniczo Hutniczej w Katowicach i CYFRONET¹¹⁶ czy Politechniki Gdańskiej z projektem bezzałogowej łodzi Hornet¹¹⁷. W zakresie technologii OPEN-RAN zauważyć warto aktywność formy IS-Wireless dostarczającej otwarte oprogramowanie zespółone z usługami zarządzania sieciami telekomunikacyjnymi.¹¹⁸ Rokujący jest także projekt e-CzasPL opracowywany przez Główny Urząd Miar, a mający na celu dostarczenie niezawodnej i wiarygodnej dystrybucji czasu urzędowego na terenie Polski.¹¹⁹

W zakresie technologii bezpieczeństwa cybernetycznego Polska ma wyjątkowe osiągnięcia, w projektowaniu, zestawianiu i ochronie systemów teleinformatycznych, jak i kompetencji ludzi. Wystarczy wspomnieć o specjalizacji PIB NASK i ulokowaniu w tym ośrodku CERT Polska¹²⁰. Nadto, w ostatnich latach dynamicznie rozwijają się wyspecjalizowane służby cyberbezpieczeństwa uformowane w Wojskach Ochrony Cyberprzestrzeni Wojska Polskiego. Zespoły tej jednostki osiągają najwyższe lokaty w konkurencjach światowych¹²¹. Metodyki kryminalistyki cybernetycznej są wprowadzane w służbach bezpieczeństwa państwa oraz w wymiarze sprawiedliwości¹²². Służą one także do analityki oszustw inwestycyjnych, w czym także zastosowanie znajduje sztuczna inteligencja¹²³.

Również niezwykle dynamicznie rozwija się w przemyśle polskim domena zastosowań internetu rzeczy i technik zespółonych, jak wirtualna rzeczywistość, sztuczna inteligencja, pozwalając na kolejną fazę transformacji przemysłu (dotychczas opartą na koncepcji przemysłu 4.0), skupioną na cyber-fizycznej architekturze systemu produkcyjnego w wymiarze koncepcji przemysłu 5.0¹²⁴. Dotychczasowy wymiar transformacji cyfrowej przedsiębiorstw ograniczony do oczyunikowania maszyn i organizacji, informatyzacji procesów produkcyjnych oraz standaryzacji modeli budowania łańcuchów wartości w

¹¹⁴ [Perspektywy na lata 2022–2025 - Instytut Łączności - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](#)

¹¹⁵ PCS [Poznańscy naukowcy stworzyli pierwszą sieć kwantową w Polsce - Radio Poznań \(radiopoznan.fm\)](#)

¹¹⁶ [Misja i zadania Centrum - ACK Cyfronet AGH](#)

¹¹⁷ [„Hornet” ma chronić polski Bałtyk. Autonomiczna i bezzałogowa łódź Politechniki Gdańskiej | Politechnika Gdańska \(pg.edu.pl\)](#)

¹¹⁸ [Software - IS-Wireless](#)

¹¹⁹ [e-CzasPL - Główny Urząd Miar](#)

¹²⁰ [CERT Polska](#)

¹²¹ [Cyber.mil.pl - Co robimy](#)

¹²² [Polska wśród europejskich liderów cyfryzacji sądownictwa - Ministerstwo Sprawiedliwości - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](#)

¹²³ Zob: Agnieszka Gryszczńska, Wykorzystanie sztucznej inteligencji w oszustwach inwestycyjnych, w: Cyberbezpieczeństwo vs. Sztuczna inteligencja, tom Prawo – Informatyka - Zarządzanie.s.135-155.

¹²⁴ Zob. https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/index.html Society 5.0: „a society that **is sustainable and resilient** against threats and unpredictable and uncertain situations, that ensures the safety and security of the people, and that individual to realize diverse well-being”.

konsorcjach, głównie nastawiony na pełną automatyzację, optymalizację, *maintenance*, i kontrolę jakości uzupełnia się kolejną warstwą referencyjnej architektury uwzględniającej rolę człowieka (pracownika, wytwórcę) oraz jego godności i kompetencji na stanowisku pracy (ang. *human-centred approach*), zrównoważonego rozwoju przedsiębiorstwa i środowiska, w którym ono operuje (*sustainability*), i co najważniejsze, odporności (*resilience*) przedsiębiorstwa na zmiany rynkowe, kryzysy, ataki i zdolność odtwarzania swojej działalności¹²⁵. Istotne w tym podejściu jest zapewnienie wiarygodności interakcji człowiek-maszyna-system produkcyjny, sposób wyjaśniania procesów, a także wzajemność protokołów interoperacyjności semantycznej, technicznej i procesowej. Technologie te są krytyczne z tego powodu, że stanowią podstawę dla budowania IIRA – *Industrial Internet Reference Architecture* wspierającej autonomię operacyjną przedsiębiorstw, ich produktywność i niezachwiany wpływ na rozwój gospodarki oraz zasób kompetentnych ludzi¹²⁶. Technologie te są zespalone w systemy multi-agentowe. Zdolności państwa w tym wymiarze orkiestruje i ogniskuje Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości zapewniając non-profit usługi i narzędzia wspierające profesjonalizację transformacji przemysłowej i kompetencji zasobów specjalistów, dzięki sieciowaniu transferu wiedzy, wsparciu akceleracji, klastrowania kooperantów, budowy fabryk przyszłości oraz sieci cyfrowych hubów innowacji, a także dzięki skalowaniu współpracy nauki z przemysłem.

Trzeba odmiennie spojrzeć na technologie rozproszonego rejestru i tożsamości cyfrowej, w domenie których stale trwają poszukiwania najbardziej celowych i praktycznych zastosowań. Jednakże polskie know-how dotychczas dorobiło się rozwiązania dla zastosowań *blockchain* dla listów przewozowych, weksli czy aktów notarialnych, a także pieczęci elektronicznej, zarządzania kontraktami, zarządzania energią lub łańcuchami produkcyjnymi i dostaw, co jest rezultatem prac grupy roboczej ds. rejestrów rozproszonych przy Ministerstwie Cyfryzacji¹²⁷, a także ekspertów skupionych przy Polskiej Izbie Informatyki i Telekomunikacji¹²⁸ wskazujących nadto na potencjał zastosowań systemów rozproszonych w przemyśle, mediach, opiece medycznej czy transakcji międzybankowych. Zastosowanie tej technologii niesie olbrzymi potencjał dla modelu systemowego zarządzania danymi przemysłowymi, szczególnie w tzw. zaufanych przestrzeniach danych dla rozproszonych, a sfederalizowanych repozytoriów operowanych przez różnych przedsiębiorców¹²⁹. W tym miejscu należy podkreślić, że PKB w Polsce zależy w 46% od przepływu transgranicznego danych elektronicznych, co oznacza, że jest to ogromna szansa dla budowania „gospodarki algorytmicznej” w oparciu o, i dla analizy tego przepływu. Jednakże zaniechanie w rozwoju maszynowego przetwarzania danych stanowić może krytyczne zagrożenie popadnięcia w cyfrowe łańcuchy wartości definiowane poza Polską¹³⁰.

W zakresie technologii nawigacyjnych Polska od lat uczestniczy w łańcuchach wartości zagranicznych producentów i dostawców, szczególnie dzięki ośrodkom innowacji przy Wojskowych Zakładach Łączności

¹²⁵ Zob: Artificial Intelligence in Manufacturing. Enabling Intelligent, Flexible and Cost-Effective Productivity Through AI. John Saldados, Springer, 2024

¹²⁶ Zob.: Platforma Przemysłu Przyszłości, Raport Globalne Zarządzanie Talentami. Globalne wzory lokalna adaptacja. 2024.

¹²⁷ <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/blockchain>

¹²⁸ <https://piit.org.pl/aktualnosci/raport-piit-blockchain-w-polsce-wersja-2-0>

¹²⁹ <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja/gospodarka-oparta-o-dane-przemysl->

¹³⁰ <https://mc.bip.gov.pl/rok-2017/analiza-diagnostyczna-intensywnosc-wykorzystania-danych-w-gospodarce-a-jej-rozwoj.html>

Nr 2 w Zegrzu¹³¹, Zakładach RADMOR w Gdyni¹³², Instytucie Lotnictwa¹³³ oraz Instytucie Nawigacji Akademii Morskiej w Szczecinie,¹³⁴ czy Instytucie Oceanologii PAN w Gdyni¹³⁵. Ośrodki te kumulują najwyższego poziomu wykwalifikowanych inżynierów i kierowników projektów.

6.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Otoczenie prawne i instytucjonalne dla technologii zaawansowanej łączności i nawigacji oraz zaawansowanych technologii cyfrowych jest dojrzałe, choć zróżnicowane dla poszczególnych technologii krytycznych objętych tym działem. Otoczenie to ukształtowane jest zarówno przez krajowy jak i międzynarodowy porządek prawny i instytucjonalny, co pokazuje jak ważną płaszczyzną wspólną dla tego typu technologii jest współkomunikacyjność urządzeń i systemów, standaryzacja procesów i kompetencje zespołów ludzkich w celu zapewnienia interoperacyjnej i godnej zaufania usługi.

Otoczenie prawne definiują:

- **Ustawa – Prawo telekomunikacyjne** - regulująca całość zagadnień związanych z zarządzaniem widmem, regulacją usług telekomunikacyjnych i łączności elektronicznej, a także dopuszczeniem urządzeń radiowych
- **Ustawa o krajowym systemie cyberbezpieczeństwa** oraz znajdująca się nadal w procesie legislacyjnym jej nowelizacja - regulują zapewnienie wysokiego poziomu bezpieczeństwa sieci i systemów informatycznych w Polsce
- **Ustawa - Prawo lotnicze** - reguluje wiele aspektów związanych z lotnictwem cywilnym, w tym również usługi nawigacyjne
- **Kodeks morski** – obejmuje swoim zakresem także zaawansowane technologie łączności i systemy nawigacji, a także zaawansowane technologie cyfrowe, takie jak systemy radarowe, GPS czy AIS
- **Rozporządzenie UE o swobodnym przepływie danych nieosobowych** – podkreśla swobodę transferu danych elektronicznych na wewnętrznym rynku UE wolną od nakazów lokalizacji ich przetwarzania
- **Dyrektywa UE odpowiedzialności za produkt niebezpieczny** – dyrektywa, która po swojej nowelizacji może dotyczyć także zastosowań zaawansowanych technologii cyfrowych.
- **Konwencja ITU** – obejmuje swym zakresem standardy dla usług opartych na zaawansowanych technologiach telekomunikacyjnych i nawigacyjnych
- **Standardy ISO/IEEE** - np. Norma ISO 19133 dotycząca specyfikacji usług nawigacyjnych, zapewniając standardy dla systemów nawigacji i lokalizacji
- Umowa o wolnym handlu z Japonią w zakresie przepływu danych w zaufanym środowisku

¹³¹ [Produkty | WOJSKOWE ZAKŁADY ŁĄCZNOŚCI Nr 2 S.A.](#)

¹³² [RADMOR. To 75 lat tradycji rozwoju i nowoczesności | TACGEAR](#)

¹³³ [Radiokomunikacja i radionawigacja w operacjach lotniczych: Fundamenty bezpiecznego i efektywnego latania - Heli-Factor](#)

¹³⁴ [Inżynieria Ruchu Morskiego - Inżynieria Ruchu Morskiego](#)

¹³⁵ [Instytut Oceanologii PAN](#)

- **UNICITRAL** – Międzynarodowa Unia Prawa Prywatnego Międzynarodowego i jej prace nad modelowym wzorcem umownym dla kontraktowania danych oraz transgranicznym systemem identyfikacji¹³⁶
- **Data Governance Act**¹³⁷ - rozporządzenie UE w zakresie mające na celu zwiększenie ponownego wykorzystania danych, nie tylko publicznych, wprowadzenie instytucji pośredników danych i udostępniania danych
- **Data Act** - rozporządzenie UE w zakresie zapewnienia sprawiedliwego dostępu do danych generowanych przez urządzenia IoT, regulację wymiany danych, oraz ochrony przed nieuczciwymi praktykami posiadania danych (wzorce umowne i standardy)¹³⁸
- **Digital Service Act (DSA)** - rozporządzenie UE, które ma na celu stworzenie bezpiecznego i odpowiedzialnego środowiska online. DSA reguluje działalność pośredników internetowych i platform, takich jak rynki internetowe, sieci społecznościowe, platformy do udostępniania treści, sklepy z aplikacjami oraz platformy rezerwacji podróży i zakwaterowania¹³⁹
- **Digital Market Act (DMA)** - rozporządzenie UE, mające na celu zapewnienie uczciwych i otwartych rynków cyfrowych. DMA identyfikuje i reguluje tzw. „strażników” (ang. *gatekeepers*), czyli duże platformy cyfrowe, które mają znaczący wpływ na rynek¹⁴⁰
- **Konwencja o morzu** - Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza (UNCLOS), znana również jako Konwencja jamajska, to międzynarodowa umowa podpisana 10 grudnia 1982 roku w Montego Bay na Jamajce. Jest to podstawowy dokument prawny regulujący kwestie związane z prawem morza. Główne cele konwencji to: **określenie reżimów prawnych** dla różnych części oceanów, takich jak morze terytorialne, strefa przyległa, wyłączna strefa ekonomiczna, szelf kontynentalny i morze pełne; **ustanowienie praw i obowiązków** państw nadbrzeżnych oraz innych państw w odniesieniu do korzystania z oceanów i ich zasobów; **ochrona środowiska morskiego oraz zarządzanie zasobami morskimi**, w tym rybołówstwem i zasobami mineralnymi dna morskiego; **rozwiązywanie sporów** dotyczących działalności na morzu poprzez mechanizmy takie jak Międzynarodowy Trybunał Prawa Morza¹⁴¹
- **Global Digital Compact (GDC)** - to inicjatywa Organizacji Narodów Zjednoczonych mająca na celu stworzenie globalnych ram zarządzania technologiami cyfrowymi i sztuczną inteligencją. Została przyjęta przez światowych liderów podczas Szczytu Przyszłości we wrześniu 2024 roku.¹⁴² Główne cele GDC to: **łączenie ludzi** - zapewnienie dostępu do internetu dla wszystkich, w tym szkół i szpitali; **ochrona danych** - zapewnienie prywatności i ochrony danych osobowych; **prawa człowieka online** - stosowanie zasad praw człowieka w sferze cyfrowej, w tym wolności wypowiedzi i ochrony przed dyskryminacją; **regulacja sztucznej inteligencji** - promowanie etycznego rozwoju i użycia sztucznej inteligencji zgodnie z globalnymi wartościami; **zwalczanie podziałów cyfrowych** - przeciwdziałanie fragmentacji internetu i utrzymanie jednolitej globalnej

¹³⁶ [UNCITRAL Model Law on the Use and Cross-border Recognition of Identity Management and Trust Services \(2022\) | United Nations Commission On International Trade Law](#)

¹³⁷ [Akt w sprawie zarządzania danymi – wyjaśnienie | Kształtowanie cyfrowej przyszłości Europy](#)

¹³⁸ [Wdrożenie Data Act - Ministerstwo Cyfryzacji - Portal Gov.pl](#)

¹³⁹ [Regulation - 2022/2065 - EN - DSA - EUR-Lex](#)

¹⁴⁰ [Regulation - 2022/1925 - EN - EUR-Lex](#)

¹⁴¹ [Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza | EUR-Lex](#)

¹⁴² [Global Digital Compact | Office of the Secretary-General's Envoy on Technology](#)

przestrzeni cyfrowe. GDC jest częścią szerszego Paktu na rzecz Przyszłości, który ma na celu transformację globalnego zarządzania technologiami cyfrowymi dla dobra wszystkich¹⁴³

- **AI Governance for Humanity** - to inicjatywa Organizacji Narodów Zjednoczonych, mająca na celu stworzenie globalnych ram zarządzania sztuczną inteligencją (AI) w sposób, który przynosi korzyści całej ludzkości. Inicjatywa ta została zaproponowana przez Wysokopoziomowy Organ Doradczy ds. Sztucznej Inteligencji, utworzony w październiku 2023 roku. Inicjatywa ta podkreśla potrzebę inkluzywnego i rozproszonego podejścia do zarządzania AI, które uwzględnia różnorodne perspektywy i potrzeby globalnej społeczności¹⁴⁴
- **Blockchain OECD initiative** - znana jako Blockchain Governance Initiative" (BGI), ma na celu stworzenie otwartej i neutralnej przestrzeni dla wszystkich zainteresowanych stron, aby pogłębić wspólne zrozumienie technologii *blockchain* i współpracować nad rozwiązaniem problemów związanych z jej zrównoważonym rozwojem¹⁴⁵
- **OECD Technology Forum** (immersive technology) - inicjatywa Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD), która ma na celu stworzenie platformy do regularnych, dogłębnych dialogów na temat długoterminowych możliwości i różnorodnego ryzyka związanego z technologią¹⁴⁶
- **WTO – Światowa Organizacja Handlu** – brak agendy cyfrowej, utrzymywane status quo otwartego rynku cyfrowego i zero cła na produkty cyfrowe. WTO jest na początku drogi kształtowania dialogu w sprawie sztucznej inteligencji, dzielenia kodów algorytmów i wpływu technologii immersyjnych w domenę handlu międzynarodowego¹⁴⁷

W przedstawionym pejzażu otoczenia prawnego, następujące instytucje publiczne pełnią aktywną rolę w kształtowaniu warunków dla działalności w sektorze zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych i nawigacyjnych oraz zaawansowanych technologii cyfrowych:

- Ministerstwo Cyfryzacji – Departament Telekomunikacji, Grupa Robocza ds. rejestrów rozproszonych, Grupa Robocza ds. IoT, Grupa Robocza ds. Cyberbezpieczeństwa
- Ministerstwo Infrastruktury
- Ministerstwo Gospodarki Morskiej
- Ministerstwo Zdrowia
- Ministerstwo Rozwoju i Technologii
- Ministerstwo Funduszy
- Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości
- PFR - Polski Fundusz Rozwoju
- NCBiR – Narodowe Centrum Badań i Rozwoju
- PARP - Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości
- Sztab Generalny Wojska Polskiego
- Marynarka Wojenna

¹⁴³ [United Nations Adopts Ground-Breaking Pact for the Future to Transform Global Governance | Meetings Coverage and Press Releases](#)

¹⁴⁴ [Governing AI for humanity :](#)

¹⁴⁵ [A look at AI and Blockchain governance and an interview with CZ - OECD.AI](#)

¹⁴⁶ [Global Forum on Technology | OECD](#)

¹⁴⁷ [WTO | How AI shapes and is shaped by international trade](#)

- Wojska Obrony Cyberprzestrzeni
- Port Gdańsk, Gdynia, Elbląg, Kołobrzeg, Szczecin i Świnoujście
- Ministerstwo Energii
- Główny Urząd Miar
- Polski Komitet Normalizacyjny – w obszarze standardów technicznych dla urządzeń i usług działających w dziedzinie telekomunikacji, nawigacji, robotyki, automatyzacji czy AI)
- OECD – Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju – z jej dywizją odpowiedzialną za gospodarkę cyfrową (w tym łączność¹⁴⁸) i społeczeństwo informacyjne (w tym blockchain¹⁴⁹)
- UN Secretary General's Tech Envoy – Wysłannik Sekretarza Generalnego ONZ ds. Technologii – odpowiedzialny za program Global Digital Compact oraz AI and Data Governance¹⁵⁰
- NATO¹⁵¹ - w zakresie technologii nawigacyjnych, radarowych, łączności, w tym satelitarnej
- Polski Instytut Geologiczny PIB – w zakresie zarządzania granicami szelfów kontynentalnych¹⁵²
- Międzynarodowa Organizacja Morska – w zakresie określania wymagań dla urządzeń łączności i nawigacji, a także stosowanych zaawansowanych technologii cyfrowych, jak automatyzacja, materiały 3D, technologie immersyjne. Przykładem może być standard określany dla nawigacji i komunikacji w Międzynarodowej konwencji o ryzyku życia na morzu (SOLAS)

6.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Dla omawianej grupy zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych oraz nawigacyjnych, a także zaawansowanych technologii cyfrowych można przywołać najważniejsze z dokumentów właściwych do stosowania:

- Strategia produktywności¹⁵³
- Krajowe Ramy Interoperacyjności¹⁵⁴
- Europejskie Ramy Interoperacyjności¹⁵⁵
- Raport. Rejestry rozproszone Grupy Roboczej przy Ministerstwie Cyfryzacji¹⁵⁶
- Raport IoT dla CPK, Grupy Roboczej ds. IoT¹⁵⁷
- Standardy telekomunikacyjne i nawigacyjne Polskiego Komitetu Normalizacyjnego¹⁵⁸ oraz Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej (ITU)

¹⁴⁸ [OECD Digital Economy Outlook 2024 \(Volume 1\) | OECD](#)

¹⁴⁹ [Blockchain at the frontier | OECD](#)

¹⁵⁰ [Office of the Secretary-General's Envoy on Technology |](#)

¹⁵¹ [Zamówienia NATO - Ministerstwo Rozwoju i Technologii - Portal Gov.pl](#)

¹⁵² [Polak członkiem Komisji Granic Szelfu Kontynentalnego - Państwowy Instytut Geologiczny - PIB](#)

¹⁵³ [Strategia Produktywności 2030 - Ministerstwo Rozwoju i Technologii - Portal Gov.pl](#)

¹⁵⁴ [Standardy Krajowych Ram Interoperacyjności \(KRI\) - Portal Interoperacyjności i Architektury - Portal Gov.pl](#)

¹⁵⁵ patrz przypis 111

¹⁵⁶ [Grupa Robocza ds. Rejestrów Rozproszonych i Blockchain - Ministerstwo Cyfryzacji - Portal Gov.pl](#)

¹⁵⁷ [Grupa Robocza ds. Internetu Rzeczy \(Internet of Things - IoT\) - Ministerstwo Cyfryzacji - Portal Gov.pl](#)

¹⁵⁸ [Informacje podstawowe o PN - WIEDZA](#)

- Strategia Cyfryzacji Państwa 2024-2035 – dokument aktualnie ogłoszony przez Ministerstwo Cyfryzacji dla celów konsultacji – obejmuje swoim zakresem zaawansowaną telekomunikację (5G, 6G, telekomunikację satelitarną) oraz zaawansowane technologie cyfrowe, *blockchain*, tożsamość cyfrową, sztuczną inteligencję), a także kompetencje cyfrowe¹⁵⁹.

Należy zauważyć, że jak dotąd Polska nie posiada dokumentów strategicznych odnoszących się do technologii IoT, *digital twin* czy *smart cities* lub *smart villages*, ani zaawansowanych technologii nawigacyjnych.

6.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Polski ekosystem wyspecjalizowanych agencji lub stowarzyszeń w dziedzinie zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych i nawigacyjnych oraz zaawansowanych technologii cyfrowych tworzą:

- Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości
- Polski Fundusz Rozwoju
- Polska Agencja Przedsiębiorczości
- Polski Komitet Normalizacyjny
- Agencja Rozwoju Przemysłu

W dziedzinie zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych i nawigacyjnych oraz zaawansowanych technologii cyfrowych można odnotować zaangażowanie i merytoryczny wpływ następujących organizacji:

- PTI – Polskie Towarzystwo Informatyczne
- PIIT – Polska Izba Informatyki i Telekomunikacji
- KIGEIT – Krajowa Izba Gospodarki Elektronicznej i telekomunikacji
- POLSA – Polska Agencja Kosmiczna

6.5. Informacje o ośrodkach badawczych

Mapę ośrodków badawczych zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych i nawigacyjnych oraz technologii cyfrowych tworzą głównie:

- Instytut Łączności
- Sieć Badawcza Łukaszewicz
- PIB NASK
- Instytut Lotnictwa
- Politechnika Poznańska
- Akademia Górniczo Techniczna w Katowicach
- Politechnika Gdańska
- Akademia Morska

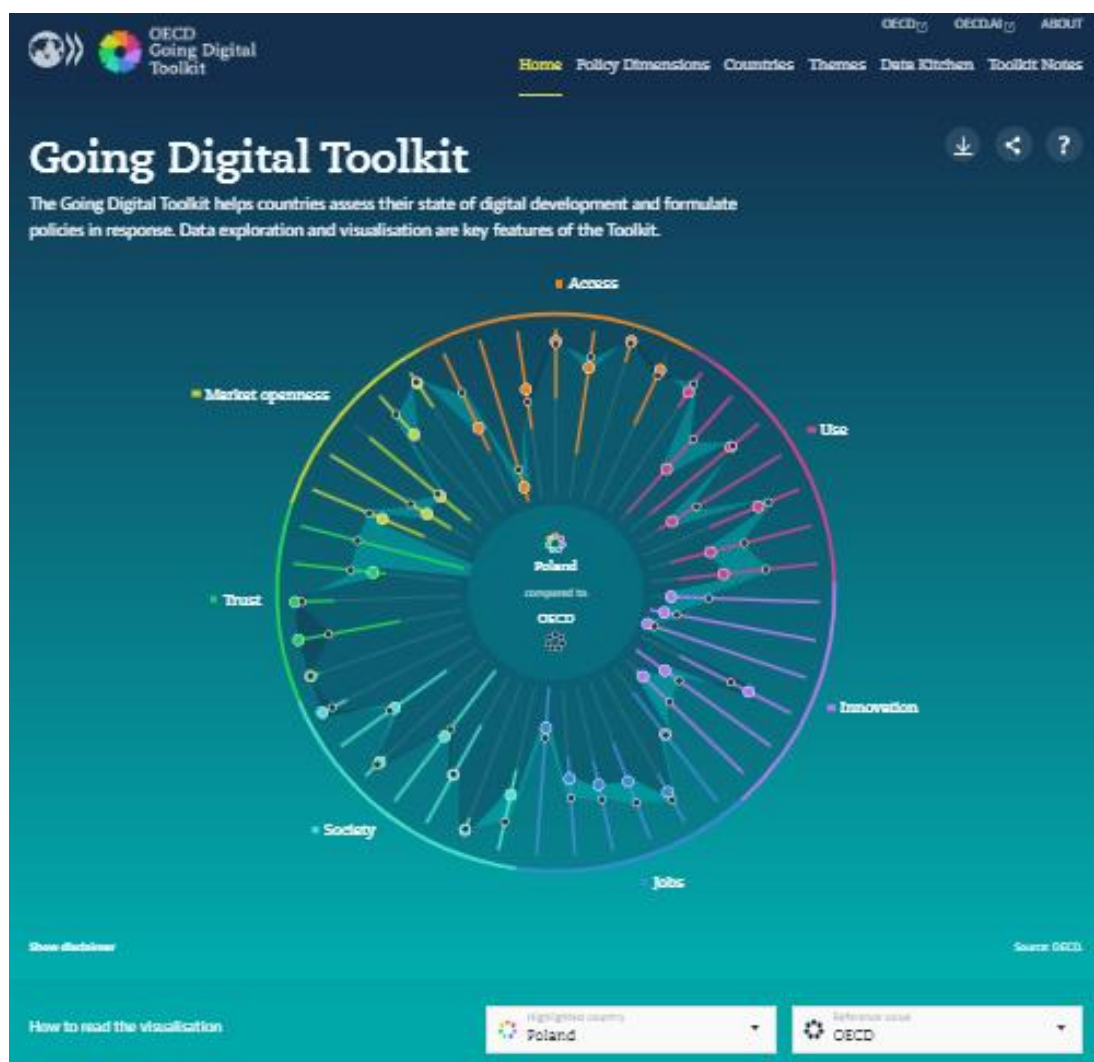
¹⁵⁹ [Strategia Cyfryzacji Polski do 2035 roku - Ministerstwo Cyfryzacji - Portal Gov.pl](#)

- Wojskowa Akademia Techniczna

6.6. Bariery rozwoju

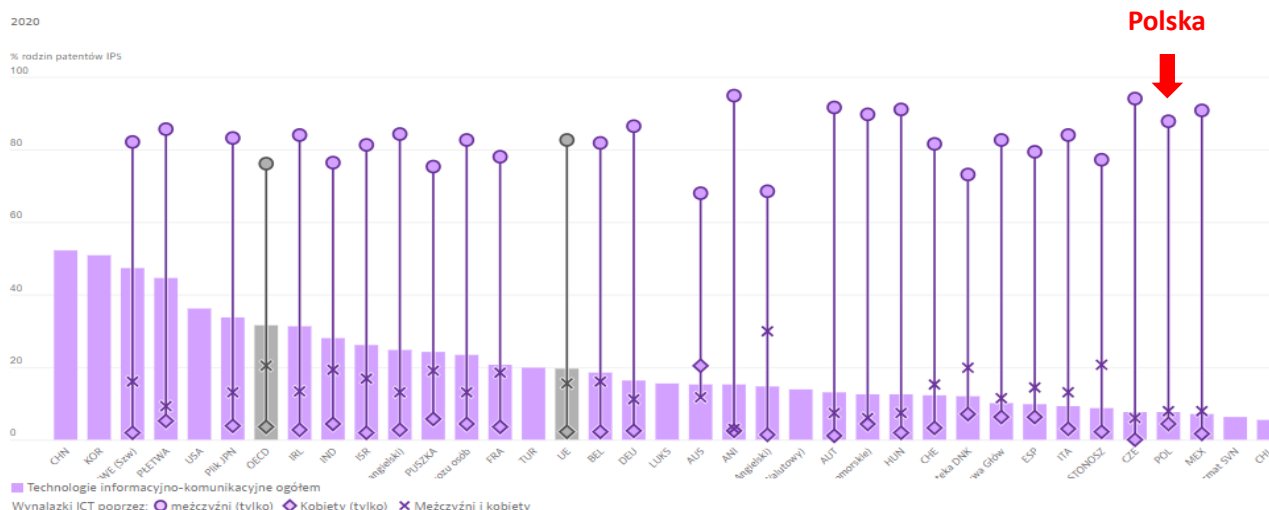
Można wskazać na następujące bariery rozwoju zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych i nawigacyjnych oraz zaawansowanych technologii cyfrowych:

- asymetryczna standaryzacja interface'ów preferująca obce rozwiązania, niedostateczna reprezentacja polskich przypadków zastosowań w pejzażu międzynarodowego doświadczenia lub wyzwań,
- brak skoordynowania zasobów dla budowania zdolności masowej produkcji i jej automatyzacji,
- niedostateczne kompetencje włączania się w istniejące łańcuchu wartości lub budowania własnych przewag dla komercjalizacji,
- stosowanie zamkniętych systemów zarządzania danymi, a jednocześnie lokowanie swoich usług w chmurze,
- brak dostatecznego kapitału na eksperymenty,
- niefunkcjonalny ekosystem wspierania innowacji i ich wdrożeń,
- niefunkcjonalne strategie budowania własności intelektualnej, ochrony patentowej lub know-how.



Tab.10 Dynamiczny diagram opracowany przez OECD, ukazujący wymiary rozwoju cyfrowego, w tym przypadku Polski w stosunku do innych członków OECD. Źródło: [OECD Going Digital Toolkit](https://www.oecd.org/digital/going-digital-toolkit/)

Zestaw narzędzi Going Digital Toolkit pomaga krajom ocenić stan rozwoju cyfrowego, w tym telekomunikacyjnego i sformułować odpowiedzi na wyzwania polityczne. Wizualizacja porównania Polski do średniej innych krajów OECD pokazuje, że największą barierą, także w rozwoju zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych, nawigacyjnych czy cyfrowych, jest bardzo niski wskaźnik inwestycji kapitału wysokiego ryzyka w innowacje technologii telekomunikacyjno-informacyjnych (ang. *venture capital*) mimo, że wskaźnik liczby startupów przewyższa średnią OECD. Nieco wyższy, ale cały czas niższy od średniej OECD występuje poziom inwestycji w badania i rozwój w obszarze technologii telekomunikacyjno-informacyjnych. Wyniki te nie korelują z szansami jakie wynikają z najwyższych notowań w indeksach nasycenia łącznością szerokopasmową oraz mobilną, a także zaufaniem społeczeństwa do usług gospodarki elektronicznych. Poniżej średniej OECD Polska wypada również w nakładach na doskonalenie zawodowe po ukończeniu okresu edukacji. W konsekwencji te niekorzystne czynniki przekładają się to na niską pozycję Polski w indeksach innowacyjności z uwagi na niską ilość patentów w obszarze ICT.



Tab.11 Diagram intensywności patentowej poszczególnych krajów OECD¹⁶⁰. Źródło: Zestaw narzędzi OECD "Going Digital Toolkit".

6.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Polska infrastruktura dla zaawansowanych technologii nawigacyjnych rozwija się dynamicznie i obejmuje różnorodne elementy, takie jak:

- Systemy GPS i GNSS: Polska korzysta z globalnych systemów nawigacji satelitarnej (GNSS), takich jak GPS, GLONASS, Galileo oraz BeiDou. W kraju funkcjonują stacje referencyjne, które zapewniają korekty dla sygnałów GNSS, co zwiększa dokładność pozycjonowania.

¹⁶⁰ [Patents in ICT technologies, as a share of total IP5 patent families | Innovation Indicators](#)

Uwagi i zastrzeżenia: Patenty chronią wynalazki technologiczne (tj. produkty lub procesy dostarczające nowych sposobów działania lub nowych technologicznych rozwiązań problemów). Patenty ICT są identyfikowane za pomocą kodów Międzynarodowej Klasyfikacji Patentów (IPC), które obejmują trzynaście obszarów: 1) szybkie sieci, 2) komunikacja mobilna, 3) bezpieczeństwo (np. szyfrowanie), 4) czujniki, 5) szybkie przetwarzanie danych, 6) przechowywanie danych o dużej pojemności, 7) analiza informacji o dużej pojemności (np. analiza dużych zbiorów danych), 8) przetwarzanie kognitywne, 9) technologie interfejsu ludzkiego, 10) technologie obrazowania i dźwięku, 11) Technologie przetwarzania informacji i komunikacji, 12) Pomiary elektroniczne (np. radionawigacja) oraz 13) Inne (np. komputery hybrydowe).

Rodziny patentów IP5 to patenty złożone w co najmniej dwóch urzędach na całym świecie, w tym w jednym z pięciu największych urzędów ds. własności intelektualnej: Europejskim Urzędzie Patentowym (EPO), Japońskim Urzędzie Patentowym (JPO), Koreańskim Urzędzie Własności Intelektualnej (KIPO), Urzędzie Patentów i Znaków Towarowych Stanów Zjednoczonych (USPTO) oraz Krajowej Administracji Własności Intelektualnej Chińskiej Republiki Ludowej (NIPA).

Dane te odnoszą się do rodzin IP5, według daty zgłoszenia, zgodnie z miejscem zamieszkania wnioskodawców przy użyciu zliczeń ułamkowych. Uwzględniono jedynie gospodarki, w których w badanych okresach posiadało ponad 250 rodzin patentów. Patenty ICT są identyfikowane za pomocą wykazu kodów IPC w Inaba, T. i M. Squicciarini (2017), "ICT: A new taxonomy based on the international patent classification" [ICT: nowa taksonomia oparta na międzynarodowej klasyfikacji patentowej], OECD Science, Technology and Industry Working Papers, nr 2017/01, OECD Publishing, Paryż, <https://doi.org/10.1787/ab16c396-en>.

- Centra badawcze i rozwojowe: w Polsce działają liczne ośrodki badawcze i uczelnie wyższe, które prowadzą prace nad zaawansowanymi technologiami nawigacyjnymi. Przykłady to Politechnika Warszawska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie oraz inne instytuty techniczne.
- Infrastruktura drogowa: Polska modernizuje swoją infrastrukturę drogową, włączając inteligentne systemy transportowe (ITS), które korzystają z zaawansowanych technologii nawigacyjnych. Obejmuje to systemy zarządzania ruchem, elektroniczne systemy poboru opłat i informacje o warunkach drogowych w czasie rzeczywistym.
- Porty lotnicze: Polska posiada nowoczesne porty lotnicze, takie jak Lotnisko Chopina w Warszawie, które wyposażone są w zaawansowane systemy nawigacji lotniczej. Systemy te obejmują ILS (Instrument Landing System), GNSS oraz inne technologie wspomagające nawigację i lądowanie samolotów.
- Morska infrastruktura nawigacyjna: Polskie porty morskie, takie jak Gdynia, Gdańsk i Szczecin, korzystają z zaawansowanych technologii nawigacyjnych, w tym z systemów AIS (Automatic Identification System), VTS (Vessel Traffic Services) oraz systemów satelitarnych do monitorowania ruchu morskiego.
- Technologie autonomiczne: W Polsce rozwijane są również technologie nawigacyjne dla pojazdów autonomicznych. Obejmuje to zarówno samochody autonomiczne, jak i drony. W ramach programów badawczych i testowych prowadzone są prace nad systemami pozycjonowania i nawigacji dla tych pojazdów.

Inwestycje i programy rządowe obejmują rozwój zaawansowanych technologii nawigacyjnych poprzez różne programy i fundusze. Przykładem jest Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR): INFOSTRATEG, TECHMATSTRATEG czy "Szybka Ścieżka", które finansuje projekty badawcze i wdrożeniowe w dziedzinie nawigacji. Polskie instytucje i firmy korzystają z funduszy Unii Europejskiej na badania i rozwój technologii nawigacyjnych. Ważne jest tu wskazanie także programów Horizon Europa, GALILEO ESA oraz DIANA NATO.

Przemysł zaawansowanych technologii nawigacyjnych reprezentuje wiele firm, które oferują produkty i usługi związane z systemami nawigacji satelitarnej, mapowaniem, systemami GIS (Geographic Information Systems) oraz rozwiązaniami dla inteligentnych miast. Polska dysponuje rozbudowaną i nowoczesną infrastrukturą wspierającą zaawansowane technologie nawigacyjne, zarówno w sektorze publicznym, jak i prywatnym, co sprzyja dalszemu rozwojowi tej branży.

Potencjał ludzki w dziedzinie zaawansowanych technologii nawigacyjnych w Polsce jest znaczący i stale rośnie, co wynika z kilku kluczowych czynników:

- Polska posiada liczne uczelnie techniczne i ośrodki badawcze, które kształcą specjalistów w dziedzinie technologii nawigacyjnych. Do najbardziej znanych należą:

- Politechnika Warszawska: Wydział Geodezji i Kartografii oraz Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych oferują programy edukacyjne związane z GNSS, geoinformacją i technologiami nawigacyjnymi;
- Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie: Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska prowadzi badania i edukację w zakresie systemów pozycjonowania i technologii satelitarnych;
- Politechnika Wrocławska: Uczelnia ta oferuje kursy i programy studiów dotyczące nawigacji, telekomunikacji oraz systemów informacyjnych;
- w Polsce działają liczne instytuty badawcze, które koncentrują się na zaawansowanych technologiach nawigacyjnych:
 - Centrum Badań Kosmicznych PAN, które prowadzi prace badawcze nad GNSS, satelitami oraz innymi technologiami kosmicznymi,
 - Instytut Geodezji i Kartografii, specjalizujący się w badaniach związanych z geoinformacją, teledetekcją oraz systemami nawigacji satelitarnej;
- w Polsce działa wiele firm technologicznych i startupów zajmujących się zaawansowanymi technologiami nawigacyjnymi,
- rozwija się współpraca międzynarodowa uczelni, instytutów badawczych i firm, co pozwala na wymianę wiedzy i technologii oraz uczestnictwo w globalnych projektach badawczych,
- regularnie odbywają się w Polsce konferencje i warsztaty poświęcone technologiom nawigacyjnym, co sprzyja wymianie wiedzy i doświadczeń między naukowcami, inżynierami i przedsiębiorcami.

Polska dysponuje silnym potencjałem ludzkim w dziedzinie zaawansowanych technologii nawigacyjnych, który wynika z dobrze rozwiniętego systemu edukacji, aktywności badawczej, dynamicznie rozwijającego się sektora prywatnego oraz wsparcia ze strony rządu. Ten potencjał umożliwia dalszy rozwój technologii nawigacyjnych i ich wdrażanie w różnych sektorach gospodarki.

Podobna diagnoza dotyczy zaawansowanych technologii telekomunikacyjnych.

Inaczej ma się jednak stan zaawansowanych technologii cyfrowych. Mimo rozwiniętego systemu edukacji i aktywności badawczej, dziedzina zaawansowanych technologii cyfrowych wykazuje się początkowym stadium wzrostu z uwagi na brak inwestycji kapitału wysokiego ryzyka, a także niską podaż środków z programów publicznych nastawionych na wdrożenie badań stosowanych w fazach eksperymentu. Stan ten miałby zmienić program Infostrateg lub FENG. Obiecujące są tu też kolejne rundy programu dual-use PERUN.

Na szczególne wyeksponowanie zasługuje inicjatywa, której Polska jest stroną od 2018 r. – Europejskie Porozumienie Blockchain. W ramach tego porozumienia europejska sieć blockchain EBSI zostanie przekazana w 2024 r. do EUROPEUM-EDIC - nowego podmiotu utworzonego z udziałem Polski w nowych ramach prawnych dla projektów wielokrajowych. Ta inicjatywa europejska daje okazję do wdrażania wielkoskalowych projektów zastosowań technologii rozproszonych w usługach sektora publicznego, które będą katalizować wdrożenia nauce i gospodarce¹⁶¹.

¹⁶¹ [EBSI will evolve with EUROPEUM: an EDIC under the control of member states - EBSI -](#)

6.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze łączności i nawigacji oraz zaawansowanych technologii cyfrowych wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Allegro Sp. z o.o.	https://allegro.pl	Firma	Platforma Allegro	Platforma e-commerce
AP FLYER Sp. z o.o.	https://ap-flyer.pl/	Firma	MADDOS MADDOS VTOL	System detekcji i obserwacji dronów. Dron
Asseco Poland S.A.	https://asseco.com/	Firma	Oprogramowanie	Oprogramowanie dla różnych sektorów
ATENDE S.A.	https://atende.industries/	Firma	besmart. energy, oprogramowanie dla internetu rzeczy w przemyśle	Platforma do zarządzania energią rozproszoną, systemy rozproszone blockchain, IoT dla przemysłu
AUTOCOMP MANAGEMENT Sp. z o.o.	https://autocomp.pl	Firma	Ship's Dynamic Positioning System	System dynamicznego pozycjonowania statków
BOOKSY INTERNATIONAL Sp. z o.o.	https://booksy.com	Firma	Platforma Booksy	Platforma do rezerwacji usług fryzjerskich
Brainly Sp. z o.o.	https://brainly.com	Firma	Platforma Brainly	Platforma do odrabiania lekcji
Comarch S.A.	https://www.comarch.pl/	Firma	Oprogramowanie	Oprogramowanie dla różnych sektorów
Dronehub Sp. z o.o.	https://dronehub.ai/	Firma	Dronehub	Dron
Elproma Elektronika Sp. z o.o.	https://www.elpromaelectronics.com/	Firma	Szereg produktów elektronicznych	Technologie telemetry, synchronizacji czasu, przemysłowej

				komunikacji bezprzewodowej i Internetu rzeczy.
ICEYE Polska Sp. zo.o.	https://www.iceye.com/	Firma	Synthetic Aperture Radar	Satelita SAR
Instytut PCSS	https://pcss.pl	Zespół	Węzeł obliczeń kwantowych	Prace nad technologią kwantową
IS-Wirless	https://www.is-wireless.com	Firma	Oprogramowa nie Open RAN	Projektowanie sieci telekomunikacyj nych
OBT-CTM Sp. z o.o.	https://ctm.gdynia.pl	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Systemy dowodzenia i łączności, systemy analizy danych i detekcji	Radiostacje, modemy, techniki podwodne, odbiorniki radiolokacyjne, zintegrowane systemy okrętowe, technologie przeciwudarowe, sensory, efekторы
OPEGIEKA Sp. z o.o.	https://opegieka.pl/	Firma	GEO/opegieka SKY/opegieka, IT/opegieka i LAB/opegieka	Kompleksowe, interdyscypli narne rozwiązania z zakresu danych przestrzennych i technologii
PAYEYE Sp. z o.o.	https://payeye.com/	Firma	PayEye	Plaforma płatności "okiem" - biometria detekcji żrenic
PIT Radwar S.A.	https://www.pitradwar.com/	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Radiolokacja	Gama produktów radarowych (system radiolokacji, radar lotniczy, mobilne stacje radarowe)
Polski Standard Płatności Sp. z o.o.	https://www.blik.com/	Firma	BLIK	System płatności natychmiasto wych
Radmor S.A.	https://www.radmor.com.pl	Firma	Systemy łączności	Radiostacje taktyczne, cyfrowe platformy

				dowodzenia, systemy kierowania ogniem
SILTEC Sp. z o.o.	https://siltec.pl	Firma	Small Intelligent Light Satellite Terminal	System komunikacji satelitarnej
Spyrosoft S.A.	https://spyro-soft.com/	Firma	VoicePRO	Rozwiązanie chatbot
Synerise Sp. z o.o.	https://www.synerise.com/	Firma	Synerise	Platforma analizująca i interpretująca dane behawioralne
TEL DAT Sp. z o.o. sp.k.	https://www.teldat.com.pl/	Firma	JAŚMIN	System zarządzania walką i łączności
Tidio Sp. z o.o.	https://www.tidio.com/	Firma	Lyro AI Chatbot	Rozwiązanie chatbot
WB Electronics S.A.	https://www.wbgroup.pl/	Firma	WARMATE FlyEye, detekcja celów statycznych i krążących	Amunicja krążąca Dron, systemy detekcji
Wireless Instruments Sp. z o.o.	https://www.wireless-instruments.com/	Firma	WiBOX	Anteny
WZE S.A. Wojskowe Zakłady Elektroniczne	https://www.wze.com.pl	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Systemy łączności	Systemy łączności, systemy rozpoznawczo-zakłócające, system analizy sygnałów radiowych
WZŁ Nr 1 S.A.	https://www.wzl1.com.pl	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Terminale satelitarne	Przenośny terminal satelitarny
Xopero Software S.A.	https://xopero.com/	Firma	Xopero Unified Protection	Oprogramowanie cyberbezpieczeństwa

7. ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKCJI

Wspólną cechą ujętych w tym rozdziale zaawansowanych technologii detekcji jest funkcja wspierania metod i procesów wykrywania obecności, lokalizacji lub właściwości obiektów, substancji lub zjawisk. Są one zaliczone do technologii krytycznych z uwagi na swą użyteczność dla bezpieczeństwa, konkurencyjności i odporności społecznej.

Można wskazać na następujące cechy charakterystyczne poszczególnych typów zaawansowanych technologii detekcji:

- **technologie detekcji:**
 - detekcja elektrooptyczna, koncentruje się na wykorzystaniu światła (np. laserów) do wykrywania obiektów lub substancji;
 - detekcja radarowa, używa fal radiowych do wykrywania i lokalizowania obiektów;
 - detekcja chemiczna, skupia się na identyfikacji obecności i stężenia substancji chemicznych;
 - detekcja biologiczna, wspiera wykrywanie organizmów biologicznych lub ich komponentów;
 - detekcja radiologiczna, wspiera wykrywanie promieniowania jonizującego;
 - detekcja rozproszona, obejmuje zestawienie różnych technologii detekcji stosownie do celu, miejsca i warunków.
- **magnetometry i mierniki gradientu magnetycznego:**
 - magnetometry, są urządzeniami przeznaczonymi do mierzenia natężenie pola magnetycznego;
 - mierniki gradientu magnetycznego, systemy pomiaru zmiany pola magnetycznego w przestrzeni, co pozwala na bardziej precyzyjne wykrywanie obiektów.
- **podwodne czujniki pola elektrycznego,** wykrywają zmiany w polu elektrycznym pod wodą, co może być używane do lokalizowania obiektów lub monitorowania środowiska morskiego.
- **grawimetry i mierniki gradientu:**
 - grawimetry, mierzą siłę grawitacji w danym miejscu;
 - mierniki gradientu grawitacyjnego, systemy pomiaru zmiany siły grawitacji w różnych punktach, co może być używane do badania struktury podziemnej.

Zaawansowane technologie detekcji mają szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach. Oto kilka przykładów:

- **bezpieczeństwo i obrona:** wykrywanie zagrożeń, takich jak materiały wybuchowe, broń chemiczna, biologiczna i radiologiczna oraz monitorowanie granic i przestrzeni powietrznej za pomocą radarów i systemów elektrooptycznych;
- **ratownictwo i ochrona ludności:** wykrywanie osób uwięzionych pod gruzami po katastrofach naturalnych lub budowlanych oraz monitorowanie jakości powietrza i wody, aby zapobiegać zagrożeniom zdrowotnym;
- **nauka i badania:** badania geologiczne i archeologiczne, np. wykrywanie struktur podziemnych za pomocą grawimetrów lub monitorowanie środowiska, np. wykrywanie zmian w polu magnetycznym Ziemi;

- **przemysł i inżynieria:** kontrola jakości w procesach produkcyjnych, np. wykrywanie defektów w materiałach oraz monitorowanie infrastruktury, np. mostów i budynków, pod kątem uszkodzeń;
- **medycyna:** diagnostyka medyczna, np. wykrywanie chorób za pomocą obrazowania radiologicznego i biologicznego oraz monitorowanie pacjentów, np. za pomocą czujników biometrycznych.

7.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

Polski sektor technologii detekcji rozwija się dynamicznie, szczególnie w dziedzinach, takich jak cyberbezpieczeństwo, przemysł, nauka i badania. W zakresie cyberbezpieczeństwa firmy inwestują w technologie chroniące przed atakami typu DDoS oraz innymi zagrożeniami, np. w ramach Narodowej Platformy Cyberbezpieczeństwa i platformy detekcji anomalii sieciowych¹⁶². Polskie firmy inwestują również w inteligentne rozwiązania oparte na zespoleniu sztucznej inteligencji i technologii detekcji dla projektowania i zarządzania liniami produkcyjnymi¹⁶³. Polska posiada silną bazę badawczo-rozwojową, z licznymi instytucjami i uczelniami prowadzącymi badania w dziedzinie technologii detekcji¹⁶⁴. Nauka, koncentruje się także na poszukiwaniu najbardziej wydajnych podejść do detekcji poprzez na przykład skalowalny algorytm wykrywania wykorzystujący funkcję modułowości hipergrafu, h–Louvain¹⁶⁵. Mimo dynamicznego rozwoju sektor ten napotyka na wyzwania w postaci braku środków na badania i rozwój oraz trudności w znalezieniu wykwalifikowanych pracowników.

Na rynku zaawansowanych technologii detekcji - polskie przedsiębiorstwa uzyskały zdolność specjalizacji i unikatowości. Szczególnie zauważyć tu można własne rozwiązania i usługi firm IC SEC S.A., PAYEYE Sp. z o.o., Samurai Labs Sp. z o.o., SmokeD Sp. z o.o. czy Surveily Sp. z o.o., Sweco Polska Sp. Z o.o., Synerise S.A., Spyrosoft Sp. z o.o. lub VirtusLab Sp. z o.o.

7.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Co do zasady, działalność gospodarcza w zakresie projektowania, wdrażania i stosowania zaawansowanych technologii detekcji jest wolna, czyli nie jest działalnością regulowaną, np. wymagającą wpisu do rejestru czy uzyskania koncepcji, poza działalnością usług detektywistycznych¹⁶⁶, która – będąc wąską grupą usług detekcyjnych – nie stanowi przedmiotu analizy niniejszego raportu¹⁶⁷. Natomiast w zakresie zaawansowanych technologii detekcji należy liczyć się co najmniej z następującym otoczeniem prawnym:

¹⁶² [Krajowe rozwiązania w zakresie cyberbezpieczeństwa - Narodowe Centrum Badań i Rozwoju - Portal Gov.pl](https://www.gov.pl/web/gov/krajowe-rozwiazania-w-zakresie-cyberbezpieczenstwa)

¹⁶³ https://www.ey.com/pl_pl/newsroom/2024/03/ey-ai-przemysl

¹⁶⁴ [Barometr cyberbezpieczeństwa. Edycja 2023 - KPMG Poland](#)

¹⁶⁵ Zob: prof. Bogumił Kamiński, Paweł Misiorek, Paweł Pralat, F.Thabere: "Modularity based community detection in hypergraphs", w Journal of Complex Networks, Październik 2024 -

https://www.researchgate.net/publication/385106048_Modularity_based_community_detection_in_hypergraphs

¹⁶⁶ Zob: art 3 ustawy o usługach detektywistycznych <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/uslugi-detektywistyczne-16936485/art-3>

¹⁶⁷ Por: Usługa detekcji to proces polegający na monitorowaniu i analizie danych w celu wykrywania nieprawidłowości lub anomalii [Wykrywanie anomalii IT. Detekcja systemów i sieci | Polska chmura dla biznesu Polcom.](#)

- **Ustawa – Prawo przedsiębiorców**¹⁶⁸ - podkreśla wolność gospodarczą oraz określa zasady działalności regulowanej i koncesyjnej.
- **Ustawa o ochronie danych osobowych (w tym DGPR)**¹⁶⁹ - wyznacza zasady przetwarzania danych osobowych, co jest szczególnie ważne także dla firm zajmujących się detekcją lub przetwarzaniem danych osobowych z wykorzystaniem zaawansowanych technologii detekcji.
- **Akt o sztucznej inteligencji (AI act)**¹⁷⁰ - rozporządzenie UE ważne w zakresie w jakim wpływa na zespolone techniki systemów sztucznej inteligencji z technologiami detekcji, w przypadkach gdy służą one do analizy danych i wykrywania zagrożeń, co szczególnie może dotyczyć aplikacji niedopuszczalnych, jak analiza behawioralna człowieka on-line w pracy lub podczas edukacji lub zdalna identyfikacja biometryczna w czasie rzeczywistym albo w zakresie aplikacji wysokiego ryzyka, z których należałoby przy usługach detekcji przywołać: **systemy biometryczne i systemy oparte na biometrii**, takie jak biometryczna identyfikacja i kategoryzacja osób; **zarządzanie i eksploatacja infrastruktury krytycznej**, np. ruch drogowy i dostawy energii; **kształcenie i szkolenie zawodowe**, w tym ocena uczniów w placówkach edukacyjnych; **zarządzanie zatrudnieniem i pracownikami**, np. rekrutacja, ocena wyników lub przydział zadań; **dostęp do podstawowych usług, korzyści prywatnych i publicznych**, takich jak punktacja kredytowa i wysyłanie służb ratunkowych; **egzekwowanie prawa**, np. ocena wiarygodności dowodów lub analityka kryminalna; **zarządzanie migracją, azylem i kontrolą graniczną**, np. ocena ryzyka bezpieczeństwa osób lub rozpatrywanie wniosków o azyl, wizę lub zezwolenie na pobyt; **administrowanie wymiarem sprawiedliwości i procesami demokratycznymi**, takimi jak pomoc w interpretacji i badaniu faktów, prawa i stosowania prawa lub w kampaniach politycznych.
- **Przepisy i standardy sektorowe** np. dla wykorzystania technologii detekcji dla potrzeb wykorzystania w sektorze chemicznym, biologicznym, środowiskowym czy nuklearnego, sejsmicznego właściwe dla bezpieczeństwa, ochrony zdrowia, transportu, w tym lotniczego, morskiego i poza przestrzenią Ziemi, lub energetyki czy mobilności ludzi¹⁷¹.

W zakresie otoczenia instytucjonalnego dla zaawansowanych technologii detekcji należy odnotować:

- **Główny Urząd Geodezji i Kartografii** – w zakresie teledetekcji obiektów i zjawisk na Ziemi, w kraju, z uwzględnieniem szelfu, i poza granicami Polski¹⁷²;
- **Urząd Ochrony Środowiska**¹⁷³ - w zakresie wykorzystywania zaawansowanych technologii teledetekcji do monitorowania i oceny stanu środowiska, zarządzania zasobami przyrodniczymi

¹⁶⁸ Zob: Ustawa - Prawo przedsiębiorców, Dz.U. z 2024r. Nr 236 t.j. z dnia 2024.02.2

¹⁶⁹ Dz.U. z 2019 Nr 1781 t.j. z dnia 2019.09.19

¹⁷⁰ [AI Act - jak klasyfikowane jest ryzyko?](#) W pozostały zakresie AI act kwalifikuje aplikacje średniego ryzyka (te które wiążą się z narażeniem na oszustwa lub manipulację), oraz aplikacje niskiego ryzyka (które mogą wiązać się z ryzykiem błędu jest on skwalifikowany jako społecznie o niskim stopniu szkodliwości). W każdym przypadku rodzajów ryzyk, poza niskim ryzykiem, poszczególne aplikacje wiążą się z hierarchią obowiązków informacyjnych. Aplikacjom o niski ryzyku zaś rekomenduje się wprowadzenie nadzorczej roli człowieka, niedeskryminowanie i sprawiedliwość (zgodnie z koncepcją etyczną Trustworthy AI).

¹⁷¹ <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzu-dziennik-ustaw/uslugi-detektywistyczne-16936485/art-3>

¹⁷² <https://geodezynie.pl/wszystko-o-tym-kim-jest-geodeta-a-kim-geodeta-uprawniony>

¹⁷³ <https://www.gov.pl/web/klimat/teledetekcja>

oraz ochrony parków, w tym z wykorzystaniem satelitów, dronów i innych technologii w badaniach na odległość¹⁷⁴;

- **Urząd Morski** – w zakresie ochrony wybrzeża, zarządzania zasobami morza, ocena zagrożeń¹⁷⁵
- **Ministerstwo Cyfryzacji** – w zakresie projektu Cyfrowy Bliźniak Ziemi (Destination Earth¹⁷⁶) oraz wsparcia ochrony cyberprzestrzeni i społeczeństwa informacyjnego;
- **Ministerstwo Zdrowia** – w zakresie wspierania telemedycyny i wykorzystania narzędzi teledetekcji w ochronie zdrowia¹⁷⁷;
- **Ministerstwo Spraw Zagranicznych** - w zakresie cyberdyplomacji;
- **Wojska Ochrony Cyberprzestrzeni** – w zakresie ochrony obronnej infrastruktury państwa;
- **NASK PIB** - Pion Ochrony Informacyjnej Cyberprzestrzeni w zakresie detekcji w obszarze cyberbezpieczeństwa, fałszywych wiadomości czy rozpoznania tożsamości, a także projektu Open Source Intelligence¹⁷⁸;
- **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR)** – w zakresie finansowania projektów badawczo-rozwojowych;
- **Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP)** - w zakresie wspierania innowacyjnych firm oferując programy dofinansowania i wsparcia dla przedsiębiorstw oferujących technologie wzrostowe;
- **Polska Agencja Kosmiczna** – w zakresie w jakim stosuje zaawansowane technologie detekcji, szczególnie w kontekście obserwacji Ziemi i monitorowania przestrzeni kosmicznej, przy wykorzystaniu technologii satelitarnych do zbierania danych, dla celów zarządzania kryzysowego, ochrony środowiska i bezpieczeństwa narodowego¹⁷⁹; a także w zakresie projektu POLON (POLSA Optical Network)¹⁸⁰.

7.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Na poziomie rządowym w Polsce istnieje kilka dokumentów strategicznych i wytycznych, które mogą dotyczyć zaawansowanych technologii teledetekcji. Można wskazać kilka z nich:

- **Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2023** - określająca cele i kierunki rozwoju regionalnego, także w zakresie zaawansowanych technologii teledetekcji, do monitorowania i zarządzania zasobami naturalnymi, w tym polityki klastrowej dla rozwoju tych technologii¹⁸¹,

¹⁷⁴ <https://www.gov.pl/web/nfosisgw/nfosisgw-dziewiec-parkow-narodowych-z-dofinansowaniem-na-badanie-ekosystemow-za-pomoca-teledetekcji>

¹⁷⁵ <https://www.umgdy.gov.pl/>

¹⁷⁶ <https://destination-earth.eu/> celem projektu jest DestinE opracowanie wysoce dokładnego modelu Ziemi, który będzie monitorował, symulował i przewidywał interakcje między zjawiskami naturalnymi i człowiekiem.

¹⁷⁷ <https://www.gov.pl/web/zdrowie/cyfryzacja-w-ochronie-zdrowia2>

¹⁷⁸ <https://cyberdefence24.pl/cyberbezpieczenstwo/nask-szuka-osoby-ktora-pokieruje-zespolem-osint>

¹⁷⁹ <https://polsa.gov.pl/>

¹⁸⁰ <https://polsa.gov.pl/wydarzenia/polska-w-kosmosie-zwiekszamy-swoja-aktywnosc/>

¹⁸¹ [Rada Ministrów przyjęła Krajową Strategię Rozwoju Regionalnego 2030 - Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej - Portal Gov.pl](#)

- **Koncepcja Rozwoju Kraju** – projekt ustawy o nowym podejściu do rozwoju kraju oparty na trendach a nie planowaniu okresowym¹⁸²,
- **Wytyczne dotyczące kwalifikowalności 2021-2027** (Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej) - określają warunki i procedury dotyczące kwalifikowalności wydatków na projekty związane z technologiami, w tym teledetekcją¹⁸³,
- **Polityka Spójności** - w zakresie wsparcia rozwoju technologii teledetekcji z funduszy strukturalnych lub inwestycyjnych¹⁸⁴,
- **Polityka dla rozwoju sztucznej inteligencji od 2020** – w zakresie w jakim wspiera projektowanie i użycie technologii detekcji w zestawieniach z systemami sztucznej inteligencji¹⁸⁵,
- **Polska Strategia Kosmiczna** – w zakresie w jakim wspiera rozwój zaawansowane technologie detekcji w zespole z innymi technologiami łączności wykorzystania kosmicznego¹⁸⁶.

7.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

W Polsce istnieje kilka wyspecjalizowanych agencji rządowych, które zajmują się zaawansowanymi technologiami detekcji, szczególnie należy zauważyć trzy z nich:

- **Polska Agencja Kosmiczna (POLSA)** - jest zaangażowana w rozwój technologii kosmicznych, w tym technologii detekcji zespolonych z technologiami kosmicznymi,
- **Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa (NASK)** - w zakresie w jakim zajmuje się cyberbezpieczeństwem i analizą informacji, wykorzystując zaawansowane technologie detekcji, jak np. OSINT (Open Source Intelligence),
- **Instytut Geodezji i Kartografii (IGiK)** - IGiK prowadzi badania naukowe i prace rozwojowe w zakresie geodezji, kartografii i teledetekcji. Instytut ten jest zaangażowany w liczne projekty krajowe i międzynarodowe.
- **Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości** - podmiot Skarbu Państwa, fundacja ustawowo powołana do wspierania konkurencyjności przedsiębiorstw w procesach transformacji cyfrowej przy wykorzystaniu zaawansowanych technologii, w tym technologii detekcji¹⁸⁷.

W zakresie zaawansowanych technologii detekcji działa nieliczna liczba stowarzyszeń branżowych – oto kilka z nich:

- **Polskie Towarzystwo Fotogrametrii i Teledetekcji (PTFiT)** - stowarzyszenie naukowe, które promuje rozwój fotogrametrii i teledetekcji w Polsce¹⁸⁸,

¹⁸² [Nowe mechanizmy polityki rozwoju - Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej - Portal Gov.pl](#)

¹⁸³ <https://www.rozwojspoleczny.gov.pl/strony/dowiedz-sie-wiecej-o-programie/prawo-i-dokumenty/wytyczne-dotyczace-kwalifikowalnosci-2021-2027/>

¹⁸⁴ [Krajowe dokumenty strategiczne jako podstawa planowania rozwoju regionalnego strategii rozwoju](#)

¹⁸⁵ <https://www.gov.pl/web/ai/polityka-dla-rozwoju-sztucznej-inteligencji-w-polsce-od-roku-2020>

¹⁸⁶ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/polska-strategia-kosmiczna>

¹⁸⁷ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/>

¹⁸⁸ https://pl.wikipedia.org/wiki/Organizacje_wyspecjalizowane_ONZ

- **Polskie Towarzystwo Kryminalistyczne (PTK)** - choć nie jest to stowarzyszenie stricte detektywistyczne, PTK zajmuje się szeroko pojętą kryminalistyką, w tym technikami detekcji i analizy dowodów¹⁸⁹.

7.5. Informacje o ośrodkach badawczych

W obszarze zaawansowanych technologii detekcji w Polsce, przede wszystkim warto wymienić badania nad magnetometrami i zmianami pola magnetycznego w przestrzeni, co pozwala na bardziej precyzyjne wykrywanie obiektów. Główne ośrodki badawcze w tym obszarze to:

- **Państwowy Instytut Geologiczny (PIB)** - oferujący zaawansowane usługi w zakresie magnetometrii, w tym pomiary natężenia oraz gradientu pionowego natężenia pola magnetycznego Ziemi¹⁹⁰. To główna instytucja badawcza w Polsce zajmująca się geologią, również na obszarach międzynarodowych, w tym w obszarach bezpieczeństwa energetycznego, klimatu, bezpieczeństwa infrastruktury oraz ochrony środowiska; Instytut realizuje zadania państwowej służby geologicznej;
- **Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk** - prowadzi badania i rozwija technologie w zakresie magnetometrii i innych metod geofizycznych. Współpracują z różnymi instytucjami i firmami w celu wdrażania nowoczesnych rozwiązań;
- **Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (AGH)** - prowadzi badania i rozwija technologie w dziedzinie magnetometrii, oferując wsparcie naukowe i technologiczne dla przemysłu.

7.6. Bariery rozwoju

Rozwój zaawansowanych technologii detekcji w Polsce napotyka na kilka kluczowych barier:

- **Bariery prawne** - przepisy prawne, szczególnie branżowe, często nie nadążają za szybkim rozwojem technologii, co utrudnia wdrażanie nowych rozwiązań i zespala zaawansowanych technologii detekcji z pozostałymi technologiami wznoszącymi.
- **Niedostateczne finansowanie** - brak skoordynowanych odpowiednich źródeł finansowania badań i rozwoju technologii detekcji jest znaczącą przeszkodą. Wiele innowacyjnych projektów nie otrzymuje wystarczającego wsparcia co ogranicza ich rozwój¹⁹¹.
- **Rozproszenie wiedzy i informacji** - brak centralizacji informacji na temat dostępnych form wsparcia, budowania konsorcjów oraz brak odpowiedniej edukacji wspierającej innowacyjność stanowią istotne bariery, a wiedza na temat nowoczesnych technologii jest często rozproszona. Sytuację tę próbuje rozwiązać się przez działalność sieciowania społeczności i wymiany wiedzy wokół Fundacji Platforma Przemysłu Przyszłości¹⁹².
- **Postawy społeczno-kulturowe** - niski poziom zaufania i obawa przed podjęciem ryzyka i odpowiedzialności mogą hamować rozwój innowacyjnych technologii, co szczególnie dotyczy Spółek Skarbu Państwa. Niska kultura eksperymentu, w tym również w służbach kontrolnych i

¹⁸⁹ <http://psld.pl/czlonkowie/detektywi/>

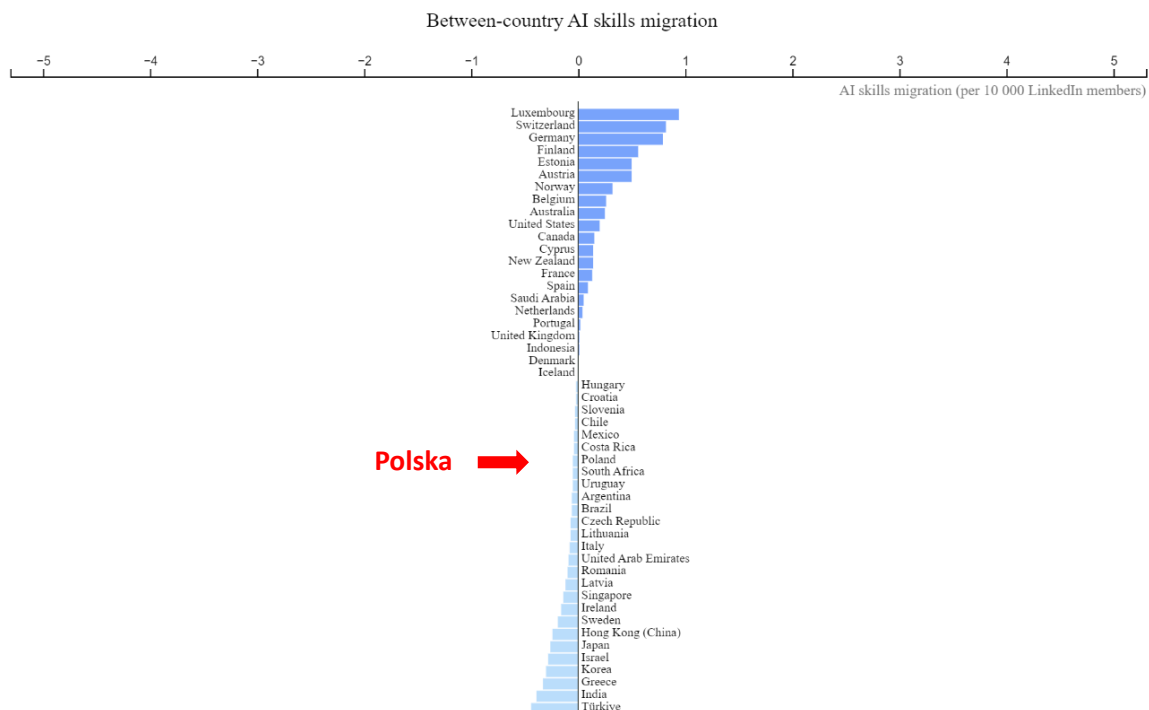
¹⁹⁰ <https://www.pgi.gov.pl/oferta-inst/geofizyka/magnetometria.html>

¹⁹¹ <https://www.gov.pl/web/nauka/diagnoza--co-wplywa-na-innowacyjnosc-w-polsce>

¹⁹² <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/>

audytowych oceniających warunki dla podejmowania decyzji o inwestycji o zwiększonym ryzyku z uwagi na innowacyjny charakter.

- **Brak wykwalifikowanej kadry** - niedobór specjalistów w dziedzinie zaawansowanych technologii detekcji¹⁹³. Migracja talentów do innych centrów społeczno-gospodarczych.



Source: OECD.AI (2024), visualisations powered by JSI using data from LinkedIn, accessed on 3/11/2024, www.oecd.ai

Tab.12. Wykres przedstawia przepływy migracyjne netto członków LinkedIn z umiejętnościami w zakresie sztucznej inteligencji w latach 2019-2023. Rozmiar ciemnych/jasnoniebieskich pasków wskazuje odpowiednio wielkość zysków/strat talentów AI w danym kraju. Źródło: OECD AI Policy Observatory, OECD.AI, 2024 [Dane na żywo z OECD. Sztuczna inteligencja - OECD. AI](#)

Wykres powyższy pokazuje co prawda zmniejszającą się stratę migracji transgranicznej talentów netto dla Polski w obszarze umiejętności ważnych dla technologii sztucznej inteligencji, co może być także odpowiednią ilustracją dla zaawansowanych technologii detekcji, często zespalanych z AI, jednakże jest to wciąż skala migracji niepozwalająca na wypełnienie potrzeb rynku krajowego w skali pozwalającej na podjęcie konkurencji geostrategicznej. Dane z 3 listopada br. wskazują, że Polska ułożona jest pod Kostaryką a nad Republiką Południowej Afryki, sąsiadującą niższe pozycje zajmują Urugwaj, Argentyna, Brazylia, ale także Włochy, Arabia Saudyjska czy Litwa.

¹⁹³ https://www.humanites.pl/baza_wiedzy/raport-z-badania-bariery-i-trendy-transformacja-technologiczna-firm-w-polsce/v

7.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Bariery rozwojowe są pokonywane poprzez jednoczenie się przedsiębiorstw w klastry. I tak w zakresie zaawansowanych technologii detekcji widocznie wybijają się następujące z nich:

- **Polski Klaster IoT & AI** - koncentruje się na rozwoju technologii Internetu Rzeczy (IoT) i sztucznej inteligencji (AI), które są kluczowe dla zaawansowanych systemów detekcji, monitorowania zjawisk i analizą danych, jak np. promieniowanie jonizujące¹⁹⁴;
- **Klaster ICT Pomorze Zachodnie** – wspiera rozwój technologii informacyjno-komunikacyjnych, w tym technologii detekcji¹⁹⁵;
- **Klaster Technologii Kwantowych (Klaster Q)** - choć główną działalnością klastra jest obszar technologii kwantowych, to przy okazji integruje on firmy, ośrodki naukowo-badawcze i instytucje otoczenia biznesu włączając także podmioty w obszarze zaawansowanych technologii detekcji¹⁹⁶.

Potencjał ludzki w zaawansowanych technologiach detekcji jest dostępny, choć występują jego niedobory. Występuje on w przedsiębiorstwach oraz na uczelniach. Polskie uczelnie wyższe, takie jak Politechnika Warszawska, Politechnika Wrocławska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie prowadzą badania w dziedzinie detekcji, a wydziały fizyki, informatyki czy telekomunikacji kształcą wysokokwalifikowanych specjalistów, na których popyt jest wzmożony na rynku.

Polska jest także uczestnikiem międzynarodowych projektów badawczych i współpracuje z instytucjami z całego świata co pozwala na transfer wiedzy i zwiększa szanse rozwojowe.

W zakresie finansowania decydujące dotychczas: w zakresie badań podstawowych programy HORYZONT EUROPA, w zakresie badań stosowanych i rozwoju program FENG oraz INFOSTRETEG NCBiR. Przykładem może być program sektorowy InnoNeuroPharm, który wspiera technologie detekcji biomarkerów. Innym programem jest StrategMed wspierający rozwój zaawansowanych technologii detekcji w medycynie. Z kolei spośród programów międzynarodowych należy wskazać, że NCBiR wspiera inicjatywę EUREKA czy EUROSTARS, które wspierają patronów badawczych, w tym w zakresie technologii detekcji.

¹⁹⁴ <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-b3003764-2112-498e-a3d5-978c27caad4f>

¹⁹⁵ Ibidem

¹⁹⁶ <https://klasterkwantowy.pl/>

7.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze zaawansowanych technologii detekcji wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Advanced Protection Systems S.A.	https://apsystems.tech/	Firma	FIELDctrl Advance 3D MIMO Radar SKYctrl	Radar System antydronowy
Akademia Górniczo Hutnicza (AGH)	https://www.agh.edu.pl	Zespół badawczy	Badania i usługi	Badania, usługi i wdrożenia technologii magnetometrii i jej zastosowań w geofizyce
AP FLYER Sp. z o.o.	https://ap-flyer.pl/	Firma	MADDOS MADDOS VTOL	System detekcji i obserwacji dronów i Drony
APATOR S.A.	https://www.apator.com/	Firma	Inteligentne liczniki	Urządzenia pomiarowe
AUTOCOMP MANAGEMENT Sp. z o.o.	https://autocomp.pl	Firma	Ship's Dynamic Positioning System	System dynamicznego pozycjonowania statków
Creotech Instruments S.A.	https://creotech.pl/	Firma	CreoSky 6000 HyperSat	Wyposażenie satelit
DOZUT KOMAG Sp. z o.o.	https://komag.eu	Firma	Systemy wspomagania i zarządzania urządzeniami wydobywczymi	Technologie nawigacyjne i systemy automatyzacji dla urządzeń wydobywczych.

				górnictwem (własny patent)
Energopomiar - Elektryka Sp. z o.o.	https://elektryka.com.pl	Zespół	Usługi pomiarowe	Usługi detekcji (teledetekcji) podwodnych czujników pola elektrycznego i grawimetrów i mierników gradientu.
Grupa GeoFusion Sp. z o.o.	https://grupageofusion.pl/	Firma	Systemy magnetometry czne	Morskie magnetometry czne oraz systemy gradientowe. Detekcja ferromagnetycz na i zastosowania geofizyczne
IC SEC S.A.	https://icsec.pl/	Firma	SCADVANCE XP systemy monitorowania sieci przemysłowych	Systemy detekcji w przemysle
Instytut Geofizyki Polskiej Akademii Nauk	https://www.igf.edu.pl	Zespół	Badania i usługi	Badania i wdrożenia technologii magnetometrii
OBT-CTM Sp. z o.o.	https://ctm.gdynia.pl	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Systemy dowodzenia i łączności, systemy analizy danych i detekcji	Radiostacje, modemy, techniki podwodne, odbiorniki radiolokacyjne, zintegrowane systemy okrętowe, technologie przeciwudarow

				e, sensory, efekторы
OPEGIEKA Sp. z o.o.	https://opegieka.pl/	Firma	GEO/opegieka, SKY/opegieka, IT/opegieka i LAB/opegieka	Kompleksowe, interdyscyplinarne rozwiązania z zakresu danych przestrzennych i technologii
Państwowy Instytut Geologiczny - PIB	https://pgi.gov.pl	Zespół	Usługi magnetometrii	Usługi z zakresu magnetometrii, w tym pomiaru natężenia oraz gradientu pomiaru pionowego natężenia pola Ziemi.
PAYEYE Sp. z o.o.	https://payeye.com/	Firma	PayEye	Plaforma płatności "okiem" - biometria detekcji źrenic
PCO S.A.	https://pcosa.com.pl/	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Monokular termowizyjny MT-1	Noktowizor
PIT Radwar S.A.	https://www.pitradwar.com/	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Radiolokacja	Gama produktów radarowych (interrogator, system pasywnej radiolokacji, radar lotniczy, mobilne stacje radarowe)
Radmor S.A.	https://www.radmor.com.pl	Firma	Systemy łączności	Radiostacje tekstyczne, cyfrowe platformy dowodzenia,

				systemy kierowania ogniem
Samurai Labs Sp. z o.o.	https://samurailabs.ai/	Firma	Samurai	Platforma analizująca i interpretująca dane behawioralne
Scanway S.A.	https://scanway.space/	Firma	Spacecraft Health Scanner	System autodiagnostyki
Sidly Sp. z o.o.	https://sidly.com	Firma	Sidly	Monitoring pacjentów
SmokeD Sp. z o.o.	https://www.smokedetectionsystem.com/	Firma	SMOKED	System wykrywania pożarów
Space Forest Sp. z o.o.	https://spaceforest.pl/	Firma	RASEL HUSSAR	System śledzenia i transmisji danych. Radar
Spyrosoft S.A.	https://spyro-soft.com/	Firma	VoicePRO	Rozwiązanie chatbot
Surveily Sp. z o.o.	https://surveily.com/	Firma	Sureveily	System AI do monitoring bezpieczeństwa pracy
Synerise Sp. z o.o.	https://www.synerise.com/	Firma	Synerise	Platforma analizująca i interpretująca dane behawioralne
VIGO Photonics S.A.	https://vigophotonics.com/	Firma	Detektory nGaAs, InAs and InAsSb IR	Układy elektroniczne

			Czujniki podczerwieni	
WB Electronics S.A.	https://www.wbgroup.pl/	Firma	WARMATE FlyEye, detekcja celów statycznych i krążących	Amunicja krążąca Dron, systemy detekcji
WZE S.A. Wojskowe Zakłady Elektroniczne	https://www.wze.com.pl	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Systemy łączności	Systemy łączności, systemy rozpoznawczo-zakłócające, system analizy sygnałów radiowych
XY-Sensing Sp. z o.o.	https://apsystems.tech	Firma	Passive Coherent Location Radar XY-PCL-K	Radar

8. TECHNOLOGIE KOSMICZNE I NAPĘDOWE

Technologie kosmiczne i napędowe są domeną dynamicznej geo-rywalizacji, strategicznego rozwoju przemysłu i odporności systemowej gospodarki i społeczeństwa. Domena ta obejmuje specjalne technologie ukierunkowane na przestrzeń kosmiczną, od poziomu komponentów po systemy końcowe w całym łańcuchu wartości, technologie obserwacji przestrzeni kosmicznej, obiektów kosmicznych oraz obserwacji Ziemi, kosmiczne pozycjonowanie, nawigację i synchronizację czasu (PNT), ale także – jeśli nie przede wszystkim – bezpieczną komunikację, co dotyczy obiektów wysokoorbitalnych (GEO) przeznaczonych dla transmisji telekomunikacyjnych, jak i obiektów łączności na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO). Domena ta obejmuje technologie napędowe, w tym napęd hipersoniczny oraz komponenty do celów wojskowych. Technologie kosmiczne i napędowe są zazwyczaj technologiami podwójnego zastosowania (tzw. *dual-use*). Spośród matrycy technologii obejmującej tę dziedzinę (stosowanie do Listy Komisji Europejskiej), warto dodać jeszcze inne obszary technologiczne, które stanowią elementy w przemysłowych łańcuchach wartości. Szczególnego podkreślenia wymagają technologie: cyfrowego i kosmicznego - podwójnego zastosowania. W szczególności takie rozwiązania jak *On-board Data Subsystems, Space System Software, Space System Electrical Power, Space System Control, Mission Operation i Ground Data Systems, Telepresence* oraz rozwiązania robotyki, optoelektroniki i szeroko rozumianej elektryki, elektroniki i elektromechaniki (EEE).

Wspomniane technologie kosmiczne i napędowe wspierają komunikację, nawigację, bezpieczeństwo, poszukiwania, ratownictwo oraz badania naukowe. Systemy łączności satelitarnej są używane strategicznie dla przeciwdziałania eskalacjom, wypadkom czy wyścigowi zbrojeń. W większości znajdują się w operatywnym posiadaniu prywatnych firm, a są krytyczne dla spraw publicznych dla celów zapewnienia łączności kryzysowej lub bezpieczeństwa, nawigacji, poszukiwań i akcji ratunkowych, zapobiegania katastrofom, wyniszczeniu środowiska, przewidywania pogody, gospodarki zasobami, w tym morza, produktywności, edukacji, ochrony zdrowia oraz badaniom zmian środowiska.

8.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

W Polsce notuje się ponad 300 firm zatrudniających około 12. tysięcy osób działających aktywnie w sektorze kosmicznym. Sektor ten dynamicznie się rozwija¹⁹⁷. Wiele z tych firm w całości lokuje swoją działalność w sektorze kosmicznym, a pozostałe uczestniczą w wybranych elementach łańcucha wartości wytwarzanych technologii lub usług.

Polskie firmy szczególnie koncertują się na dziedzinie robotyki i automatyki, mechatronice, systemach zasilania urządzeń pokładowych, systemach optycznych i komunikacyjnych satelitów, czujnikach naukowych i penetratorach gruntu dla sond kosmicznych oraz programowaniu testującym systemy i podsystemy obiektów wynoszonych na orbitę. Zaawansowane są też prace nad polskimi odzyskiwanymi rakietami suborbitalnymi o 100 km zasięgu orbitalnego.

Potencjał rozwojowy polskiego sektora kosmicznego i napędowego może charakteryzować się dużą dynamiką i wpływem na wzrost PKB nie tylko dzięki zadbania o skuteczne wdrożenie przyjętej w 2017 r. Polskiej Strategii Kosmicznej¹⁹⁸, ale także dzięki ambicjom kulturowym tkwiącym w historii naszego społeczeństwa i dokonaniach Polaków w zagranicznych i krajowych projektach kosmicznych. Polska bowiem

¹⁹⁷ Polski sektor kosmiczny. Katalog podmiotów 2022. POLSA

¹⁹⁸ [Polska Strategia Kosmiczna - Ministerstwo Rozwoju i Technologii - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](https://www.gov.pl/web/gov/polska-strategia-kosmiczna)

jest obecna w dziedzinie kosmosu od wielu lat.¹⁹⁹ Można odnotować choćby projektowanie urządzeń pokładowych satelitów i międzyplanetarnych sond kosmicznych przez Centrum Badań Kosmicznych PAN, ambitny udział Mirosława Hermaszewskiego w locie orbitalnym, udział amerykańskich astronautów pochodzenia polskiego w programie lotów wahadłowych²⁰⁰. Wiedza i kompetencje polskich naukowców i inżynierów zostały docenione poprzez uwzględnienie ich myśli technologicznej w urządzeniach wykorzystanych do wielu misji kosmicznych, co potwierdza zdolność polskiego środowiska w skutecznym uczestniczeniu także łańcuchach wartości przedsiębiorstw spoza Polski²⁰¹.

Nasz krajowy sektor kosmiczny ma też zdolność transformacji i zwinnej adaptacji do zmieniających się warunków geostrategicznych, gospodarczych i społecznych. W wymiarze przemysłowym sektor ten uformował się jeszcze za minionej epoki w Polskiej Rzeczypospolitej Ludowej, działającej w bloku państw RWPG oraz w programie Związku Radzieckiego Intercosmos, w ramach którego Polska wzięła udział w eksperymentalnej misji satelitarnej Koperik-500 (1973 r.) oraz zapewniła udział pierwszego polskiego kosmonauty w misji statku kosmicznego Sojuz 30. Z chwilą upadku bloku wschodniego i odzyskania niepodległości w 1989 r. polski sektor kosmiczny przeformował swoje dotychczasowe zaangażowanie i osiągnięcia na udział w misjach badawczych i kosmicznych krajów Europy Zachodniej i Sojuszu Atlantycznego, co uznano poprzez zawarcie umowy o współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną ESA (1994 r.), a co z kolei w konsekwencji stworzyło warunki do wystrojenia pierwszego rodzimego satelity CubeSata PW-Sat1. Ten pierwszy polski sztuczny satelita został zaprojektowany i wytworzony na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej we współpracy z Centrum Badań PAN i wyniesiony na orbitę w ramach misji Vega (zadaniem satelity było przetestowanie elastycznych ogniw fotowoltaicznych i sprawdzenie systemu deorbitacji). Aktywność w sektorze kosmicznym rozpoczęli też polscy prywatni przedsiębiorcy; odnotowania tu wymaga przedsięwzięcie CloudFerro Sp. z o.o. w ramach usług przetwarzania w chmurze obliczeniowej dla rynku kosmicznego danych z obserwacji Ziemi, np. dla platformy Copernicus DIAS, CreoTech Instruments S.A., udział w misjach ExoMars, ASIM, OP-SAT, czy zorganizowaną wspólnie z Centrum Badań Kosmicznych PAN i w konsorcjum ze Skanway SA. misję EagleEye, której satelita obserwacyjny doznał awarii na orbicie. Awaria ta posiada jednak szanse naprawy, dzięki między innymi bliźniakowi funkcjonalnemu tego satelity i ustaleniu przyczyn problemu²⁰².

Należy też odnotować wysiłki firmy ICEYE Sp. z o.o. dostarczającej konstelację radarowych mikrosatelitów obserwacyjnych niskiej orbity (SAR) oraz ambicje firmy Thorium wytworzenia nowoczesnych platform dla cyfrowych satelitów telekomunikacyjnych dla pasm Ku/Ka i E-band i komunikacji suborbitalnych rakiet badawczych, a także produkcji pierwszego polskiego satelity GEO, kompatybilnego z urządzeniami dotychczas obecnymi na lądzie, w przestrzeni powietrznej i poza nią, w przestrzeni kosmicznej podlegającej suwerennemu zarządzaniu.

Warto też wskazać na potencjał jaki płynie z sektora obronnego. Spośród projektów kosmicznych resort obrony wymienia następujące:

- **Projekt PIAST** – optoelektronika zdolności satelitarnych (konsorcjum Wojskowa Akademia Techniczna, Creotech Instruments S.A., Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Lotnictwa, PCO SA

¹⁹⁹ Ibidem: Polski Sektor Kosmiczny. Katalog Podmiotów, 2020, POLSA

²⁰⁰ Ibidem: Karol Bobko, Scott Parażyński, James Pawelczyk, Geroge Zamka oraz Christopfer Ferguson.

²⁰¹ Ibidem: misje Cssini-Huyeges, ars Express, Rosetta, Mars Curiosity Rover, Mars InSight, Venus Express, Herschel, Phobos-Grunt, BepiColombo, Solar Orbiter, czy najnowszych Proba-3, Euclid, Juice, Arcus, Gamov, IMAP czy Athena

²⁰² Zob: [Creotech: misja EagleEye nie jest stracona | Space24](#)

(Grupa PGZ S.A). Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk (CBL PAN) i spółka Scanway S.A.

- **Projekt MikroGlob** – budowa potencjału dla satelitów obserwacyjnych (Konsorcjum Creotech Instruments S.A., Airbus Defence and Space).
- **Satelity radarowe SAR** (Syntetic Aperture Radar) - projekt aparatury radarowej do monitorowania sytuacji niezależnie od warunków atmosferycznych i pory dnia (Creotech Instruments S.A. i Eycore), właściwe również do obserwacji terenów przygranicznych i wyniesienia na orbitę pierwszego takiego satelity w 2026 r.

8.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Otoczenie prawne i instytucjonalne dla technologii kosmicznych i napędowych w Polsce znalazło swój kamień węgielny w umowie o współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną ESA zawartej w 1994 r., co z jednej strony pozwoliło Polsce wejść do sieci współpracy i badań z ośrodkami Europy Zachodniej, a z drugiej wyznaczyć prawne podstawy dla regulacji sektora kosmicznego w Polsce. Wymiar prawny sektora kosmicznego definiuje nie tylko krajowy porządek ustaw i rozporządzeń, ale umowy międzynarodowe i konwencje, których Polska jest stroną.

Otoczenie prawne definiują:

- **Porozumienie o współpracy w dziedzinie badania i użytkowania przestrzeni kosmicznej do celów pokojowych zawarte między Polską a Europejską Agencją Kosmiczną (EAK)** z dnia 24 stycznia 2002 r., rozszerzające wspomnianą umowę o współpracy z 1994 r. – jest to formalna umowa międzynarodowa na mocy której strony, w szczególności zobowiązują się do umacniania i rozszerzania współpracy dla obopólnej korzyści w dziedzinie badań i użytkowania przestrzeni kosmicznej do celów pokojowych, co obejmuje m.in. badania kosmosu w obszarze astronomii i astrofizyki, z użyciem urządzeń kosmicznych, badania układu słonecznego i fizyki związków Słońce-Ziemia, badania związane z obserwacjami Ziemi, w tym obserwacja zjawisk dotyczących środowiska, meteorologii, aeronomii, geodezji i monitorowania poważnych zagrożeń, telekomunikację, w tym obejmującą doświadczalne i będące w fazie przedoperacyjnej satelitarne systemy telekomunikacyjne oraz nawigację satelitarną, badania w warunkach mikrogravitacji, obejmujące także biologię i medycynę kosmiczną oraz wytwarzanie materiałów, naziemne i satelitarne urządzenia techniczne oraz ich wykorzystywanie. Na mocy porozumienia Polska zobowiązała się wyznaczyć właściwy organ do koordynacji działań wykonawczych i podejmowania aktywności wspomagającej dalszy rozwój. Organem tym stała się Polska Agencja Kosmiczna.
- **Ustawa o Polskiej Agencji Kosmicznej z dnia 26 września 2014 r.** ustanawiająca rolę agencji w polskim porządku administracyjnym i koordynacji międzynarodowej spraw związanych z kosmosem, w tym przemysłu kosmicznego, badań, użytkowania przestrzeni kosmicznej, rozwoju techniki kosmicznej, w tym inżynierii satelitarnej, wykorzystania badań i ich wyników do celów użytkowych, gospodarczych, obronnych, bezpieczeństwa państwa i naukowych.
- **Traktat o przestrzeni kosmicznej (Outer Space Treaty) z 1967 r.** – będący zawartym w ramach ONZ Układem o zasadach działalności państw w zakresie badań i użytkowania przestrzeni kosmicznej, łącznie z Księżycem i innymi ciałami niebieskimi, sporządzony dnia 27 stycznia 1967 r. – Układ podkreśla zobowiązanie państw do nieumieszczania broni nuklearnej ani innej broni

masowego rażenia na orbicie około ziemskiej, na Księżycu ani gdziekolwiek indziej w przestrzeni kosmicznej. Postanowienia traktatu podkreślają, że zarówno Księżyc jak i inne ciała niebieskie mogą być wykorzystywane wyłącznie do celów pokojowych i jakiejkolwiek próby broni, manewry wojskowe, instalacje wojskowe lub fortyfikacje są zabronione. W traktacie potwierdzono zasadę niezawłaszczalności kosmosu oraz zasadę, że eksploracja i wykorzystanie przestrzeni kosmicznej powinny służyć dobru wszystkich państw. Jednak traktat w sensie normatywnym nie wyznaczył dokładnej granicy między przestrzeniami powietrzną a kosmiczną. Traktat jest podstawowym aktem prawa międzynarodowego dotyczącego Kosmosu.

W tym miejscu trzeba jednak zwrócić uwagę na istotną okoliczność, że mimo, że traktat podkreśla zasadę *the common heritage of mankind*, a wszelka działalność w Kosmosie winna być nieograniczona i wolna jest dla wszystkich państw, w tym wolna dla eksploatacji użytkowania przez wszystkie państwa bez dyskryminacji²⁰³, to jednak rząd USA stoi na stanowisku, że ustanowiony traktatem zakaz zawłaszczania przestrzeni kosmicznej (ustanawiania zakaz prawa własności na ciałach niebieskich), nie dotyczy prywatnych przedsiębiorców dopóki takich restrykcji wyraźnie nie przewiduje prawo krajowe lub międzynarodowe. Stanowisko to wspiera podbój Kosmosu przez amerykańskich przedsiębiorców, stwarzając im możliwość uwłaszczania dowolnego ciała niebieskiego oraz sprzeciwia się uznaniu domniemania, że zasada niezawłaszczalności ciał niebieskich przez podmioty prywatne wynika także z międzynarodowego prawa zwyczajowego²⁰⁴. Kwestię tę miałby rozwiązywać Układ o Księżycu z 1979 r., który wszedł w życie w 11 lipca 1984 r., jednak nie został ratyfikowany przez USA i inne mocarstwa kosmiczne – stąd w praktyce nie osiągnął stawianych przed sobą celów.

W USA obowiązuje natomiast prawo krajowe *Commercial Space Launch Competitiveness* z 2015 r. (CSLCA), które daje podstawy prawne jurysdykcji USA do ustanawiania prawa własności przez podmioty prywatne na ciałach niebieskich²⁰⁵. Wyłom ten stwarza szczelinę w międzynarodowym porządku prawnym dotyczącym Kosmosu dla strategicznej gry dotyczącej zawłaszczania zasobów naturalnych kosmosu i zapowiada wojnę o surowce w przestrzeni kosmicznej w perspektywie wyczerpania się paliw kopalnych na Ziemi, podważając zasadę, że zasoby naturalne kosmosu stanowią wspólne dziedzictwo ludzkości, podobnie jak zasoby naturalne dna mórz i oceanów²⁰⁶. Ten sam rodzaj sporu dotyczy dyskusji nad definicją broni masowego rażenia, z której niektóre z mocarstw pragną wyłączyć broń laserową czy broń przeciwsatelitarną²⁰⁷.

²⁰³ Zob. Małgorzata Polkowska, *Prawo kosmiczne w obliczu nowych problemów współczesności*, Liber Warszawa 2011, s. 55, gdzie autorka wskazuje, że wspomnianą zasadę wolności potwierdzają liczne orzeczenia sądów międzynarodowych.

²⁰⁴ Zob. Zdzisław Brodecki, w „Świątynia w Kosmicznej Wiosce. Bezpieczeństwo przyszłych pokoleń w erze sztucznej inteligencji”, Instytut Wydawniczy EuroPrawo, 2021, str. 76-77

²⁰⁵ Ibidem

²⁰⁶ Ibidem. str. 77-78

²⁰⁷ Zob. Małgorzata Polkowska, *Prawo bezpieczeństwa w Kosmosie*, Instytut Wydawniczy EuroPrawo, Warszawa, 2018r., szczególnie rozważania w zakresie militaryzacji Kosmosu oraz użycia technologii podwójnego zastosowania dla wykonania prawa do samoobrony w Kosmosie.

- **Konstytucja i Konwencja Międzynarodowego Związku Telekomunikacyjnego z 1865 r. (najstarsza wyspecjalizowana jednostka ONZ)**²⁰⁸ zajmująca się uzgadnianiem standaryzacji oraz regulowania rynku telekomunikacyjnego oraz radiotelekomunikacyjnego, w tym zasadami podziału częstotliwości satelitarnych i przydziału pozycji satelitarnych pomiędzy państwami, które następnie na podstawie krajowych porządków prawnych udzielają zezwoleń na korzystanie z danej pozycji satelitarnej w zakresie oznaczonej częstotliwości określając warunki takiego korzystania. W ramach Konstytucji i Konwencji obowiązują dodatkowe dokumenty wykonawcze, takie jak:
 - **Międzynarodowy Regulamin Telekomunikacyjny** – określa zasady dotyczące międzynarodowych usług telekomunikacyjnych;
 - **Regulamin Radiokomunikacyjny** - reguluje wykorzystanie częstotliwości radiowych i zarządzania widmem radiowym.

- **Ustawa o Prawie telekomunikacyjnym** – krajowy akt prawny, w którego zakresie leży w szczególności gospodarowanie częstotliwościami, prawa i obowiązki użytkowników urządzeń radiowych oraz tryb i zasady wydawania decyzji o rezerwacji korzystania częstotliwości satelitarnych, a także zadania i obowiązki na rzecz obronności, bezpieczeństwa państwa oraz bezpieczeństwa i porządku publicznego, w zakresie telekomunikacji.

- **Program GovSatCom (Governmental Satellite Communications)**²⁰⁹ – inicjatywa UE, prowadzona przez Europejską Agencję Kosmiczną, której celem jest stworzenie niezależnego, autonomicznego i bezpiecznego systemu łączności satelitarnej dla rządów państw członkowskich Unii Europejskiej. Dotyczy działalności w sektorze publicznym. Inicjatywa dotyczy wsparcia:
 - **zarządzania kryzysowego**, które może obejmować cywilne i wojskowe wspólne misje i operacje w zakresie bezpieczeństwa i obrony, klęski żywiołowe i katastrofy spowodowane przez człowieka, kryzysy humanitarne i sytuacje nadzwyczajne na morzu;
 - **nadzór**, taki jak nadzór graniczny i morski lub nadzór nad nielegalnym handlem;
 - **infrastrukturę kluczową**, np. łączność instytucjonalną, różne rodzaje infrastruktury krytycznej, w tym transport, a także infrastrukturę kosmiczną UE, taką jak Galileo i EGNOS.

Program przyczyni się do reakcji UE na konkretne zagrożenia i zapewni wsparcie dla strategii morskiej²¹⁰ UE i polityki arktycznej²¹¹ UE.

- **Program Iris(2) – inicjatywa UE budowy wieloorbitalnej konstelacji satelitów** na rzecz budowy infrastruktury zapewniającej odporność, wzajemnej łączności i bezpieczeństwa satelitarnego (*Resilience, Interconnectivity and Security by Satellite*), w wymiarze komunikacyjnym dla użytkowników rządowych i przedsiębiorstw, przy jednoczesnym zapewnieniu szybkiego szerokopasmowego Internetu, aby poradzić sobie z martwymi strefami łączności. Z zasady ma być to wieloorbitalna konstelacja, która ma połączyć korzyści oferowane przez satelity na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO), geostacjonarnej (GEO) i średniej orbicie okołoziemskiej (MEO). Ma

²⁰⁸ Organizacja powstała z Międzynarodowej Unii Telegraficznej. [ITU: Committed to connecting the world](#)

²⁰⁹ [GOVSATCOM | EU Agency for the Space Programme \(europa.eu\)](#)

²¹⁰ [Maritime security strategy - European Commission \(europa.eu\)](#)

²¹¹ [The EU in the Arctic | EEAS \(europa.eu\)](#)

ona zapewnić bezpieczne usługi komunikacyjne dla UE i jej państw członkowskich, a także łączność szerokopasmową dla obywateli europejskich, firm prywatnych i organów rządowych, w tym z wykorzystaniem usług *dual use*²¹².

- **Program DIANA NATO²¹³ (Defence Innovation Accelerator North Atlantic)** – program NATO, aby wykorzystać możliwości oferowane przez nowe i przełomowe technologie, zwiększając przewagę konkurencyjną NATO w zakresie obrony zbiorowej i bezpieczeństwa w celu opracowania nowych zdolności Sojuszu do reagowania na zagrożenia konwencjonalne – i na zagrożenia stwarzane przez te technologie. Konkretnie obszary technologiczne zainteresowania DIANY obejmują sztuczną inteligencję (AI), autonomię, technologie kwantowe, biotechnologie i udoskonalanie człowieka, systemy hipersoniczne, przestrzeń kosmiczną, nowe materiały i produkcję, energię i napęd oraz sieci komunikacyjne nowej generacji, w tym łączność satelitarna, również między orbitalna.

W przedstawionym pejzażu otoczenia prawnego, następujące instytucje publiczne pełnią aktywną rolę w kształtowaniu warunków dla działalności w sektorze kosmicznym i napędowym:

- **Polska Agencja Kosmiczna** – wyspecjalizowana agencja rządowa, utworzona na podstawie przepisów o finansach publicznych, której zadaniem jest wspieranie przemysłu kosmicznego, badań, użytkowania przestrzeni kosmicznej, rozwoju techniki kosmicznej, w tym inżynierii satelitarnej, a także wykorzystania badań i ich wyników do celów użytkowych, gospodarczych, obronnych, bezpieczeństwa państwa i naukowych. Główną funkcją agencji jest koordynowanie działań krajowych z działaniami podejmowanymi przez ESA oraz innymi działaniami międzynarodowymi.
- **Europejska Agencja Kosmiczna** – wyspecjalizowana organizacja międzynarodowa zrzeszająca 22 państwa europejskie, której celem jest eksploracja i wykorzystanie przestrzeni kosmicznej, utworzona na mocy konwencji paryskiej z 20 maja 1975 r. ESA prowadzi różnorodne programy badawcze i technologiczne, w tym misje kosmiczne, rozwój satelitów, oraz badania naukowe dotyczące Ziemi i przestrzeni kosmicznej.
- **ITU - International Telecommunication Union** (Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny) - wyspecjalizowana agencja ONZ zajmująca się zarządzaniem widmem radiowym, standaryzacją usług telekomunikacyjnych, zasadami przydziału częstotliwości i pozycji satelitarnych.
- **ARP – Agencja Rozwoju Przemysłu** – agencja rządowa z grupy PFR (Polskiego Funduszu Rozwoju), prowadząca program wsparcia sektora technologii kosmicznych w wymiarze trzech głównych inicjatyw:
 - inkubatora technologii kosmicznych ESA BIC Poland dedykowany dla startupów,
 - programu stażowego Polish Space Fellowship dedykowanego dla młodych osób, które chcą rozpocząć pracę w sektorze kosmicznym,
 - programu szkoleń szeroko obejmujących tematykę przedsiębiorczości i technologii kosmicznych - ARP Space Academy²¹⁴.

²¹² [IRIS² | Secure Connectivity - European Commission \(europa.eu\)](#)

²¹³ [NATO - Topic: Defence Innovation Accelerator for the North Atlantic \(DIANA\)](#)

²¹⁴ [Program wsparcia sektora technologii kosmicznych | Grupa PFR](#)

- **Polska Grupa Zbrojeniowa S.A.** – spółka skarbu państwa zaangażowana w przemysłowe zastosowania technologii kosmicznych wraz ze spółkami z grupy PGZ S.A. (WZL Nr1 czy PIT Radwar).

8.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Na poziomie rządowym warto zauważyć są następujące dokumenty, które mają wymiar strategiczny i operacyjny:

- **Polska Strategia Kosmiczna** – dokument przyjęty Uchwałą Rady Ministrów w 2017 r. zakładający budowę narodowego systemu satelitarnej obserwacji Ziemi, systemu świadomości sytuacyjnej w przestrzeni kosmicznej oraz rozwój technologii raketowych do 2023 r. Jednocześnie ma na celu wzrost konkurencyjności polskiego sektora kosmicznego, rozwój aplikacji satelitarnych oraz rozbudowę w obszarze bezpieczeństwa i obronności państwa²¹⁵. Strategia ta czeka na uzupełnienie jej o strategię operacjonalizacji i na wdrożenie inicjatywy ustawodawczej²¹⁶.
- Projekt **ustawy o działalności kosmicznej** – dokument, opracowany przez Ministra Rozwoju i Technologii, znajdujący się aktualnie na liście prac legislacyjnych rządu (od kwietnia 2024 r.). Projekt obejmuje kompleksową regulację zasad wykonywania działalności kosmicznej oraz nadzoru nad tą działalnością²¹⁷, w szczególności projektowana ustawa ma regulować: (1) zasady wykonywania działalności kosmicznej, (2) warunki i tryb wydawania zezwolenia na prowadzenie działalności kosmicznej, (3) zasady i tryb sprawowania nadzoru nad wykonywaniem działalności kosmicznej, (4) zasady odpowiedzialności za szkody wyrządzone w związku z wykonywaną działalnością kosmiczną, (5) zasady prowadzenia Krajowego Rejestru Obiektów Kosmicznych (KROK), (6) odpowiedzialność z tytułu niezgodnego z prawem działania podmiotów wykonujących działalność kosmiczną na terytorium RP, w postaci administracyjnych kar pieniężnych. Przewiduje się także rozwiązania prawne w zakresie ułatwiania korzystania z danych satelitarnych przez administrację publiczną. Regulacja będzie dotyczyć działalności wykonywanej na terytorium RP, na pokładzie zarejestrowanego w RP: statku morskiego albo statku powietrznego, a także z terytorium obcego państwa lub przestrzeni niepodlegającej suwerenności państwa przez osoby

²¹⁵ [Polska Strategia Kosmiczna - Ministerstwo Rozwoju i Technologii - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](#) MP z 17 lutego 2017 r., poz. 203

²¹⁶ Raport NIK Długa droga w Kosmos: [Długa droga w kosmos - Najwyższa Izba Kontroli \(nik.gov.pl\)](#).

Główne zarzuty NIK: „Minister [Minister Rozwoju i Technologii – przyp. autorów] nie doprowadził do opracowania i przyjęcia **Krajowego Programu Kosmicznego (KPK)** oraz kluczowych dla sektora kosmicznego aktów prawnych. Od ponad czterech lat nie wdrożył też narzędzi pozwalających na wsparcie podmiotów sektora kosmicznego. Jego działania w niewielkim stopniu przyczyniały się do wzrostu innowacyjności przedsiębiorstw i instytucji wykorzystujących techniki satelitarne. Również Minister Spraw Wewnętrznych i Administracji nie przyczynił się **do zwiększenia dostępności usług satelitarnych, a przez to do poprawy obronności i bezpieczeństwa wewnętrznego.**”

²¹⁷ [Projekt ustawy o działalności kosmicznej - Kancelaria Prezesa Rady Ministrów - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](#)

fizyczne mające obywatelstwo polskie lub osoby prawne lub jednostki organizacyjne nie posiadające osobowości prawnej, mające siedzibę na terytorium RP.

- **Program PERUN** - Polski Program NCBiR PERUN, koncentruje się na badaniach naukowych i pracach rozwojowych w obszarze obronności i bezpieczeństwa państwa, w tym technologii kosmicznych i satelitarnych. Program obejmuje konkursy na projekty badawcze i rozwojowe, które mogą być realizowane przez konsorcja naukowo-przemysłowe, instytuty badawcze oraz przedsiębiorstwa. Projekty te mogą obejmować m.in. technologie obronne, sztuczną inteligencję, technologie kwantowe, kosmiczne oraz medyczne zabezpieczenie pola walk²¹⁸.

8.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Polski ekosystem wyspecjalizowanych agencji lub stowarzyszeń technologii kosmicznych i napędowych tworzą:

- Polska Agencja Kosmiczna (jak wyżej)
- Klaster Technologii Kosmicznych
- Bałtycki Klaster Kosmiczny²¹⁹ nastawiony na zespolenie technologii morskich i kosmicznych
- Podkarpacki Centrum Innowacji
- Polski Klaster Kosmiczny
- Polskie Towarzystwo Astronomiczne (PTA)
- Stowarzyszenie Polskich Profesjonalistów Sektora Kosmicznego (SPPSK)
- Związek Pracodawców Przemysłu Kosmicznego
- Lubuskie Centrum Kosmiczne (Park Technologii Kosmicznych)

8.5. Informacje o ośrodkach badawczych

Mapę ośrodków badawczych technologii kosmicznych i napędowych tworzą głównie:

- Centrum Badań Kosmicznych PAN (CPK PAN)
- Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika (CAMK) w Toruniu - Instytut Polskiej Akademii Nauk, który prowadzi badania w dziedzinie astrofizyki i astronomii
- Instytut Lotnictwa – Sieci Badawczej Łukasiewicz
- Ośrodki prywatnych przedsiębiorców w zakresie badań i rozwoju zastosowań przemysłowych

8.6. Bariery rozwoju

Można wskazać na następujące bariery rozwoju technologii kosmicznych i napędowych, ujawnione w pracach i w trakcie konferencji organizowanych przez Polską Agencję Kosmiczną:

- brak strategii operacjonalizacji Polskiej Strategii Kosmicznej – Polskiego Programu Kosmicznego,

²¹⁸ [Czas na realizację projektów w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa – ruszył Program NCBR pk. PERUN - Narodowe Centrum Badań i Rozwoju - Portal Gov.pl \(www.gov.pl\)](#)

²¹⁹ [Bałtycki Klaster Morski i Kosmiczny – cała naprzód. Kurs na projekty i innowacje – BSSC.PL](#)

- brak ustawy o działalności w sektorze kosmicznym - sposobem na pokonanie tej bariery jest interwencja ustawodawcza projektu ustawy o działalności kosmicznej,
- polskie zasoby pozycji geostacjonarnej nie pozwalają jednak na zapewnienie autonomicznej komunikacji satelitarnej, stąd polskie przedsiębiorstwa i służby państwowe korzystają z usług dostawców spoza Polski. Wymaga to oceny ryzyka, który z dostawców zapewnia w stopniu najwyższym autonomię i suwerenne zarządzania komunikacją satelitarną, w tym transferem zdanych,
- niski poziom inwestycji ze strony państwa w tę gałąź gospodarki, co przekłada się bezpośrednio na wolno rosnące zainteresowanie podmiotów prywatnych zarówno w segmencie upstream (dostarczanie technologii), jak i downstream (wykorzystywanie technologii). Brak kapitału i brak dedykowanych krajowych źródeł finansowania działalności kosmicznej stanowią poważną przeszkodę w rozwoju branży,
- Polska Strategia Kosmiczna wskazuje również na brak wystarczających krajowych narzędzi wspierania współpracy pomiędzy firmami a jednostkami naukowymi,
- utrudnieniem w zakresie komercyjnego wykorzystania technik satelitarnych jest ograniczony popyt na tego typu usługi ze strony administracji publicznej. Doświadczenie wskazuje, że nie jest ona świadoma użyteczności danych satelitarnych oraz odpowiednio przeszkolona w zakresie ich wykorzystania do realizacji zadań publicznych,
- brak zdolności państwa dla długotrwałego budowania ekosystemu wsparcia przedsiębiorstw z wieloletnim doświadczeniem w zakresie wynoszenia obiektów w przestrzeń kosmiczną (ang. flight heritage), zarządzania satelitami oraz budowania technologii napędowych,
- brak wystarczającego doświadczenia w realizowaniu projektów stricte kosmicznych,
- nieefektywny sposób zarządzania i brak wyspecjalizowanej kadry,
- brak dostępu do odpowiedniej infrastruktury laboratoryjno-testowej,
- niewystarczająca dyplomacja technologii kosmicznych w warunkach narastającej rywalizacji inwestycji w obszarze Kosmosu i ciał niebieskich,
- niewystraszająca zdolność budowania zespołów integracji technologii kosmicznych z innymi technologiami przełomowymi, jak IoT, AI, cyfrowy bliźniak, telekomunikacja kwantowa, awionika lub pół walki.

8.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

W sierpniu 2020 r. 331 podmiotów z Polski było aktywnych w sektorze technologii kosmicznych i napędowych. W strukturze podmiotowej sektora dominują przedsiębiorstwa sektora MŚP. Znaczącą grupę stanowią też jednostki naukowo-badawcze. Polski sektor kosmiczny jest wyraźnie zróżnicowany pomiędzy obszar naukowy oraz część przemysłową.

Polskie instytucje tworzące system szkolnictwa wyższego i nauki (w sumie kilkadziesiąt ośrodków) mają wieloletnie doświadczenie w działalności kosmicznej i znaczące osiągnięcia w tym obszarze, zwłaszcza w budowie instrumentów badawczych dla misji naukowych i edukacyjnych oraz elementów do satelitów, a także w przetwarzaniu uzyskiwanych z kosmosu danych. Sektor naukowy prowadzi aktywną współpracę międzynarodową z czołowymi ośrodkami w Europie i na świecie. Na szczególną uwagę zasługuje dorobek i osiągnięcia Centrum Badań Kosmicznych PAN, które od ponad 40 lat prowadzi działalność kosmiczną, zarówno w zakresie badań naukowych, jak i rozwoju technologii, uczestnicząc przy tym w wielu ważnych misjach ESA. Inaczej wygląda przemysłowa część polskiego sektora kosmicznego. To młoda branża, wśród której dominują zdecydowanie małe i średnie przedsiębiorstwa.

Jako obszary specjalizacji, w jakich rozwijają się polskie podmioty, wymienić można takie dziedziny jak m.in. oprogramowanie kosmiczne i naziemne, mechanika precyzyjna, rozwiązania robotyczne, optyka, optoelektronika, awionika, systemy orientacji na orbicie i korekcji orbity, systemy zasilania, struktury, technologie materiałowe i kompozyty oraz technologie materiałów pędnych. Duży potencjał istnieje także w systemach obserwacji przestrzeni kosmicznej, zarówno optycznych, jak i radarowych. Ponadto polskie firmy oferują dużą liczbę usług opartych na wykorzystaniu technik satelitarnych. W ciągu ostatnich kilku lat powstało wiele innowacyjnych zastosowań w obszarze obrazowania satelitarnego, nawigacji satelitarnej oraz łączności satelitarnej.

Z uwagi na łatwy, nieograniczony i w wielu przypadkach nieodpłatny dostęp do europejskich zasobów i danych satelitarnych pochodzących z flagowych programów Unii Europejskiej, jak Copernicus, Galileo oraz GovSatCom, obecnie w Polsce bardzo dynamicznie rozwija się rynek aplikacji opartych na zobrazowaniach, nawigacji i łączności satelitarnej. Jest to także spowodowane bardzo dużym zapotrzebowaniem ze strony końcowych użytkowników na produkty, które można zastosować w wielu dziedzinach życia gospodarczego i społecznego, m.in. we wszystkich rodzajach transportu, gospodarce przestrzennej, monitorowaniu i zarządzaniu środowiskiem, energetyce, rolnictwie, rybołówstwie, ubezpieczeniach i bankowości, obronności, bezpieczeństwie i zarządzaniu kryzysowym.

Należy też zauważyć regionalne wysiłki regionu Podkarpacia i Lubuskiego, aby wspierać rozwój przemysłu kosmicznego z tych regionów, poprzez regionalne programy operacyjne i partnerstwo publiczno-prywatne.²²⁰

8.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze technologii kosmicznych i napędowych wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Astonika Sp.z o.o.	https://astronika.pl/	Firma	Mechanizmy precyzyjne	Elementy mechaniczne, optomechaniczne i manipulatory
Creotech Instruments S.A.	https://creotech.pl/	Firma	CreoSky 6000 HyperSat	Wyposażenie satelit
ICEYE Polska Sp. z o.o.	https://www.iceye.com/	Firma	Synthetic Aperture Radar	Satelita SAR
Jakusz SpaceTech Sp. z o.o.	https://jakusz-spacetechnology.com/	Firma	Nadtlenek wodoru Ciecze jonowe DMAZ (paliwo rakietowe)	Zaawansowana chemia, paliwa rakietowe i "zielone"
KPLabs Sp. z o.o.	https://kplabs.space/	Firma	Antelope Leopard	Zestawy Data Processing Unit (DPU) także dla

²²⁰ [Klaster Technologii Kosmicznych](#) oraz [Park technologii kosmicznych - Portal Województwa Lubuskiego](#)

				przemysłu kosmicznego
Progresja Space Sp. z o.o.	https://progresjaspace.com/	Firma	Komory spalania wysokotemperaturowego	Projekt badawczy na poziomie TRL6
SATIM Monitoring Satelitarny Sp. z o.o.	https://satim.co/	Firma	OREC	Automatyczne rozpoznawanie celów oparte na sztucznej inteligencji
Scanway S.A.	https://scanway.space/	Firma	Spacecraft Health Scanner	System autodiagnostyki
Thorium Space Sp. z o.o.	https://thorium.space/	Zespół	Aurora Satellite Terminal Thorium Space Chipsets / Small Geo HTS Satellite	Układy elektroniczne/ Mały cyfrowy satelita nowej generacji dla pasma Ka

9. TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE

Technologie energetyczne to możliwości, metody i techniki wykorzystywane do generowania, przetwarzania, przechowywania i dystrybucji energii. Obejmują one szeroki zakres metod, od tradycyjnych paliw kopalnych po nowoczesne źródła odnawialne, takie jak energia słoneczna i wiatrowa.

Technologie te mają na celu zapewnienie niezawodnych i zrównoważonych rozwiązań energetycznych dla różnych potrzeb, napędzając postęp i rozwiązując problemy środowiskowe, przyczyniając się do transformacji energetycznej.

Istotnym elementem rozwoju technologii energetycznych – ponieważ wymagają długoterminowych, istotnych inwestycji, a odbiorcami energii, czyli płatnikami są dosłownie wszyscy – jest długoterminowa stabilność instytucjonalna. Pod tym względem stopień niepewności jest w Polsce istotny. Tylko przez ostatnie 10 lat na firmy z sektora energetycznego oraz wpływ na politykę energetyczną miały ministerstwa: Skarbu Państwa, Energii, Aktywów Państwowych, a także Przemysłu. Powoduje to brak długoterminowej stabilizacji państwowych firm energetycznych, które w Polsce dyktują warunki rynkowe, a tym samym następuje destabilizacja rozwoju całego sektora. Przykładem dewastującego efektu takiej sytuacji jest historia budowy elektrowni atomowej: same przygotowania przed wbiciem pierwszej łopaty, od 2012 r., trwają już dłużej niż powinna trwać cała jej budowa, którą obecnie rząd oczekuje ukończyć w 2034 r. Zatem, jeżeli nie będzie kolejnych opóźnień, będzie to i tak drastycznie długi czas – 22 lata.

9.1. Charakterystyka potencjału i *know-how* Polski

Ze względu na rozwijającą się działalność związaną z wprowadzaniem strategii transformacji energetycznej, Polska coraz bardziej koncentruje się na najnowocześniejszych technologiach wytwarzania energii, dążąc do modernizacji sektora energetycznego, ograniczenia emisji i przejścia na bardziej zrównoważone źródła energii. Jest to proces wielotorowy, w ramach którego następuje rozwój potencjału i wiedzy specjalistycznej w wielu obszarach, a także powstawanie nowych obszarów.

Niestety, w branży energetycznej stopień innowacyjności w Polsce jest bardzo niski. Związane jest to z faktem, że branża energetyczna jest zdominowana przez państwowe lokalne monopole (spółki energetyczne takie jak PGE, Tauron, Enea) i monopol energetyczny, Orlen. Taka struktura rynkowa i właścicielska drastycznie i negatywnie wpływa na innowacyjność. Według danych Europejskiego Urzędu Patentowego, w 2023 r. Polska znajdowała się na 25 miejscu zgłoszeń patentowych. W tym czasie ilość zgłoszeń patentowych w energetyce europejskiej wzrastała.²²¹

Konieczność utrzymania kontroli państwa nad polskim sektorem energetycznym wynika z położenia geopolitycznego Polski. Oddanie kontroli w prywatne ręce znacząco zwiększyłoby ryzyko, że polski sektor energetyczny trafiłby pod kontrolę krajów nieprzyjanych Polsce. Skutkiem tego jest opisana powyżej monopolizacja i kontrola przez państwo tego sektora, mająca ekonomicznie negatywny wpływ na innowacyjność. Tym niemniej, np. wzorem Norwegii, władze polskie powinny znaleźć formułę, aby z jednej strony zachować strategiczną kontrolę nad tym sektorem, a z drugiej zwiększyć konkurencyjność w branży energetycznej. Skutkiem tego będzie nie tylko zwiększona innowacyjność, ale także niższe ceny energii.

²²¹ <https://www.epo.org/en/news-events/news/innovation-digital-and-clean-energy-technologies-boosts-demand-patents-europe-2023>

Dodatkowo, infrastruktura sieci energetycznych w Polsce jest przestarzała.²²² Powoduje to coraz więcej odmów na przyłączenia do sieci źródeł OZE.²²³ Taka sytuacja negatywnie wpływa na rozwój całej branży OZE, w tym na jej stronę innowacyjną.

Tym niemniej Polska, obiektywnie, ma istotny potencjał w rozwoju OZE, w dłuższym terminie także może sprzyjać procesom innowacyjności. Odnawialne i niskoemisyjne źródła energii to:

- **ENERGIA WIATROWA**

Polska ma znaczący potencjał w energetyce wiatrowej zarówno w zakresie lądowych jak i morskich farm wiatrowych. Szczególnie atrakcyjnym obszarem, wymagającym transferu know-how, jak i rozwoju nowych technologii i metod operacyjnych (przede wszystkim związanych z obniżaniem nakładów kapitałowych jak i kosztów operacyjnych) są morskie farmy wiatrowe. Polskie firmy, takie jak PGE, Orlen i Polenergia, we współpracy z liderami światowego rynku, takimi jak Equinor, Oersted, intensywnie inwestują w morskie projekty wiatrowe na Morzu Bałtyckim. Jednak na tym etapie, firmy Polskie są odbiorcami technologii a nie dostawcą technologii. Według aktualnej oceny, potencjał ten wynosi 33 GW, czyli pomiędzy 15 a 20 typowych bloków elektrowni atomowych. Należy jednak dodać, że wykorzystanie mocy w elektrowniach atomowych wynosi 90% - 95%, natomiast w farmach wiatrowych 40% - 50%.

- **INSTALACJE
FOTOWOLTAICZNE**

Nastąpił szybki wzrost liczby instalacji fotowoltaicznych (PV). Według danych Agencji Rynku Energii (ARE), zainstalowana moc w energetyce słonecznej wyniosła 17.057,1 MW na koniec 2023r., podczas gdy rok wcześniej wynosiła 12.181,0 MW, czyli wzrost rok do roku o ponad 28,5%. Świadczy to o atrakcyjnych warunkach rozwoju tej branży w Polsce. Rząd oferuje różne zachęty dla energii słonecznej, co czyni ją atrakcyjną opcją zarówno dla zastosowań mieszkaniowych, jak i komercyjnych. Obecnie, firmy Polskie są odbiorcami technologii, a nie jej dostawcą.

- **BIOMASA I BIOENERGIA**

Biomasa i bioenergia są coraz ważniejszymi elementami pejzażu energetycznego Polski, szczególnie w kontekście celów klimatycznych Unii Europejskiej (UE) i bezpieczeństwa energetycznego. Ze względu na swój rolniczy potencjał, Polska ma silny przemysł biomasy, wykorzystujący pozostałości rolne i leśne do produkcji energii. Jednak w skali całości produkcji energii elektrycznej w Polsce, biomasa i współspalanie biomasy mają niski udział: 6,3 TWh w 2022 r. (czyli 21%) - 3,4% całej produkcji prądu.

²²² <https://www.gazetaprawna.pl/wiadomosci/kraj/artykuly/9466355,nik-polskie-linie-elektroenergetyczne-przestarzale-i-nieefektywne-tr.html>

²²³ <https://www.bankier.pl/wiadomosc/Coraz-wiecej-odmow-przylaczenia-do-sieci-dla-zrodel-OZE-Problemy-ma-nie-tylko-Polska-8796920.html>

Zatem istnieje istotny potencjał rozwojowy. Od strony technologicznej, polskie firmy są głównie wykonawcami i integratorami technologii rozwiniętych poza Polską.

- **ENERGIA GEOTERMALNA**

Istnieje zainteresowanie energią geotermalną, szczególnie na obszarach z istniejącymi zasobami geotermalnymi. To odnawialne źródło energii może przyczynić się zarówno do ogrzewania, jak i wytwarzania energii elektrycznej. Jak dotychczas znaczenie geotermii ma charakter lokalny, nieznaczny dla bilansu energetycznego kraju.

- **TECHNOLOGIA
PRZETWARZANIA
ODPADÓW W ENERGIĘ**

W ramach strategii zarządzania odpadami w Polsce powstają inwestycje w zakłady przetwarzania odpadów na energię. Przekształcają odpady komunalne w energię, ograniczając wykorzystanie składowisk odpadów, zapewniając jednocześnie odnawialne źródło energii. W Polsce działa obecnie 8 spalarni odzyskujących energię i ciepło. Znajdują się one w Białymstoku, Bydgoszczy, Koninie, Krakowie, Poznaniu, Szczecinie, Rzeszowie i w Warszawie²²⁴. Ilość planowanych spalarni stale wzrasta: ta branża rozwija się bez rozgłosu, ale konsekwentnie, planowane są dziesiątki nowych spalarni.²²⁵

- **ENERGIA ATOMOWA**

Polska planuje rozwój energetyki atomowej w ramach strategii dywersyfikacji źródeł energii. Pierwsze elektrownie atomowe mają zostać uruchomione w nadchodzących latach. Obecnie przyjęta data uruchomienia pierwszego bloku jądrowego to 2035 r. w Choczewie.²²⁶ Głównym celem jest zmniejszenie zależności od węgla w dążeniu do spełnienia celów klimatycznych oraz zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego.

- **WODÓR - NOŚNIK
CZYSZTEJ ENERGII**

Szersze wykorzystanie wodoru jako nośnika czystej energii jest nadal na etapie badawczym. Inicjatywy w zakresie produkcji ekologicznego wodoru, w szczególności z wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii, są rozwijane wraz z projektami pilotażowymi mającymi na celu integrację wodoru w różnych sektorach, w tym w transporcie i przemyśle. Obecnie Gaz-System opracowuje Wodorową Mapę Polski, która ma wskazać potencjalne trasy wodorociągów w oparciu o analizę zapotrzebowania na

²²⁴ <https://globenergia.pl/dlaczego-mamy-tak-malo-ekospalarni-odpadow/>

²²⁵ <https://szczecin.tvp.pl/75142529/miliardy-na-budowe-spalarni-w-polsce-jedna-z-nich-powstanie-w-koszalinie>
<https://www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualnosci/13412-NFOSiGW-lista-39-spalarni.pdf>

²²⁶ <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/kiedy-pierwszy-prad-z-polskiej-elektrowni-jadrowej-padla-konkretna-data/d53m2de>

wodór i lokalizację jego produkcji.²²⁷ Polskie firmy energetyczne, takie jak Orlen, Tauron, PGE, PAK pracują nad wykorzystaniem wodoru jak źródła energii, także w elektromobilności.²²⁸ Jednak ich działania mają przede wszystkim charakter implementacyjny istniejących rozwiązań, a innowacyjność dotyczy rozwiązań wdrożeniowych i integracyjnych, technologii energetycznych pochodzących z innych krajów.

- **INTELIGENTNE SIECI I
MAGAZYNOWANIE
ENERGII**

Rozwijane są inwestycje w technologię inteligentnych sieci. Pozwala to na bardziej efektywną dystrybucję i zarządzanie energią - zwłaszcza optymalizację poboru energii w okresach szczytów poboru mocy - zwiększenie wydajności i lepszą integrację odnawialnych źródeł energii. Technologie magazynowania energii, w tym systemy akumulatorowe, mają kluczowe znaczenie dla równoważenia podaży i popytu, zwłaszcza przy zmienności energii słonecznej i wiatrowej.

- **TECHNOLOGIE
EFEKTYWNOŚCI
ENERGETYCZNEJ**

Rozwój i wdrażanie rozwiązań w zakresie efektywności energetycznej, od modernizacji budynków przy użyciu inteligentnych technologii po systemy efektywności przemysłowej, ma kluczowe znaczenie dla zmniejszenia ogólnego zużycia energii i emisji.

- **WYCHWYTYWANIE I
SKŁADOWANIE
DWUTLENKU WĘGLA**

W Polsce prowadzone są badania nad technologiami wychwytywania i składowania dwutlenku węgla w celu ograniczenia emisji gazów cieplarnianych z elektrowni zasilanych paliwami kopalnymi. Technologia ta ma odegrać kluczową rolę w okresie przejściowym od korzystania z węgla do bardziej odnawialnych źródeł energii i energetyki atomowej.

- **INICJATYWY BADAWCZO-
ROZWOJOWE**

Uczelnie, instytucje badawcze i prywatne firmy podejmują inicjatywy na rzecz rozwoju innowacyjnych technologii w zakresie wytwarzania energii. Projekty współpracy z europejskimi partnerami zwiększają transfer wiedzy i postęp technologiczny.

Polski sektor energetyczny przechodzi przez modernizację. Ma duży potencjał w zakresie najnowocześniejszych technologii wytwarzania energii. Polska zmierza do dywersyfikacji źródeł energii i zwiększenia udziału odnawialnych źródeł energii. Odzwierciedla to zaangażowanie w zrównoważony rozwój i bezpieczeństwo energetyczne²²⁹.

²²⁷ <https://www.gaz-system.pl/pl/rynek-wodoru/aktualnosci/18-04-2024-gaz-system-opracuje-wodorowa-mape-polski.html>

²²⁸ <https://e-magazyny.pl/aktualnosci/autobusy-wodorowe-w-polsce-gdzie-jezdza/>

²²⁹ <https://www.gov.pl/web/ia/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-pep2040>

9.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Otoczenie prawne i instytucjonalne branży technologii energetycznych jest kształtowane w Polsce przez przepisy krajowe i unijne oraz politykę mającą na celu promowanie bezpieczeństwa energetyczne, zrównoważony rozwój i przejście na niskoemisyjne i odnawialne źródła energii.

Ramy prawne branży energetycznej:

- **PRAWO ENERGETYCZNE**²³⁰

Podstawowym aktem prawnym regulującym kwestie energetyczne w Polsce jest ustawa *Prawo energetyczne*, uchwalona w 1997 r. i kilkakrotnie nowelizowana. Reguluje ona wytwarzanie, przesyłanie, dystrybucję i obrót energią elektryczną i gazem.
- **PRAWO ATOMOWE**²³¹

„Ustawa Prawo atomowe wprowadza jednolity system zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej pracowników i ludności w Polsce. Jej najistotniejsze przepisy dotyczą wydawania zezwoleń na działalność związaną z narażeniem na promieniowanie jonizujące (tj. zezwoleń wydawanych na działalność wymienioną w podrozdziale „Definicja, struktura i funkcje systemu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej”), obowiązków kierowników jednostek organizacyjnych prowadzących działalność związaną z promieniowaniem oraz uprawnień Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki w zakresie kontroli i nadzoru nad tą działalnością. Ustawa określa również inne zadania Prezesa PAA, m.in. związane z oceną sytuacji radiacyjnej kraju oraz postępowaniem w przypadku zdarzeń radiacyjnych.” Prawu Atomowemu towarzyszy szereg rozporządzeń.²³²
- **USTAWA O ODNAWIALNYCH ŹRÓDŁACH ENERGII (OZE)**²³³

Przetłumaczono z DeepL.com (wersja darmowa)

Ustawa ta, uchwalona w 2015 r., określa wsparcie dla wytwarzania energii odnawialnej, w tym energii wiatrowej, słonecznej, biomasy i innych technologii. Ustanawia mechanizmy, takie jak taryfy gwarantowane i aukcje w celu zachęcenia do rozwoju projektów związanych z energią odnawialną.

²³⁰ <https://www.gov.pl/web/klimat/w-polsce>

²³¹ <https://dziennikustaw.gov.pl/D2024000127701.pdf>

²³² <https://www.gov.pl/web/paa/krajowe-ramy-prawne>

²³³ <https://www.ure.gov.pl/download/9/13884/Ustawaoodnawialnychzrodlachenergii-tekstjednolityDzU2023poz1436.pdf>

- **PROGRAM “CZyste Powietrze”²³⁴**

Rozpoczęty w 2018 r. program ma na celu zmniejszenie zanieczyszczenia powietrza. Jednocześnie promuje stosowanie czystszych technologii energetycznych i paliw, tym samym wpływając na rynek energii poprzez zachęcanie do przejścia z użycia węgla na niskoemisyjne i odnawialne źródła energii.
- **GreenEVO²³⁵**

Akcelerator rozwoju zielonych technologii energetycznych nakierunkowany na małe i średnie przedsiębiorstwa w nawiązywaniu współpracy z klientami i pomocą w sprzedaży technologii zagranicą.
- **KRAJOWY PLAN NA RZECZ ENERGII I KLIMATU (KPEiK) 2021 - 2023²³⁶**

KPEiK określa krajową strategię transformacji energetycznej, w tym zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii (OZE), poprawę efektywności energetycznej, modernizację energetyki i bezpieczeństwo energetyczne.
- **Polish Industry for Nuclear Energy²³⁷**

Katalog firm, utrzymywany przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska, mający na celu promocję polskich firm chcących włączyć się budowę polskiego sektora jądrowego.

Otoczenie instytucjonalne branży energetycznej to:

- **MINISTERSTWO KLIMATU I ŚRODOWISKA²³⁸**

Ministerstwo to jest odpowiedzialne za politykę energetyczną, koordynację sektora energetycznego i rozwój strategii na rzecz zrównoważonej transformacji energetycznej.
- **URZĄD REGULACJI ENERGETYKI (URE)²³⁹**

Centralny organ, regulator, odpowiedzialny za regulację rynków energii elektrycznej i gazu, nadzór nad cenami energii oraz zapewnienie uczciwej konkurencji i ochronę konsumentów.
- **AGENCJA RYNKU ENERGII²⁴⁰**

Agencja Rynku Energii jest agencją, quasi rządową, wspierającą regulację i nadzór nad rynkiem energii elektrycznej i gazu w Polsce. Jej główne funkcje obejmują promowanie uczciwej konkurencji w sektorze energetycznym przez monitorowanie rozwoju rynku oraz dostarczanie informacji i analiz związanych z rynkiem energii. Agencja odgrywa również rolę we wspieraniu

²³⁴ <https://czystepowietrze.gov.pl/>

²³⁵ <https://www.gov.pl/web/klimat/greenevo>

²³⁶ <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu-na-lata-2021-2030---wersja-2019-r>

²³⁷ <https://www.kpk.gov.pl/polish-industry-for-nuclear-energy-2023-aktualizacja-katalogu>

²³⁸ <https://www.gov.pl/web/klimat>

²³⁹ <https://www.ure.gov.pl/pl>

²⁴⁰ <https://www.ure.gov.pl/pl>

wdrażania polityki energetycznej oraz promowaniu efektywności energetycznej i odnawialnych źródeł energii.

- **DUŻE PRZEDSIĘBIORSTWA PAŃSTWOWE**

Polska Grupa Energetyczna, Tauron, Orlen/Energa, Enea, duże przedsiębiorstwa państwowe, które odgrywają znaczącą rolę w wytwarzaniu i dystrybucji energii elektrycznej, w tym w sektorach energii odnawialnej.

Polska polityka energetyczna i regulacje są zależne od polityki klimatycznej i energetycznej Unii Europejskiej. Dwie podstawowe regulacje to:

- **EUROPEJSKI ZIELONY ŁAD**

Europejski Zielony Ład ma na celu osiągnięcie neutralności klimatycznej w Europie do 2050 r., tym samym wpływa na polityki krajowe i wymuszając tempo przyjęcie energii odnawialnej.

- **PAKIET FIT FOR 55**

Pakiet Fit for 55 są to przepisy mające na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych netto o co najmniej 55% do 2030 r., wymagające znaczących zmian w produkcji i zużyciu energii.

Wyzwania dla polskiego sektora energetycznego, wiążą się przede wszystkim z:

- **ODEJŚCIEM OD WĘGLA**

Polska jest w znacznym stopniu uzależniona od węgla jako źródła energii. Odejście od węgla jako źródła energii stanowi wyzwanie w przejściu na czystsze technologie. Bieżąca presja ze strony UE i polityka krajowa wymuszają ten proces.

- **ZWIĘKSZENIEM ŚWIADOMOŚĆ SPOŁECZNEJ I SPOŁECZNEGO WSPARCIE**

Zwiększanie świadomości społecznej i akceptacji dla technologii odnawialnych ma kluczowe znaczenie dla skutecznego wdrażania polityki transformacji energetycznej.

Polskie otoczenie prawne i instytucjonalne w zakresie technologii energetycznych ewoluuje. W odniesieniu do integracji odnawialnych źródeł energii postępuje w zgodzie z dyrektywami UE.

9.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Na poziomie rządowym powstały kluczowe dokumenty kierunkowe wyznaczające cele, strategie i plany dotyczące technologii energetycznych.

Kluczowe dokumenty kierunkowe obejmują:

- **Polityka Energetyczna Polski do 2040 roku (PEP2040²⁴¹)**

²⁴¹ <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski>

Jest to dokument strategiczny, który określa długoterminowe cele i kierunki rozwoju sektora energetycznego w Polsce do 2040 roku. Zawiera priorytety dotyczące transformacji energetycznej, rozwoju odnawialnych źródeł energii (OZE), efektywności energetycznej oraz bezpieczeństwa energetycznego. Celem wdrożenia tego dokumentu jest zmniejszenie emisji CO₂, zwiększenie udziału OZE w miksie energetycznym, modernizacja infrastruktury energetycznej, rozwój innowacyjnych technologii i poprawa efektywności energetycznej.

- **Krajowy Plan na Rzecz Energii i Klimatu (KPEiK)²⁴²**

Plan ten, wymagany przez Unię Europejską, określa cele krajowe, polityki i działania w zakresie energii i klimatu. Jest wypełnieniem unijnych zobowiązań w ramach Europejskiego Zielonego Ładu. Celem wdrożenia tego dokumentu jest realizacja zobowiązań klimatycznych i energetycznych, takich jak redukcja emisji gazów cieplarnianych, poprawa efektywności energetycznej, i rozwój OZE.

- **Strategia Rozwoju Odnawialnych Źródeł Energii (OZE)²⁴³**

Strategia Rozwoju OZE określa kierunki i cele rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce. Zawiera strategię dotyczącą rozwoju technologii OZE oraz wsparcia inwestycji w tej dziedzinie.

Efektem tych działań ma być zwiększenie udziału OZE w miksie energetycznym, rozwój technologii takich jak energia wiatrowa, słoneczna, biomasa. Informacje o strategii można także znaleźć w dokumentach związanych z PEP2040 oraz w strategii OZE w dokumentach rządowych.

- **Plan Działania na Rzecz Efektywności Energetycznej²⁴⁴**

Dokument ten określa cele i działania związane z poprawą efektywności energetycznej w różnych sektorach gospodarki. Jego celem jest zmniejszenie zużycia energii, optymalizacja procesów energetycznych, wsparcie dla efektywnych technologii i rozwiązań. Odniesienia do Planu Działania na Rzecz Efektywności Energetycznej są także w dokumentach dotyczących polityki energetycznej i strategii klimatycznych.

- **Strategia Rozwoju Inteligentnych Sieci Energetycznych²⁴⁵**

Strategia ma na celu promocję i rozwój inteligentnych sieci energetycznych, które w celu poprawienia efektywności zarządzania i integracji różnych źródeł energii. Efektem ma być modernizacja infrastruktury energetycznej, integracja OZE, zwiększenie efektywności zarządzania siecią energetyczną. Szczegóły można znaleźć w ramach PEP2040 oraz innych dokumentach dotyczących inteligentnych sieci.

- **Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju (SOR)²⁴⁶**

Dokument o szerszym zakresie, który obejmuje również aspekty związane z sektorem energetycznym, szczególnie w kontekście innowacji i rozwoju technologii. Celem jest wspieranie

²⁴² <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu>

²⁴³ <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-na-rzecz-energii-i-klimatu>

²⁴⁴ <https://www.gov.pl/web/klimat/krajowy-plan-dzialan-dotyczacy-efektywnosci-energetycznej>

²⁴⁵ <https://www.gov.pl/web/ia/polityka-energetyczna-polski-do-2040-r-pep2040>

²⁴⁶ <https://www.gov.pl/documents/33377/436740/SOR.pdf>

zrównoważonego rozwoju, innowacji technologicznych oraz transformacji strukturalnej w różnych sektorach, w tym energetycznym.

Wspomniane powyżej dokumenty stanowią ramy strategiczne dla rozwoju sektora energetycznego w Polsce. Są one kluczowe dla planowania i wdrażania polityki energetycznej oraz technologii związanych z energią.

9.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Poniższa lista organizacji obejmuje te, które odgrywają istotną rolę na rynku, jednak może nie być wyczerpująca ze względu na dynamikę rynku i działań w energetyce.

Wyspecjalizowane agencje i stowarzyszenia branżowe:

- **Polski Komitet Energii Elektrycznej**
Zrzesza przedsiębiorstwa z sektora elektroenergetycznego w Polsce. Jego głównym celem jest reprezentowanie interesów swoich członków i wspieranie rozwoju branży energetycznej.
Witryna internetowa: <https://pkee.pl/>
- **Polskie Stowarzyszenie Energetyki Wiatrowej**
Skupia się na rozwoju energetyki wiatrowej w Polsce.
Witryna internetowa: <https://www.psew.pl/>
- **Polskie Towarzystwo Fotowoltaiki**
Zajmuje się promocją i rozwojem fotowoltaiki.
Witryna internetowa: <https://pv-polska.pl/>
- **Forum Rozwoju Energetyki Odnawialnej (FREO)**
Prowadzi działania na rzecz rozwoju wszystkich rodzajów energii odnawialnej.
Witryna internetowa: <https://freo.org.pl/>
- **Unia Producentów i Pracodawców Przemysłu Biogazowego (UPEBI)**
Unia jest związkiem pracodawców, który zrzesza branżę biogazu i biometanu oraz organizacją branżową animującą Porozumienie dla Biogazu i Biometanu.
Witryna internetowa: <http://www.upebi.pl/index.html>
- **Stowarzyszenie na rzecz Efektywności im. Prof. Krzysztofa Żmijewskiego**
Promuje efektywność energetyczną.
Witryna internetowa: <https://stowarzyszenie-zmijewski.pl/>
- **Krajowa Izba Kłastrów Energii**
Ułatwia kooperację klastrów energetyczne działających w Polsce.
Witryna internetowa: <https://kike.org.pl/>
- **Polska Izba Gospodarcza Energetyki Odnawialnej i Rozproszonej**

Reprezentuje przedsiębiorstwa działające w sektorze OZE.

Witryna internetowa: <https://www.pigeor.pl/>

- **Polska Organizacja Biometanu**

Promocja biometanu jako źródła energii. Wspieranie rozwoju rynku, kształtowanie polityki energetycznej, integracja środowiska biznesowego.

Witryna internetowa: <https://bioch4.org/>

Ponadto pod auspicjami **Ministerstwa Klimatu i Środowiska** działają:

- Porozumienie sektorowe na rzecz rozwoju gospodarki wodorowej,
- Porozumienie o współpracy na rzecz rozwoju sektora biogazu i biometanu,
- Zespół do spraw rozwoju technologii wychwytu, składowania i wykorzystania CO₂.

9.5. Informacje o ośrodkach badawczych

W Polsce utworzono szereg ośrodków badawczo-rozwojowych zajmujących się technologiami energetycznymi. Związane jest to także z dążeniem do przejścia na bardziej zrównoważone i odnawialne źródła energii. Poniżej znajduje się lista kluczowych ośrodków badawczo-rozwojowych i instytucji zaangażowanych w badania nad technologiami energetycznymi w Polsce. Nie jest to pełna, bowiem przy bardzo wielu polskich uczelniach, zwłaszcza tych mających wydziały techniczne, istnieją instytuty centra i zespoły prowadzące prace w obszarze energetyki, lub w obszarach pokrewnych lub mających wpływ na obszar energetyki.

Ośrodki badawcze:

- **Akademia Górniczo-Hutnicza (AGH), Kraków**

AGH jest znana z wkładu w inżynierię i technologię energetyczną, w szczególności w zakresie energii odnawialnej, efektywności energetycznej i czystych technologii węglowych. Uczelnia współpracuje z przemysłem i innymi instytucjami badawczymi przy różnych projektach. Centrum Energetyki oraz Wydział Energetyki i Paliw prowadzą badania nad różnymi aspektami technologii energetycznych.

Witryna internetowa: <https://www.agh.edu.pl/>

- **Politechnika Warszawska (PW)**

Instytut Elektroenergetyki, Wydział Elektryczny: Instytut prowadzi badania nad systemami energetycznymi, w tym technologiami energii odnawialnej. Jest zaangażowany w projekty związane z efektywnością energetyczną, inteligentnymi sieciami i zrównoważonymi systemami energetycznymi.

Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa: Wydział prowadzi badania naukowe w obszarach energetyki, inżynierii środowiska, lotnictwa i kosmonautyki, robotyki i w ogólności szeroko rozumianej inżynierii mechanicznej.

Witryna internetowa: <https://pw.edu.pl/>

- **Politechnika Wrocławska**

Wydział Elektryczny prowadzi badania nad rozwojem w zakresie technologii energetycznych, w tym odnawialnych źródeł energii i efektywności energetycznej.

Witryna internetowa: <https://pwr.edu.pl/>

- **Instytut Energetyki - Państwowy Instytut Badawczy**

Instytut badawczy, podległy Ministrowi Klimatu i Środowiska, zajmuje się różnymi aspektami technologii energetycznych, w tym wytwarzaniem energii, energią odnawialną i technologiami sieciowymi. Pracuje nad projektami dotyczącymi krajowego i unijnego krajobrazu energetycznego.

Witryna internetowa: <https://ien.com.pl/>

- **Polska Akademia Nauk (PAN)**

Instytuty PAN prowadzą badania związane z energią.

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią koncentruje się na innowacyjnych rozwiązaniach energetycznych.

Instytut Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego (IMP PAN) specjalizuje się w badaniach nad maszynami i urządzeniami do konwersji energii, w tym turbinami i sprężarkami.

Instytut Badań Systemowych pracuje w zakresie badań nad modelowaniem i optymalizacją systemów energetycznych.

Witryna internetowa: <https://pan.pl/>

- **Międzynarodowy Instytut Biologii Molekularnej i Komórkowej (IIMCB)**

Chociaż koncentruje się głównie na badaniach w obszarze biologii molekularnej, IIMCB współpracuje przy projektach związanych z bioenergią i zrównoważonymi technologiami.

Witryna internetowa: <https://www.iimcb.gov.pl/pl/>

- **Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ)**

Ośrodek badawczy zajmujący się szerokim zakresem badań związanych z energetyką jądrową, w tym badaniami nad reaktorami jądrowymi i technologiami związanymi z energią jądrową.

Witryna internetowa: <https://www.ncbj.gov.pl/>

- **Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR)**

CLOR zajmuje się badaniami związanymi z bezpieczeństwem radiacyjnym i technologiami związanymi z energetyką jądrową.

Witryna internetowa: <https://www.clor.waw.pl/>

- **Konwersja Energii i Źródła Odnawialne - GreenPAN - Polska Akademia Nauk**

Centrum Badawcze Polskiej Akademii Nauk, Konwersja Energii i Źródła Odnawialne jest zakładem zamiejscowym Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szewalskiego PAN. Główne zadania naukowe, które stanowią jednocześnie podstawę badawczą Instytutu Maszyn Przepływowych, koncentrują się na konwersji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych.

Witryna internetowa: <https://pan.pl/greenpan-nowa-inicjatywa-akademii/>

- **Główny Instytut Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy**

Instytut badawczy, podległy Ministrowi Aktywów Państwowych. Zajmuje się badaniami nad górnictwem, paliwami kopalnymi i technologiami energii odnawialnej, w szczególności w zakresie wpływu na środowisko i w zakresie innowacji technologicznych w wydobywaniu i wytwarzaniu energii.

Witryna internetowa: <https://gig.eu/pl>

- **Instytut Energetyki Odnawialnej**

Prywatny instytut badawczy i doradczy koncentrujący się na rozwoju technologii energii odnawialnej w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem energii słonecznej, wiatrowej i biomasy.

Witryna internetowa: <https://ieo.pl/>

- **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR)**

Agencja rządowa wspiera projekty badawczo-rozwojowe w zakresie innowacyjnych technologii energetycznych w ramach swojego szerszego mandatu stymulowania krajowych badań i rozwoju.

Witryna internetowa: <https://www.gov.pl/web/ncbr>

- **Centrum Nowe Technologie Energetyczne (CeNTE)**

CeNTE prowadzi badania naukowe w obszarze nowych technologii energetycznych. Zajmuje się też wdrażaniem wyników tych badań. Stawia sobie za zadanie identyfikację i podjęcie najważniejszych wyzwań stojących przed społeczeństwem, nauką i gospodarką do których w szczególności należą badania i rozwój technologii termojądrowej konwersji energii, technologii pokrewnych i wspomagających.

Witryna internetowa: <https://cente.ifpilm.pl/>

- **Centra Badań i Innowacji**

Centra te są zazwyczaj powiązane z uniwersytetami lub innymi instytucjami. Koncentrują się na konkretnych wyzwaniach energetycznych, w tym wychwytywaniu i składowaniu dwutlenku węgla, technologiach wodorowych i rozwiązaniach w zakresie magazynowania energii.

Koncentracja Polski na badaniach i rozwoju technologii energetycznych wynika z potrzeby innowacji w sektorze energetycznym, w szczególności w miarę przechodzenia kraju na bardziej zrównoważone rozwiązania energetyczne. Współpraca między uniwersytetami, instytucjami badawczymi i przemysłem ma zasadnicze znaczenie dla rozwoju technologii energetycznych i sprostania przyszłym wyzwaniom energetycznym.

9.6. Bariery rozwoju

Pomimo postępów w rozwoju technologii energetycznych w Polsce, nadal istnieją bariery utrudniające rozwój i wdrażanie nowoczesnych technologii energetycznych. Poniższa tabela przedstawia katalog najistotniejszych wyzwań.

Bariery rozwoju:

- **UZALEŻNIENIE OD WĘGLA** **Tradycyjna infrastruktura:** Polska w dużym stopniu polega na węglu w produkcji energii elektrycznej, a znaczna część energii

pochodzi z elektrowni węglowych. Odejście od tej infrastruktury wiąże się z wyzwaniami technicznymi i ekonomicznymi.

Zależność ekonomiczna: przemysł węglowy jest głęboko zintegrowany z polską gospodarką, a także na Śląsku jest głęboko zintegrowany z kulturą i tradycją społeczności lokalnych, zapewniając miejsca pracy i stabilność gospodarczą. Odejście od węgla wiąże się z ryzykiem zakłóceń gospodarczych oraz niepokojów społecznych na tych obszarach.

- **REGULACJE I KWESTIE
POLITYCZNE**

Niespójna polityka: niespójność polityki – czego przykładem może być ciągnące się od wielu lat sprawa tzw. „ustawy wiatrakowej”, czy jednostronne wypowiedzenie przez firmę Energa tzw. „zielonych certyfikatów” w 2017 r. – powodują niepewność wśród inwestorów związaną z inwestycjami w technologie energii odnawialnej. Zmiany w przepisach lub zmiany priorytetów rządowych mogą wpływać na stabilność klimatu inwestycyjnego.

Powolne wdrażanie polityki: chociaż istnieją plany i cele dotyczące zwiększenia udziału energii odnawialnej, wdrażanie wspierających polityk i ram może być powolne, opóźniając postęp.

- **OGRANICZENIA
FINANSOWE**

Wysokie koszty utopione: koszty utopione rozwoju infrastruktury energii odnawialnej (takiej jak farmy wiatrowe czy panele słoneczne) są wysokie. Podczas, gdy długoterminowe oszczędności i korzyści środowiskowe są znaczące, początkowa inwestycja stanowi znaczącą barierę.

Luki w finansowaniu: zapewnienie finansowania dla projektów energetycznych może stanowić wyzwanie, zwłaszcza w przypadku mniejszych lub innowacyjnych projektów. Instytucje finansowe mogą być ostrożne ze względu na postrzegane ryzyko lub brak znajomości nowych technologii.

- **WYZWANIA TECHNICZNE
I INFRASTRUKTURALNE**

Przepustowość sieci: integracja odnawialnych źródeł energii stanowi wyzwanie ze względu na istniejącą infrastrukturę sieciową, która wymaga modernizacji w celu skutecznej obsługi rozproszonych i nieciągłych źródeł energii.

Wiedza technologiczna: rozwój i wdrażanie zaawansowanych technologii energetycznych wymaga specjalistycznej wiedzy i doświadczenia. Polska nadal musi inwestować w szkolenia i badania, aby budować ten potencjał.

- **WSPARCIE PUBLICZNE I
POLITYCZNE**

Percepcja społeczna: nowe technologie mogą spotykać się z oporem ze względu na obawy dotyczące ich niezawodności, kosztów lub wpływu na środowisko. Budowanie poparcia

społecznego ma kluczowe znaczenie dla pomyślnego wdrożenia nowych technologii energetycznych.

Wola polityczna: na politykę energetyczną mają wpływ uwarunkowania polityczne. Dostosowanie woli politycznej do długoterminowych celów energetycznych stanowi wyzwanie, zwłaszcza gdy w grę wchodzi krótkoterminowe interesy gospodarcze.

- **SPOŁECZEŃSTWO I ŚRODOWISKO**

Lokalny sprzeciw: projekty takie jak farmy wiatrowe lub duże instalacje paneli słonecznych mogą spotkać się ze sprzeciwem lokalnych społeczności ze względu na obawę, że projekty będą miały negatywny wpływ na lokalne środowisko lub krajobrazy.

Obawy środowiskowe: wpływ niektórych technologii energetycznych na środowisko, w tym wpływ cyklu życia materiałów wykorzystywanych w odnawialnych źródłach energii, może budzić obawy.

- **PRZEPISY UNII EUROPEJSKIEJ I GLOBALNA KONKURENCJA**

Zgodność z normami UE: Polska musi przestrzegać przepisów UE dotyczących emisji i celów w zakresie energii odnawialnej, co stwarza dodatkową presję i wyzwania.

Globalna konkurencja: globalny rynek technologii energetycznych jest konkurencyjny, a polskie firmy stoją przed wyzwaniami związanymi z nadążaniem za międzynarodowymi postępem technologicznym i konkurencyjnością cenową.

Pokonanie powyższych barier wymaga skoordynowanych wysiłków rządu, przemysłu i instytucji badawczych w celu stworzenia środowiska wspierającego rozwój i wdrażanie technologii energetycznych.

9.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Rozwój technologii energetycznych w Polsce wymaga uwzględnienia kilku kluczowych czynników:

- potencjału ludzkiego,
- infrastruktury i
- finansowania.

Poniżej podane jest zestawienie wymagań w każdym z tych obszarów.

Potencjał ludzki:

- **Wykwalifikowana siła robocza**

Polska potrzebuje wykwalifikowanej siły roboczej, aby napędzać rozwój technologii energetycznych. Obejmuje to: **Inżynierów i techników:** specjalizujących się w energii odnawialnej, efektywności energetycznej, inteligentnych sieciach i zaawansowanych materiałach.

Badaczy i naukowców: skoncentrowani na najnowocześniejszych technologiach, takich jak magazynowanie energii, paliwo wodorowe i wychwytywanie dwutlenku węgla.

- **Edukacja i szkolenia**

Kierowników projektów i ekspertów ds. polityki: do nadzorowania projektów, poruszania się w przepisach i dostosowywania się do standardów UE i międzynarodowych. Wzmocnienie programów edukacyjnych i szkoleniowych na uniwersytetach i w instytucjach technicznych ma kluczowe znaczenie. Współpraca między środowiskiem akademickim a przemysłem może zwiększyć praktyczne umiejętności i innowacyjność.

- **Przyciąganie talentów**

Zachęty i sprzyjające środowisko pracy mogą pomóc przyciągnąć i zatrzymać talenty. Może to obejmować konkurencyjne wynagrodzenia, możliwości rozwoju kariery i tętniącą życiem społeczność badawczą.

Wymagana infrastruktura:

- **Ośrodki badawczo-rozwojowe**

Inwestycje w obiekty badawczo-rozwojowe są niezbędne dla innowacji. Obejmuje to:

Laboratoria i ośrodki testowe: do eksperymentowania z nowymi technologiami i materiałami.

Instalacje pilotażowe: do testowania i skalowania nowych technologii z laboratorium do rzeczywistych zastosowań.

- **Infrastruktura produkcji energii**

Rozwój infrastruktury wspierającej nowe technologie energetyczne, takie jak:

Zakłady energii odnawialnej: farmy wiatrowe, panele słoneczne i instalacje wykorzystujące biomasę.

Systemy magazynowania energii: obiekty do opracowywania i wdrażania akumulatorów, elektrowni szczytowo-pompowych i innych rozwiązań w zakresie magazynowania.

Inteligentne sieci: modernizacja sieci energetycznej w celu obsługi nowych źródeł energii i poprawy wydajności.

- **Transport i logistyka**

Wydajne systemy transportu i instalacji technologii energetycznych mają kluczowe znaczenie. Obejmuje to:

Łańcuchy dostaw: dla materiałów i komponentów wykorzystywanych w technologiach energetycznych.

Budownictwo: obiekty do budowy i utrzymania infrastruktury energetycznej.

Finansowanie:

- **Finansowanie i zachęty rządowe**

Wsparcie rządowe może przybierać formy:

Dotacje i subsydia: na badania i rozwój, projekty pilotażowe i rozwój infrastruktury.

Zachęty podatkowe: zachęcanie do prywatnych inwestycji w technologie energetyczne.

Partnerstwa publiczno-prywatne: współpraca między rządem a sektorem prywatnym w celu podziału kosztów i ryzyka.

- **Finansowanie przez Unię Europejską**

Polska może uzyskać dostęp do funduszy Unii Europejskiej przeznaczonych na innowacje energetyczne i projekty infrastrukturalne, takie jak:

Horyzont Europa: główny unijny program finansowania badań i innowacji.

Fundusz Spójności i Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego: na projekty związane z infrastrukturą i rozwojem regionalnym.

- **Inwestycje prywatne**

Przyciąganie prywatnych inwestorów ma kluczowe znaczenie. Strategie obejmują:

Venture Capital i Private Equity: finansowanie startupów i firm w fazie wzrostu w sektorze energetycznym.

Inwestycje korporacyjne: zachęcanie dużych firm do inwestowania w technologie energetyczne w ramach ich strategii zrównoważonego rozwoju.

Modele finansowania: badanie innowacyjnych modeli finansowania, takich jak zielone obligacje lub finansowanie społecznościowe, może zapewnić dodatkowy kapitał na projekty energetyczne.

Aby rozwijać technologie energetyczne w Polsce potrzebne jest wielotorowe podejście. Obejmuje ono inwestowanie w kapitał ludzki poprzez edukację i szkolenia, budowę i modernizację infrastruktury oraz zapewnienie różnorodnych źródeł finansowania.

Skoordynowany wysiłek organów rządowych, instytucji akademickich, firm prywatnych i partnerów międzynarodowych będzie niezbędny do napędzania innowacji i zrównoważonego rozwoju w polskim sektorze energetycznym.

9.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze technologii energetycznych wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	<u>WWW</u>	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
APATOR S.A.	https://www.apator.com/	Firma	Inteligentne liczniki	Urządzenia pomiarowe
Columbus Energy S.A.	https://columbusenergy.pl/	Firma	Instalacje fotowoltaiczne i pomp ciepła	Integrator rozwiązań
Energy5 Sp. z o.o.	https://energy5.pl/	Firma	Produkcja konstrukcji fotowoltaicznych.	Producent systemów mocowań

				modułów fotowoltaicznych.
Green Genius Sp. z o.o.	https://greengenius.com/pl/	Firma	Rozwój farm fotowoltaicznych i biogazownie.	Przetwarzanie produktów pochodzenia rolniczego
Grupa Saule Technologies S.A.	https://sauletech.com/	Firma	Panele perowskitowe	Producent ogniw fotowoltaicznych na bazie perowskitów.
Impact Clean Power Technology S.A.	https://impactnewenergy.com/	Firma	Systemy baterii	Produkcja systemów magazynowania energii.
Neso Bus - PAK-PCE Polski Autobus Wodorowy Sp. z o.o.	https://www.nesobus.pl/	Firma	Autobus na wodór	Producent
ML System S.A.	https://mlsystem.pl/	Firma	Szyby z powłoką kwantową	Szyby z powłoką kwantową generujące energię elektryczną.
Poland Green Energy S.A.	https://pge-sa.pl/	Firma	Instalacje fotowoltaiczne i pomp ciepła, oraz oprzyrządowania	Integrator rozwiązań
Scanthesun Sp. z o.o.	https://scanthesun.com/	Firma	Scan The Sun	Aplikacja mobilna do projektowania i oceny instalacji solarnych.
Solaris Bus & Coach Sp. z o.o.	https://www.solarisbus.com/	Firma	Autobus na wodór	Producent
Solhotair Sp. z o.o.	https://solhotair.pl/pl/	Firma	Kolektory solarne wentylacyjne	Rozwiązania fotowoltaiki
ZPUE S.A.	https://zpue.pl/	Firma	Stacje ładowania samochodów Stacje baterii (magazyny energii)	Producent magazynów energii oraz stacji ładowania samochodów elektrycznych.

10. ROBOTYKA I SYSTEMY AUTONOMICZNE

10.1. Charakterystykę potencjału i *know-how* Polski

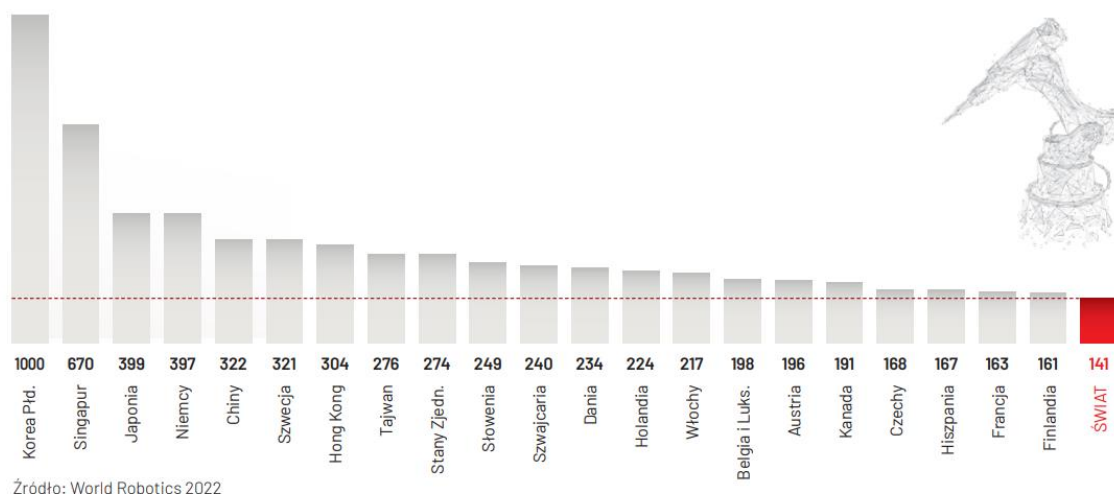
Analizując technologie krytyczne z obszaru robotyki i systemów autonomicznych, bierzemy pod uwagę przede wszystkim takie rozwiązania, jak drony i pojazdy (powietrzne, lądowe, nawodne i podwodne), roboty i systemy precyzyjne sterowane robotami, egzoszkielety i systemy wspomagane sztuczną inteligencją. Powyższe rozwiązania tworzone są głównie przez podmioty i zespoły inżynierskie wywodzące się z rynku robotyki i automatyki przemysłowej.

W Polsce, zgodnie z raportem *Polska (prawdziwie) cyfrowa. Automatyka i Robotyka Przemysłowa*,²⁴⁷ jest przeszło 200 firm specjalizujących się w integracji lub produkcji rozwiązań robotów przemysłowych, cobotów lub mobilnych robotów autonomicznych (AMR – Autonomous Mobile Robots). Coboty, inaczej collaborative robots, czyli roboty współpracujące to roboty przemysłowe mogące bezpiecznie działać obok ludzi we wspólnej przestrzeni roboczej. Roboty tego typu na ogół nie wymagają stosowania ogrodzenia ochronnego, nie mogą pracować bez bezpośredniego udziału człowieka i są stosunkowo niewielkich gabarytów. Coboty służą do pracy „ramię w ramię” z człowiekiem. AMR (ang. Autonomous Mobile Robots) to mobilne roboty autonomiczne, które mogą poruszać się samodzielnie, bez dodatkowej infrastruktury zewnętrznej. Nie wymagają sterowania nadrzędnego, same tworzą mapę otaczającej jej przestrzeni i identyfikują przeszkody na drodze ich poruszania się. Znajdują zastosowanie przede wszystkim w logistyce hal produkcyjnych, magazynach i centrach dystrybucji.

W realiach przemysłowych, historycznie roboty były głównie wykorzystywane do spawania lub zgrzewania, przenoszenia towarów (paletyzacji), obsługi maszyn i w montażu autonomicznym. Wraz z rozwojem mocy obliczeniowych komputerów oraz algorytmów sztucznej inteligencji obserwujemy dynamiczny rozwój robotyzacji. Integracja doświadczenia z projektów automatyki i robotyki przemysłowej z doświadczeniem programistycznym i sztuczną inteligencją jest szansą rozwojową dla polskich firm. Polskie firmy, takie jak AIUT, Versabox czy Instytut Badawczy PIAP, są producentami AMR (lub inaczej mówiąc dronów lądowych). Zmiana sytuacji geopolitycznej oraz wzrost wydatków na obronność pozwoliły również na rozwój polskich producentów dronów, a firma WB Electronics ich również znaczącym eksporterem.

Niestety w obszarze robotyzacji Polska zdecydowanie odstaje nie tylko od krajów liderów, ale również od krajów europejskich w ogóle. Wskaźnik liczby robotów przemysłowych na 10'000 pracowników przemysłu wynosił w roku 2022 52, gdy średnia światowa to 141 (Tab. 13.). W Niemczech wskaźnik ten wynosił 397, we Włoszech 217, a w Czechach 168.

²⁴⁷ <https://sobieski.org/pl/polska-prawdziwie-cyfrowa-automatyka-i-robotyka-przemyslowa/>



Tab. 13 Liderzy robotyzacji - Roboty przemysłowe na 10'000 pracowników przemysłu.

10.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Robotyką i systemami autonomicznymi zajmowały się przede wszystkim firmy, które do tej pory integrowały i rozwijały technologie w obszarze automatyzacji, robotyzacji i przemysłu 4.0. Nowymi graczami na tym rynku, zwłaszcza w obszarze systemów autonomicznych, są firmy zajmujące się sztuczną inteligencją. Dochodzi zresztą do coraz większego wzajemnego przenikania się obu obszarów technologii krytycznych – technologii sztucznej inteligencji, zaawansowanych technologii cyfrowych, zaawansowanych technologii detekcji oraz robotyki i systemów autonomicznych.

Firmy robotyki i systemów autonomicznych muszą działać według regulacji Unii Europejskiej dotyczących bezpieczeństwa maszyn, ochrony danych oraz interoperacyjności systemów. Kluczowe regulacje w tym zakresie to:

- **Dyrektywa maszynowa 2006/42/WE** - obejmuje bezpieczeństwo maszyn, w tym robotów przemysłowych, oraz minimalne wymagania dotyczące ich projektowania i użytkowania.
- **Dyrektywa EMC 2014/30/UE** - dotyczy kompatybilności elektromagnetycznej urządzeń, w tym robotów i systemów automatyki.
- **Rozporządzenie o ochronie danych osobowych (RODO)** - istotne w kontekście wykorzystania robotów i sztucznej inteligencji w przetwarzaniu danych.

Z polskich regulacji prawnych dotyczących obszaru robotyki i systemów autonomicznych należy wymienić następujące dokumenty:

- **Ustawa Prawo przedsiębiorców** - reguluje działalność gospodarczą w Polsce, także w zakresie innowacji technologicznych, w tym robotyki i automatyki.
- **Ustawa o wspieraniu działalności innowacyjnej** - przewiduje ulgi podatkowe oraz inne formy wsparcia dla przedsiębiorców inwestujących w badania i rozwój.
- **Kodeks pracy** - reguluje m.in. przepisy dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy w przypadku użycia robotów w przedsiębiorstwach.

- **Prawo budowlane** - dotyczy infrastruktury technicznej związanej z instalowaniem i użytkowaniem robotów przemysłowych.

W kontekście robotyki, warto również wymienić dwie normy ISO, które mają wpływa na działanie całej branży, Są to takie normy jak ISO 10218²⁴⁸ dotycząca bezpieczeństwa robotów przemysłowych oraz ISO 12100²⁴⁹ dotycząca oceny ryzyka działania robotów i systemów automatyki.

10.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

W latach 2016–2024 rząd Polski przyjął kilka dokumentów kierunkowych i strategii, które bezpośrednio lub pośrednio odnoszą się do rozwoju robotyki, automatyzacji oraz systemów autonomicznych. Choć tematyka ta często pojawia się jako część szerszych polityk związanych z przemysłem 4.0, innowacyjnością i transformacją cyfrową, kilka dokumentów rządowych wyraźnie podkreśla potrzebę rozwoju zaawansowanych technologii, takich jak robotyka i systemy autonomiczne. Oto główne z nich:

- **Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju (SOR) w 2017**
Główne założenia: Strategia ta, przyjęta przez rząd w 2017 roku, jest jednym z kluczowych dokumentów definiujących kierunki rozwoju Polski. W ramach SOR jednym z priorytetów było wsparcie innowacyjności oraz rozwój przemysłu opartego na zaawansowanych technologiach, w tym robotyce, automatyzacji i sztucznej inteligencji. SOR wskazuje na konieczność wspierania nowoczesnych gałęzi przemysłu, w tym rozwoju przemysłu 4.0, automatyzacji procesów produkcyjnych oraz implementacji nowoczesnych systemów robotycznych.
- **Polska Platforma Przemysłu Przyszłości (PPPP) w 2019**
PPPP ma na celu wspieranie transformacji cyfrowej polskich przedsiębiorstw w kierunku Przemysłu 4.0. Platforma koncentruje się na informowaniu o wdrażaniach nowoczesnych technologii, takich jak robotyka, automatyzacja, sztuczna inteligencja i internet rzeczy (IoT).
- **Polityka Rozwoju Sztucznej Inteligencji w Polsce w 2020**
Dokument przyjęty przez rząd Polski, który definiował kierunki rozwoju sztucznej inteligencji (AI) w Polsce. Główna część dokumentu została przygotowana w wyniku zlecenia Ministra Cyfryzacji dla zespołu ekspertów zajmujących się sztuczną inteligencją, w składzie: dr Aleksandra Przeglasińska, Bartłomiej Michałowski (Kierownik Zespołu), dr Piotr Migdał, dr Przemysław Chojecki i Filip Seredyński. Dokument zawierał szereg miar i celów dla Polski, które miały być regularnie przeglądane i analizowane. Niestety po przyjęciu dokumentu przez rząd w grudniu 2020, właściwie żadne z planowanych działań nie zostało podjęte, a dokument stał się całkowicie martwy.
- **Polityka Przemysłowa Polski w 2021**
Polityka Przemysłowa Polski była zestawem działań, które miały pomóc w wykorzystaniu i rozwijaniu potencjału polskiego przemysłu. Definiowała 5 osi rozwojowych polskiego przemysłu:

²⁴⁸ <https://www.iso.org/standard/51330.html>

²⁴⁹ <https://www.iso.org/standard/51528.html>

1. usprawnienie działalności przemysłowej dzięki cyfryzacji,
 2. odtworzenie zdolności produkcyjnych kluczowych produktów niezbędnych dla zapewnienia bezpieczeństwa obywateli,
 3. lokalizacja produkcji przemysłowej w Polsce w celu zapewnienia autonomii gospodarczej,
 4. przyspieszenie transformacji w kierunku gospodarki niskoemisyjnej,
 5. dopasowanie kompetencji pracowników do potrzeb rynku pracy.
- **Krajowa Inteligentna Specjalizacja (KIS)**²⁵⁰
W 2010 r. Komisja Europejska przyjęła Strategię Europa 2020 – Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. W Strategii wskazano 3 priorytety:
 - **wzrost inteligentny** (ang. *smart growth*), czyli rozwój oparty na wiedzy i innowacjach;
 - **wzrost zrównoważony** (ang. *sustainable growth*), czyli transformacja w kierunku gospodarki konkurencyjnej i niskoemisyjnej, efektywnie korzystającej z zasobów;
 - **wzrost sprzyjający włączeniu społecznemu** (ang. *inclusive growth*), czyli wspieranie gospodarki charakteryzującej się wysokim poziomem zatrudnienia i zapewniającej spójność gospodarczą, społeczną i terytorialną.

Aby realizować powyższe priorytety Polska zdefiniowała Krajową Inteligentną Specjalizację (KIS) wskazując na preferencje w udzielaniu wsparcia rozwoju prac badawczych, rozwojowych i innowacyjności (B+R+I) w ramach perspektywy finansowej na lata 2014-2020 oraz 2021-2027. Automatyzacja i robotyka jest jedną ze wskazanych KIS.

10.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Ministerstwa i agendy rządowe zajmujące się rozwojem robotyki w Polsce to:

- **Ministerstwo Rozwoju i Technologii**²⁵¹ - odpowiedzialne za rozwój technologiczny i przemysłowy kraju, w tym za wsparcie dla przedsiębiorców wdrażających innowacje w robotyce i automatyce przemysłowej.
- **Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego**²⁵² - wspiera badania naukowe oraz rozwój kadr w dziedzinie robotyki i automatyki. Ministerstwo finansuje również programy badawcze i współpracę uczelni z sektorem prywatnym.
- **Ministerstwo Cyfryzacji**²⁵³ - zajmuje się transformacją cyfrową polskiego przemysłu, w tym wdrażaniem systemów automatyzacji i technologii Przemysłu 4.0.

²⁵⁰ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/krajowe-inteligentne-specjalizacje>

²⁵¹ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia>

²⁵² <https://www.gov.pl/web/nauka>

²⁵³ <https://www.gov.pl/web/cyfryzacja>

- **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR)**²⁵⁴ - rządowa agencja finansująca projekty badawczo-rozwojowe w dziedzinie robotyki i automatyki. NCBR oferuje granty i wsparcie finansowe dla firm oraz instytucji naukowych.
- **Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP)**²⁵⁵ - wspiera rozwój innowacji w sektorze MŚP, w tym projektów związanych z robotyką i automatyzacją. PARP prowadzi również programy wspierające cyfryzację przemysłu.
- **Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej (NFOŚiGW)**²⁵⁶ - wspiera projekty związane z automatyzacją i robotyką w kontekście zrównoważonego rozwoju i efektywności energetycznej.

Organizacje wspierające rozwój polskiego sektora robotyki i automatyki przemysłowej to:

- **Forum Automatyki i Robotyki Polskiej**²⁵⁷ – organizacja polskich firm tworzących rozwiązania w dziedzinie automatyzacji i robotyzacji.
- **Fundacja Platforma Przemysłu Przyszłości**²⁵⁸ (FPFP) - fundacja wspierająca cyfryzację i automatyzację polskich przedsiębiorstw, współpracuje z instytucjami badawczymi i przedsiębiorcami.
- **Klaster przemysłowy Evoluma (d. Klaster Obróbki Metali)**²⁵⁹ - organizacja skupiająca firmy zajmujące się automatyką przemysłową, wspiera je w rozwoju i we wdrażaniu nowych technologii.

10.5. Informacje o ośrodkach badawczych

Polskie zespoły wielokrotnie osiągały sukcesy w międzynarodowych konkursach na łaziki marsjańskie, szczególnie w zawodach takich jak **University Rover Challenge (URC)** oraz **European Rover Challenge (ERC)**. Te konkursy organizowane są co roku i skupiają się na projektowaniu, budowie oraz testowaniu prototypów łazików marsjańskich, które mają symulować warunki i zadania, z jakimi mogłyby się zmierzyć prawdziwe łaziki na Marsie. Najbardziej znane zespoły, które wygrywały lub zajmowały wysokie miejsca w tych konkursach to:

- **Hyperion Team (Politechnika Białostocka)**
Zespół Hyperion z Politechniki Białostockiej wygrał **University Rover Challenge** w 2013 roku, a także zajmował wysokie pozycje w kolejnych latach. Ich łazik **Hyperion 2** był ceniony za zaawansowane technologicznie systemy napędowe i doskonałe wyniki w testach autonomicznych.
- **Legendary Rover Team (Politechnika Rzeszowska)**
Zespół ten wielokrotnie odnosił sukcesy w **European Rover Challenge** oraz **University Rover Challenge**, plasując się na wysokich miejscach. Łaziki tego zespołu wyróżniały się innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie systemów sterowania i ramion manipulacyjnych.

²⁵⁴ <https://www.gov.pl/web/ncbr>

²⁵⁵ <https://www.parp.gov.pl/>

²⁵⁶ <https://www.gov.pl/web/nfosigw/>

²⁵⁷ <https://fairp.pl/>

²⁵⁸ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/>

²⁵⁹ <https://evoluma.pl/>

- **Scorpio Team (Politechnika Wrocławska)**

Zespół z Politechniki Wrocławskiej wielokrotnie zajmował czołowe miejsca w konkursach ERC i URC. Scorpio Team był ceniony za solidność konstrukcji, a także za systemy nawigacyjne i autonomiczne, które pozwalały na wykonywanie zadań w trudnym terenie.

- **PCz Rover Team (Politechnika Częstochowska)**

Zespół ten z powodzeniem startował w **European Rover Challenge**, zajmując czołowe miejsca. Jego łaziki cechowały się dużą wytrzymałością i doskonałą nawigacją, co było kluczowe w zadaniach wymagających poruszania się po trudnym terenie.

10.6. Bariery rozwoju

Rozwój robotyki w Polsce napotyka na szereg barier, które spowalniają tempo wdrażania zaawansowanych technologii i automatyzacji w różnych sektorach gospodarki. Choć polskie zespoły osiągają sukcesy na arenie międzynarodowej, nie potrafimy w Polsce wykorzystać sukcesów tych zespołów i budować nowych firm oraz rozwiązań na bazie tych zespołów. Do najważniejszych barier w obszarze robotyki i systemów autonomicznych zaliczamy:

- Niedobór funduszy na rozwój robotyki, szczególnie w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP) oraz dla młodych zespołów, które udowodniły swoją wartość w międzynarodowych konkursach.
- Brak zamówień ze strony rządu, agencji rządowych, wojska oraz niska świadomość korzyści wśród polskich przedsiębiorców.
- Niedobór specjalistów i ich emigracja za granicę, gdzie mogą liczyć na lepsze warunki pracy.
- Koszt wdrażania nowych technologii, a zwłaszcza integracji różnych urządzeń fizycznych i dużej ilości czujników.

Oddzielnym problem, występującym właściwie w całej Europie, są niejasne przepisy prawne, zwłaszcza dotyczące systemów autonomicznych. Brak jednoznacznych regulacji w zakresie odpowiedzialności za działanie systemów autonomicznych, kwestie dotyczące bezpieczeństwa pracy w zrobotyzowanym środowisku czy ochrona danych generowanych przez roboty to wyzwania, z którymi muszą mierzyć się polskie firmy. Ponadto, regulacje dotyczące certyfikacji robotów, w szczególności w branżach takich jak medycyna czy logistyka, są skomplikowane i stanowią barierę dla innowacyjnych projektów.

Rozwój robotyk, a zwłaszcza systemów autonomicznych, wymaga odpowiedniego zaplecza technologicznego, w tym dostępu do nowoczesnych laboratoriów oraz możliwości testowania tworzonych rozwiązań w przestrzeni publicznej. W tym obszarze kluczowa jest komercjalizacja wyników badań i tworzonych rozwiązań. Siły Zbrojne i Ministerstwo Obrony powinny być aktywnym i odważnym zamawiającym, co niestety się nie dzieje. Ośrodki badawcze i firmy, bez zamówień na pierwsze egzemplarze robotów lub systemów autonomicznych, często nie mają środków, aby skutecznie wdrażać innowacje w przemyśle, co skutkuje niewykorzystanym potencjałem naukowym.

Polska nie ma również długoterminowej strategii rozwoju robotyki na poziomie krajowym, która koordynowałaby działania różnych ministerstw, agencji rządowych oraz sektora prywatnego. Choć istnieją programy wspierające innowacje technologiczne, brakuje kompleksowej strategii na poziomie rządowym, która integrowałaby działania na rzecz rozwoju robotyki.

Należy też pamiętać, że robotyzacja budzi obawy społeczne związane z potencjalnym zastępowaniem ludzi przez roboty. Choć roboty mogą zwiększać efektywność produkcji, w niektórych sektorach,

takich jak logistyka, produkcja czy transport, pojawia się opór wynikający z obaw o utratę miejsc pracy. W tej chwili jednak, dużo większym zagrożeniem jest, brak polskich firm i polskich kompetencji w projektowaniu oraz produkcji robotów i systemów autonomicznych.

Reasumując główne bariery rozwoju robotyki w Polsce to:

- brak odpowiedniego finansowania i zamówień od klientów, takich jak wojsko czy agencje rządowe,
- bariery prawne i regulacyjne,
- niska świadomość korzyści,
- brak długoletniej strategii.

10.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Przemysł w Polsce zatrudniał blisko ¼ osób pracujących, a Polska oparła się trendowi deindustrializacji, który spowodował w Unii Europejskiej ucieczkę produkcji przemysłowej poza Europę. Równocześnie, do czasu pandemii, produktywność w przemyśle rosła w latach 2004 -2019 w tempie 3,5% rocznie. Siła krajowego przemysłu okazała się szczególnie istotna w momentach załamania międzynarodowego handlu, tak jak miało to miejsce na początku pandemii. Liczba inżynierów z obszaru automatyki, mechaniki i informatyki stawia Polskę w gronie państw mających odpowiedni kapitał ludzki do rozwoju własnego potencjału w obszarze automatyki i systemów autonomicznych.

Polskie zespoły akademickie wygrywają międzynarodowe konkursy dzięki zaawansowanym technologiom, świetnej organizacji oraz innowacyjnym rozwiązaniom. Kluczowe są interdyscyplinarne podejście do projektowania, współpraca inżynierów różnych specjalności oraz regularne testowanie i doskonalenie rozwiązań technicznych. Innowacje, takie jak zaawansowane systemy nawigacyjne, solidne konstrukcje oraz precyzyjne ramiona manipulacyjne, pomogły polskim zespołom zdobywać najwyższe miejsca w konkursach, takich jak University Rover Challenge i European Rover Challenge.

Głównym wyzwaniem stojącym przed robotyzacją i wdrażaniem systemów autonomicznych jest finansowanie. Na początku wieku problemem były niskie koszty pracy. Polak był tańszy niż robot. Dziś sytuacja się zmienia, ale ciągle instytucje posiadające wielkie budżety, jak Siły Zbrojne RP czy spółki Skarbu Państwa, zamawiają rozwiązania robotyki i systemów autonomicznych w zbyt małej ilości. Symptomatyczny jest przykład WB Electronics, który dostał zamówienia na swoje drony od Wojska Polskiego dopiero po pełnoskalowej agresji Rosji na Ukrainę, chociaż wcześniej sprzedawał je za granicę. Polskie firmy nie mają też żadnych preferencji w stosunku do zagranicznych. Szkodliwe są zwłaszcza żądania spółek Skarbu Państwa, aby dostawcy realizowali bezpłatne wdrożenia testowe (ang. *proof of concept*), które z definicji wspierają największe firmy międzynarodowe, z dużym zapleczem finansowym.

10.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze robotyki i systemów autonomicznych wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badawczy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
AIUT Sp. z o.o.	https://aiut.com/	Firma	AFORMIC system Linie produkcyjne	Autonomiczne roboty mobilne Linie produkcyjne
ARM Robotics Sp. z o.o.	https://arm-robotics.pl/	Firma	Linie produkcyjne	Linie produkcyjne
ATM GROUP Sp. z o.o., Sp. K.	https://www.atmg.eu/	Firma	Linie produkcyjne	Linie produkcyjne
Clone Sp. z o.o.	https://www.clonerobotics.com/	Firma	Neoclone	Roboty humanoidalne
Dronehub Sp. z o.o.	https://dronehub.ai/	Firma	Dronehub	Drony
Husarion Sp. z o.o.	https://husarion.com/	Firma	ROSbot	Autonomiczne roboty mobilne
IRMATIC Sp. z o.o.	https://irmatic.com/	Firma	IRSTOCK	Automaty vendingowe
Nomagic Sp. z o.o.	https://nomagic.ai/	Firma	Justpick	Autonomiczne roboty mobilne
OBT-CTM Sp. z o.o.	https://ctm.gdynia.pl	Firma/ Grupa PGZ S.A.	Systemy dowodzenia i łączności, systemy analizy danych i detekcji	Radiostacje, modemy, techniki podwodne, odbiornik radiolokacyjne, zintegrowane systemy okrętowe, technologie przeciwudarowe, sensory, efekторы
SATIM Monitoring Satelitarny Sp. z o.o.	https://satim.co/	Firma	OREC	Automatyczne rozpoznawanie celów oparte na sztucznej inteligencji
Sky Tronic Sp. z o.o.	http://www.skytronic.com.pl/	Firma	Algorytmy sterowania i stabilizacji lotu	Oprogramowanie dla dronów i statków powietrznych

Spectre Solutions Sp. z o.o.	https://spectre.solutions/	Firma	SPECTRE-2	Drony
VERSABOX S.A.	https://versabox.eu/	Firma	Versabox	Autonomiczne roboty mobilne
WB Electronics S.A.	https://www.wbgroup.pl/	Firma	WARMATE FlyEye, detekcja celów statycznych i krążących	Amunicja krążąca, drony, systemy detekcji
Wikipol Sp. z o.o.	https://www.wikpol.com.pl	Firma	WIKAR	Autonomiczne roboty mobilne

11. ZAAWANSOWANE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE PRODUKCJI I RECYKLINGU

Zaawansowane materiały, technologie produkcji i recyklingu odnoszą się do szerokiej i rozwijającej się dziedziny polegającej na opracowywaniu i wykorzystywaniu nowych materiałów o dotychczas nieosiągalnych właściwościach wraz z innowacyjnymi procesami produkcji i recyklingu.

Przykładami zaawansowanych materiałów są:

- **Nanomateriały:** (takie jak grafen i nanorurki węglowe) o wyjątkowej wytrzymałości, przewodności i reaktywności.
- **Biomateriały:** Stosowane w implantach medycznych i inżynierii tkankowej, oferujące biokompatybilność i degradowalność.
- **Materiały inteligentne:** Reagują na bodźce zewnętrzne (takie jak temperatura lub światło), zmieniając kształt lub właściwości.
- **Kompozyty:** Łączenie różnych materiałów (takich jak włókno węglowe i żywica) w celu zwiększenia wytrzymałości i lekkości.

Przykładami innowacyjnych technologii produkcyjnych są:

- **Produkcja addytywna (druk 3D):** Budowanie obiektów warstwa po warstwie z cyfrowych projektów.
- **Obróbka precyzyjna:** Osiąganie niezwykle wysokiej dokładności i wykończenia powierzchni.
- **Mikrofabrykacja:** Tworzenie miniaturowych komponentów i urządzeń.

Przykładami zaawansowanych technologii recyklingu są:

- **Recykling chemiczny:** Rozbijanie tworzyw sztucznych na ich oryginalne bloki konstrukcyjne w celu ponownego wykorzystania.
- **Recykling w obiegu zamkniętym:** Tworzenie systemu, w którym odpady są stale przetwarzane z powrotem na nowe produkty.
- **Materiały pochodzenia biologicznego:** Wykorzystywanie zasobów odnawialnych, takich jak rośliny, do tworzenia zrównoważonych materiałów.

Głównym celem jest tworzenie lepszych, bardziej zrównoważonych materiałów i produktów, przy jednoczesnym minimalizowaniu ilości odpadów i wpływu na środowisko. Odgrywa kluczową rolę w napędzaniu innowacji w różnych branżach, w tym lotniczej, motoryzacyjnej, elektronicznej, opieki zdrowotnej i energetycznej.

Ze względu na dotychczasowe doświadczenia w Polsce, pomimo niezbyt udanych początków, z uwagi na istniejący już ekosystem naukowo-badawczy, rozwój technologii związanych z grafenem wygląda na bardzo obiecujący.

Z kolei z racji dostępu do olbrzymich ilości bogatych w rzadkie minerały hałd wyrobisk górniczych oraz rozwoju gospodarki zamkniętego obiegu, rozwój technologii odzyskiwania tych minerałów będzie bardzo korzystny dla polskiej gospodarki, także na poziomie lokalnym w sensie rekultywacji obszarów poprzemysłowych, co będzie także poprawiać opłacalność wdrażania tych technologii.

11.1. Charakterystykę potencjału i *know-how* Polski

Polska ma rosnący potencjał i know-how w zakresie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu. Poniżej przedstawiona jest charakterystyka jego kluczowych aspektów:

- **POTENCJAŁ**

Silna baza przemysłowa: Polska jest piątym co do wielkości krajem produkcyjnym w UE z dobrze rozwiniętymi sektorami, takimi jak: motoryzacja, wyroby metalowe i chemikalia. Zapewnia to solidne podstawy do przyjmowania i rozwijania zaawansowanych technologii²⁶⁰.

Rozwijająca się gospodarka: Polska ma stale rozwijającą się gospodarkę, co pozwala na inwestycje w badania i rozwój, infrastrukturę oraz innowacje w zakresie zaawansowanych materiałów i produkcji²⁶¹.

Członkostwo w UE: członkostwo w UE daje Polsce dostęp do finansowania, wspólnych projektów badawczych i możliwości transferu technologii w ramach europejskich²⁶².

Wykwalifikowana siła robocza: Polska posiada wykwalifikowaną siłę roboczą, w tym inżynierów i naukowców, którzy mogą przyczynić się do rozwoju i wdrażania zaawansowanych technologii²⁶³.

Wsparcie rządowe: rząd polski aktywnie promuje innowacje i rozwój w zakresie zaawansowanych materiałów i produkcji poprzez różne programy i inicjatywy²⁶⁴.

- **KNOW-HOW**

Badania i rozwój: Polska posiada rosnącą liczbę instytucji badawczych i uniwersytetów pracujących nad zaawansowanymi materiałami, nanotechnologią i procesami produkcyjnymi²⁶⁵.

Przyjęcie Przemysłu 4.0: firmy polskie coraz częściej wdrażają technologie Przemysłu 4.0, takie jak automatyzacja, analiza dużych zbiorów danych i przetwarzanie w chmurze, napędzając innowacje w produkcji²⁶⁶.

Produkcja addytywna: w Polsce rośnie doświadczenie w produkcji addytywnej (druk 3D), z zastosowaniami w różnych branżach, w tym lotniczej i medycznej²⁶⁷.

²⁶⁰ <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-advanced-manufacturing>

²⁶¹ <https://www.paih.gov.pl/en/why-poland/economic-stability-and-a-strong-economy/>

²⁶² https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_1222

²⁶³ <https://www.thunes.com/insights/trends/why-poland-is-leading-central-europes-digital-transformation>

²⁶⁴ <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-advanced-manufacturing>

²⁶⁵ <https://www.trade.gov/pl/en/news/an-increase-in-the-number-of-research-units-in-poland/>

²⁶⁶ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/>

<https://przemysl-40.pl/index.php/2017/05/03/czym-jest-przemysl-4-0-czesc-2/>

²⁶⁷ <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/poland-advanced-manufacturing>

Technologie recyklingu: w Polsce opracowuje się i wdraża innowacyjne technologie recyklingu, w szczególności w zakresie przetwarzania odpadów z tworzyw sztucznych, promując rozwój modelu gospodarki o obiegu zamkniętym²⁶⁸.

11.2. Informacje o otoczeniu prawnym i instytucjonalnym

Otoczenie prawne i instytucjonalne w Polsce w zakresie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu jest dość dynamiczne, kształtowane zarówno przez przepisy krajowe, jak i unijne. Oto przegląd najważniejszych z nich:

Ramy prawne:

Prawodawstwo UE: jako członek UE, Polska wdraża europejskie dyrektywy i przepisy dotyczące zaawansowanych materiałów, technologii produkcji i recyklingu:

- **GOSPODARKA
ODPADAMI**

Dyrektywa ramowa w sprawie odpadów, dyrektywy dotyczące konkretnych strumieni odpadów (np. WEEE, baterie, opakowania), promowanie zasad gospodarki o obiegu zamkniętym.
- **DYREKTYWA WEEE
(Waste Electrical and
Electronic Equipment)**
oraz **DYREKTYWA O
ZYTYCH BATERIACH I
AKUMULATORACH**

Dyrektywy te wprowadzają szczegółowe wymagania dotyczące recyklingu i odzysku surowców z tych produktów. Dla Polski oznacza to konieczność rozwoju infrastruktury i technologii recyklingowych, zwłaszcza w sektorze elektroniki i akumulatorów.
- **CHEMIKALIA**

Rozporządzenie REACH w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów; Dyrektywa RoHS w sprawie substancji niebezpiecznych w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym²⁶⁹.
- **BEZPIECZEŃSTWO
PRODUKTÓW**

Dyrektywa w sprawie ogólnego bezpieczeństwa produktów, dyrektywy dotyczące określonych kategorii produktów.
- **OCHRONA
ŚRODOWISKA**

Dyrektywy dotyczące jakości powietrza i wody, emisji przemysłowych, oceny oddziaływania na środowisko.

Ustawodawstwo krajowe: Polska posiada przepisy krajowe uzupełniające prawodawstwo UE, w tym:

²⁶⁸ <https://coopernicus.pl/knowledge/polish-innovations-in-safe-waste-conversion-emka-s-a-investment-plans/>

²⁶⁹ <https://www.dudkowiak.com/environmental-law-in-poland/production-of-chemicals-in-poland/>

- **USTAWA O ODPADACH** Reguluje gospodarkę odpadami, w tym zbieranie, transport, przetwarzanie i recykling²⁷⁰.
- **USTAWA O OCHRONIE ŚRODOWISKA** Określa ogólne zasady ochrony środowiska i procedury oceny oddziaływania na środowisko²⁷¹.
- **USTAWA O SUBSTANCJACH CHEMICZNYCH I ICH MIESZANINACH** Wdraża REACH i inne przepisy UE dotyczące chemikaliów²⁷².
- **PRAWO WŁASNOŚCI PRZEMYSŁOWEJ** Chroni patenty, znaki towarowe i wzory przemysłowe związane z zaawansowanymi materiałami i technologiami produkcyjnymi²⁷³.

Otoczenie instytucjonalne:

- **MINISTERSTWO KLIMATU I ŚRODOWISKA**²⁷⁴ Odpowiedzialne za politykę ochrony środowiska, w tym gospodarkę odpadami i recykling.
- **MINISTERSTWO ROWOJU I TECHNOLOGII**²⁷⁵ Wspiera innowacje i rozwój w zakresie zaawansowanych materiałów i produkcji, w tym inicjatywy Przemysłu 4.0.
- **NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU (NCBR)**²⁷⁶ Finansuje projekty badawczo-rozwojowe w różnych obszarach, w tym w zakresie zaawansowanych materiałów i technologii produkcyjnych.
- **POLSKA AGENCJA ROZWOJU PRZEDSIĘBIORCZOŚCI (PARP)**²⁷⁷ Zapewnia wsparcie dla przedsiębiorstw, w tym finansowanie innowacji i transferu technologii.
- **AGENCJA ROZWOJU PRZEMYSŁU (ARP)**²⁷⁸ Wspiera inwestycje w strategicznych sektorach, w tym zaawansowanych materiałów i produkcji.

²⁷⁰ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20130000021/U/D20130021Lj.pdf>

²⁷¹ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20010620627/U/D20010627Lj.pdf>

²⁷² <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20110630322/U/D20110322Lj.pdf>

²⁷³ <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20010490508/U/D20010508Lj.pdf>

²⁷⁴ <https://www.gov.pl/web/klimat>

²⁷⁵ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia>

²⁷⁶ <https://www.gov.pl/web/ncbr>

²⁷⁷ <https://www.parp.gov.pl/>

²⁷⁸ <https://arp.pl/>

- **POLSKA AKADEMIA NAUK (PAP)²⁷⁹** Prowadzi badania w różnych dziedzinach, w tym w zakresie materiałoznawstwa i inżynierii materiałowej.
- **UNIwersytety i INSTYTUTY BADAWCZE** Liczne uniwersytety i instytuty badawcze prowadzą badania i rozwój w zakresie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu.
- **STOWARZYSZENIA BRANŻOWE** Reprezentują interesy różnych branż oraz promują współpracę i innowacje.

11.3. Informacje o dokumentach kierunkowych uchwalonych na poziomie rządowym

Polska przyjęła szereg dokumentów kierunkowych i wytycznych na szczeblu rządowym w celu promowania zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu. Dokumenty te nakreślają strategiczny kierunek i priorytety kraju w tych obszarach, zapewniając ramy zarówno dla inicjatyw sektora publicznego, jak i prywatnego.

Kluczowe dokumenty i inicjatywy obejmują następujące obszary:

- **Polityka Surowcowa Państwa:** Polityka ta podkreśla znaczenie zaawansowanych materiałów i ich rolę w polskiej gospodarce. Koncentruje się na zapewnieniu dostępu do kluczowych surowców, opracowywaniu nowych technologii wydobywania i przetwarzania oraz promowaniu innowacji w dziedzinie materiałoznawstwa²⁸⁰.
- **Polska Strategia Wodorowa:** Ustanawia ramy rozwoju technologii wodorowych, w tym materiałów i technologii produkcji związanych z zielonym wodorem. Polska planuje rozwijać technologie wodorowe, co wymaga innowacyjnych materiałów odpornych na korozję i wysokie temperatury.
- **Mapa drogowa dla gospodarki o obiegu zamkniętym:** Ta mapa drogowa nakreśla przejście Polski na model gospodarki o obiegu zamkniętym, kładąc nacisk na redukcję odpadów, ponowne wykorzystanie i recykling. Promuje rozwój innowacyjnych technologii recyklingu i wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu w produkcji²⁸¹.
- **Ósmy krajowy komunikat i piąty dwuletni raport Polski w ramach Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu:** Raport ten podkreśla zaangażowanie Polski w redukcję emisji gazów cieplarnianych i promowanie zrównoważonego rozwoju. Obejmuje on inicjatywy związane z efektywnym gospodarowaniem zasobami, gospodarką odpadami i rozwojem czystych technologii w sektorze produkcyjnym²⁸².

²⁷⁹ <https://pan.pl/>

²⁸⁰ <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-surowcowa-panstwa>

²⁸¹ <https://gozwpraktyce.pl/regulacja/mapa-drogowa/>

²⁸² <https://www.gov.pl/web/klimat/raporty-ONZ>

- **Krajowa Inteligentna Specjalizacja (KIS):** Określa priorytetowe obszary badań i innowacji, w tym zaawansowane materiały i produkcję²⁸³.
- **Platforma Przemysłu Przyszłości:** Promuje przyjęcie Przemysłu 4.0 i zapewnia wsparcie dla przedsiębiorstw²⁸⁴.
- **Mapa drogowa gospodarki o obiegu zamkniętym:** Przedstawia rządową strategię przejścia na gospodarkę o obiegu zamkniętym²⁸⁵.

Dokumenty te wspólnie pokazują zaangażowanie Polski w promowanie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu. Przedstawiają one mapę drogową transformacji kraju w kierunku bardziej zrównoważonej i zasobooszczędnej gospodarki.

Oprócz tych nadrzędnych dokumentów wdrożono kilka konkretnych programów i inicjatyw wspierających rozwój i wdrażanie wymienianych technologii. Obejmują one programy finansowania badań i rozwoju, zachęty podatkowe dla przedsiębiorstw oraz inicjatywy edukacyjne mające na celu szkolenie wykwalifikowanej siły roboczej.

11.4. Informacje o wyspecjalizowanych agencjach i stowarzyszeniach branżowych

Polska ma rosnący ekosystem wyspecjalizowanych agencji i stowarzyszeń branżowych zajmujących się rozwojem materiałów, produkcji i technologii recyklingu. Oto niektóre kluczowe podmioty:

Agencje rządowe:

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • NARODOWE CENTRUM BADAŃ I ROZWOJU (NCBR) | <p>Główna agencja finansowa wspierająca projekty badawczo-rozwojowe w różnych dziedzinach, w tym w zakresie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu. NCBR oferuje dotacje, pożyczki i inne instrumenty finansowe dla firm i instytucji badawczych²⁸⁶.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • AGENCJA ROZWOJU PRZEMYSŁU (ARP) | <p>Koncentruje się na wspieraniu rozwoju polskiego przemysłu, w tym sektorów związanych z zaawansowanymi materiałami i produkcją. Zapewnia wsparcie finansowe i doradcze dla firm, promuje inwestycje i wspiera innowacje²⁸⁷.</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • MINISTERSTWO KLIMATU I ŚRODOWISKA | <p>Odpowiedzialne za opracowywanie i wdrażanie polityk związanych z ochroną środowiska, gospodarką odpadami i gospodarką o obiegu zamkniętym. Odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu ram regulacyjnych dla technologii recyklingu i zrównoważonych praktyk produkcyjnych.</p> |

²⁸³ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/krajowe-inteligentne-specjalizacje>

²⁸⁴ <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/>

²⁸⁵ <https://gozwpraktyce.pl/regulacja/mapa-drogowa/>

²⁸⁶ <https://www.gov.pl/web/ncbr-en/about-us#>

²⁸⁷ <https://arp.pl/en/>

- **POLSKA AGENCJA ROZWOJU PRZEDSIĘBIORCZOŚCI (PARP)²⁸⁸** Zapewnia wsparcie dla przedsiębiorstw, w tym finansowanie innowacji i transferu technologii.

Stowarzyszenia branżowe:

- **POLSKA IZBA GOSPODARCZA ZAAWANSOWANYCH TECHNOLOGII (IZTECH)** Reprezentuje firmy działające w sektorze zaawansowanych technologii, w tym te zajmujące się zaawansowanymi materiałami, produkcją i recyklingiem. Opowiada się za polityką wspierającą innowacje, promuje współpracę między firmami i instytucjami badawczymi oraz ułatwia transfer technologii.
- **STOWARZYSZENIE „POLSKI RECYCLING”** Promuje rozwój branży recyklingu w Polsce. Reprezentuje firmy zaangażowane w różne aspekty recyklingu, od zbiórki i sortowania odpadów po przetwarzanie i regenerację. Opowiada się za polityką wspierającą gospodarkę o obiegu zamkniętym i zachęca do korzystania z materiałów pochodzących z recyklingu²⁸⁹.
- **POLSKI KLUSTER INNOWACYJNYCH PRZEDSIĘBIORSTW** Sieć firm, instytucji badawczych i innych organizacji współpracujących w celu promowania innowacji i konkurencyjności w różnych sektorach, w tym zaawansowanych materiałów i produkcji. Ułatwia dzielenie się wiedzą, wspólne projekty badawcze i transfer technologii.
- **FEDERACJA STOWARZYSZEŃ NAUKOWO-TECHNICZNYCH** Organizacja parasolowa dla różnych stowarzyszeń naukowych i technicznych w Polsce. Promuje współpracę między naukowcami, inżynierami i specjalistami z branży oraz przyczynia się do rozwoju standardów technicznych i najlepszych praktyk w różnych dziedzinach, w tym w materiałoznawstwie i produkcji.

Powyższe instytucje są przykładami wyspecjalizowanych agencji i stowarzyszeń branżowych działających w Polsce. Wspierając współpracę, promując innowacje i opowiadając się za polityką wspierającą, organizacje te odgrywają istotną rolę w napędzaniu rozwoju i przyjmowaniu zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu w Polsce.

²⁸⁸ <https://www.parp.gov.pl/>

²⁸⁹ <https://www.targikielce.pl/en/plastpol-2024/list-of-exhibitors/stowarzyszenie-polski-recykling,2159211>

11.5. Informacje o ośrodkach badawczych

W Polsce działa szereg ośrodków badawczych zajmujących się rozwojem materiałów, produkcji i technologii recyklingu. Poniższa lista przedstawia instytucje badawcze, których działalność skoncentrowana jest na zaawansowanych materiałach, zaawansowanej produkcji i na technologiach recyklingu:

Instytucje badawcze:

- **CENTRUM
ZAAWANSOWANYCH
MATERIAŁÓW I
TECHNOLOGII
(CEZAMAT)**

Wiodący ośrodek badawczy zajmujący się opracowywaniem nowych materiałów i technologii o potencjale komercyjnym. Prowadzi badania w dziedzinach takich jak nanotechnologia, biotechnologia i fotonika, z zastosowaniami w różnych gałęziach przemysłu, w tym w produkcji i recyklingu²⁹⁰.
- **INSTYTUT
PODSTAWOWYCH
PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII
NAUK**

Prowadzi badania w różnych obszarach nauki i technologii, w tym materiałoznawstwa, mechaniki i elektroniki. Przyczynia się do rozwoju nowych materiałów i technologii mających zastosowanie w produkcji i innych gałęziach przemysłu²⁹¹.
- **POLITECHNIKA
WARSZAWSKA**

Oferuje szereg programów z zakresu materiałoznawstwa, inżynierii i technologii. Prowadzi projekty badawczo-rozwojowe we współpracy z partnerami przemysłowymi, przyczyniając się do rozwoju wiedzy i innowacji w zakresie zaawansowanych materiałów i produkcji.

Organizacje skoncentrowane na badaniach i rozwoju zaawansowanych technologii materiałowych:

- **CENTRUM
ZAAWANSOWANYCH
MATERIAŁÓW I
TECHNOLOGII
(CEZAMAT)**

Jest centrum opracowywania nowych materiałów mających zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, w tym w medycynie, energetyce i elektronice. Posiada najnowocześniejsze urządzenia do badań w dziedzinie nanotechnologii, biotechnologii i fotoniki²⁹².
- **INSTYTUT METALURGII I
INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ**

Prowadzi podstawowe i stosowane badania nad szeroką gamą materiałów, w tym metali, ceramiki, polimerów i kompozytów. Koncentruje się na opracowywaniu nowych materiałów o ulepszonych właściwościach do różnych zastosowań²⁹³.

²⁹⁰ <https://www.cezamat.eu/o-nas/cezamat/>

²⁹¹ <https://www.ippt.pan.pl/jednostki-badawcze>

²⁹² <https://cezamat.eu/oferta-wspolpracy/uslugi-badawcze/>

²⁹³ <https://www.imim.pl/>

**POLSKIEJ AKADEMII
NAUK (IMIM PAN)**

- **POLSKIE
TOWARZYSTWO
MATERIAŁOZNAWCZE
(PTM)**

Profesjonalna organizacja zrzeszająca naukowców, inżynierów i specjalistów przemysłowych pracujących w dziedzinie materiałoznawstwa. Organizuje konferencje, warsztaty i szkolenia w celu rozpowszechniania wiedzy i promowania współpracy²⁹⁴.

Organizacje skoncentrowane na badaniach i rozwoju zaawansowanych technologii produkcji:

- **SIEĆ BADAWCZA
ŁUKASIEWICZ –
WARSZAWSKI
INSTYTUT
TECHNOLOGICZNY**
- **SIEĆ BADAWCZA
ŁUKASIEWICZ –
PRZEMYSŁOWY
INSTYTUT
MOTORYZACJI (PIMOT)**
- **STOWARZYSZENIE
INŻYNIERÓW I
TECHNIKÓW
MECHANIKÓW
POLSKICH (SIMP)**

Instytut koncentruje się na badaniach i rozwoju w dziedzinie mechaniki precyzyjnej, mechatroniki i automatyki. Opracowuje zaawansowane technologie produkcyjne dla różnych gałęzi przemysłu, w tym motoryzacyjnego, lotniczego i elektronicznego²⁹⁵.

Instytut ten prowadzi badania i rozwój dla przemysłu motoryzacyjnego, koncentrując się na takich obszarach, jak projektowanie pojazdów, technologie produkcji i paliwa alternatywne²⁹⁶.

Stowarzyszenie to reprezentuje profesjonalistów w dziedzinie inżynierii mechanicznej. Promuje rozwój zaawansowanych technologii produkcyjnych oraz zapewnia programy szkoleniowe i certyfikacyjne dla inżynierów²⁹⁷.

Organizacje skoncentrowane na badaniach i rozwoju zaawansowanych technologii recyklingu:

- **STOWARZYSZENIE
„POLSKI RECYCLING”**

Jak wspomniano wcześniej, jest to kluczowa organizacja, która reprezentuje firmy zaangażowane we wszystkie aspekty recyklingu, opowiadając się za polityką wspierającą gospodarkę o obiegu zamkniętym i promującą wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu²⁹⁸.

²⁹⁴ <https://ptm-materials.pl/>

²⁹⁵ <https://wit.lukasiewicz.gov.pl/>

²⁹⁶ <https://pimot.lukasiewicz.gov.pl/>

²⁹⁷ <https://simp.pl/>

²⁹⁸ <https://polskirecykling.org/>

- **KLASTER GOSPODARKI ODPADAMI I RECYKLINGU (KGOiR)** Zrzesza firmy, instytucje badawcze i samorządy lokalne w celu promowania innowacji i najlepszych praktyk w zakresie gospodarki odpadami i recyklingu²⁹⁹.
- **INSTYTUT NA RZECZ EKOROZWOJU** Prowadzi działalność badawczą i rozwojową w różnych obszarach związanych z ochroną środowiska, w tym gospodarką odpadami, technologiami recyklingu oraz gospodarką o obiegu zamkniętym³⁰⁰.

Dodatkowo wsparcie Unii Europejskiej dla projektów badawczo-rozwojowych z danego obszaru technologii krytycznych realizują następujące programy i fundusze:

- **Program Horyzont Europa:** Polska jako członek UE ma dostęp do funduszy z tego programu, który wspiera projekty badawcze i innowacyjne związane z technologiami niskoemisyjnymi, materiałami przyszłości oraz recyklingiem.
- **Fundusz na rzecz Sprawiedliwej Transformacji (FST):** Pomaga krajom i regionom o dużym uzależnieniu od paliw kopalnych przejść na bardziej ekologiczne technologie, co obejmuje również inwestycje w nowe materiały i technologie recyklingu.
- **Program LIFE:** Skierowany na ochronę środowiska i działania klimatyczne, wspiera polskie projekty związane z recyklingiem i zrównoważonymi technologiami, np. technologie redukujące ilość odpadów przemysłowych.

11.6. Bariery rozwoju

Jak w przypadku innych technologii krytycznych, bariery rozwoju dotyczą różnych czynników – finansowania oraz inwestycji, infrastruktury, umiejętności, środowiska i samego rynku. Dla każdego z nich występują następujące bariery:

- **FINANSOWANIE ORAZ INWESTYCJE** **Ograniczone finansowanie badań i rozwoju:** Pomimo pewnych inicjatyw rządowych, ogólne inwestycje w badania i rozwój pozostają niższe niż w wielu krajach Europy Zachodniej. Ogranicza to rozwój przełomowych technologii i spowalnia innowacje w zakresie zaawansowanych materiałów i produkcji.

Dostęp do finansowania dla MŚP: Małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) często mają trudności z zapewnieniem finansowania na przyjęcie nowych technologii i zwiększenie produkcji. Ogranicza to ich zdolność do inwestowania w zaawansowane materiały i procesy produkcyjne.

²⁹⁹ <https://klasterodpadowy.com/portal/>

³⁰⁰ <https://www.pine.org.pl/>

- **INFRASTRUKTURA I
DOSTĘP DO
ZASOBÓW
KRYTYCZNYCH**

Brak specjalistycznej infrastruktury: Polska potrzebuje bardziej wyspecjalizowanej infrastruktury, takiej jak ośrodki badawcze i zakłady pilotażowe, aby wspierać rozwój i komercjalizację zaawansowanych materiałów i technologii recyklingu.

Ograniczony dostęp do kluczowych surowców: Zależność od importu niektórych surowców krytycznych może powodować słabości łańcucha dostaw i utrudniać rozwój zaawansowanych materiałów.

- **UMIEJĘTNOŚCI I
WIEDZA**

Luka w umiejętnościach: Niedobór wykwalifikowanych pracowników, szczególnie w wyspecjalizowanych obszarach, takich jak materiałoznawstwo i zaawansowana produkcja, stanowi wyzwanie. Ogranicza to zdolność firm do skutecznego wdrażania nowych technologii³⁰¹.

Transfer wiedzy: Poprawa współpracy i transferu wiedzy między instytucjami badawczymi a przemysłem ma kluczowe znaczenie dla przełożenia wyników badań na zastosowania komercyjne.

Niska świadomość Polaków, zwłaszcza o gospodarce cyrkularnej³⁰², która ma bezpośredni wpływ na recykling:

- **ŚRODOWISKO
REGULACYJNE I
POLITYCZNE**

Złożone przepisy: Poruszanie się po złożonych przepisach i procedurach wydawania pozwoleń może stanowić wyzwanie dla firm, szczególnie tych zajmujących się recyklingiem i gospodarką odpadami³⁰³.

Brak jasnych ram politycznych: Potrzebne są bardziej kompleksowe i długoterminowe ramy polityczne, aby zapewnić większą pewność i zachęcić do inwestowania w zaawansowane materiały, produkcję i technologie recyklingu.

- **RYNEK I POPYT**

Ograniczony popyt krajowy: Stosunkowo niewielki rozmiar krajowego rynku zaawansowanych materiałów i produktów może ograniczać rozwój firm w tym sektorze.

Konkurencja ze strony tanich producentów: Konkurencja ze strony

³⁰¹ <https://trainingindustry.com/articles/workforce-development/closing-the-technology-skills-gaps-in-manufacturing-with-training/>

³⁰² <https://journals.ue.wroc.pl/pn/article/download/1272/1045/2917>

³⁰³ <https://glc.pl/en/blog/expanding-your-business-to-poland/>

krajów o niższych kosztach pracy może utrudniać polskim firmom konkurowanie na rynku globalnym.

Pokonanie tych barier wymaga skoordynowanego wysiłku rządu, przemysłu oraz instytucji badawczych. Kluczowe działania obejmują:

- **Zwiększenie inwestycji w badania i rozwój:** Zwiększenie publicznego i prywatnego finansowania badań i rozwoju, szczególnie w obszarach takich jak: nanotechnologia, biotechnologia i zaawansowana produkcja.
- **Poprawa dostępu do finansowania:** Zapewnienie lepszego dostępu do finansowania dla MŚP, w tym dotacji, pożyczek i kapitału wysokiego ryzyka, w celu wspierania wdrażania przez nie nowych technologii.
- **Rozwój specjalistycznej infrastruktury:** Inwestowanie w obiekty testowe, zakłady pilotażowe i inną infrastrukturę wspierającą rozwój i komercjalizację zaawansowanych technologii.
- **Wzmacnianie edukacji i szkoleń:** Inwestowanie w programy edukacyjne i szkoleniowe w celu rozwoju wykwalifikowanej siły roboczej w zakresie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu.
- **Usprawnienie przepisów:** Uproszczenie przepisów i procedur wydawania pozwoleń w celu zmniejszenia barier dla firm.
- **Promowanie współpracy:** Zachęcanie do współpracy między instytucjami badawczymi i przemysłem w celu ułatwienia transferu wiedzy i komercjalizacji wyników badań.
- **Wspieranie rozwoju rynku:** Promowanie wykorzystania zaawansowanych materiałów i produktów w różnych sektorach, w tym w budownictwie, przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym.

Podejmując te działania, Polska może uwolnić pełny potencjał zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu, napędzając wzrost gospodarczy, tworząc miejsca pracy i promując zrównoważony rozwój.

11.7. Potencjał ludzki, wymagana infrastruktura i finansowanie

Polska ma potencjał, aby stać się znaczącym graczem w dziedzinie zaawansowanych materiałów, produkcji i technologii recyklingu. Wykorzystanie tego potencjału wymaga jednak strategicznego skupienia się na kapitale ludzkim, infrastrukturze i finansowaniu.

Potencjał ludzki:

- **Specyfika luki kompetencyjnej:** **Rosnące zapotrzebowanie na specjalistów:** W raporcie Polskiego Instytutu Ekonomicznego (PIE) z 2020 r. podkreślono rosnące zapotrzebowanie na specjalistów w dziedzinie materiałoznawstwa, nanotechnologii i biotechnologii, ze szczególnym zapotrzebowaniem na wiedzę specjalistyczną w

obszarach takich jak przetwarzanie polimerów, materiały kompozytowe i produkcja addytywna³⁰⁴.

Niedobory umiejętności: Panorama umiejętności Komisji

Europejskiej dla Polski identyfikuje również niedobory umiejętności w zakresie zaawansowanej produkcji i inżynierii, w tym wiedzy specjalistycznej w zakresie automatyzacji, robotyki i analizy danych³⁰⁵.

- **Drenaż mózgów**

Badanie przeprowadzone w 2021 r. przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) wykazało, że Polska ma jeden z najwyższych wskaźników emigracji wysoko wykształconych osób wśród krajów OECD³⁰⁶.

- **Inicjatywy w zakresie podnoszenia i zmiany kwalifikacji**

Raport Najwyższej Izby Kontroli (NIK) z 2022 r. wykazał, że programy te muszą być lepiej ukierunkowane i dostosowane do konkretnych potrzeb wschodzących branż, takich jak zaawansowane materiały.

Polski rząd uruchomił programy, takie jak „Kompetentna Polska”, aby wspierać wysiłki na rzecz podnoszenia i zmiany kwalifikacji, ze szczególnym uwzględnieniem umiejętności cyfrowych i technologii Przemysłu 4.0³⁰⁷.

- **Przyciąganie talentów**

Program „Polska. Business Harbour” ma na celu przyciągnięcie zagranicznych specjalistów z branży IT i innych sektorów zaawansowanych technologii poprzez oferowanie uproszczonych procedur wizowych i wsparcia w relokacji³⁰⁸.

Istnieje nadal przestrzeń by zrobić więcej, aby przyciągnąć ekspertów w dziedzinie zaawansowanych materiałów, takich jak oferowanie konkurencyjnych grantów badawczych i wspieranie współpracy międzynarodowej.

Wymagana infrastruktura:

- **Dostęp do zaawansowanego sprzętu**

Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) wspiera rozwój infrastruktury badawczej poprzez programy takie jak „Innowacja Plus”, ale dostęp do specjalistycznego sprzętu do przetwarzania zaawansowanych materiałów i recyklingu pozostaje wyzwaniem, szczególnie dla MŚP³⁰⁹.

³⁰⁴ <https://www.pwc.pl/pl/publikacje/2017/przemysl-4-0.html>

³⁰⁵ <https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/skills-intelligence>

³⁰⁶ https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2021_b35a14e5-en

³⁰⁷ <https://www.power.gov.pl/>

³⁰⁸ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/poland-business-harbour--rusza-program-polskiego-rzadu-dla-przedsiębiorczych-białorusinów-z-sektora-ict>

³⁰⁹ <https://www.gov.pl/web/ncbr>

Istnieje stała potrzeba dalszych inwestycji we wspólne obiekty badawcze i otwarte laboratoria, aby zapewnić szerszy dostęp do zaawansowanego sprzętu.

- **Równowaga rozwojowa**

Dysproporcje regionalne: Istnieją znaczne dysproporcje regionalne w dostępie do infrastruktury badawczej i innowacyjnej w Polsce, przy czym główne miasta, takie jak Warszawa i Kraków, mają koncentrację zasobów³¹⁰.

Koncentracja na zrównoważonym rozwoju: „Strategia Zrównoważonego Rozwoju 2030” polskiego rządu podkreśla potrzebę zielonych inwestycji i rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym, ale jej wdrożenie pozostaje wyzwaniem³¹¹.

Cyfryzacja i Przemysł 4.0: Inicjatywa „Platforma Przemysłu 4.0” ma na celu wsparcie cyfrowej transformacji polskiego przemysłu, ale potrzebne są dalsze wysiłki w celu promowania przyjęcia zaawansowanych technologii w sektorach materiałów i recyklingu³¹².

Finansowanie:

- **Ekosystem kapitału wysokiego ryzyka**

W raporcie PFR Ventures z 2022 r., polskiego funduszu venture capital, zauważono, że chociaż rynek VC w Polsce rośnie, nadal istnieje ograniczona liczba inwestorów specjalizujących się w głębokich technologiach i zaawansowanych materiałach³¹³.

- **Finansowanie na wczesnym etapie**

Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP) oferuje programy takie jak „Start in Poland”, aby wspierać startupy na wczesnym etapie rozwoju, ale dostęp do finansowania załączkowego dla firm zajmujących się zaawansowanymi materiałami pozostaje wyzwaniem.

- **Publiczne mechanizmy finansowania**

NCBR i Narodowe Centrum Nauki (NCN) zapewniają finansowanie projektów badawczo-rozwojowych, ale poruszanie się po procesie składania wniosków i spełnianie kryteriów kwalifikowalności może być skomplikowane dla firm.

³¹⁰ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/statistics/performance-indicators/regional-innovation-scoreboard_en

³¹¹ http://www.un.org.pl/files/170/Agenda2030PL_pl-5.pdf

³¹² <https://przemyslprzyszlosci.gov.pl/ustawa-o-fundacji-platforma-przemyslu-przyszlosci/>

³¹³ [Transakcje na polskim rynku VC w 2022 | Serwis Spółki PFR Ventures](#)

Obszar rozwoju technologii zaawansowanych materiałów, technologii i recyklingu jest bardzo kompleksowy: interdyscyplinarny, oparty zarówno na tradycyjnych, jak i nowoczesnych naukach i technologiach. Jednocześnie jego rozwój wymaga bardzo istotnych inwestycji w środki trwałe. Niesie to z sobą bardzo istotne wyzwania dla stworzenia dynamicznego i innowacyjnego ekosystemu, sprzyjającemu rozwojowi. Jednak sama ścieżka rozwoju, jak i osiągnięte wyniki, niosą z sobą korzyści nie tylko dla polskiej gospodarki, ale także przyczyniają się do globalnych wysiłków na rzecz zrównoważonego rozwoju.

11.8. Wykaz firm, ich produktów i usług

W obszarze zaawansowanych materiałów, technologii produkcji i recyklingu wyróżniają się następujące polskie firmy:

Nazwa firmy	WWW	Firma/ Zespół badaw czy	Nazwa produktu/ usługi	Opis
Advanced Graphene Products S.A.	https://advancedgrapheneproducts.com/	Firma	Grafen HSMG®	Metoda produkcji wielkopowierzchniowego grafenu HSMG® (High Strength Metallurgical Graphene)
BeeGraphene Sp. z o.o.	https://beegraphene.com/	Firma	Grafen	Produkcja płytek grafenu
Bin-e Sp. z o.o.	https://www.bine.world/	Firma	Bin-e	Inteligentne urządzenie na śmieci
Cognor Holding S.A.	https://cognorholding.eu/	Firma	Pręty stalowe, mosiężne i ze stopów cynku.	Produkcja wyrobów stalowych i metalowych. Produkcja prętów stalowych, mosiężnych i stopów cynku.
INTERMAG Sp. z o.o.	https://intermag.pl	Firma	Biostymulatory Produkty mikrobiologiczne	Produkty do upraw i hodowli rolniczej
Jakusz SpaceTech Sp. z o.o.	https://jakusz-spacetech.com/	Firma	Nadtlenek wodoru Ciecze jonowe DMAZ (paliwo raketowe)	Zaawansowana chemia, paliwa raketowe i "zielone"
Nanoemi Sp. z o.o.	https://nanoemi.com/	Firma	Grafen	Producent czystego grafenu w formie

				sproszkowanych płatków grafenowych oraz zawiesziny płatków grafenowych
Pietrucha S.A.	https://pietrucha.pl	Firma	Grodzie hybrydowe	Zaawansowane technologie materiałowe dla tworzenia grodzi wodnych
Progresja Space Sp. z o.o.	https://progresjaspace.com/	Firma	Komory spalania wysokotemperatu rowego	Projekt badawczy na poziomie TRL6
SELENA S.A.	https://selena.com/	Firma	TYTAN	Chemia budowlana
XTPL S.A.	https://xtpl.com/pl/	Firma	XTPL Delta Printing System	Ultra precyzyjna technologia druku

12. JAKIE PRIORYTETY DLA POLSKI

12.1. Metodyka oceny perspektywiczności

Każde państwo ma ograniczone możliwości inwestycyjne. Budżet państwa polskiego na rok 2024 wynosi około 848 miliardów złotych, a jego główne wydatki obejmują sfery, takie jak ochrona zdrowia, edukacja, emerytury i renty, a także obronność i infrastrukturę. W latach 2020-2024 Polska przeznaczyła na badania naukowe i innowacje łącznie ponad 40 miliardów złotych, co odzwierciedla rosnące zaangażowanie w rozwój technologiczny kraju. Dlatego kluczowe jest skierowanie środków na te projekty, które przyniosą największy zwrot z inwestycji i zwiększą dochody jak największej liczby obywateli.

W celu określenia priorytetów w dziedzinie nowych technologii, opracowano metodykę oceny 10 technologii krytycznych. Ocena ta opiera się na 12 miarach, z których każda jest określana w skali od 1 do 5 punktów. Technologie, które uzyskają największą liczbę punktów, powinny zostać uznane za priorytetowe dla polskiej gospodarki.

Zaproponowane przez autorów analizy miary to:

1. **Liczba firm** w danym obszarze technologii krytycznych – ocenia, ile przedsiębiorstw działa w danym sektorze technologii, co pozwala określić potencjał rozwoju branży.
2. Dostępny **kapitał ludzki** – mierzy dostępność wykwalifikowanych Polek i Polaków, gotowych do pracy w danej technologii.
3. **Istniejąca infrastruktura** – ocenia istniejące zasoby, takie jak laboratoria, sieci komunikacyjne czy zakłady produkcyjne, które mogą wspierać rozwój technologii.
4. **Potencjał udziału w PKB** – ocenia, jak dana technologia może wpłynąć na wzrost polskiego Produktu Krajowego Brutto, co jest wskaźnikiem rozwoju gospodarczego.
5. Potencjał dużego **udziału w globalnych łańcuchach dostaw** – mierzy możliwość, aby Polska stała się ważnym ogniwem w międzynarodowych łańcuchach dostaw technologicznych.
6. **Istniejące otoczenie instytucjonalne** – ocenia, na ile sprzyjające są istniejące już w danym sektorze warunki prawne, regulacyjne i administracyjne.
7. **Obecność w programach nauczania** uczelni wyższych – mierzy, czy dane technologie są obecne w polskim systemie edukacyjnym, co zapewnia przyszłe kadry specjalistów.
8. Wpływ na **zrównoważony rozwój** – ocenia, w jaki sposób dana technologia wspiera cele zrównoważonego rozwoju, takie jak ochrona środowiska czy zrównoważona gospodarka zasobami.
9. **Emisyjność CO₂** – ocenia czy dana technologia będzie miała pozytywny wpływ na obniżenie poziom emisji dwutlenku węgla (odwrotna skala: 1 dla wysokiej emisyjności, 5 dla niskiej), co jest kluczowe w kontekście transformacji klimatycznej.
10. **Potencjał wzrostu** – ocenia, jakie możliwości dalszego rozwoju i skalowania ma dana technologia w perspektywie krótko- i średnioterminowej.
11. **Zdolność budowania partnerstw** – mierzy potencjał tworzenia i budowania przez polskie firmy i zespoły badawcze partnerstw międzynarodowych oraz w ramach podmiotów w samej Polsce.
12. **Zainteresowanie inwestorów prywatnych** – ocenia, w jakim stopniu technologia przyciąga prywatne inwestycje, co jest wskaźnikiem jej opłacalności i perspektyw rynkowych.

Każdy z autorów Analizy ocenił wszystkie 10 technologii krytycznych pod kątem 12 miar, w skali od 1 do 5. Wynik łącznej oceny perspektywiczności dla polskiej gospodarki inwestycji, w każdą z 10 technologii krytycznych, został przedstawiony w rozdziale 12.2.

12.2. Lista priorytetów

Lista priorytetów powinna pomóc w wyborze technologii o największym znaczeniu dla rozwoju polskiej gospodarki, zapewniając optymalną alokację polskich zasobów i maksymalizację zwrotu z inwestycji w kontekście bezpieczeństwa gospodarczego Unii Europejskiej.

Zgodnie z przyjętą metodyką z punktu 12.1, autorzy analizy najwyżej ocenili perspektywę inwestycji Polski w **biotechnologie** (47 punktów). Na drugim miejscu oceniono perspektywy inwestowania w **technologie kwantowe** (42 punkty) i zaraz za nimi w **technologie sztucznej inteligencji** (41.5 punktów) oraz **technologie kosmiczne i napędowe** (41). Na piątym miejscu znalazły się **zaawansowana łączność i nawigacja oraz zaawansowane technologie cyfrowe** (40.5). Na szóstym - **technologie energetyczne** (39.5). Na siódmym - **robotyka i systemy autonomiczne** (36.25). Na ósmym - **zaawansowane materiały, technologie produkcji i recyklingu** (35.75). Na dziewiątym - **technologie w zakresie zaawansowanych półprzewodników** (31.75). Na dziesiątym - **zaawansowane technologie detekcji** (29.75).

Skala ocen czynników: 1 - bardzo mały/mala 2 - mały/mala 3 - średni/średnia 4 - duży/duża 5 - bardzo duży/duża		Ilość firm	Kapitał ludzki	Instalująca infrastruktura	Potencjał udziału w PKD	Potencjał dużego udziału w globalnych łańcuchach dostaw	Istniejące otoczenie instytucjonalne	Obecność w programach nauczania uczniów wyższych	Wpływ na zrównoważony rozwój	Emisyjność CO ₂ (UWAGA: Odwrotna skala - 1 dla dużej emisyjności, 5 dla małej emisyjności)	Potencjał wzrostu	Zdolność budowania partnerstw	Zainteresowanie inwestorów prywatnych	SUMA PUNKTÓW
1	TECHNOLOGIE W ZAKRESIE ZAAWANSOWANYCH PÓŁPRZEWODNIKÓW	1	2	1.5	3.75	3.75	2.25	3	3.25	2.5	3.5	2.25	3	31.75
2	TECHNOLOGIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI	4.25	4.25	2.75	4.75	2.75	2	3.5	2.25	3.5	4.25	3	4.75	42
3	TECHNOLOGIE KWANTOWE	1.75	4	2.5	4.75	3.75	2.5	3.75	3.75	2.75	5	4	3	41.5
4	BIOTECHNOLOGIE	3.75	4.25	3.25	4.25	3.5	2.25	4	3.5	4.25	5	4.5	4.5	47
5	ZAAWANSOWANA ŁĄCZNOŚĆ I NAWIGACJA ORAZ ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE CYFROWE	3.25	3.75	3.25	4	3.75	3	3.5	2.5	2.75	3.75	3.5	3.5	40.5
6	ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKЦИИ	1.75	2.75	2	1.75	2.5	2.5	2.75	3	4.25	2.5	2	2	29.75
7	TECHNOLOGIE KOSMICZNE I NAPĘDOWE	2.75	3.75	2	3.5	4	3.25	4.25	4.25	2.75	4.5	4.25	1.75	41
8	TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE	2	3.25	2	4	2.5	3.25	3.5	5	3.5	4	3.25	3.25	39.5
9	ROBOTYKA I SYSTEMY AUTONOMICZNE	2.5	3.75	3	3.25	2	1.75	3.25	3.75	3.25	4	2.25	3.5	36.25
10	ZAAWANSOWANE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE PRODUKCJI I RECYKLINGU	1.75	2.75	2.5	3.25	2.5	2	2	4.75	4	4.25	3	3	35.75

Tab.14 Lista priorytetów inwestowania w technologie krytyczne w Polsce.

Równocześnie należy zwrócić uwagę, że część technologii krytycznych ma wspólne dziedziny, a zaawansowana matematyka i informatyka występują właściwie we wszystkich. W wielu zastosowaniach takie technologie jak sztuczna inteligencja, zaawansowana łączność i nawigacja oraz zaawansowane technologie cyfrowe, robotyka i systemy autonomiczne występują łącznie w rozwiązaniach. Dlatego priorytetem wspierania polskich służb państwowych powinny być polskie firmy, które tworzą innowacyjne produkty nie tylko w ramach jednego obszaru, ale również łączą w jednym rozwiązaniu produkty z wielu

technologii krytycznych. Dotyczy to również biotechnologii, gdzie rozwój firm z tego obszaru jest niemożliwy bez sztucznej inteligencji, zaawansowanych technologii cyfrowych, a w przyszłości technologii kwantowych.

Według przeprowadzonej analizy, lista priorytetów wygląda tak jak w tabeli poniżej (Tab.15). Niezależnie od listy priorytetów, należy również uznać, że **kluczowe jest inwestowanie w rozwiązania i firmy, które łączą w sobie różne technologie krytyczne**. Dzięki temu budujemy w Polsce i Europie szerokie kompetencje techniczne i zwiększamy szansę tworzenia unikalnych, a możliwe, że również przełomowych, technologii i rozwiązań.

Priorytet	Obszar technologii	Technologie
1.	BIOTECHNOLOGIE	— Techniki modyfikacji genetycznej — Nowe techniki genomowe — Nadpisywanie genów — Biologia syntetyczna
2.	TECHNOLOGIE KWANTOWE	— Obliczenia kwantowe — Kryptografia kwantowa — Komunikacja kwantowa — Wykrywanie i radary kwantowe
3.	TECHNOLOGIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI	— Obliczenia wielkiej skali — Przetwarzanie danych w chmurze i na obrzeżach sieci — Technologie analizy danych — Komputerowe rozpoznawanie obrazów, przetwarzanie języka, rozpoznawanie obiektów
4.	TECHNOLOGIE KOSMICZNE I NAPĘDOWE	— Specjalne technologie ukierunkowane na przestrzeń kosmiczną, od poziomu komponentów po systemy — Technologie obserwacji przestrzeni kosmicznej i obiektów kosmicznych oraz obserwacji Ziemi — Kosmiczne pozycjonowanie, nawigacja i synchronizacja czasu (PNT) — Bezpieczna komunikacja, w tym łączność na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO) — Technologie napędowe, w tym napęd hipersoniczny i komponenty do celów wojskowych
5.	ZAAWANSOWANA ŁĄCZNOŚĆ I NAWIGACJA ORAZ ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE CYFROWE	— Bezpieczna komunikacja cyfrowa i łączność cyfrowa, np. RAN i Open RAN (sieć dostępu radiowego) oraz 6G — Technologie bezpieczeństwa cybernetycznego, w tym systemy cyberinwigilacji, bezpieczeństwa oraz wykrywania włamań i zapobiegania włamaniom, kryminalistyka cyfrowa — Internet rzeczy i rzeczywistość wirtualna — Technologie rozproszonego rejestru i tożsamości cyfrowej

		Technologie naprowadzania, nawigacji i kontroli, w tym elektronika lotnicza i pozycjonowanie na morzu
6.	TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE	- Technologie syntezy jądrowej, reaktory i wytwarzanie energii, technologie konwersji radiologicznej/wzbogacenia i recyklingu radiologicznego - Wodór i nowe paliwa - Technologie neutralne emisyjnie, w tym fotowoltaika - Inteligentne sieci i magazynowanie energii, baterie
7.	ROBOTYKA I SYSTEMY AUTONOMICZNE	- Drony i pojazdy (powietrzne, lądowe, nawodne i podwodne) - Roboty i systemy precyzyjne sterowane robotami - Egzoszkielety - Systemy wspomagane sztuczną inteligencją
8.	ZAAWANSOWANE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE PRODUKCJI I RECYKLINGU	- Technologie wytwarzania nanomateriałów, materiałów inteligentnych, zaawansowanych materiałów ceramicznych, materiałów niewykrywalnych, materiałów bezpiecznych i zrównoważonych już na etapie projektowania - Obróbka przyrostowa, także w terenie - Produkcja mikroprecyzyjna sterowana cyfrowo i obróbka laserowa/spawanie laserowe na małą skalę - Technologie wydobywania, przetwarzania i recyklingu surowców krytycznych (w tym ekstrakcja hydrometalurgiczna, bioługowanie, filtracja oparta na nanotechnologii, przetwarzanie elektrochemiczne i czarna masa)
9.	TECHNOLOGIE W ZAKRESIE ZAAWANSOWANYCH PÓŁPRZEWODNIKÓW	- Mikroelektronika, w tym procesory - Technologie fotoniczne (w tym lasery wysokoenergetyczne) - Czipy wysokiej częstotliwości - Sprzęt do produkcji półprzewodników o bardzo zaawansowanych rozmiarach węzłów
10.	ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKcji	- Detekcja elektrooptyczna, radarowa, chemiczna, biologiczna, radiologiczna i rozproszona - Magnetometry, mierniki gradientu magnetycznego - Podwodne czujniki pola elektrycznego - Grawimetry i mierniki gradientu

Tab. 15 Technologie krytyczne według listy priorytetów.

12.3. Rekomendacje

Środki finansowe i inwestycje są kluczowym czynnikiem w zapewnieniu rozwoju technologii krytycznych w Polsce i szerzej w Unii Europejskiej. Procesy decyzyjne przyznawania inwestycji muszą jednak być skoordynowane w taki sposób, aby wspierały powstawanie wartości dodanej. Począwszy od fazy

koncepcji, budowania prototypu, po fazę industrializacji, skalowania i komercjalizacji. W przypadku Polski są jeszcze trzy czynniki, które są wspólne dla wszystkich 10 technologii. Jeśli chcemy rzeczywiście rozwijać technologie krytyczne w Polsce, musimy;

- **przyjąć do wiadomości, że** nie każda wydana publiczna złotówka na inwestycje w innowacje się zwróci. Nie zwróci się, bowiem **każda innowacja okupiona jest wielką ilością porażek**. Równocześnie, jeśli kończy się sukcesem, zwrot z poniesionych inwestycji może wielokrotnie rekompensować inwestycje, które nie dały oczekiwanego wyniku. Niezbędne jest zatem budowanie zaufania ekosystemu oraz wspieranie i premiowanie kultury eksperymentu w procesie tworzenia technologii krytycznych.
- zmienić sposób oceny pracy polskich decydentów. Polskie ministerstwa, urzędy, spółki Skarbu Państwa oraz, może obecnie najważniejsze, Siły Zbrojne RP powinny być liderami w korzystaniu z rozwiązań i technologii krytycznych oferowanych przez polskie spółki. Pierwsze pytanie dziennikarza w rozmowie z ministrem, prezesem lub generałem powinno brzmieć: *Ile Pan/Pani kupiła w ostatnich 6 miesiącach polskich technologii krytycznych?* **Powinniśmy promować i nagradzać decydentów, których cechuje odwaga, kreatywność i otwartość we wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań.**
- zmienić sposób finansowania szkolnictwa wyższego. **Pieniądze nie powinny iść „za studentem”, ale za tworzoną wartością intelektualną**, patentami i wzrostem potencjału twórczego.

Specyficznie, dla każdej z technologii, powinniśmy w Polsce podjąć następujące działania.

BIOTECHNOLOGIE

1. Zmienić prawo o uczelniach wyższych w celu ułatwienia dostępu startupom i małym firmom do infrastruktury badawczej zlokalizowanej w ośrodkach akademickich poprzez uproszczenie biurokracji i obniżenie kosztów.
2. Rozbudować model kształcenia o elementy wdrożeniowe dopasowane do zapotrzebowania rynku i firm sektorowych.
3. Stworzyć agencję na wzór amerykańskiej DARPA, która specjalizowałaby się we wspieraniu projektów wysokiego ryzyka. Agencja powinna być nowoczesną jednostką administracyjną o dużej elastyczności.
4. Budować zaufanie systemowe poprzez wspieranie organizacji pozarządowych oraz inicjowanie platform współpracy mających na celu stworzenie zintegrowanego ekosystemu na styku administracji państwowej, środowiska akademickiego i biznesu, jako fundament dla rozwoju partnerstwa publiczno-prywatnego w sektorze zaawansowanych technologii.

TECHNOLOGIE KWANTOWE

- Wspierać fundamentalne badania w obszarze technologii kwantowych. Cały świat jest na początku rozwoju tych technologii i nie mamy dużego opóźnienia w stosunku do liderów.
- Finansować budowę polskiego komputera kwantowego do realizacji określonego zadania w przemyśle i dla celów militarnych.
- Traktować rozwój technologii kwantowych jako potencjalny obszar wytworzenia technologii przełomowej i zapewnić finansowanie na zabezpieczenie praw własności intelektualnej polskich naukowców i inżynierów.

TECHNOLOGIE SZTUCZNEJ INTELIGENCJI

- Zrealizować zobowiązanie powołania do 31 marca 2025 roku Funduszu Sztucznej Inteligencji i wydać deklarowany 1 miliarda złotych na polskie rozwiązania AI.
- Inwestować w specjalistyczne, małe, modele językowe z unikalnymi algorytmami uczenia maszynowego, które mogą być instalowane na urządzeniach w różnych lokalizacjach (nie w dużych centrach komputerowych) i urządzeniach.
- Promować wykorzystanie AI w tych obszarach, gdzie Polska ma silne kompetencje dziedzinowe (np. rolnictwo, konserwacja zabytków, górnictwo) lub bardzo duże instytucje z wielką ilością danych - ZUS, NFZ, Lasy Państwowe, Siły Zbrojne RP, KGHM, ORLEN, Miasto Warszawa, PKP i inne tego typu instytucje.

TECHNOLOGIE KOSMICZNE I NAPĘDOWE

- Pozyskać pozycję geostacjonarną dla polskiego satelity telekomunikacyjnego w celu stworzenia bezpiecznego środowiska dla krytycznej łączności satelitarnej i transmisji danych w celach użytkowych przemysłu oraz agencji administracji publicznej (rządowej i samorządowej). Pozwoli to zapewnić autonomię przy zarządzaniu kryzysowym i analityce danych, zarządzaniu konstelacjami satelitów obserwacyjnych i nawigacyjnych, naziemnymi systemami dowodzenia oraz sieciami przemysłowego Internetu maszyn lub statków powietrznych czy morskich.
- Postawić na wsparcie budowy małych satelitów wielofunkcyjnych, konfigurowanych i nawigowanych cyfrowo ze stacji naziemnych i satelitę matkę.
- Wspierać programy akceleracyjne dla kosmicznych technologii napędowych i cyfrowych sieci zarządzania danymi.

ZAAWANSOWANA ŁĄCZNOŚĆ I NAWIGACJA ORAZ ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE CYFROWE

- Wspierać tworzenie (opracowywanie) i skalowanie, polskich standardów oraz przypadków zastosowań (*case studies*), poprzez organizację warsztatów, wizyt studyjnych i delegacji na wydarzeniach międzynarodowych, w celu ich włączenia do globalnych łańcuchów wartości lub dostaw albo budowania własnych przewag.
- Budować zdolności masowej produkcji i jej automatyzacji (z uwzględnieniem cyfrowej industrializacji oraz domyślnych cyfrowych bliźniaków i technologii immersyjnych), poprzez dedykowane programy wsparcia dla zamówień publicznych ze strategią budowania własności intelektualnej polskich twórców.
- W pierwszej kolejności - jako technologii wzrostowej, dającej przestrzeń dla nisz - postawić na wsparcie zastosowań technologii rejestru rozproszonego (*blockchain*) dla działalności związanej z podpisywaniem umów, wydawania dyplomów i certyfikatów, wypłacania stypendiów, emisją papierów wartościowych, listami przewozowymi oraz cyfrowej wersji złotówki.

TECHNOLOGIE ENERGETYCZNE

- Doprowadzić do reformy rynku energetycznego tak, aby nie tracąc strategicznej kontroli nad tym sektorem znacząco podnieść poziom konkurencyjności oraz wprowadzić mechanizmy fiskalne

obniżające bariery wdrażania innowacji i wejścia nowych podmiotów. Efektem takiego działania będzie także obniżenie cen energii w Polsce.

- Zwiększyć skalowalność wdrożeń nowoczesnych technologii energetycznych, poprzez modernizację sieci przesyłowej w Polsce i wyeliminowanie ograniczeń w uzyskiwaniu podłączeń nowych instalacji wytwarzających energię. Dotychczasowe ograniczenia nie tylko mają negatywny wpływ na innowacyjność w sektorze energetycznym, ale ograniczają także konkurencyjność i de facto umożliwiają prowadzenie przez duże firmy energetyczne polityki monopolistycznej.

ROBOTYKA I SYSTEMY AUTONOMICZNE

- Wspierać automatyzację i robotyzację polskiego przemysłu, bo tylko tak jesteśmy w stanie zapewnić jego konkurencyjność i powtarzalną jakość jego wyrobów. Zwłaszcza, że mamy coraz większe braki pracowników przemysłowych spowodowane niżem demograficznym i mniejszym zainteresowaniem pracą na produkcji.
- Wdrażać programy rządowe, aby wszyscy mieli możliwość korzystania z przekwalifikowania zawodowego w momencie utraty pracy z powodu wprowadzania robotyzacji i sztucznej inteligencji. Dzięki temu zyskamy społeczną akceptację dla robotyki i systemów autonomicznych, przy jednoczesnym kształtowaniu zdolności pracy z nowymi technologiami.

ZAAWANSOWANE MATERIAŁY, TECHNOLOGIE PRODUKCJI I RECYKLINGU

- Ponownie dać szansę polskiemu grafenowi, wspierając istniejące już inicjatywy naukowo-badawcze, a zwłaszcza wspierając komercjalizację technologii grafenowych.
- Stworzyć międzynarodowy hub, centrum technologii grafenowych, który z jednej strony promowałby osiągnięcia polskich firm i naukowców, a z drugiej stał się światowym centrum wymiany know-how, ściągając tym samym know-how do Polski.
- Z racji olbrzymich ilości pokopalnych odpadów w Polsce oraz rozwojem gospodarczym w kierunku gospodarki obiegu zamkniętego, wspierać rozwój technologii odzyskiwania minerałów rzadkich i szlachetnych z poprzemysłowych odpadów.

TECHNOLOGIE W ZAKRESIE ZAAWANSOWANYCH PÓŁPRZEWODNIKÓW

- Wspierać innowacyjne inicjatywy wykorzystania półprzewodników w nowych dziedzinach oraz projektowania nowych rozwiązań półprzewodnikowych wymagających określonej specjalizacji, szczególnie półprzewodników małych mocy.

ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKCI

- Postawić na wsparcie usług detekcji w obszarze bezpieczeństwa i cyberbezpieczeństwa przemysłu, usług publicznych oraz odporności cyfrowej obywateli.
- Wspierać programy oferujące przekwalifikowanie kadr na rzecz aktywności zawodowej w obszarze technologii detekcji i ich zestawiania z technologią sztucznej inteligencji i zaawansowanymi technologiami łączności i technologiami cyfrowymi.

- Postawić na promocję dorobku krajowej nauki w poszukiwaniu najbardziej wydajnych metod do detekcji poprzez skalowalny algorytm wykrywania, wykorzystujący funkcję modułowości z elastycznymi formami implementacji w zaawansowanych usługach łączności.

Podsumowując trzeba dostrzec, że w obszarach technologii krytycznych największy potencjał daje zespalandanie w produkty lub usługi kilku z poszczególnych rodzajów technologii. I tak na przykład w zakresie biotechnologii, czyli technologii krytycznych, które uzyskały pierwszy priorytet w wyniku analizy i metodologii niniejszego raportu, należy dostrzegać, że przy ich projektowaniu i wdrażaniu, mogą znaleźć zastosowanie sztuczna inteligencja, obliczenia kwantowe i zaawansowane technologie cyfrowe oraz detekcji. Samo skalowanie rozwiązań może mieć natomiast związek z technologiami kosmicznymi.

Warto również zwrócić uwagę na potrzebę powołania domyślnej, jednej, przestrzeni informacyjnej (swoistego punktu kontaktowego) pozwalającej na zarządzanie rozproszoną wiedzą i informacjami oraz ich upowszechnianiem, poprzez zapewnienie centralizacji informacji na temat dostępnych form wsparcia, budowania konsorcjów oraz usług edukacyjnych i szkoleniowych, w obszarze tworzenia, zarządzania i wdrażania innowacji w obszarze technologii krytycznych lub przełomowych. Dobrą praktykę można tu dostrzec w działalności Platformy Przemysłu Przyszłości, która buduje repozytorium wiedzy o technologiach przyszłości, sieciuje środowisko przemysłowe i umożliwia transfer wymiany wiedzy.

13. Autorzy analizy

Bartłomiej Michałowski - Ekspert i Członek Zarządu Instytutu Sobieskiego

https://sobieski.org.pl/em_portfolios/bartlomiej-michalowski/

Bartłomiej Michałowski jest ekspertem ds. nowych technologii w Instytucie Sobieskiego od 2006 roku, a od maja 2019 również członkiem zarządu Instytutu Sobieskiego. Jest autorem wielu opracowań na temat informatyki i jej zastosowań. Opublikował raporty: „Internet of Things (IoT) i Artificial Intelligence (AI) w Polsce”, „Szanse i wyzwania polskiego Przemysłu 4.0”, serię raportów „Polska (prawdziwie) cyfrowa”, „Głos ekspertów z V4: ustrój UE, energetyka, cyfryzacja”, „Polskie firmy z rynku robotyki, internetu rzeczy i sztucznej inteligencji oraz finansowanie pre-IPO”, a ostatnio „20 lat Polski w UE. Rekomendacje na przyszłość”.

Bartłomiej Michałowski związany jest z rynkiem teleinformatycznym od przeszło 20 lat. Zajmował się rozwiązaniami IT, Telco i IoT dla administracji rządowej, samorządowej, energetyki, przemysłu, bankowości, służb mundurowych, edukacji i opieki zdrowotnej. Karierą zawodową związany był z firmą Pure Storage, OBRUM, Orange, CISCO, Hewlett-Packard, Statoil i Giełdą Papierów Wartościowych w Warszawie. Prowadził również projekty start-upowe w obszarze robotyki (Remote Presence Devices) oraz inteligentnych mikro sieci energetycznych (Smart Micro Grid). Obecnie jest związany z firmą Dataserve S.A.

Bartłomiej Michałowski jest absolwentem Politechniki Warszawskiej, wydziału Mechaniki Precyzyjnej (obecnie Mechatroniki), gdzie uzyskał dyplom w 1993. W 1995 ukończył studia podyplomowe z zarządzania, finansów i marketingu (typu MBA) w ramach programu „Copernic” na Sciences Po i Collège des Ingénieurs w Paryżu. W 2000 roku uzyskał dyplom z marketingu przemysłowego na INSEAD we Francji. W 2013 ukończył program “Innovation for Economic Development” na Harvard Kennedy School of Government w Stanach Zjednoczonych.

Robert Kroplewski - Ekspert Instytutu Sobieskiego

https://sobieski.org.pl/em_portfolios/robert-kroplewski/

Robert Kroplewski jest ekspertem ds. nowych technologii w Instytucie Sobieskiego od 2006 r. Od ponad 30 lat swojej działalności zawodowej koncentruje się na praktycznych, regulacyjnych i politycznych aspektach konwergencji nowych technologii i społeczeństwa informacyjnego, oraz ich wpływie na społeczeństwo, gospodarkę i odporność systemową w wymiarze współzależności z transgranicznymi łańcuchami wartości, produktywności i konkurencyjności globalnej.

Robert Kroplewski jest członkiem wielu grup i zespołów. Jako członek grupy ekspertów AIGO (AI Governance OECD) jest współautorem definicji systemu sztucznej inteligencji i pierwszych w świecie Rekomendacji OECD dla Stewardship of Trustworthy AI (2019). Jest stałym członkiem sieci ekspertów Globalnego Partnerstwa na rzecz AI (GPAI), i współautorem wielu raportów lub narzędzi w zakresie zarządzania danymi, odpowiedzialnych wdrożeń AI czy rozwoju innowacji i komercjalizacji AI, w tym przyszłości pracy. Wieloletni reprezentant Polski w Komitecie Ekonomicznym OECD ds. gospodarki

cyfrowej (Going Digital) oraz w Forum Technologii Przyszłości. Jako członek grupy ekspertów AHEG, jest współautorem pierwszych globalnych Rekomendacji UNESCO dla Etyki sztucznej inteligencji. Aktualnie jest członkiem sieci ekspertów UNESCO bez granic dla wdrożenia etycznej sztucznej inteligencji (AIEB). Jest też konsultantem w procesie wypracowania kolejnych precedensowych rekomendacji dla neurotechnologii. Jako członek ekspertów CAHAI w Radzie Europy jest współautorem studium wykonalności dla pierwszego traktatu dla sztucznej inteligencji i praw człowieka, demokracji i praworządności.

Jako członek grupy ekspertów DARB (Data and AI Review Board) w NATO, jest współtwórcą założeń strategicznych dotyczących AI dla NATO oraz ram standardów regulacyjno-operacyjnych dla dzielenia się danymi oraz stosowaniem AI w domenie NATO. Jest członkiem sieci ekspertów AI przy ONZ wspierającej ciało doradcze AIAB przy Sekretarzu Generalnym do spraw wprowadzenia globalnego modelu zarządzania sztuczną inteligencją.

Członek Komitetów ds. AI oraz automatyki i robotyki w Polskim Komitecie Normalizacyjnym. W latach 2016-2024 był Pełnomocnikiem Ministra Cyfryzacji ds. Społeczeństwa Informacyjnego. Był także Przewodniczącym Zespołu Technologii Przełomowych w Ministerstwie Cyfryzacji (w domenie AI, technologii i telekomunikacji kwantowej, IoT, rejestrów rozproszonych).

Robert Kroplewski jest radcą prawnym, absolwentem Technikum Mechanicznego w Gdyni, oraz Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Gdańskiego, ze specjalnością prawo gospodarcze, przemysłowe i prawo prywatne międzynarodowe. Jest wykładowcą Akademii Leona Koźmińskiego i Szkoły Głównej Handlowej w zakresie komparatystyki polityk i strategii AI.

Grzegorz Pytel - Ekspert Instytutu Sobieskiego

https://sobieski.org.pl/em_portfolios/grzegorz-pytel/

Ekspert w dziedzinie energetyki i nowych technologii. Ma ponad 30-letnie doświadczenie w pracy naukowej i w przemyśle energetycznym, oraz w nadzorze rozwoju i wdrażaniu ok. 50 milionów liczników zdalnego odczytu (*smart meters*), pokrycie zasięgiem telefonii komórkowej obszarów krytycznych, integracja rozproszonych danych w czasie rzeczywistym, łącznie z projektowaniem modelu prawno-regulacyjnego, zapewnieniem bezpieczeństwa (Smart Energy Code).

Jego szczególne zainteresowania teoretyczne to teorie rekursji i złożoności obliczeniowej, ilościowa analiza ryzyka, modelowanie mikroekonomiczne i ekonomia regulacyjna. Jest m.in. autorem dla Komisji Skarbu Izby Gmin w Wielkiej Brytanii raportu na temat przyczyn i mechanizmów przebiegu załamania globalnego sektora finansowego w 2008 roku.

W przeszłości Grzegorz założył wiele nowych firm, uczestniczył w innowacyjnych projektach badawczych z najlepszymi światowymi uniwersytetami (LSE, Stanford, Cambridge) i firmami konsultingowymi (McKinsey), a także służył swoją wiedzą z korzyścią dla ogółu społeczeństwa.

Grzegorz ukończył informatykę teoretyczną na Uniwersytecie Londyńskim, a w 1996 roku uzyskał pełne członkostwo w the British Computer Society. Grzegorz jest również członkiem rady powierniczej szkoły podstawowej Teddington w Wielkiej Brytanii.

dr Piotr Hańczyc - Ekspert Instytutu Sobieskiego

https://sobieski.org.pl/em_portfolios/dr-piotr-hanczyc/

Ekspert w dziedzinie nowych technologii i ochrony zdrowia. Od 2018 roku pracuje na Uniwersytecie Warszawskim, gdzie prowadzi badania nad nieinwazyjną metodą optyczną wczesnego wykrywania zmian neurodegeneracyjnych. Związany również ze Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego, gdzie pracuje w Centrum Immunoterapii Komórkowej oraz w spółce celowej uczelni odpowiedzialnej za komercjalizację badań naukowych - Innotech4life sp. z o.o.

Edukacja Piotra Hańczyca obejmuje studia magisterskie z zakresu fizyki w École Normale Supérieure de Cachan we Francji oraz biotechnologii na Politechnice Wrocławskiej. Doktorat z chemii obronił na Chalmers Tekniska Högskola w Szwecji i Politechnice Wrocławskiej. Zdobywał doświadczenie jako badacz w wielu renomowanych instytucjach naukowych, w tym na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara w grupie laureata Nagrody Nobla, prof. Alana Heegera. Odbił staże badawcze, m.in. w University of California, Berkeley, w Australijskim Uniwersytecie Narodowym oraz Linköping Universitet w Szwecji.

Piotr Hańczyc jest laureatem licznych nagród i grantów, w tym stypendium im. Barbary Skargi - Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, nagrody miasta Wrocławia dla najlepszych młodych naukowców oraz stypendium Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych uczonych. Kierował kilkoma dużymi projektami badawczymi, finansowanymi m.in. przez Narodowe Centrum Nauki, Komisję Europejską oraz Szwedzką Radę Naukową. Wśród jego projektów można wymienić innowacyjne badania nad wykrywaniem wczesnych objawów chorób neurodegeneracyjnych oraz zastosowanie spektroskopii wielofotonowej w diagnostyce choroby Alzheimera i Parkinsona.

Jego dorobek naukowy obejmuje 30 publikacji, w których koncentruje się na badaniach nad białkowymi agregatami amyloidowymi i innymi biomateriałami, które mają potencjalne zastosowanie w diagnostyce i terapii. Prace Piotra Hańczyca cechuje interdyscyplinarne podejście łączące nauki biologiczne, fizykę oraz nowe technologie, co umożliwia mu skuteczne przekładanie wyników badań laboratoryjnych na praktyczne rozwiązania dla przemysłu biotechnologicznego. Założył spin-off Neurolight Sp. z o.o.

14. Bibliografia

1. „Europejski akt w sprawie czipów”, wrzesień 2023.
2. “Polish Tech: Grand Ambitions on a Shaky Foundation”, Maciej Bukowski, CEPA, sierpień 2024.
3. “Water Resource Challenges in Semiconductor Manufacturing: Solutions for Sustainable Development?”, FPT Semiconductor, sierpień 2024.
4. “Bezpieczna, godna zaufania i odpowiedzialna sztuczna inteligencja w odpornym społeczeństwie”. Robert Kroplewski, w pracy zbiorowej “Cyberbezpieczeństwo vs Sztuczna Inteligencja, Informatyka – Prawo - Zarządzenie”, pod redakcją prof. Bolesława Szafrąńskiego. Wydawnictwo Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2024.
5. “Odporność AI a odporność wspólnoty” w: “Cyberbezpieczeństwo AI, AI w cyberbezpieczeństwie”. Robert Kroplewski, wydawnictwo CyberPolicy, NASK, 2023.
6. “Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy.” Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A McKinsey Global Institute, 2023.
7. “Technology vision 2023: When atoms meet bits: The foundations of our new reality.” Accenture, 2023.
8. “Navigating Cyber Resilience in the Age of Emerging Technologies: Collaborative Solutions for Complex Challenges, White Paper”. World Economic Forum, październik 2024.
9. Over PLN 7 billion of support for the semiconductor sector, PwC, styczeń 2024.
10. “Future of semiconductors”, US NSF, wrzesień 2023.
11. “The global semiconductor talent shortage”, Deloitte, 2022.
12. “GeoTech Wars - Semiconductors: The Most Complex Device in History with Syed Alam”. CSIS, październik 2023.
13. “Navigating the Costly Economics of Chip Making”, BCG, wrzesień 2023.
14. “CHIPS R&D Funding Is Essential to Building a Stronger, Lasting Semiconductor Ecosystem”, Jason Oxman, maj 2024.
15. “€ 100 billion of private investment for the European semiconductor industry” All Pros EU, maj 2024.
16. „Internet of Things (IoT) i Artificial Intelligence (AI) w Polsce”, Instytut Sobieskiego 2018.
17. „Szanse i wyzwania polskiego Przemysłu 4.0”. ARP 2018.
18. „Doganianie bogatszych przez biedniejszych w literaturze ekonomicznej i w praktyce gospodarczej minionego wieku – wnioski dla Polski”, PFR 2018.
19. „Raport o cyfryzacji kraju”, Ministerstwo Cyfryzacji 2018.
20. „Innowacyjność w Polsce – co można zmienić?”, Instytut Sobieskiego 2016.
21. „Program Zintegrowanej Informatyzacji Państwa”, Ministerstwo Cyfryzacji 2019.
22. „Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030)”, Ministerstwo Rozwoju 2017.
23. „20 lat Polski w UE. Rekomendacje na przyszłość”, Instytut Sobieskiego 2024.
24. „Polskie firmy z rynku robotyki, internetu rzeczy i sztucznej inteligencji oraz finansowanie pre-IPO”, Instytut Sobieskiego 2023.
25. „Polska (prawdziwie) cyfrowa – automatyka i robotyka przemysłowa”, Instytut Sobieskiego 2023.
26. „Głos ekspertów z V4: ustrój UE, energetyka, cyfryzacja”, Instytut Sobieskiego 2022.
27. „Polska (prawdziwie) cyfrowa - po COVID-19”, Instytut Sobieskiego 2020.

28. „Polska (prawdziwie) cyfrowa”, Instytut Sobieskiego, 2019.
29. „Sztuczna inteligencja: osiągnięcia publikacyjne z zakresu nauk ścisłych i technicznych w latach 2010-2021”, OPI PIB, 2022
30. „Szkolnictwo wyższe w roku akademickim 2022/2023”, GUS 06/2023.
31. „Polski Sektor Kosmiczny. Katalog Podmiotów”, POLSA ,2022
32. “Achievements and prospects of the semiconductor manufacturing industry in Poland”, Tek.Info.PI, 2023.
33. “Polish Defence and Security Equipment Catalogue 2024”, BBN 2024.
34. “Opieka medyczna nad osobami starszymi z chorobami neurodegeneracyjnymi w erze postępującej cyfryzacji”, Instytut Sobieskiego, 2020.
35. “Quantum Technology: Applications and Implications”, CSIS. maj 2023.
36. “UJ włącza się w polski program rozwoju badań kwantowych”, Uniwersytet Jagielloński, 2021.
37. “The future is Quantum”, Quantum Flagship, 2024.
38. „Poland – Country Commercial Guide, Advanced Manufacturing”, US International Trade Administration, 2024.
39. “An increase in the number of research units in Poland”, trade.gov.pl, 2024.
40. „Economic stability and a strong economy”, Polska Agencja Inwestycji i handlu, 2022.
41. „Poland’s efforts to restore rule of law pave the way for accessing up to €137 billion in EU funds”, Komisja Europejska, 2024.
42. “Why Poland is leading Central Europe’s digital transformation”, Thumes, 2024.
43. “Czym jest Przemysł 4.0 – część 2”, Industry 4.0 – Portal Nowoczesnego Przemysłu, 2017.
44. „Przemysł 4.0 – wyzwania współczesnej produkcji”, PwC, 2017.
45. „Polish innovations in safe waste conversion – EMKA S.A. investment plans”, Knowledge – Copernicus.pl, 2017.
46. “Mapa drogowa GOZ”, GOZ w Praktyce, 2023.
47. „Krajowe Inteligentne Specjalizacje”, Ministerstwo Rozwoju i Technologii, 2023.
48. “The National Raw Materials Policy in Poland as an instrument of implementation of the constitutional principle of ensuring the security of citizens”, Journal of Agricultural and Environmental Law, grudzień 2023.
49. “Poland’s Roadmap towards the Transition to the Circular Economy”, Interreg Central Europe, February 2024.
50. “The Barriers Related to the Implementation of the Circular Economy in Poland”, Magdalena Raftowicz, Prace Naukowe, Vol. 68, No. 2, 2024.
51. “Closing the Technology Skills Gaps in Manufacturing With Training”, Training Industry, luty 2024.
52. “Agenda 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju - implementacja w Polsce”, Ministerstwo Rozwoju, 2019.
53. Zalecenie Komisji (UE) 2023/2113 z dnia 3 października 2023 r. w sprawie obszarów technologii krytycznych dla bezpieczeństwa gospodarczego UE, na potrzeby pogłębionej oceny ryzyka z udziałem państw członkowskich.
54. „Wykorzystanie sztucznej inteligencji w oszustwach inwestycyjnych: Cyberbezpieczeństwo vs. Sztuczna inteligencja”, tom Prawo – Informatyka - Zarządzanie, s. 135-155, Agnieszka Gryszczńska.
55. “Artificial Intelligence in Manufacturing. Enabling Intelligent, Flexible and Cost-Effective Productivity Through AI”, John Soldados, Springer, 2024.

56. „Globalne Zarządzanie Talentami. Globalne wzory lokalna adaptacja”, Platforma Przemysłu Przyszłości 2024.
57. „Gospodarka Oparta o Dane - Przemysł +”. Magdalena Borowik, Leszek Maśniak, Robert Kroplewski i Hubert Romaniec, Ministerstwo Cyfryzacji, 2018.
58. „Analiza diagnostyczna - Intensywność wykorzystania danych w gospodarce, a jej rozwój”, prof. Bogumił Kamiński, dr Grzegorz Kołoch, Karolina Grobelna, Karolina Zakrzewska-Szlichtyng, Daniel Kaszyński, Ministerstwo Cyfryzacji, 2017.
59. “OECD AI Policy Recommendations” – OECD, 2019.
60. “UNESCO’s Recommendations for Ethics of AI” -UNESCO, 2021.
61. “Treaty for artificial intelligence, human rights, democracy and rule of law” - Rada Europy, 2023.
62. “Governing AI for Humanity” – Raport AIEB dla Sekretarza Generalnego ONZ, 2024.
63. “Coordinated Plan on AI” – Komisja Europejska 2019-2024.
64. “OECD Digital Economy Outlook 2024 (Volume 1) EMBRACING THE TECHNOLOGY FRONTIER” - OECD Library, 2024.
65. “BLOCKCHAIN AT THE FRONTIER Impacts and issues in cross-border co-operation and global governance” - Policy Paper, OECD, 2022.
66. “Road map for digital cooperation: implementation of the recommendations of the High-level Panel on Digital Cooperation Report of the Secretary-General” – ONZ, 2020.
67. “Strategia Produktowności 2030” – Ministerstwo Rozwoju i Technologii, 2022.
68. „Raport. Internet Rzeczy – Polska Przyszłości” – Grupa robocza ds. IoT, Ministerstwo Cyfryzacji, 2019.
69. „2024 SMART Studium Programu Transformacji Polski dzięki wykorzystaniu inteligentnych rozwiązań cyfrowych” - Grupa robocza ds. IoT, Ministerstwo Cyfryzacji, 2024.
70. „Centralny Port Komunikacyjny – Lotnisko Przyszłości” - Grupa robocza ds. IoT, Ministerstwo Cyfryzacji, 2020.
71. „Strategia Cyfryzacji Polski do 2034 roku” – projekt konsultacyjny, Ministerstwo Cyfryzacji, 2024.
72. „Koncepcja Rozwoju Kraju” - Nowe mechanizmy polityki rozwoju, Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej, 2024.
73. „Polski sektor kosmiczny. Katalog podmiotów” POLSA, 2022.
74. „Polska Strategia Kosmiczna” – Ministerstwo Rozwoju i Technologii, 2017.
75. „Świątynia w Kosmicznej Wiosce. Bezpieczeństwo przyszłych pokoleń w erze sztucznej inteligencji”, Zdzisław Brodecki, Instytut Wydawniczy EuroPrawo, 2021.
76. „Prawo kosmiczne w obliczu nowych problemów współczesności”, Małgorzata Polkowska, Liber Warszawa, 2011.
77. „Prawo bezpieczeństwa w Kosmosie”, Małgorzata Polkowska, Instytut Wydawniczy EuroPrawo, Warszawa, 2018.
78. „Inwentaryzacja klastrów 2024 w kontekście ich wpływu na cyfryzację łańcuchów wartości” – Platforma Przemysłu Przyszłości, 2024.
79. „Mapowanie technologii w branży obróbki metali” – Platforma Przemysłu Przyszłości, 2024.
80. „Hiroshima Process International Guiding Principles for Advanced AI system”, Japonia, 2023.