

Polska w grze o przyszłość

Polityka dla sektora półprzewodników 2026+

Spis treści

Polska w grze o przyszłość	1
Polityka dla sektora półprzewodników 2026+	1
Wstęp i globalny kontekst	3
Polska branża półprzewodników	7
Wizja i cele.....	11
Siedem filarów polityki dla polskiego sektora półprzewodników.....	14
I. Infrastruktura	16
II. Impuls państwa	25
III. Współpraca regionalna i międzynarodowa	28
IV. Inwestycje i finansowanie	32
V. Kadry i edukacja.....	36
VI. Energia i woda	39
VII. Chemikalia i surowce	41
Wdrażanie, monitorowanie i ewaluacja	43
Mierniki sukcesu	44

Wstęp i globalny kontekst

Półprzewodniki stały się kluczowym elementem współczesnej cywilizacji - zarówno dla gospodarki, jak i dla rywalizacji technologicznej i geopolitycznej.

Stanowią fundament nowoczesnych rozwiązań: od elektroniki konsumenckiej, przez motoryzację, telekomunikację i energetykę, po systemy medyczne, obronne oraz komputery. Napędzają rozwój przełomowych technologii, takich jak mobilny Internet, sztuczna inteligencja (z ang. AI) czy autonomiczne pojazdy, umożliwiając przetwarzanie ogromnych ilości danych, które są dziś podstawą rozwoju wiedzy i funkcjonowania społeczeństw. Rosnące zapotrzebowanie na rozwiązania cyfrowe powoduje, że rola półprzewodników stale rośnie - nie tylko w przemyśle, ale i w codziennym życiu.

Ze względu na ich strategiczne znaczenie, rozwój zdolności w zakresie projektowania i produkcji półprzewodników został uznany przez Unię Europejską za jeden z fundamentów suwerenności technologicznej. Program „Droga ku cyfrowej dekadzie”ⁱⁱⁱ oraz Europejski akt w sprawie czipówⁱⁱ wyznaczają kierunki budowy silnego i odpornego ekosystemu półprzewodników w Europie.

Niniejsza polityka dla sektora półprzewodników pozostaje komplementarna wobec Strategii cyfryzacji państwa do 2035 roku, która określa horyzontalne ramy rozwoju usług, kompetencji i infrastruktury cyfrowej w Polsce. Opisane tu działania stanowią sektorową odpowiedź na cele tej strategii, zwłaszcza w obszarach „technologii przełomowych”, „cyfrowej i zielonej transformacji” oraz „cyfrowej gospodarki”. Dokument wpisuje się również w ogłoszony przez rząd plan „Polska - Rok przełomu 2025”, który przewiduje rekordowe nakłady na innowacje i akcentuje konieczność inwestycji w naukę oraz nowoczesne technologie.

Globalne prognozy wskazują na dynamiczny rozwój rynku półprzewodników - jego wartość ma wzrosnąć z około 600 mld euro w 2024 roku do nawet 1 bln euro w 2030 roku. Obecnie Europa odpowiada za ok. 10% tej wartości (czyli 50-55 mld euro rocznieⁱⁱⁱ), a celem UE jest zwiększenie udziału do 20% - co oznacza potrojenie skali produkcji w nadchodzących latach.^{iv}

Tempo rozwoju sektora jest imponujące - w 2023 roku powierzchnia dostarczonych na świecie płytek krzemowych, będących podstawą produkcji półprzewodników, wyniosła ok. 8 milionów metrów kwadratowych - odpowiada to obszarowi ponad tysiąca boisk piłkarskich. Przy założeniu, że z jednej płytki można wyprodukować setki do tysięcy układów scalonych, oznacza to produkcję miliardów czipów rocznie^v.

Rozwój sektora napędzają nie tylko postępująca miniaturyzacja układów, ale także nowe technologie, innowacyjne materiały oraz zaawansowane technologie produkcyjne. Dostęp do kompetencji w tym sektorze staje się jednym z filarów budowania długoterminowej

konkurencyjności państw i regionów. Niektórzy analitycy porównują dzisiejszy wyścig technologiczny w półprzewodnikach do projektu Manhattan^{vi} - wielkiej mobilizacji badawczo-przemysłowej, która przesunęła oś geopolityczną XX wieku. Współcześnie stawką jest kontrola nad kluczowymi technologiami, takimi jak AI, opartymi na zaawansowanych układach scalonych.

Pandemia COVID-19 i narastające napięcia geopolityczne ujawniły skalę ryzyk w globalnym łańcuchu dostaw. Ponad 70% światowej produkcji półprzewodników przypada na Azję, natomiast Europa i USA^{vii} - mimo dominacji w badaniach oraz produkcji maszyn - odpowiadają jedynie za niewielką część globalnej produkcji gotowych układów scalonych. Jednocześnie Chiny kontrolują istotną część globalnych zdolności przetwarzania i eksportu surowców krytycznych. Ograniczenia w ich eksporcie pokazują, że kontrola nad półprzewodnikami stała się również narzędziem polityki międzynarodowej.

Produkcja półprzewodników to proces o wysokim stopniu złożoności, wymagający współpracy globalnych łańcuchów wartości. Komponenty przemierzają tysiące kilometrów, zanim staną się gotowym produktem, co czyni ten sektor podatnym na zakłócenia. Żadne państwo nie jest w stanie rozwijać go samodzielnie - niezbędna jest współpraca, często realizowana w ramach bloków geopolitycznych.

W ostatnich latach państwa takie jak USA, Niemcy, Francja, Korea Południowa, Japonia czy Czechy wdrożyły strategie wspierające sektor półprzewodników - od inwestycji publicznych po konsolidację badań i infrastruktury. Konkurencja ma charakter regionalny - zamiast jednego centrum wyłaniają się nowe bieguny technologiczne, dążące do zmniejszenia zależności od dominujących graczy.

Rywalizacja nie dotyczy jedynie lokalizacji produkcji - decydujące znaczenie mają także innowacje w materiałach, projektowaniu, adaptacji do megatrendów oraz elastyczność systemów produkcji. Półprzewodniki stanowią dziś punkt styku technologii, geopolityki i gospodarki, a kierunki ich rozwoju kształtują strategie państw oraz partnerstw międzynarodowych.

Choć Polska ma obecnie niewielki udział w tym sektorze, posiada znaczący potencjał. Odpowiednio zaprojektowana polityka może włączyć kraj do globalnych i europejskich łańcuchów wartości. Celem niniejszego dokumentu jest przedstawienie polityki, która stanowi narodową odpowiedź na unijne ambicje i globalną transformację sektora.

Podstawowe komponenty łańcucha wartości

Półprzewodniki to materiały o specyficznych właściwościach fizycznych, wykorzystywane do tworzenia elementów elektronicznych - takich jak diody czy tranzystory - które umożliwiają kontrolowany przepływ prądu elektrycznego, a tym samym precyzyjne sterowanie przepływem informacji lub energii. To sterowanie jest niezbędne do działania niemal wszystkich używanych dziś urządzeń. Zastosowanie półprzewodników stało się powszechne dzięki ich miniaturyzacji do postaci układów scalonych (zwanых potocznie czipami), co zasadniczo obniżyło koszty produkcji i poszerzyło możliwości powszechnego stosowania. Produkcją układów scalonych

i innych komponentów elektronicznych o miniaturowych rozmiarach zajmuje się mikroelektronika, jedna z dziedzin elektroniki.

Produkcja półprzewodników - rozumiana jako proces wytwarzania gotowych układów scalonych - dzieli się hierarchicznie, zgodnie z poziomem zaawansowania technologicznego i wartością dodaną, na trzy główne etapy: projektowanie (z ang. design), produkcję struktur (z ang. front-end) oraz montaż i testowanie (z ang. back-end). Za poszczególne etapy może odpowiadać jedna firma - najczęściej jednak wykonują je współpracujący partnerzy.

- **Projektowanie** architektury układu scalonego (design) to etap, kiedy infrastruktura produkcyjna nie jest jeszcze potrzebna. Na tym etapie potrzebni są wysoko wykwalifikowani projektanci oraz dostęp do specjalistycznego oprogramowania, niezbędnego do opracowania projektu. Poprawnie zaprojektowany układ stanowi fundament dalszych prac - sprawdzone projekty osiągają wysoką wartość i podlegają ochronie jako własność intelektualna. Szczególnym aspektem projektowania jest inżynieria materiałowa - opracowywanie nowych materiałów półprzewodnikowych, z których produkowane będą coraz bardziej zaawansowane generacje czipów.
- **Front-end** to etap najbardziej zaawansowany technologicznie: obejmuje wytwarzanie z olbrzymią dokładnością struktur czipów na półprzewodnikowych płytkach (najczęściej krzemowych). Te procesy wymagają pomieszczeń o wysokim stopniu czystości i unikalnych maszyn, zużywają także duże ilości energii i wody. Nowoczesna fabryka półprzewodników - tzw. fab - to inwestycja rzędu od kilkuset milionów do kilku miliardów euro. Zatrudnia zazwyczaj od kilkudziesięciu do kilkuset pracowników o wysokich kwalifikacjach.
- **Back-end** obejmuje obróbkę gotowych płytek, montaż, integrację oraz kontrolę jakości - na tym etapie powstają gotowe do instalacji czipy. Zakłady wymagają specjalistycznych maszyn oraz większej liczby personelu w porównaniu do wcześniejszych etapów produkcji. Prawidłowa integracja oraz kontrola jakości są niezbędne dla powodzenia produkcji półprzewodników - kompetencje pozyskane w tej dziedzinie znajdują zastosowanie także w nowych obszarach rozwoju tej branży, takich jak fotoniczne układy scalone czy łączące różne technologie układy hybrydowe.

Większość działalności front- i back-end, zwłaszcza najbardziej zaawansowanej, zlokalizowana jest w Azji. W Europie istnieje kilka fabryk półprzewodników, w ostatnich latach powstają nowe inwestycje - w tym dużych azjatyckich producentów.

Rozwój technologiczny powoduje stały wzrost kosztów produkcji coraz gęściej upakowanych czipów. Od kilku dekad trwa trend specjalizacji: firmy rezygnują z kosztownego prowadzenia własnych fabryk na rzecz zlecania tego etapu produkcji u wyspecjalizowanych producentów, którzy dzięki efektowi skali uzyskują niższe koszty. Firmy skupiają się na projektowaniu i sprzedaży produktów pod własnymi markami, tymczasem operatorzy fabryk powiększają swoje zdolności produkcyjne bez tworzenia własnych produktów. Ten model biznesowy, w którym firmy koncentrują się wyłącznie na projektowaniu układów scalonych i zlecają ich produkcję wyspecjalizowanym podmiotom zewnętrznym, nazywamy modelem bezfabrycznym (z ang. fabless).

Fotoniczne układy scalone

Jednym z kierunków rozwoju technologii półprzewodnikowych jest integracja i miniaturyzacja układów fotonicznych (optoelektronicznych), które do transmisji informacji i energii zamiast prądu elektrycznego wykorzystują światło. Podejście to umożliwia szybszy przesył danych oraz otwiera nowe możliwości zastosowań w takich obszarach jak komunikacja, systemy czujnikowe czy komputery kwantowe. Układy fotoniczne zintegrowane z tradycyjnymi strukturami mikroelektronicznymi pozwalają tworzyć rozwiązania hybrydowe, łączące zalety obu technologii. Ich rozwój wymaga jednak zastosowania nowych materiałów i metod produkcji. W 2024 roku globalny rynek fotonicznych układów scalonych (ang. Photonic Integrated Circuits, PIC) był szacowany na około 14 mld euro.^{viii} Dla porównania, w 2022 roku szerszy sektor fotoniki w Europie wygenerował wartość produkcji na poziomie 125 mld euro. Co istotne, polskie podmioty aktywnie rozwijają kompetencje w tym obszarze i mają realny potencjał, by odegrać znaczącą rolę w tej przełomowej transformacji technologicznej.

Pozostałe elementy łańcucha wartości

Łańcuch wartości półprzewodników nie mógłby funkcjonować bez dostawców surowców pierwotnych, takich jak materiały półprzewodnikowe i metale rzadkie oraz producentów zaawansowanych materiałów i chemikaliów. Ważne są również firmy zajmujące się projektowaniem i produkcją maszyn do wytwarzania półprzewodników, a także dostawcy oprogramowania umożliwiającego projektowanie układów scalonych. Ekosystem uzupełniają integratorzy systemów, instytuty badawcze i ośrodki edukacyjne, firmy odpowiedzialne za budowę i utrzymanie infrastruktury fabów, a także podmioty zajmujące się logistyką i recyklingiem.

Polska branża półprzewodników

Polski sektor półprzewodników ma charakter wschodzący, lecz wykazuje oznaki wyraźnego różnicowania się i specjalizacji.

Obecnie nie istnieje jednolite opracowanie statystyczne ani klasyfikacja pozwalająca na precyzyjne określenie liczby podmiotów czy wartości dodanej generowanej przez sektor. Z tego względu jednym z pierwszych zadań w kontekście planowania jego rozwoju powinno być przygotowanie dokładniejszej analizy pozwalającej w pełni zrozumieć obecny stan rynku półprzewodników i wynikającego z niego konieczne działania priorytetowe oraz występujące potencjalne szanse i zagrożenia. Posiadanie dobrze rozpoznanych wartości bazowych w kluczowych obszarach pozwoli także w bardziej wymierny sposób określić konieczny w danym zakresie postęp.

Pomimo ograniczonych danych, można zidentyfikować kilka wyraźnych trendów i kompetencji. Obecny kształt sektora jest w dużej mierze wynikiem przekształceń po 1989 roku - mimo dezintegracji istniejącego wcześniej przemysłu mikroelektronicznego, szereg kompetencji przetrwało w instytutach badawczych, uczelniach oraz prywatnych firmach. Dzisiejsze specjalizacje są efektem tej kontynuacji, wzbogaconej o nowe impulsy technologiczne i otwarcie na rynki globalne.

Obszary specjalizacji i kompetencji

Polski przemysł półprzewodnikowy rozwija się w trzech komplementarnych ścieżkach kompetencyjnych:

- **Przełomowe innowacje** - fotonika scalona, materiały szerokoprzerwowe i mikrosystemy;
- **Integracja z globalnymi łańcuchami wartości** - projektowanie, wyspecjalizowane komponenty, narzędzia i systemy;
- **Zdolności strategiczne** - istotne dla bezpieczeństwa, transformacji energetycznej i suwerenności cyfrowej.

Do wyróżniających się specjalizacji należą:

- **Projektowanie układów scalonych i logika cyfrowa** - polskie podmioty rozwijają kompetencje w zakresie projektowania układów scalonych, w tym zwłaszcza specjalizowanych (z ang. ASIC - Application-Specific Integrated Circuit), systemów hybrydowych (w tym architektur SoC - z ang. System-on-Chip). Istnieją zarówno firmy fabless, jak i krajowe oddziały międzynarodowych koncernów prowadzących działalność projektową. W Europie segment ten jest niewielki; europejskie firmy fabless stanowią zaledwie 2-4% globalnego rynku projektowania układów scalonych^x. Mimo to rynek firm fabless jest globalnie istotny, zwłaszcza w kontekście rosnącego zapotrzebowania na układy specjalistyczne, w tym dla AI. W Polsce projektowanie czipów to jeden z głównych obszarów specjalizacji.

- **Półprzewodniki szerokoprzerwowe** - Polska rozwija kompetencje w wytwarzaniu materiałów półprzewodnikowych będących uzupełnieniem, a czasem alternatywą, dla dominującego obecnie krzemu. Chodzi zwłaszcza o tzw. materiały III-V, takie jak: azotek galu (GaN), fosforki indu (InP) i galu (GaP) oraz antymonek galu (GaSb), materiały dla fotoniki scalonej oraz węglik krzemu (SiC), który jest doskonałym materiałem dla energoelektroniki. Powstaje też krajowy łańcuch technologiczny GaN-on-GaN. W 2024 roku wartość rynku SiC przekroczyła 2 mld euro, a do 2030 roku może osiągnąć 6-10 mld euro^{xi}. W Polsce technologie przyrządów SiC i GaN są jeszcze na poziomie prac rozwojowych, jednak skala i specyfika prognozowanego zapotrzebowania, zwłaszcza w sektorze energetyki, stwarza szansę na zagospodarowanie rynkowej niszy.
- **Fotonika scalona** - Polska rozwija technologie fotonicznych układów scalonych (Photonics Integrated Circuits, PIC), koncentrując się zwłaszcza na zakresie średniej podczerwieni. Projekty takie jak HyperPIC^{xii}, realizowane we współpracy VIGO Photonics z Politechniką Warszawską i Siecią Badawczą Łukasiewicz - Instytutem Mikroelektroniki i Fotoniki, odpowiadają na potrzeby zastosowań w czujnikach, komunikacji optycznej, systemach mobilnych, diagnostyce zdalnej i obronności. Celem inicjatywy HyperPIC jest rozwój technologii fotoniki scalonej oraz stworzenie krajowej platformy do produkcji zaawansowanych układów fotonicznych. Polska dysponuje unikalnym zestawem kompetencji i infrastruktury w tym obszarze, co może przełożyć się na silniejszą pozycję w europejskim i globalnym łańcuchu wartości.

W Polsce, na ograniczoną skalę, wytwarzane są monokryształy półprzewodnikowe oraz produkowane są urządzenia i systemy wspierające procesy wytwarzania czipów - w tym sprzęt do nanodruku, rozwiązania metrologiczne oraz systemy testowania. Rozwijane są także kompetencje montażowe, m.in. w zakresie produkcji pamięci masowych; w Polsce działa jedyny w Europie producent modułów pamięci DRAM (Wilk Elektronik). Ekosystem uzupełniają firmy specjalizujące się w budowie infrastruktury technicznej (np. instalacji przemysłowych) oraz ośrodki badawczo-rozwojowe globalnych przedsiębiorstw. Choć wiele z tych działań nie osiągnęło jeszcze poziomu samodzielnych specjalizacji, stanowią one istotną część krajowego potencjału technologicznego. W kontekście budowy krajowych zdolności, dalszy rozwój tych kompetencji zasługuje na wsparcie.

Luka w łańcuchu wartości

W odniesieniu do najpowszechniej stosowanych półprzewodników krzemowych Polska posiada kompetencje przede wszystkim w obszarze badań i projektowania. Podmioty działające w tych dziedzinach są obecne i rozpoznawalne na rynku międzynarodowym, a rozwój tych kompetencji - w tym powstawanie nowych firm typu fabless - to wyraźny trend.

W dwóch dalszych fazach produkcji półprzewodników: front-endzie oraz procesach back-endowych - krajowe kompetencje są ograniczone i niekompletne. W obszarze front-endu dotychczasowa aktywność ograniczała się głównie do prac badawczych lub niszowych zastosowań technologii starszej generacji. Polska nie posiada obecnie infrastruktury

umożliwiającej produkcję płytek i struktur krzemowych w nowoczesnych procesach produkcyjnych.

Procesy back-endowe, takie jak pakowanie, testowanie czy hermetyzacja, pozostają słabo rozwinięte. Planowane inwestycje przemysłowe w tym zakresie zostały czasowo wstrzymane, a działania ograniczają się obecnie do wybranych prac zespołów badawczych. W Polsce prowadzona jest przemysłowa produkcja fonicznych półprzewodnikowych elementów detekcyjnych, jednak nie funkcjonuje produkcja mikroelektronicznych układów scalonych.

Instytucje naukowe i zaplecze badawcze

Trzon wiedzy i kompetencji technologicznych tworzą instytuty badawcze (m.in. Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Instytut Wysokich Ciśnień PAN - UNIPRESS, CEZAMAT Politechniki Warszawskiej) oraz uczelnie wyższe w Gdańsku, Krakowie, Łodzi, Poznaniu, Warszawie i Wrocławiu. Jednostki te wspierają rozwój materiałów i zastosowań technologicznych - od detektorów i fotoniki, przez techniki druku, po systemy projektowe. Choć ośrodki te współpracują ze sobą, nadal brakuje spójnego planu rozwoju technologii, koordynacji działań i klarownego podziału ról. Potencjał ośrodków regionalnych pozostaje niewykorzystany.

Otoczenie przemysłowe i rynek wewnętrzny

Polska dysponuje rozwiniętym zapleczem przemysłowym w sektorach AGD, elektroniki użytkowej, motoryzacji, technologii obronnych oraz systemów bezzałogowych i kosmicznych - branżach stanowiących naturalnych odbiorców półprzewodników. Działa również szereg krajowych firm świadczących usługi montażu i produkcji elektroniki (tzw. EMS i OEM), a na rynku dostępni są wykwalifikowani inżynierowie. Sektor ten funkcjonuje jednak w dużej mierze niezależnie od krajowych kompetencji projektowych, co utrudnia budowę trwałych powiązań pomiędzy twórcami rozwiązań półprzewodnikowych a odbiorcami przemysłowymi. Integracja pomiędzy segmentami rynku pozostaje ograniczona, a cyfrowa transformacja opiera się w znacznej mierze na rozwiązaniach zagranicznych.

Polska, z uwagi na brak własnej produkcji mikroelektronicznych układów scalonych na skalę przemysłową, pozostaje w dużym stopniu uzależniona od importu komponentów elektronicznych. W 2023 roku wartość importu układów scalonych wyniosła około 3,9 mld euro, co stanowiło 1,1% całego importu kraju. Dla porównania, eksport w tej samej kategorii osiągnął niecałe 0,4 mld euro i nie stanowił istotnej pozycji w strukturze eksportu, co skutkuje wyraźnie ujemnym bilansem handlowym w tym obszarze.

Import obejmuje głównie układy logiczne, cyfrowe, mikroprocesory i pamięci dla przemysłu elektronicznego, a także elementy optoelektroniczne, czujniki oraz podzespoły wykorzystywane w telekomunikacji. Eksport dotyczy przede wszystkim gotowych produktów zawierających komponenty elektroniczne - takich jak sprzęt AGD, urządzenia telekomunikacyjne czy wyposażenie motoryzacyjne - natomiast bezpośrednia wysyłka półprzewodników ogranicza się głównie do re-eksportu lub niszowych produktów^{xiii}.

Głównymi partnerami Polski w imporcie półprzewodników są Niemcy, Korea Południowa, Holandia, Czechy, Tajwan oraz inne kraje Azji Południowo-Wschodniej. Jednocześnie dane

Europejskiego Urzędu Patentowego wskazują, że udział Polski w europejskiej aktywności innowacyjnej w dziedzinie półprzewodników pozostaje marginalny - kraj odpowiada za mniej niż 0,2% zgłoszeń patentowych w tym obszarze, co plasuje go poniżej takich państw jak Czechy czy Austria. Dla porównania Niemcy i Francja generują odpowiednio ponad 10% i 6% europejskich zgłoszeń w tej dziedzinie^{xiv}.

Wnioski

Polska dysponuje realnymi atutami w obszarze półprzewodników - obejmującymi kompetencje w projektowaniu, specjalistycznych materiałach, fotonice scalonej oraz rozwijającą się bazą przemysłową i akademicką. Jednocześnie krajowy ekosystem nie obejmuje pełnego łańcucha wartości: procesy back-endowe są słabo rozwinięte, a infrastruktura front-endowa pozostaje niewykształcona. Brakuje również jednolitego zestawu danych i statystyk dotyczących sektora - powyższa diagnoza opiera się na dostępnej wiedzy eksperckiej oraz materiałach źródłowych zebranych w toku przeglądu branży.

Dla zapewnienia skutecznej oceny efektów polityki oraz planowania dalszych działań niezbędne będzie przeprowadzenie pogłębionego badania sektora oraz wdrożenie systematycznego monitorowania jego rozwoju. Choć obecnie dostępne dane pozwalają na sformułowanie polityki publicznej, pełniejszy przegląd branży umożliwiłby lepsze rozpoznanie jej potrzeb i potencjału.

Wizja i cele

Wizja

Polska jako rozpoznawalny węzeł europejskiego ekosystemu półprzewodników, wykorzystujący lokalne kompetencje w projektowaniu układów scalonych i fotonice do budowania trwałych przewag konkurencyjnych w wybranych niszach technologicznych.

Cel główny

Włączenie Polski w globalne łańcuchy wartości sektora półprzewodników poprzez rozwój krajowych kompetencji technologicznych, zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej oraz wzmocnienie odporności na zakłócenia w dostawach komponentów strategicznych.

Cele strategiczne

Ramę dla proponowanych działań, mających umożliwić realizację ww. celu głównego stanowi siedem filarów polityki. Poniżej zdefiniowano priorytetowe cele strategiczne, do których realizacji wytypowane zostały kluczowe wskaźniki poszczególnych filarów.

Obejmują one warunki techniczne (infrastrukturę, energię, surowce), systemowe (finansowanie, impuls państwa, edukację) oraz międzynarodowe (współpracę i eksport). Ich układ odpowiada trzem zasadniczym funkcjom państwa w polityce przemysłowej: tworzeniu warunków, wspieraniu rozwoju kompetencji oraz budowie odporności. Takie podejście umożliwia integrację działań twardych i miękkich, krajowych i zagranicznych, publicznych i prywatnych - w spójną strukturę dostosowaną do potrzeb rozwoju polskiej gospodarki.

Proponowane instrumenty wsparcia mają - tam, gdzie to możliwe - prowadzić do osiągnięcia konkretnych, mierzalnych efektów: od wzrostu generowanej przez branżę wartości dodanej, przez zwiększenie liczby realizowanych projektów, po szerszy dostęp do nowoczesnej infrastruktury dla przedsiębiorstw i ośrodków badawczych.

Zadaniem pierwszym stanowiącym podstawę dalszych prac i ich ewaluacji ustanawia się przygotowanie szczegółowej analizy polskiego rynku półprzewodników.

Cel 1: Rozwój krajowej bazy technologicznej i badawczej

Cel ten realizowany będzie poprzez działania w ramach Filaru I (Infrastruktura) oraz Filaru V (Kadry i edukacja). Obejmuje budowę infrastruktury pilotażowej, wzmocnienie centrów kompetencji oraz rozwój specjalistycznych programów kształcenia.

Kluczowe wskaźniki:

Filar I:

- **Uruchomione linie pilotażowe** - liczba funkcjonujących krajowych linii pilotażowych półprzewodników (cel: co najmniej 1 linia do końca 2028 roku).
 - Wartość docelowa ≥ 1 uruchomiona linia pilotażowa do końca 2028 roku.
- **Inwestycje w infrastrukturę** - co najmniej 800 mln zł CAPEX oraz 300 mln zł OPEX do 2029 roku, zgodnie z potrzebami wskazanymi w polityce. Środki obejmują m.in. budowę zaplecza laboratoryjnego, jego wyposażenie, systemy charakterystyki, a także zapewnienie środków na utrzymanie, eksploatację i operacyjne udostępnianie infrastruktury podmiotom naukowym i przemysłowym.
 - Wartość docelowa = co najmniej 800 mln zł CAPEX oraz 300 mln zł OPEX do 2029 roku.

Filar V:

- **Absolwenci i specjaliści** - 1. liczba absolwentów kierunków elektronicznych/półprzewodnikowych (cel: podwojenie roczne do 2030 roku) oraz 2. liczba specjalistów zatrudnionych w branży w Polsce (cel: wzrost z ~1,5 tys. projektantów czipów do 3 tys. w perspektywie 5 lat).
 - Wartość docelowa pkt. 2. = 3 tys. projektantów czipów do 2030 roku.

Cel 2: Wzmocnienie pozycji Polski w europejskim i globalnym ekosystemie półprzewodników.

Cel ten realizowany będzie poprzez działania w ramach Filaru II (Impuls państwa), Filaru III (Współpraca regionalna i międzynarodowa) oraz Filaru IV (Inwestycje i finansowanie). Obejmuje aktywny udział w inicjatywach europejskich, przyciąganie inwestycji zagranicznych oraz wspieranie ekspansji polskich firm.

Kluczowe wskaźniki:

Filar II:

- **Mapa drogowa rozwoju technologii półprzewodnikowych kluczowych dla polskiej gospodarki i transformacji cyfrowej państwa** (cel: pierwsza edycja do końca 2026 roku, aktualizacja co 2 lata).
 - Wartość docelowa = 1 edycja co roku.
- **Państwo jako odbiorca** - liczba pilotażowych wdrożeń polskich technologii półprzewodnikowych w administracji lub spółkach SP (cel: min. 2 projekty pilotażowe rocznie, np. w elektronice dla energetyki lub obronności).

- Wartość docelowa = 2 projekty rocznie do 2030 roku = 6 projektów pilotażowych w latach 2027-2029.

Filar III:

- **Członkostwo w inicjatywach UE** - przystąpienie polskich podmiotów do Europejskiego Sojuszu na rzecz Półprzewodników ESRA (cel: Polska członkiem ESRA do końca 2026 roku) oraz aktywny udział w programach Chips JU (liczba projektów z dofinansowaniem Chips JU z PL udziałem - cel: wzrost o 50% do 2030 roku).

Filar: IV

- **Nowe inwestycje w sektorze** - łączna wartość zainicjowanych inwestycji półprzewodnikowych w Polsce (cel: 3 mld PLN do 2030 roku, sumując projekty wsparte z funduszy publicznych i prywatnych - zgodne z ambicją zwiększenia wkładu sektora do ok. 0,5% PKB).
 - Wartość docelowa: 3 mld PLN inwestycji do 2030 roku.

Cel 3: Zapewnienie odporności i bezpieczeństwa dostaw

Cel ten realizowany będzie poprzez działania w ramach Filaru VI (Energia i woda) oraz Filaru VII (Chemikalia i surowce). Obejmuje dywersyfikację źródeł surowców krytycznych, zabezpieczenie dostępu do energii i wody dla inwestycji przemysłowych oraz budowę mechanizmów reagowania na zakłócenia w łańcuchach dostaw.

Kluczowe wskaźniki:

Filar VI

- **Kontrakty energetyczne** - liczba długoterminowych umów na dostawę energii elektrycznej dla nowych fabryk/centrów (cel: min. 2 umowy do 2028 roku zapewniające stałą cenę energii dla inwestorów z sektora).
 - Wartość docelowa ≥ 2 długoterminowe umowy do 2028 roku.

Filar VII

- **Baza strategiczna** - utworzenie krajowych rezerw lub zapasów krytycznych chemikaliów (cel: system rezerwy strategicznej funkcjonuje od 2028 roku, obejmujący 3 miesiące zapotrzebowania na wybrane gazy i chemikalia).
 - Wartość docelowa = rezerwy na 3 miesiące zapotrzebowania.

Siedem filarów polityki dla polskiego sektora półprzewodników

Prezentowana polityka jest ukierunkowana na budowę zdolności niezbędnych do wzrostu polskiej gospodarki, zapewnienia bezpieczeństwa nowoczesnego państwa oraz wykorzystania potencjału rodzimych przełomowych rozwiązań.

Jej celem jest rozwój lokalnych kompetencji, zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej oraz wniesienie wkładu w europejskie wysiłki technologiczne - poprzez działania dostosowane do krajowych możliwości i specjalizacji. Polityka wpisuje się w europejskie ambicje wzmocnienia suwerenności technologicznej oraz zwiększenia udziału Europy w globalnym rynku półprzewodników. Polska jako państwo graniczne wewnętrznego rynku UE i sąsiad znaczących inwestycji technologicznych, dostrzega w tym nie tylko wyzwanie, lecz także szansę na wypracowanie własnej roli.

Dokument oparty jest na najlepszej dostępnej wiedzy, wynikach wywiadów branżowych oraz konsultacjach z ekspertami.

Sugerowane działania skupiono wokół siedmiu filarów:

- I. **Infrastruktura** - rozwój nowoczesnych centrów badawczo-rozwojowych, pilotażowych linii badawczych i produkcyjnych oraz dostępu do narzędzi projektowania.
- II. **Impuls państwa** - zaangażowanie podmiotów kontrolowanych przez państwo w roli katalizatora i użytkownika innowacji, a także aktywnego kreatora popytu.
- III. **Współpraca regionalna i międzynarodowa** - budowanie partnerstw w ramach Unii Europejskiej i poza nią oraz promocja polskich kompetencji za granicą.
- IV. **Inwestycje i finansowanie** - mobilizacja zasobów publicznych i prywatnych w celu stworzenia atrakcyjnych warunków inwestycyjnych.
- V. **Kadry i edukacja** - budowa kapitału ludzkiego poprzez edukację, przyciąganie talentów oraz rozwój współpracy między uczelniami a przemysłem.
- VI. **Energia i woda** - zapewnienie stabilnych, dostępnych i konkurencyjnych cenowo zasobów dla energochłonnych procesów produkcyjnych.
- VII. **Chemikalia i surowce** - zapewnienie dostępu do potrzebnych dla produkcji surowców i chemikaliów.

Polityka opiera się na przekonaniu, że Polska może budować swoją obecność w globalnym sektorze półprzewodników poprzez rozwijanie własnych kompetencji technologicznych oraz

wspieranie inwestycji odpowiadających na potrzeby transformacyjne i strategiczne. Jej celem nie jest kopiowanie modeli rozwoju dużych gospodarek ani dążenie do pełnej samowystarczalności, ale znalezienie roli komplementarnej - tam, gdzie krajowe zasoby mogą dostarczać unikalnej wartości. W tym sensie polityka nie tyle reaguje na międzynarodową konkurencję, co aktywnie szuka przestrzeni do zaistnienia - poprzez specjalizację, zdolność do współpracy i elastyczne mechanizmy rozwoju.

Strategia koncentruje się na dwóch uzupełniających się ścieżkach. Po pierwsze, zakłada rozwój krajowych kompetencji - zarówno przełomowych (fotonika scalona, materiały szerokoprzerwowe, mikrosystemy), jak i tych umożliwiających integrację z europejskimi i globalnymi łańcuchami wartości (projektowanie, technologie produkcyjne, kontrola jakości, komponenty specjalizowane). Po drugie, przewiduje tworzenie przewidywalnego, atrakcyjnego i współdzielonego otoczenia inwestycyjnego, obejmującego infrastrukturę, zasoby ludzkie, instrumenty internacjonalizacji oraz systemy współpracy przemysłowej.

Siedem filarów polityki stanowi ramę dla proponowanych działań. Obejmują one warunki techniczne (infrastrukturę, energię, surowce), systemowe (finansowanie, impuls państwa, edukację) oraz międzynarodowe (współpracę i eksport). Ich układ odpowiada trzem zasadniczym funkcjom państwa w polityce przemysłowej: tworzeniu warunków, wspieraniu rozwoju kompetencji oraz budowie odporności. Takie podejście umożliwia integrację działań twardych i miękkich, krajowych i zagranicznych, publicznych i prywatnych - w spójną strukturę dostosowaną do potrzeb rozwoju polskiej gospodarki.

Proponowane instrumenty wsparcia mają - tam, gdzie to możliwe - prowadzić do osiągnięcia konkretnych, mierzalnych efektów: od wzrostu generowanej przez branżę wartości dodanej, przez zwiększenie liczby realizowanych projektów, po szerszy dostęp do nowoczesnej infrastruktury dla przedsiębiorstw i ośrodków badawczych.

Przy pełnym wykorzystaniu dostępnych zasobów szacuje się, że do 2030 roku sektor półprzewodników w Polsce może generować wartość dodaną na poziomie 0,4-0,6% PKB. Dla porównania, obecny wkład wynosi około 0,1-0,15% PKB i opiera się głównie na działalności projektowej, eksporcie komponentów oraz obecności zagranicznych centrów B+R. Taki wzrost uplasowałby Polskę na poziomie porównywalnym z państwami takimi jak Austria, Czechy czy Finlandia - co dobrze ilustruje skalę możliwych korzyści.^{xv}

Polska dysponuje zasobami ludzkimi, które - zarówno po stronie przemysłu, jak i środowisk akademickich - nie odbiegają od poziomu krajów o ugruntowanych kompetencjach w tym obszarze. Kluczowe znaczenie ma skoncentrowanie działań na segmentach o wysokiej wartości dodanej. Odpowiednio prowadzona polityka może wynieść krajowy sektor półprzewodników do rangi jednego z zaawansowanych ekosystemów europejskich, wzmacniając zarazem suwerenność technologiczną państwa i konkurencyjność gospodarki. Dynamiczny, zaawansowany technologicznie sektor stworzy również atrakcyjne miejsca pracy dla najlepszych absolwentów polskich (a w przyszłości także zagranicznych) uczelni, wspierając długofalowy rozwój krajowego kapitału intelektualnego.

I. Infrastruktura

Infrastruktura stanowi fundament dla rozwoju kompetencji krajowych w sektorze półprzewodników. Bez odpowiednio zaprojektowanej i dostępnej infrastruktury nie ma możliwości skutecznego budowania zdolności w tej branży. Obecnie infrastruktura jest rozproszona i niepełna, dlatego kluczowe jest jej rozbudowanie. Proponuje się, by nowa infrastruktura wspierała trzy komplementarne cele polityki państwowej:

- **Umożliwienie przełomowych innowacji** - takich jak fotonika scalona na zakres średniej podczerwieni, materiały szerokoprzerwowe i mikrosystemy;
- **Integracja Polski w globalne i europejskie łańcuchy wartości** - obejmująca projektowanie układów, wyspecjalizowane komponenty, narzędzia i systemy produkcyjne;
- **Zapewnienie krajowych zdolności strategicznych** - takich jak bezpieczeństwo cyfrowe, transformacja sieci energetycznej, bezpieczna komunikacja i technologie obronne.

Europejski akt w sprawie czipów^{xvi} wyznaczył ramy dla rozwoju infrastruktury na poziomie unijnym. Polska powinna aktywnie uczestniczyć w jego wdrażaniu, ale jednocześnie budować komplementarne do tego aktu zdolności krajowe, odpowiadające specyficznym potrzebom własnego przemysłu, edukacji oraz instytucji publicznych. Wybór priorytetowych działań w tym obszarze opiera się na syntetycznej ocenie potrzeb wynikającej z konsultacji z przedstawicielami sektora, dostępnych danych oraz wiedzy eksperckiej dotyczącej uwarunkowań instytucjonalnych i technologicznych w Polsce.

W ramach działań priorytetowych planuje się:

1. Rozbudowę infrastruktury badawczej i centrów kompetencji.
2. Zbudowanie systemu ułatwiającego małym firmom dostęp do narzędzi projektowania układów scalonych (EDA, z ang. Electronic Design Automation) i bibliotek procesowych (PDK, z ang. Process Design Kit).
3. Stworzenie krajowej infrastruktury pilotażowych i małoskalowych linii produkcyjnych.
4. Zapewnienie długofalowego udziału Polski w europejskich liniach pilotażowych.
5. Utworzenie parku technologicznego dedykowanego sektorowi półprzewodników.

Infrastruktura dla sektora półprzewodników powinna być traktowana nie tylko jako zaplecze techniczne, lecz jako narzędzie wspierające trwały wzrost gospodarczy. Inwestycje w infrastrukturę badawczą i produkcyjną mogą katalizować innowacje i rozwój technologiczny, zapewniając solidne podstawy dla długoterminowego rozwoju branży. Warunkiem skuteczności jest sprawne zarządzanie rozproszonymi zasobami poprzez model sieciowy (federacyjny), który zintegruje krajowe ośrodki we współpracujący ekosystem zdolny do działania również w wymiarze międzynarodowym.

Rozbudowa infrastruktury badawczej i centrów kompetencji

Infrastruktura badawcza stanowi fundament ekosystemu technologicznego wspierającego rozwój sektora półprzewodników. Centra kompetencji pełnią rolę węzłów, które integrują zaplecze badawcze, infrastrukturę inżynierię i wiedzę ekspercką wokół wybranych obszarów technologii. Uruchomiono je w ramach Europejskiego aktu o chipach, aby umożliwić dostęp do infrastruktury w celach przemysłowych, edukacyjnych i wdrożeniowych oraz wspierać rozwój technologii. Pierwszym z takich centrów kompetencji jest przygotowywane Centrum Kompetencji Półprzewodnikowych „InnoSemi”. W miarę potrzeb jego działalność może być uzupełniana przez kolejne podobne inicjatywy wspierające rozwój sektora półprzewodników w Polsce.

Istniejące w Polsce ośrodki badawcze (m.in. CEZAMAT PW, Łukasiewicz-IMiF czy IWC PAN) dysponują kompetencjami i zasobami, które wymagają dalszego rozwoju, konsolidacji oraz udostępnienia szerszemu gronu użytkowników. W tym kontekście rozwój lokalnej infrastruktury badawczo-rozwojowej jest niezbędny, aby umożliwić realizację projektów na średnim i wysokim poziomie gotowości technologicznej (TRL, z ang. Technology Readiness Level) w zakresie TRL 5-8, czyli w fazie, w której technologia wymaga jeszcze testów i dostosowania przed wdrożeniem przemysłowym.

Brak dostępu w Polsce do kompletnej infrastruktury stanowi istotną barierę zarówno dla środowisk akademickich, jak i przemysłowych. Uzupełnienie tej luki pozwoliłoby na rozwój układów scalonych (mikroelektronicznych i fotonicznych) przeznaczonych dla sektorów strategicznych, takich jak energetyka, bezpieczeństwo cyfrowe, lotnictwo i kosmos oraz zaawansowana automatyka. Dla zapewnienia trwałości inwestycji szczególną uwagę należy poświęcić projektom wspieranym z Krajowego Planu Odbudowy (KPO), takim jak Centrum Kompetencji Mikroelektronika i Fotonika oraz Centrum Mikroelektroniki Krzemowej i Mikromontażu.

Istniejąca infrastruktura laboratoryjna w Polsce, choć często dobrze wyposażona, pozostaje rozproszona i trudno dostępna dla podmiotów spoza środowiska akademickiego. Brakuje instytucji pełniących funkcję pośrednika lub operatora, który umożliwiłby systemowe wykorzystanie tych zasobów przez firmy i instytucje publiczne. Centra kompetencji powinny pełnić funkcję zintegrowanych punktów dostępu do infrastruktury badawczej, prototypowej i walidacyjnej. Ich zadaniem powinno być zapewnienie dostępu do wspólnych przestrzeni eksperymentowania - takich jak laboratoria urządzeń, platformy testowe, pomieszczenia czyste (z ang. cleanroom), stanowiska pomiarowe i narzędzia do weryfikacji parametrów fizycznych oraz środowiskowych - w modelu usługowym, z jasno określonymi zasadami dostępu i harmonogramowania. Centra te powinny również wspierać koordynację pomiędzy instytucjami naukowymi a przemysłem, prowadzić wspólne projekty oraz oferować wsparcie techniczne dla podmiotów wdrażających technologie, w tym MŚP i start-upów.

Potrzebne działania:

- Przeprowadzenie do końca 2026 roku analizy zasobów infrastrukturalnych (i ich użytkowników) nakierunkowanej na potrzeby rozwoju technologii mikroelektronicznych i fotonicznych na poziomach TRL 5-8.
- Uruchomienie jednolitego systemu udostępniania infrastruktury na zasadzie usługowej, z jasnymi zasadami dostępu i harmonogramowania, aby co najmniej 80% dostępnej infrastruktury było powszechnie wykorzystywane.
- Zwiększenie liczby firm i instytucji korzystających z infrastruktury o 20% rocznie, poprzez aktywne promowanie dostępnych zasobów oraz organizowanie wydarzeń networkingowych dla MŚP i start-upów.
- Publikację rocznych raportów, zawierających dane o liczbie wspartych projektów, godzinach laboratoryjnych, liczbie zrealizowanych szkoleń oraz liczbie użytkowników infrastruktury, w celu monitorowania postępów i dostosowywania działań.

Centra kompetencji powinny również prowadzić i regularnie udostępniać analizy rynkowe, gromadząc dane o zapotrzebowaniu technologicznym firm, barierach wdrożeniowych oraz potencjale komercjalizacyjnym nowych technologii. Tego typu dane są niezbędne dla planowania publicznych inwestycji oraz projektowania instrumentów wsparcia sektora.

Zwiększenie dostępności narzędzi projektowania

Dostępność narzędzi projektowych (EDA) oraz bibliotek procesowych (PDK) pozostaje jedną z głównych barier dla rozwoju małych firm sektora fabless - a w pewnym zakresie także nauki projektowania na uczelniach technicznych. Problemy obejmują wysokie koszty licencji, brak mechanizmów dostępu do technologii produkcyjnych (zwłaszcza poza konsorcjami), ograniczenia licencyjne oraz brak wsparcia doradczego i operacyjnego.

W odpowiedzi na te wyzwania, planowane jest przeprowadzenie do końca 2027 roku szczegółowej analizy, mającej na celu opracowanie modelu krajowej platformy koordynującej dostęp do zasobów projektowych i produkcyjnych. Celem analizy będzie zaprojektowanie funkcjonalności platformy, która umożliwi lepszy dostęp do narzędzi projektowych, wspierających rozwój innowacji w sektorze półprzewodników.

W ramach tej analizy, rozważone zostaną następujące elementy:

- Ocena możliwości utworzenia centralnie zarządzanego systemu licencji, który zapewni dostęp na zasadzie sublicencji lub dostępu zdalnego dla uczelni i MŚP.
- Przygotowanie koncepcji repozytorium bibliotek PDK (w tym model open-source), które będzie zawierać dokumentację oraz wsparcie wdrożeniowe.

- Analiza opcji organizacji pul wieloprojektowych płytek (z ang. Multi-Project Wafer, MPW) oraz masek wielowarstwowych (z ang. Multi-Layer Mask, MLM) dla firm, z możliwością dofinansowania tzw. tape-outu dla małych podmiotów.
- Ewaluacja integracji z europejskimi i międzynarodowymi programami dostępu do fabryk, takimi jak Wspólne Przedsięwzięcie na rzecz czipów (z ang. Chips JU), GlobalFoundries czy SkyWater.
- Ocena potrzeb inżynierskich w zakresie wsparcia wdrożenia, walidacji i symulacji własności intelektualnych (z ang. IP).
- Propozycja systemu rejestracji i monitorowania korzystania z zasobów oraz cyklicznego raportowania efektów.
- Określenie metod wsparcia dla firm i jednostek B+R w zakresie ochrony innowacji wypracowanych w ramach współpracy z platformą.

Na podstawie wyników analizy wypracowane zostaną rekomendacje dotyczące kolejnych kroków, w tym planu działania oraz propozycji stworzenia platformy koordynującej dostęp do narzędzi projektowych i technologii produkcyjnych w Polsce.

Planowana platforma krajowa powinna uzupełniać istniejące rozwiązania europejskie - takie jak Europractice, CMP France czy imec.IC-link - dostosowując je do specyficznych potrzeb i poziomu rozwoju polskiego ekosystemu. Może przyjąć formę konsorcjum uczelni i instytutów badawczo-rozwojowych, z udziałem operatora infrastruktury cyfrowej oraz instytucji wspierających innowacje. Taki model - funkcjonujący z powodzeniem w wielu państwach UE - pozwala na wspólne korzystanie z zasobów projektowych, narzędzi EDA i usług MPW/MLM w sposób skoordynowany i dostępny także dla MŚP. Osadzenie tej funkcji w ramach centrów kompetencji lub parków technologicznych umożliwiłoby płynną integrację z krajowymi instrumentami wsparcia i infrastrukturą badawczo-produkcyjną.

Uruchomienie krajowej infrastruktury pilotażowych i małoskalowych linii produkcyjnych

Linie pilotażowe (z ang. pilot lines) stanowią fundament procesu innowacji w sektorze półprzewodników. Są to mniejsze, elastyczne linie produkcyjne, które umożliwiają szybkie prototypowanie, walidację projektów oraz testowanie nowych technologii. Przykłady miejsc, w których istnieją linie pilotażowe, to m.in. IMEC w Belgii, CEA-Leti we Francji, Instytuty Fraunhofera w Niemczech, VTT w Finlandii czy Tyndall w Irlandii. Koszt ich uruchomienia jest niższy niż pełnych fabryk, ale nadal stanowi istotną inwestycję, zwłaszcza w przypadku zaawansowanych technologii. W kontekście planowania takiej inwestycji ważnym aspektem są również koszty operacyjne takiej linii (z ang. OPEX).

Polska, mimo rosnącego potencjału, nie dysponuje obecnie żadną linią pilotażową dla technologii półprzewodnikowych. Brak takiej infrastruktury ogranicza rozwój projektów

i zmusza do korzystania z drogich usług zagranicznych, co opóźnia proces wprowadzania produktów na rynek. Z tego względu uruchomienie krajowej infrastruktury pilotażowych linii produkcyjnych jest niezbędne, zwłaszcza w kontekście rozwijanych nowych technologii, takich jak przyrządy GaN oraz fotonika scalona na zakres średniej podczerwieni, które mają duży potencjał na rynku międzynarodowym.

Postulat stworzenia takiej infrastruktury był regularnie podnoszony w kontaktach z przedstawicielami sektora jako odpowiedź na istniejące bariery utrudniające komercjalizację badań i rozwój krajowych produktów półprzewodnikowych. Ma on również znaczenie strategiczne - umożliwienie produkcji bezpiecznych układów scalonych w kraju to kwestia suwerenności technologicznej i bezpieczeństwa, szczególnie w kontekście potrzeb obronnych, bezpiecznej łączności i infrastruktury krytycznej.

W państwach posiadających dynamicznie rozwijający się sektor fabless i branże zaawansowanych technologii, linie pilotażowe stanowią także ważny komponent ekosystemu wspierającego innowacje. Ich istnienie wspiera rozwój kompetencji w zakresie montażu i integracji układów, a także walidacji nowych materiałów i projektów.

Postuluje się zatem łączenie innowacyjności z bezpieczeństwem poprzez stworzenie kompletnych zdolności krajowych w zakresie rozwoju technologii i małoskalowej produkcji półprzewodników.

Potrzebne działania:

-
- Przeprowadzenie analizy funkcjonalnej linii pilotażowej - określenie typów użytkowników, potrzeb technologicznych, możliwych modeli operacyjnych oraz zakresu zastosowań (w tym przemysłowych, akademickich i dla MŚP).
 - Ocena zgodności planowanego przedsięwzięcia z wymaganiami dla rozwoju suwerennych technologii półprzewodnikowych - szczególnie pod kątem obronności, infrastruktury krytycznej, odpornej komunikacji oraz systemów AI.
 - Zdefiniowanie mierników efektywności linii pilotażowej - m.in. poziomu wykorzystania, dostępności, kosztów jednostkowych i wpływu na rozwój krajowego ekosystemu.
 - Opracowanie do końca 2027 roku szczegółowego modelu operacyjnego i finansowego - wskazanie operatorów oraz struktury zaangażowania publicznego i prywatnego.
 - Rozpoczęcie fazy inwestycyjnej w 2028 roku w oparciu o wyniki powyższych analiz i decyzji instytucjonalnych.

Zadania linii pilotażowych:

- Umożliwić krajowym projektantom walidację własności intelektualnej (z ang. silicon-proven);
- Zapewnić krajową produkcję bezpiecznych układów dla projektów w obszarach strategicznych;

- Rozwijać i testować technologie montażu i integracji układów, w tym hybrydowych oraz o podwyższonej odporności środowiskowej.

Ważne jest stworzenie architektury operacyjnej, która łączyłaby zaplecze badawcze, środowisko inżynieryjne oraz dostęp przemysłowy, np. w modelu zarządzanym przez konsorcjum uczelni i instytutów, oferujących zasoby na zasadach usługowych i wspierających użytkowników na poziomie technologicznym.

W Polsce istnieją już fundamenty infrastrukturalne, które mogą zostać wykorzystane do rozwoju linii pilotażowych. Przykładem są zasoby CEZAMAT PW oraz projekty prowadzone przez Łukasiewicz-IMI i IWC PAN w zakresie technologii GaN, stanowiące potencjalną bazę dla wdrożeń w obszarze energoelektroniki i innych zaawansowanych zastosowań. Zgodnie z informacjami CEZAMAT PW, możliwe jest uruchomienie produkcji rzędu do 100 tys. układów rocznie w kilku technologiach, pozwalających na produkcję unikatowych produktów do wyspecjalizowanych zastosowań. Istniejące zasoby należy potraktować jako punkt wyjścia do dalszego rozwoju i skoordynowanego wykorzystania potencjału infrastruktury krajowej.

Ważnym elementem procesu jest zaprojektowanie modelu finansowania, który uwzględni potrzeby zarówno sektora publicznego, jak i prywatnego. Kluczowe będzie zaangażowanie odbiorców końcowych - ich udział może stanowić realny impuls do komercjalizacji innowacji i wdrażania nowych technologii. Model ten powinien być elastyczny, umożliwiający współpracę konsorcjów z udziałem uczelni, instytutów badawczych, przedsiębiorstw oraz przyszłych użytkowników wyników inwestycji. Warto rozważyć mechanizmy powiązania finansowania z rzeczywistym popytem technologicznym, co pozwoli zwiększyć stabilność inwestycji i ich długofalowy wpływ na gospodarkę.

Warto również rozważyć bliższą analizę alternatywnych, niskokosztowych koncepcji infrastruktury, takich jak model Minimal Fab, oparty na kompaktowych stanowiskach produkcyjnych funkcjonujących bez pełnowymiarowych pomieszczeń czystych (cleanroom). Rozwiązania tego typu, rozwijane m.in. w Japonii, pozwalają na znaczące obniżenie progu wejścia i skrócenie czasu potrzebnego na uruchomienie krótkoseryjnej produkcji. Może to być szczególnie atrakcyjne dla uczelni, MŚP oraz regionów dysponujących ograniczonymi zasobami inwestycyjnymi. Minimal Fab może stanowić uzupełnienie klasycznych linii pilotażowych i być wykorzystane zarówno w celach edukacyjnych, jak i demonstracyjnych. Kierując się celem zwiększania spójności rozwoju gospodarczego (Krajowa Strategia Rozwoju Regionalnego 2030 - KSRR 2030^{xvii}), w pierwszej kolejności należałoby tworzyć Minimal Fab'y w ośrodkach oddalonych od lokalizacji linii pilotażowych.

Wsparcie dla udziału w europejskich liniach pilotażowych

Linie pilotażowe w ramach UE, takie jak te realizowane w programie Wspólne Przedsięwzięcie na rzecz Czipów, to zaawansowane infrastruktury badawczo-rozwojowe, które umożliwiają międzynarodową współpracę w zakresie testowania i walidacji nowych technologii. W przeciwieństwie do krajowych linii pilotażowych, które są skoncentrowane na lokalnych potrzebach, infrastruktura tych europejskich linii jest współdzielona przez uczestniczące

państwa (a nawet ma charakter rozproszony), co pozwala na szeroką wymianę wiedzy oraz rozwój technologii w skali międzynarodowej.

Polska już uczestniczy w europejskich projektach takich jak PIXEurope, FAMES i WBG. Projekty te umożliwiają rozwój fotoniki scalonej w zakresie średniej podczerwieni (VIGO Photonics, Ł-IMiF), półprzewodników szerokoprzerwowych (GaN, SiC) oraz układów niskomocowych (FD-SOI). Korzyścią z tych projektów jest udział polskich podmiotów w rozwoju najnowszych technologii, dostęp do infrastruktury o wysokiej gotowości technologicznej oraz możliwość transferu wiedzy i personelu.

Należy aktywnie dążyć do zwiększenia udziału polskich podmiotów w kolejnych europejskich liniach pilotażowych, a także do wykorzystania w tych liniach technologii rozwijanych przez polskie firmy (np. systemy nanodruku czy urządzenia do automatyzacji montażu) w tych projektach. Ważnym elementem jest również zapewnienie mechanizmów transferu wyników do krajowego przemysłu, np. poprzez centra kompetencji.

Efekty uczestnictwa w tych projektach powinny być również mierzalne, a wskaźniki takie jak liczba projektów TRL 5-8 z udziałem polskich podmiotów, liczba transferów technologii do przemysłu krajowego, liczba zgłoszeń patentowych, liczba publikacji naukowych czy nowo utworzonych firm technologicznych (z ang. spin-off), stanowiły podstawę do dalszego planowania zaangażowania Polski w europejskie programy infrastrukturalne.

Utworzenie parku technologicznego dedykowanego sektorowi półprzewodników

Postulat powstania parku technologicznego wynika z potrzeby stworzenia fizycznej przestrzeni sprzyjającej koncentracji kompetencji, testowaniu technologii, współpracy interdyscyplinarnej i integracji przemysłu z nauką. Obecnie w Polsce brakuje takiego miejsca - przestrzeni, w której start-upy, uczelnie i firmy działające obszarze półprzewodników i fotoniki mogłyby wspólnie realizować projekty rozwojowe, korzystając z dostępu do infrastruktury projektowej, testowej i edukacyjnej. Park ma wypełnić tę lukę, oferując zintegrowane środowisko wspierające szybkie wdrażanie innowacji, rozwój prototypów i kształcenie kadr.

Park technologiczny pełniłby rolę platformy integrującej różne elementy krajowego ekosystemu technologicznego - od wytwarzania kryształów i podłoży, przez epitaksję, po integrację układów elektronicznych. Takie podejście sprawdziło się w wielu krajach jako skuteczny sposób na przyspieszenie komercjalizacji technologii i rozwój zaawansowanych firm w sektorze półprzewodników.

Rekomendowane funkcje parku to m.in.:

- Przestrzeń wspólna do prowadzenia prac projektowych i walidacyjnych, w tym dostęp do narzędzi do projektowania układów scalonych, pomieszczeń czystych (cleanroom) i procesów końcowych;

- Infrastruktura umożliwiająca testowanie i niezależną walidację technologii (np. testy środowiskowe, elektromagnetyczne, niezawodnościowe);
- Przestrzeń do wsparcia wdrażania innowacji sprzętowych - w tym inkubacja, demonstracja i wspólne projekty rozwojowe;
- Współpraca z sektorem edukacji i nauki, np. poprzez wspólne programy kształcenia, staże, inżynierię aplikacyjną i mentoring, ale także organizację branżowych wydarzeń i networking;
- Usługi wspólne dla MŚP i start-upów z sektora półprzewodników oraz przemysłów pokrewnych (np. dostęp do sprzętu, wsparcie IP, platformy testowe).

Jakkolwiek idea parku przewiduje jego lokalizację na określonym terenie - możliwe jest rozszerzanie jego działalności w modelu sieciowym, w którym ofertę parku uzupełni kilka komplementarnych ośrodków pełniących odrębne funkcje, w zależności od istniejącego zaplecza i specjalizacji. Takie podejście pozwala lepiej wykorzystać potencjał terytorialny Polski i zwiększyć dostępność usług dla firm z różnych regionów, zgodnie z celami KSRR 2030.

Analiza lokalizacyjna powinna zostać zakończona w II poł. 2026 roku i uwzględnić m.in.:

- Dostępność istniejącej infrastruktury oraz kadry (zarządzającej, technicznej i naukowej);
- Istnienie aktywnego ekosystemu technologicznego (uczelnia, instytut, firmy projektowe, start-upy, stowarzyszenia i organizacje branżowe);
- Gotowość władz lokalnych i regionalnych do współfinansowania powstania i funkcjonowania parku;
- Dostępność zasobów energetycznych i mediów technicznych.

Wstępnie wskazane lokalizacje to:

- Gdańsk (specjalizacje w zakresie oprogramowania);
- Kraków/Katowice (silna baza inżynierska, kompetencje w zakresie projektowania, automatyki, współpracy z przemysłem);
- Łódź (integracja logistyki, procesów wsparcia, R&D oraz funkcje usługowe komplementarne wobec pozostałych ośrodków, doświadczenie w kontaktach z partnerami zagranicznymi);
- Poznań (rozwijający się ekosystem technologiczny i uczelniany);
- Warszawa (silne kompetencje w fotonice, mikroelektronice, projektowaniu, istniejąca infrastruktura pomieszczeń typu cleanroom);
- Wrocław (fotonika, mikroelektronika, mikrosystemy, druk półprzewodników, rozwinięty sektor technologii informacyjno-komunikacyjnych (z ang. ICT)).

Utworzenie dedykowanego parku technologicznego dla sektora półprzewodników wiąże się z nakładami rządu dziesiątek do kilkuset milionów złotych, w zależności od skali i zakresu infrastruktury. Dla porównania, w ramach rozbudowy klastra półprzewodnikowego w Dreźnie

(Dresden Chip Cluster) władze Saksonii przeznaczyły ok. 500 mln euro wyłącznie na infrastrukturę publiczną wspierającą lokalizację inwestycji bez uwzględnienia nakładów firm na fabryki. W warunkach polskich koszty mogą wynosić od około 50 mln zł (np. centrum inkubacyjne z czystym pomieszczeniem) do kilkuset mln zł przy większym kompleksie.

Proponowany projekt (lub projekty) mogłyby być współfinansowane ze środków Wspólnego Przedsięwzięcia na rzecz Czipów, Europejskiego Banku Inwestycyjnego oraz regionalnych programów operacyjnych. Należy również rozważyć przeznaczenie części środków z Krajowych Ram Wspierania Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych na dofinansowanie inwestycji w park technologiczny.

Struktura organizacyjna powinna być elastyczna - preferowany model to konsorcjum publiczno-prywatne z udziałem instytutów badawczych, uczelni, partnerów przemysłowych i samorządów. Ośrodki te mogą pełnić wyspecjalizowane funkcje, np. back-end i testowanie w Warszawie, integracja i druk precyzyjny we Wrocławiu, programy edukacyjne i akceleracyjne w Krakowie - taka specjalizacja posłużyłaby wzmocnieniu regionalnych przewag, realizując jeden z celów Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego (KSRR 2030).

W ramach funkcjonowania parku należy przewidzieć mierzalne wskaźniki efektywności, takie jak liczba inkubowanych start-upów rocznie, liczba firm korzystających z infrastruktury wspólnej, liczba projektów przemysłowych realizowanych w partnerstwie z ośrodkami naukowymi oraz poziom komercjalizacji usług (np. liczba udostępnionych godzin w pomieszczeniach czystych (cleanroom), liczba prototypów objętych wsparciem).

Potrzebne działania:

- Przeprowadzenie pełnej analizy lokalizacyjnej, z zakończeniem do końca 2026 roku. Uwzględnienie dostępności infrastruktury, kadr, ekosystemów technologicznych oraz gotowości samorządów do współfinansowania.
- Ogłoszenie konkursu na dofinansowanie parku technologicznego z terminem rozpoczęcia procesu aplikacyjnego w 2027 roku.

II. Impuls państwa

Rola państwa w rozwoju sektora półprzewodników ma charakter strategiczny i polityczny. Wymaga nie tylko tworzenia sprzyjających ram prawnych czy programów finansowania, ale także aktywnego kształtowania popytu na krajowe kompetencje i technologie. Państwo powinno pełnić rolę koordynatora działań pomiędzy administracją, przemysłem, uczelniami i instytucjami badawczymi - wspierając rozwój, integrację i komercjalizację krajowych zdolności w obszarach o znaczeniu strategicznym dla gospodarki i bezpieczeństwa.

Rola państwa w generowaniu zapotrzebowania technologicznego

Państwo nie powinno projektować innowacji ani narzucać konkretnych technologii, lecz raczej identyfikować własne potrzeby funkcjonalne i wspierać rozwój krajowych rozwiązań zdolnych je realizować. Oznacza to m.in. tworzenie przestrzeni do zaangażowania firm technologicznych w projekty związane z transformacją energetyczną, cyfryzacją sektora publicznego, bezpieczeństwem komunikacyjnym i przemysłem obronnym.

Szczególną rolę w generowaniu tego typu zapotrzebowania mogą odgrywać spółki z udziałem Skarbu Państwa (SP), dysponujące odpowiednim potencjałem wdrożeniowym, inwestycyjnym i operacyjnym. Warto opracować mechanizm dopasowywania technologii i zastosowań (z ang. matchmaking), w ramach którego podmioty technologiczne mogłyby identyfikować możliwe zastosowania swoich rozwiązań w działalności spółek SP na podstawie potrzeb technologicznych lub procesowych zgłaszanych przez te spółki. Takie podejście mogłoby również pomóc spółkom SP w aktualizacji strategii technologicznej i zacieśnianiu relacji z krajowym ekosystemem B+R.

Priorytetem państwa powinno być również wspieranie kompetencji przełomowych - przede wszystkim fotoniki scalonej, nowych materiałów półprzewodnikowych, projektowania układów - które mogą być podstawą do długoterminowego wyróżnienia Polski w globalnych łańcuchach wartości. Projekty B+R dotyczące tych priorytetowych obszarów wspierane zarówno kapitałowo, jak i instytucjonalnie - poprzez dostęp do infrastruktury, mentoringu, a także ekspozycję międzynarodową.

Potrzebne działania:

- Stworzenie platformy łączącej krajowy sektor półprzewodników z sektorem publicznym i przemysłowym do końca 2026 roku (faza pilotażowa). Celem jest ułatwienie kojarzenia podaży i popytu na krajowe rozwiązania, co wzmocni impuls popytowy.
- Opracowanie w ramach w/w platformy w I poł. 2027 roku pierwszej edycji mapy drogowej rozwoju technologii półprzewodnikowych kluczowych dla polskiej gospodarki i transformacji cyfrowej państwa.

- Uruchomienie programu zamówień przedkomercyjnych (PCP), ukierunkowanego na stymulowanie wczesnego popytu poprzez pilotażowe wykorzystanie rozwiązań półprzewodnikowych SP i administrację publiczną.

Wspieranie ekspansji i sprzedaży

Równolegle państwo powinno konsekwentnie wspierać zdolności sprzedażowe firm technologicznych. Chodzi zarówno o pomoc w wejściu na rynki zagraniczne, jak i w budowaniu trwałych relacji z partnerami przemysłowymi. Działania te realizują już instytucje takie jak Polska Agencja Inwestycji i Handlu czy, w wybranych aspektach, Ministerstwo Spraw Zagranicznych - ich rola powinna zostać wzmocniona i lepiej zintegrowana z celami polityki przemysłowej. Warto rozważyć utworzenie ekspozycyjnych przestrzeni demonstracyjnych technologii półprzewodnikowych (z ang. showroomów) na wybranych rynkach zagranicznych, które mogłyby prezentować krajowe rozwiązania i ułatwiać nawiązywanie kontaktów biznesowych. Zaleca się także badanie najlepszych praktyk z innych krajów UE, które skutecznie wykorzystują tego typu przestrzenie w celu zwiększenia eksportu technologii, co mogłoby stanowić inspirację i podstawę do wdrożenia analogicznych działań w Polsce. W tym kontekście warto również rozważyć wykorzystanie instrumentów unijnych - takich jak Global Gateway - jako platformy wspierającej obecność polskich rozwiązań technologicznych w projektach realizowanych poza granicami UE. Wymaga to dalszej analizy możliwości organizacyjnych i koordynacji z agendami dyplomacji gospodarczej, a także rzeczywistego włączenia w realizację tych działań organizacji branżowych, które z powodzeniem korzystają z takich mechanizmów w innych krajach członkowskich.

Koordynacja działań państwa i integracja publiczna

Spójność i koordynacja priorytetów państwa, takich jak energetyka, cyfryzacja i rozwój przemysłowy, są niezbędne do osiągnięcia efektów synergii. Wykorzystanie krajowych zdolności technologicznych w tych obszarach umożliwi budowę ekosystemu półprzewodnikowego. Wspólne cele, takie jak rozwój gospodarczy regionów, modernizacja infrastruktury czy transformacja energetyczna, mogą zostać skoordynowane, aby skuteczniej wykorzystać dostępne zasoby oraz realizować projekty o szerokim oddziaływaniu.

Przykładem takiego podejścia może być koncepcja rozwoju branży półprzewodnikowej na Śląsku, dla którego jest to możliwa ścieżka transformacji przemysłowej, pozwalająca na powstanie wartościowych miejsc pracy w nowych branżach. Koncepcja ta dobrze wpisuje się w założenia KSRR 2030 - region dysponuje istotnym potencjałem demograficznym, badawczym i infrastrukturalnym.

Istnieje przy tym potrzeba utworzenia narzędzia koordynacji między województwami - takie jak np. wspólny fundusz czy wyraźne wskazanie priorytetów sektorowych - ponieważ obecnie wiele inicjatyw ma charakter rozproszony i prowadzony bez wzajemnych powiązań.

- W celu zapewnienia skutecznej koordynacji i wdrażania działań w sektorze półprzewodników proponuje się rozszerzenie zakresu i kompetencji

Międzyresortowego Zespołu do spraw Krajowych Ram Wspierania Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych^{xviii} oraz powołanie Koordynatora ds. Polityki Półprzewodnikowej. Koordynator pełniłby funkcję centralnego punktu kontaktowego oraz nadzorował realizację działań strategicznych w tym obszarze.

Postulat ten odpowiada na często zgłaszaną przez sektor potrzebę ograniczenia rozproszenia instytucjonalnego i ustanowienia jednego ośrodka odpowiedzialnego za całość działań publicznych w obszarze polityki półprzewodnikowej. Podobne rozwiązania przyjęto w innych państwach UE: w Hiszpanii rolę tę pełni Komisarz ds. Mikroelektroniki i Półprzewodników powołany przy Kancelarii Premiera; we Włoszech za koordynację polityki odpowiadał doradca Ministra ds. Uniwersytetów i Badań.

Budowanie zaufania pomiędzy sektorem publicznym, prywatnym i naukowym będzie fundamentem sukcesu tych działań. Dlatego zespół powinien dysponować skutecznymi narzędziami umożliwiającymi regularne konsultacje wszystkich zainteresowanych stron. Jednym z takich narzędzi są stałe struktury wspierające współpracę - zarówno wewnątrz branży, jak i z jej partnerami publicznymi i prywatnymi. Aby pogłębić integrację sektora, zwiększyć ekspozycję jego oferty technologicznej na różne gałęzie przemysłu oraz wspierać ekspansję na rynki zagraniczne, należy wykorzystać potencjał organizacji klastrowych.

Do realizacji niniejszej polityki niezbędna jest ścisła współpraca organów administracji rządowej właściwych w sprawach informatyzacji, finansów publicznych, gospodarki, obrony narodowej, szkolnictwa wyższego i nauki, oświaty i wychowania, spraw zagranicznych oraz aktywów państwowych. Działania te powinny być wspierane przez odpowiednie ramy prawne oraz mechanizmy monitorujące, które zapewnią zgodność podejmowanych inicjatyw z rzeczywistymi potrzebami rynku.

III. Współpraca regionalna i międzynarodowa

Polityka zakłada dwutorowe podejście: z jednej strony - współtworzenie silnych, wyspecjalizowanych powiązań regionalnych w Europie, z drugiej - budowanie globalnej pozycji Polski w wybranych segmentach rynku, przede wszystkim w fotonice scalonej. Oba te kierunki są komplementarne i mają służyć wzmocnieniu pozycji Polski jako państwa gotowego do strategicznego uczestnictwa w europejskim i światowym systemie produkcji i innowacji. Wymaga to jednak precyzyjnego określenia ról, w które Polska może realistycznie wejść: jako równorzędny partner technologiczny, inicjator projektów, właściciel unikalnych kompetencji i zasobów, a nie jedynie odbiorca inwestycji.

Mikroregion technologiczny

Podstawą regionalnej strategii powinno być nawiązanie współpracy w trójkącie Polska-Czechy-Niemcy. Saksonia, dzięki wieloletnim inwestycjom w technologię krzemowe i rozwiniętej infrastrukturze badawczo-produkcyjnej, stanowi solidny fundament oraz źródło doświadczeń. Czechy wyróżniają się kompetencjami w elektronice mocy oraz światową pozycją w mikroskopii elektronowej. Polska może wzbogacić ten układ o kompetencje w zakresie projektowania układów scalonych, materiałów półprzewodnikowych, nowych technologii produkcyjnych czy fotoniki scalonej.

Celem powinno być stworzenie sieci wspólnych zasobów i zdolności: laboratoriów testowania, ośrodków certyfikacji, linii pilotażowych, narzędzi do analizy ryzyk oraz instrumentów umożliwiających wspólne aplikowanie w ramach europejskich programów, takich jak IPCEI (z ang. Important Project of Common European Interest) - mechanizmu wspierającego projekty o strategicznym znaczeniu dla UE, w tym w obszarze półprzewodników. Mikroregion powinien działać jako aktywny uczestnik polityki przemysłowej Unii.

Aby mikroregion był także filarem odporności przemysłowej Europy, potrzebne są wspólne działania w zakresie bezpieczeństwa technologicznego. Warto utworzyć regionalny system monitorowania łańcuchach dostaw - obejmujący analizę ryzyk, ocenę dostawców i kanały wymiany informacji. Szczególną uwagę należy poświęcić komponentom pasywnym i analogowym, często nieuwzględnianym w analizach strategicznych, a niezbędnym dla funkcjonowania całego przemysłu elektronicznego.

Potrzebne działanie:

- Podpisanie trójstronnego memorandum z Czechami i Niemcami (Saksonią) w sprawie utworzenia „półprzewodnikowego trójkąta” w I połowie 2027 roku. Celem memorandum będzie wykorzystanie potencjałów sąsiadujących regionów do stworzenia mikroregionu technologicznego, który skoncentruje wysiłki na wspólnych inwestycjach, badaniach oraz kształceniu w sektorze półprzewodników. Dokument

określi szczegółowe zasady współpracy i wspólne działania na rzecz rozwoju tego kluczowego sektora w regionie.

Włączenie Litwy, Holandii i Belgii

Niezależnie od tworzenia mikroregionu należy rozwijać współpracę z komplementarnymi partnerami, np. Holandia (wiodący ekosystem w zakresie litografii, projektowania i fotoniki), Litwą (silny ekosystem laserów i ich zastosowań) czy Belgią (IMEC jako wiodący ośrodek badań nad układami scalonymi i systemami). Ich udział nie osłabia rdzenia mikroregionu, lecz wzmacnia go technologicznie i organizacyjnie. Współpraca powinna koncentrować się na konkretnych tematach, np. fotonika podczerwieni, lasery impulsowe czy integracja optoelektroniki z systemami sztucznej inteligencji.

Europejski wymiar współpracy

Uzupełnieniem tych partnerstw powinna być aktywna obecność Polski w europejskich mechanizmach współpracy: takich jak Chips JU, ChipsAcademy czy Europejska Rada Półprzewodników. Ich znaczenie polega nie tylko na dostępie do instrumentów wdrożeniowych, ale także na współtworzeniu kierunków polityki, reagowaniu na bariery oraz budowaniu sojuszy w ramach unijnych priorytetów technologicznych. Obecność Polski w tych strukturach powinna być systematycznie wzmacniana. Dobrym przykładem takiego podejścia jest wspólna deklaracja 12 państw UE (w tym Polski) z marca 2025 roku, która zakłada zacieśnienie współpracy regionalnej oraz wspólne aplikowanie do Chips JU i IPCEI w celu wzmocnienia europejskiej pozycji w sektorze półprzewodników.

Jednocześnie rekomenduje się przystąpienie zainteresowanych polskich województw do Europejskiego Sojuszu na rzecz Półprzewodników (ESRA), w którym obecnie nie ma przedstawicieli Polski. Członkostwo umożliwiłoby ściślejszą współpracę terytorialną, udział w projektach regionalnych i dostęp do wsparcia operacyjnego. Tego typu zaangażowanie stanowi logiczne przedłużenie działań mikroregionalnych i tematycznych.

Potrzebne działanie:

-
- Do końca 2027 roku Polska powinna przystąpić do co najmniej dwóch nowych inicjatyw unijnych w obszarze półprzewodników. Udział w tych działaniach będzie istotny w kontekście nadchodzącej ewaluacji Europejskiego aktu w sprawie czipów^{xix}, umożliwiając Polsce realny wpływ na kierunki wdrożeń oraz mechanizmy finansowania i koordynacji na poziomie UE.

Fotonika jako specjalizacja globalna

Fotonika - to jeden z najbardziej dojrzałych obszarów krajowych kompetencji technologicznych. Dzięki współpracy przemysłu i jednostek badawczych Polska ma dziś pozycję lidera w rozwoju

fotonicznych układów scalonych na średnią podczerwień, przewidywanych do masowych zastosowań w jako czujniki w pojazdach autonomicznych, przemyśle chemicznym, energetycznym, systemach monitorowania zdrowia i środowiska czy bezpiecznej łączności laserowej. Udział w projektach o znaczeniu europejskim, takich jak IPCEI HyperPIC czy linia pilotażowa PIXEurope, potwierdza zdolność krajowych podmiotów do odgrywania roli koordynatorów złożonych przedsięwzięć i współtwórców kluczowych technologii.

Fotonika jako dziedzina wymagająca wysokiego poziomu specjalizacji i dostosowania procesów technologicznych, sprzyja budowie trwałych partnerstw - nie tylko w roli podwykonawcy, lecz jako równorzędny uczestnik europejskich inicjatyw badawczych i przemysłowych. Polska może wnieść do wspólnych projektów unikalne kompetencje, wzmacniając swoją pozycję w długofalowych przedsięwzięciach rozwojowych.

W związku z tym postuluje się utworzenie ośrodka badawczo-rozwojowego rozwijającego technologie i zastosowania fotoniki scalonej na zakres średniej podczerwieni, bazującego na istniejących kompetencjach i czerpiącego z doświadczeń takich krajów jak Holandia czy Hiszpania. Powstanie takiego ośrodka będzie spójne z Europejskim aktem w sprawie czipów - powinien on rozwijać kadry i wspierać transfer technologii, prowadzić wspólne projekty, ułatwiać dostęp do linii pilotażowych, a jego celem powinno być także budowanie trwałych powiązań transgranicznych - zarówno w Europie, jak i poza nią - na zasadzie uzupełniania się kompetencji. Ważnym zadaniem ośrodka będzie także popularyzacja technologii wśród jej potencjalnych odbiorców. Proponuje się, by proces uzgadniania koncepcji, walidacji pomysłu oraz zapewnienia finansowania został zakończony do końca 2026 roku, a uruchomienie centrum mogło nastąpić w 2027 roku. Aby zapewnić wiarygodność projektu i monitorować postępy, warto określić jasne wskaźniki sukcesu, takie jak liczba międzynarodowych projektów badawczych realizowanych w ramach centrum (np. minimum 3 projekty badawcze w pierwszym roku działalności).

Partnerstwa z globalnymi liderami

Partnerstwa międzynarodowe to kolejny istotny filar rozwoju sektora. Współpraca z USA, Tajwanem, Koreą Południową, Japonią, a także Indiami, Wietnamem i Malezją powinna obejmować wspólne przedsięwzięcia, porozumienia sektorowe, rozwój zaplecza testowo-weryfikacyjnego oraz mechanizmy wymiany kadr. Kraje te posiadają zaawansowane ekosystemy technologiczne, a współpraca z nimi umożliwi rozwój kompetencji w zakresie, m.in. EDA, testowania, certyfikacji, montażu oraz integracji systemów. Jednocześnie, Polska powinna aktywnie poszukiwać inwestycji, które wzmocnią jej silne strony lub pomogą wypełnić istniejące luki technologiczne i kompetencyjne.

Polskie instytucje badawcze, przykładowo CEZAMAT PW, Łukasiewicz-IMiF czy IWC-PAN mają już doświadczenie we współpracy z partnerami z Tajwanu. Tego rodzaju relacje należy przekładać na trwałe partnerstwa i udział we projektach współpracy badawczej lub edukacyjnej.

Relacje z USA w kontekście dostępu do technologii

Polska powinna wzmacniać strategiczne partnerstwo ze Stanami Zjednoczonymi, traktując je jako źródło długoterminowego kapitału inwestycyjnego wspierającego rozwój krajowego

sektora. Współpraca transatlantycka powinna obejmować wspólne projekty badawcze, inwestycje infrastrukturalne, a także tworzenie powiązań przemysłowych i akademickich z amerykańskimi partnerami. Jednocześnie konieczne jest prowadzenie konsekwentnej polityki, której celem jest zapewnienie Polsce pełnego dostępu do zaawansowanych amerykańskich technologii.

IV. Inwestycje i finansowanie

Rozwój sektora półprzewodników wymaga dużych nakładów kapitałowych oraz przemysłanej struktury wsparcia publicznego i prywatnego. Inwestycje w tym sektorze cechują się wysokim ryzykiem, długim horyzontem zwrotu i strategicznym znaczeniem dla konkurencyjności gospodarki. Dlatego niezbędna jest zintegrowana polityka inwestycyjna - obejmująca zarówno przyciąganie inwestycji zagranicznych, jak i rozwój krajowych kompetencji - w oparciu o przejrzyste mechanizmy wsparcia, uproszczone procedury i dostęp do zróżnicowanych źródeł finansowania.

Krajowe Ramy Wspierania Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych

Obecnie głównym instrumentem krajowego wsparcia sektora jest program z budżetem 1,5 mld euro na lata 2024-2026. Należy rozważyć jego przedłużenie oraz zwiększenie elastyczności zasad przyznawania pomocy, w tym potencjalne wykorzystanie części tych środków na sektorowy park technologiczny. Jako możliwy kierunek reformy warto rozpatrzyć obniżenie progu wejścia (obecnie 750 mln zł) dla projektów, aby umożliwić udział firm z polskim kapitałem - nawet przy inwestycjach rzędu 10-20 mln zł rozłożonych w czasie. Wsparcie takie mogłoby dotyczyć projektów o wysokim znaczeniu strategicznym, także w formule pilotażowej.

W kontekście zwiększenia dostępności i skuteczności instrumentów wsparcia istotne byłoby także wdrożenie szybkiej ścieżki rozpatrywania wniosków o pomoc publiczną dla projektów półprzewodnikowych, poprzez powołanie dedykowanego zespołu ds. notyfikacji oraz uzgodnienie przyspieszonej procedury dla inwestycji strategicznych. Celem jest skrócenie czasu oczekiwania na decyzje (obecnie nawet 10-24 miesięcy) i zwiększenie przewidywalności procesów administracyjnych.

Warto też zauważyć, że inne programy - np. Narodowego Centrum Badań i Rozwoju czy Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości - mogą pełnić uzupełniającą rolę we wspieraniu wczesnych faz rozwoju lub mniejszych projektów technologicznych; są one istotnym elementem ekosystemu i należy je utrzymywać oraz rozwijać. Jako ogólną zasadę przy projektach finansowanych ze środków publicznych warto promować udział końcowych użytkowników - sprzyja to komercjalizacji i zwiększa szanse na rynkowe wdrożenia, np. poprzez premiowanie konsorcjów z udziałem odbiorców technologii.

Program powinien również premiować modele partnerstw - w tym spółki z kapitałem mieszanym (z ang. joint ventures) - w których uczestniczy polska firma. Obecność krajowego partnera powinna stanowić warunek preferencyjny lub obowiązkowy w przypadku ubiegania się o wsparcie, analogicznie jak dziś obecność partnera naukowego. Celem jest zwiększenie lokalnej wartości dodanej, rozwój kompetencji oraz zapewnienie trwałości efektów inwestycji.

- Za podstawowy cel na najbliższe lata należy uznać przyciągnięcie do końca 2030 roku 2-3 inwestycji przemysłowych, w szczególności w obszarach takich jak back-end produkcji półprzewodników lub materiały, o wartości dodanej rzędu 300-600 mln euro

każda, przy jednoczesnym wzmocnieniu krajowego ekosystemu przedsiębiorstw, w tym firm działających w modelu fabless.

Liczba ta odzwierciedla realistyczne ambicje kraju średniej wielkości w Europie, opierające się na analizie istniejących zasobów, atrakcyjności lokalizacji i możliwości integracji z europejskim łańcuchem wartości. Każdy z takich projektów mógłby pełnić funkcję lokomotywy rozwoju lokalnych kompetencji, sieci dostawców oraz infrastruktury badawczo-produkcyjnej. W tym celu niezbędna jest aktywna polityka inwestycyjna, obejmująca m.in. zachęty podatkowe oraz koordynację z polityką przemysłową UE i długoterminowe zamówienia publiczne w obszarach takich jak bezpieczeństwo, energetyka i infrastruktura cyfrowa.

Instrumenty europejskie i międzynarodowe

Polska powinna nadal aktywnie uczestniczyć w projektach IPCEI oraz przygotować się do nowej generacji instrumentów inwestycyjnych w ramach kolejnych Wieloletnich Ram Finansowych UE (2028-2034). Udział w takich programach pozwala nie tylko na pozyskiwanie finansowania, ale także na wzmocnienie pozycji krajowych podmiotów w europejskim ekosystemie technologicznym.

Polska zdobywa już doświadczenie jako lider projektu IPCEI HyperPIC, co potwierdza, że krajowe firmy mogą skutecznie uczestniczyć w złożonych inicjatywach o zasięgu ponadnarodowym. Dotychczasowe doświadczenia wskazują jednak na szereg barier, w tym wielostopniowy proces aplikacyjny wymagający licznych przeglądów i walidacji oraz ograniczony udział MŚP.

W 2024 roku Polska była zaangażowana jedynie w 5 z ponad 70 projektów europejskich, co wskazuje na potrzebę intensyfikacji udziału^{xx}.

Potrzebne działanie:

-
- Utworzenie dedykowanych biur aplikacyjnych i wdrożenie systemowego wsparcia instytucjonalnego w pozyskiwaniu partnerów projektowych. Celem jest przystąpienie do co najmniej jednej nowej inicjatywy międzynarodowej do końca 2026 roku oraz osiągnięcie udziału w minimum dwóch nowych projektach do końca 2027 roku.

Rekomendowana jest również reforma IPCEI i podobnych instrumentów - obejmująca uproszczenie procedur aplikacyjnych, zwiększenie dostępności dla mniejszych podmiotów, wprowadzenie elastyczniejszych form wsparcia, takich jak finansowanie mieszane (z ang. blended finance), oraz promowanie konsorcjów łączących podmioty różnej skali. Polska powinna również aktywnie zabiegać o mechanizmy gwarantujące udział lokalnych firm w projektach prowadzonych przez zagranicznych liderów, aby maksymalizować krajową wartość dodaną wynikającą z udziału w takich inicjatywach.

Wnioski z realizacji Europejskiego aktu o czipach - gdzie z 43 mld euro realnie uruchomiono zaledwie 3 mld - pokazują potrzebę większego realizmu w konstruowaniu ram finansowych

oraz zabezpieczania środków na poziomie unijnym^{xxi}. W kolejnych negocjacjach budżetowych Polska powinna postulować zwiększenie środków na technologie przełomowe, w tym mikroelektronikę i fotonikę, oraz uproszczenie ich dostępności dla szerokiego grona beneficjentów.

Finansowanie i otoczenie instytucjonalne

Sektor półprzewodników wymaga dostępu do kapitału na wszystkich etapach rozwoju - od badań po skalowanie. Publiczne instrumenty powinny pełnić rolę katalizatora: zmniejszać ryzyko pierwszych wdrożeń i przyciągać inwestycje prywatne. Szczególna uwaga powinna zostać poświęcona polskim funduszom emerytalnym, bankom rozwojowym, inwestorom branżowym i Giełdzie Papierów Wartościowych, które mogą oferować stabilne finansowanie długoterminowe. Konieczne jest także rozwijanie rynku obligacji technologicznych oraz innych instrumentów przydatnych dla szybko rosnących firm. Istotnym instrumentem wspierającym realizację długoterminowych projektów inwestycyjnych w sektorze półprzewodników jest porozumienie inwestycyjne uregulowane w dziale IIB ustawy z dnia 29 sierpnia 1997 r. – Ordynacja podatkowa. Porozumienie inwestycyjne może zapewnić bezpieczeństwo podatkowe dużych inwestycji w formie umowy z Ministrem Finansów w sprawie określenia skutków podatkowych planowanej inwestycji na okres do 5 lat, z możliwością przedłużenia. To narzędzie może stymulować proces decyzyjny inwestorów, zwłaszcza w długoterminowych i złożonych projektach charakterystycznych dla branży półprzewodnikowej.

Odrębnym celem powinno być zapewnienie finansowania kosztów operacyjnych (OPEX) dla firm, które pozyskały już infrastrukturę - np. z programów publicznych. Utrzymanie, serwis, testowanie i eksploatacja zaawansowanego sprzętu to kluczowy warunek jego realnego wykorzystania. Mechanizmy wspierające takie koszty (np. kontrakty ramowe, granty OPEX, dotacje do utrzymania kompetencji) powinny być traktowane równorzędnie z nakładami inwestycyjnymi.

Równolegle należy identyfikować i eliminować pozainwestycyjne bariery, które spowalniają realizację projektów - w tym trudności związane z dostępem do odpowiednich terenów inwestycyjnych (brak kompleksowo przygotowanych lokalizacji przemysłowych pod inwestycje o wysokim profilu technologicznym), niejednołitymi standardami planowania przestrzennego, skomplikowanymi i długotrwałymi uzgodnieniami środowiskowymi oraz przewlekłością procedur administracyjnych, w tym uzyskiwania pozwoleń na budowę. Szczególnie w przypadku inwestycji strategicznych dla bezpieczeństwa gospodarczego państwo powinno rozważyć wdrożenie dedykowanych ścieżek administracyjnych i ram czasowych, które umożliwią przewidywalność i sprawność procesu decyzyjnego.

Warto również przewidzieć systemowe mechanizmy monitorowania efektywności wsparcia publicznego - zarówno na poziomie finansowym, jak i w zakresie realizacji celów technologicznych, kompetencyjnych i eksportowych. Takie podejście zwiększy transparentność, pozwoli na bieżące korekty i zapewni, że środki publiczne są alokowane tam, gdzie ich efekt rozwojowy jest największy.

Konsolidacja i zabezpieczenie aktywów

W miarę dojrzewanego rynku należy spodziewać się wzrostu liczby fuzji i przejęć. Polska powinna wypracować mechanizmy zabezpieczające strategiczne aktywa technologiczne - np. poprzez notyfikacje transakcji, obowiązek raportowania zmian własnościowych czy wsparcie polskich firm w konsolidacji z pozycji siły. Celem jest zachowanie kontroli nad technologiami o znaczeniu strategicznym oraz rozwój lokalnych czempionów przemysłowych.

Wszystkie te działania powinny być skoordynowane w ramach polityki przemysłowej państwa, wspieranej przez dedykowane zespoły analityczne i inwestycyjne oraz komplementarne działania dyplomacji gospodarczej i regulacyjnej.

V. Kadry i edukacja

Rozwój sektora półprzewodników w Polsce wymaga strategicznych inwestycji w kapitał ludzki i system edukacyjny. Polska posiada silne fundamenty w postaci wysokiego wskaźnika zatrudnienia (77,9% w 2023 roku), niskiego odsetka przedwczesnego kończenia edukacji (3,7%) oraz dobrych wyników edukacyjnych młodzieży w międzynarodowych badaniach^{xxii}. Jednak długofalowy sukces sektora zależy od zwiększenia skali i jakości kształcenia technicznego, systemowego wsparcia dla kadry, rozwoju specjalistycznych ścieżek nauczania oraz umiędzynarodowienia środowiska akademickiego i badawczego. Warunkiem skutecznej realizacji celów edukacyjnych w obszarze mikroelektroniki i półprzewodników jest jednoznaczne, konsekwentnie artykułowane stanowisko państwa, uznające rozwój tego sektora za strategiczny i długofalowy priorytet polityki publicznej, objęty mechanizmami szczególnej ochrony i wsparcia. Tego rodzaju deklaracja państwowa stanowi istotny sygnał kierunkowy, mogący realnie wpłynąć na decyzje edukacyjne młodych ludzi oraz zwiększyć zainteresowanie wymagającymi, lecz perspektywicznymi ścieżkami kształcenia.

W tym zakresie polityka dla sektora półprzewodników uzupełnia szersze ramy rozwoju kompetencji cyfrowych, określone w Strategii cyfryzacji państwa do 2035 roku - zwłaszcza w komponencie „Kompetencje przyszłości” - oraz w Polityce Cyfrowej Transformacji Edukacji^{xxiii}. Skuteczność działań edukacyjnych w obszarze wysokich technologii zależy od ich spójnego wpisania w te horyzontalne strategie państwa.

Kształcenie techniczne i interdyscyplinarne

Rozwój szkolnictwa technicznego i średniego wymaga modernizacji programów kształcenia oraz integracji elementów interdyscyplinarnych już na wczesnym etapie nauki. Należy rozwijać programy łączące nauki przyrodnicze, techniczne i matematyczne (z ang. science, technology, engineering, mathematics - STEM), promujące rozumienie technologii jako procesu wytwarzania. Wskazane jest wdrożenie praktycznych zajęć laboratoryjnych oraz projektów interdyscyplinarnych, a także wykorzystanie europejskich narzędzi dydaktycznych w zakresie fotoniki i półprzewodników.

Modernizacja szkół średnich, w tym techników, powinna uwzględniać rozwój klas profilowanych, nowoczesne zaplecze techniczne i aktywną współpracę z przedsiębiorstwami technologicznymi. Rekomenduje się zwiększenie liczby placówek objętych programami wspieranymi przez sektor prywatny. Celem powinno być zwiększenie liczby absolwentów kierunków technicznych o co najmniej 30-50% do 2030 roku.

Szkolnictwo wyższe i infrastruktura akademicka

Polska posiada solidną bazę akademicką w zakresie edukacji związanej z mikroelektroniką i technologiami półprzewodnikowymi. W skali kraju działa ponad 10 uczelni aktywnie

kształcących inżynierów na potrzeby tego sektora. Uczelnie takie jak Politechnika Warszawska, Uniwersytet Warszawski, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wojskowa Akademia Techniczna oraz politechniki we Wrocławiu, Gdańsku, Poznaniu i Gliwicach mają potencjał, by stać się liderami w kształceniu kadr dla przemysłu półprzewodnikowego. Dodatkowo, uczelnie takie jak Politechnika Bydgoska, Łódzka oraz Lubelska mogą odegrać istotną rolę w rozwijaniu zaplecza talentów w regionach.

Obecnie w Polsce około 5 tys. absolwentów rocznie kończy studia na kierunkach związanych z elektroniką, mikroelektroniką i technologiami półprzewodnikowymi^{xxiv}. Choć liczba ta jest adekwatna do bieżących potrzeb rynku, aby zaspokoić przyszły popyt, powinna wzrosnąć co najmniej o 30-50% do 2030 roku. Konieczne są inwestycje w rozwój potencjału dydaktycznego, nowoczesnych laboratoriów oraz wspólnych projektów przemysłowo-badawczych. W pierwszym rzędzie kształcenie powinno zaspokoić potrzeby pełnego cyklu wytwarzania układów scalonych - od projektowania po testy kwalifikacyjne - a także dostarczać na rynek specjalistów dysponujących unikalnymi, konkurencyjnymi globalnie kompetencjami, które będą również kluczowe dla firm stosujących układy scalone w zaawansowanych produktach.

Szczególną uwagę należy poświęcić brakowi programów kształcenia w zakresie projektowania układów scalonych. Programy te powinny zostać intensywnie rozwinięte jako fundament obecności kraju w globalnym łańcuchu wartości półprzewodników. Dzięki temu będą one mogły stanowić jedną z głównych przewag kompetencyjnych Polski. Zaleca się utworzenie międzyuczelnianych centrów kompetencji, wspierających rozwój wspólnych programów dydaktycznych i ułatwiających dostęp do infrastruktury specjalistycznej. Centra te powinny również stanowić platformę współpracy z inwestorami technologicznymi oraz małymi i średnimi przedsiębiorstwami. Centra kompetencji powinny w pierwszej kolejności wykorzystywać istniejące struktury instytucjonalne, w tym powstałe w 2024 roku Centrum Kompetencji Półprzewodnikowych InnoSemi. Ewentualne tworzenie nowych jednostek organizacyjnych będzie poprzedzone szczegółową analizą możliwości realizacji zakładanych zadań w ramach istniejących struktur oraz oceną zasadności i kosztów powołania dodatkowych podmiotów.

Programy stypendialne, w tym współfinansowane przez przemysł, mogą zwiększyć atrakcyjność studiów technicznych. Rekomenduje się uruchomienie szeroko zakrojonej inicjatywy edukacyjnej obejmującej programy stypendialne i staże przemysłowe dla studentów mikroelektroniki, mikrooptoelektroniki oraz projektowania układów scalonych. Program ten może być oparty na doświadczeniach Politechniki Warszawskiej z realizacji projektu Akademia MOEMS - inicjatywy skierowanej do studentów ostatnich lat studiów I stopnia oraz studentów II stopnia, zwłaszcza z kierunków takich jak elektronika, fotonika, inżynieria materiałowa czy chemiczna. Wdrażanie programu powinno rozpocząć się od I kwartału 2027 roku.

Mobilność międzynarodowa i zatrzymywanie talentów

Polska powinna upraszczać ścieżki migracyjne i zawodowe dla zagranicznych specjalistów, m.in. poprzez ułatwienia wizowe, programy relokacyjne i zachęty podatkowe. Warto rozważyć tworzenie programów podwójnych dyplomów (z ang. double-degree) z zagranicznymi

uczelniami technicznymi (np. z Tajwanu, Holandii i Francji), co zwiększy konkurencyjność oferty polskich ośrodków akademickich.

Równocześnie konieczne jest opracowanie programów przeciwdziałających odpływowi talentów - w tym systemów gwarancji zatrudnienia, stabilnych warunków płacowych dla młodych inżynierów oraz mechanizmów wsparcia osób powracających na rynek pracy. Do 2028 roku powinno powstać co najmniej pięć programów przekwalifikowania zawodowego w sektorze półprzewodników i fotoniki, obejmujących łącznie 10 tysięcy uczestników. Założenie to opiera się na prognozowanym niedoborze wysoko wykwalifikowanych specjalistów, rosnącym zapotrzebowaniu na kompetencje techniczne w powiązanych sektorach oraz potrzebie aktywizacji grup zawodowo mniej aktywnych, takich jak osoby powracające na rynek pracy i seniorzy.

Centra kompetencji i koordynacja polityki kadrowej

Skuteczna realizacja polityki kadrowej w sektorze półprzewodników wymaga powołania i wzmocnienia centrów kompetencji. Powinny one wspierać uczelnie i instytuty w rozwijaniu specjalizacji edukacyjnych, promować wspólne projekty z sektorem prywatnym i zapewniać dostęp do infrastruktury badawczej. Centra te powinny również koordynować międzynarodową współpracę akademicką, uczestniczyć w programach UE i promować obecność Polski w konsorcjach europejskich.

Zaleca się, aby do 2030 roku powstała lub została rozbudowana sieć centrów kompetencji wiodących w regionie Europy Środkowej, współpracujących na stałe z co najmniej pięcioma partnerami akademickimi z regionu. Propozycja ta opiera się na potrzebie zwiększenia skali umiędzynarodowienia polskiego systemu edukacyjnego, a także lepszego dostosowania oferty dydaktycznej do potrzeb rynku pracy i technologicznego przyspieszenia w całym regionie. Centra te powinny także prowadzić działalność doradczą w zakresie dostosowania programów nauczania do zmieniających się potrzeb technologicznych i przemysłowych.

Wyzwania demograficzne i wykorzystanie potencjału

Wobec prognozowanego spadku liczby osób w wieku produkcyjnym z 21,4 mln w 2030 roku do 20,7 mln w 2035 roku^{xxv}, konieczne jest zwiększenie udziału kobiet, seniorów i osób wracających na rynek pracy w strukturze zatrudnienia w zaawansowanych technologiach. Należy inwestować w programy przekwalifikowania, nowoczesne formy edukacji (tzw. e-learning, laboratoria wirtualne) oraz systemy monitorowania losów zawodowych (np. system ELA) w celu lepszego dostosowania oferty edukacyjnej do potrzeb sektora.

Strategiczne podejście do polityki edukacyjnej i rozwoju talentów powinno być nieodłącznym elementem polityki przemysłowej państwa wobec sektora półprzewodników.

VI. Energia i woda

Dostęp do przystępnych cenowo, niezawodnych i nowoczesnych usług energetycznych, a także samej energii w stabilnej i przewidywalnej cenie, jest jednym z czynników determinujących rozwój przemysłu, w szczególności sektora półprzewodników. Produkcja układów półprzewodnikowych cechuje się wysokim zużyciem energii elektrycznej, a jednocześnie wymaga zapewnienia stabilności i ciągłości dostaw oraz konkurencyjnych kosztów operacyjnych. Wysokie ceny energii w Polsce, zwłaszcza w porównaniu z innymi krajami regionu, stanowią istotne wyzwanie dla inwestycji w tym sektorze, co podkreśla konieczność włączenia potrzeb energochłonnych gałęzi przemysłu w szerszą politykę energetyczną państwa.

Transformacja energetyczna oparta na rozwoju odnawialnych źródeł energii, bezemisyjnych technologii oraz usług elastyczności sieciowej otwiera przed Polską szansę na stopniowe zmniejszenie kosztów energii i poprawę śladu węglowego. W badaniu BloombergNEF Polska została wskazana jako jeden z 5 najbardziej perspektywicznych krajów UE dla rozwoju zielonej produkcji mikroelektroniki - ze względu na rosnący udział OZE (blisko 30% w miksie energii elektrycznej w 2024 roku) oraz dostępność lokalnych dostawców przemysłowych. To może być atutem w przyciąganiu firm wrażliwych na ślad węglowy i szukających lokalizacji niskoemisyjnych zakładów produkcyjnych^{xxvi}.

Inwestycje w morską energetykę wiatrową, zwiększenie udziału źródeł lądowych oraz budowa elektrowni jądrowej mogą stanowić podstawę regionalnych przewag konkurencyjnych, także w kontekście dostępności energii dla sektora półprzewodników.

W tym kontekście można rozważyć tworzenie specjalnych stref energetycznych, opartych o dostęp do stabilnych i niskoemisyjnych źródeł energii, stanowiących element oferty inwestycyjnej kraju. Zielona energia staje się nie tylko czynnikiem obniżającym koszty operacyjne, ale też coraz częściej warunkiem kontraktowym ze strony odbiorców przemysłowych i inwestorów zagranicznych. Transformacja sieci w kierunku rozproszonej, elastycznej infrastruktury integrującej nowe źródła OZE może przyczynić się do rozwoju inwestycji również w regionach dotychczas niekojarzonych z zaawansowanym przemysłem.

Rola technologii półprzewodnikowych w transformacji energetycznej

Technologie półprzewodnikowe - w szczególności związane z mikroelektroniką mocy oraz materiałami szerokoprzerwowymi (np. SiC, GaN) - mogą odegrać istotną rolę w procesie transformacji energetycznej Polski. Umożliwiają one zwiększenie efektywności przemysłu, magazynowania i zarządzania energią. Rozwój krajowych kompetencji w tym zakresie może nie tylko obniżyć koszty transformacji energetycznej, ale także zapewnić nowe strumienie wartości dodanej dla gospodarki i zwiększyć niezależność technologiczną kraju.

Należy wspierać budowę łańcuchów wartości wokół technologii półprzewodnikowych dla systemów energetycznych - od badań nad materiałami, przez projektowanie i testowanie,

po integrację w urządzeniach przemysłowych. Spółki energetyczne z udziałem Skarbu Państwa mogą odgrywać aktywną rolę jako klienci referencyjni i inwestorzy technologiczni w projektach demonstracyjnych i sieciowych.

Efektywność energetyczna i zarządzanie energią

Ważnym obszarem wsparcia sektora półprzewodników powinno być promowanie efektywności energetycznej w samych procesach produkcyjnych - poprzez wdrażanie systemów zarządzania energią, optymalizację procesów technologicznych oraz modernizację infrastruktury. Obniża to nie tylko koszty operacyjne przedsiębiorstw, ale również zwiększa ich odporność na wahania cen i zmienność dostępności zasobów.

Znaczenie wody w produkcji półprzewodników

Woda, obok energii, jest drugim strategicznym zasobem niezbędnym do produkcji półprzewodników. Fabryki półprzewodników wykorzystują znaczne ilości wody w procesach litografii, czyszczenia i obróbki materiałowej. Wybór lokalizacji dla inwestycji powinien uwzględniać nie tylko dostępność zasobów wodnych, ale także możliwości ich monitorowania, uzdatniania i recyklingu.

Technologie pozwalające na odzysk wody oraz minimalizację jej zużycia w cyklu produkcyjnym mogą być czynnikiem zwiększającym atrakcyjność inwestycyjną danego regionu. Polska powinna również wspierać działania badawcze i wdrożeniowe w zakresie systemów zarządzania wodą w sektorze półprzewodników, w tym międzynarodową współpracę w tworzeniu standardów i map drogowych efektywności zasobowej.

Energia i infrastruktura w planowaniu inwestycji

Inwestycje w zaawansowany przemysł półprzewodnikowy wymagają stabilnego dostępu do energii niskoemisyjnej i nowoczesnej infrastruktury elektroenergetycznej. Powiązanie lokalizacji inwestycji z planami rozbudowy i modernizacji sieci przesyłowych oraz planami transformacji regionów w ramach sprawiedliwej transformacji może przynieść długofalowe korzyści.

Należy również wspierać rozwiązania integrujące potrzeby energetyczne z systemami chłodzenia i oczyszczania powietrza (z ang. sector coupling), które będą coraz bardziej istotne dla funkcjonowania zakładów wymagających kontrolowanych warunków atmosferycznych. Tego typu podejścia wspierają nie tylko transformację sektora ciepła i chłodu, ale również realizację celów środowiskowych i technologicznych związanych z lokalizacją przemysłu zaawansowanego.

VII. Chemikalia i surowce

Rozwój sektora półprzewodników wymaga zapewnienia bezpiecznego i stabilnego dostępu do chemikaliów oraz surowców o istotnym znaczeniu dla przemysłu i badań. Wymaga to nie tylko działań legislacyjnych i instytucjonalnych, ale także systemowego wsparcia krajowych zdolności badawczo-przemysłowych oraz integracji z polityką unijną i partnerstwami międzynarodowymi.

Znaczenie chemikaliów w produkcji półprzewodników

Produkcja układów półprzewodnikowych opiera się na zastosowaniu szerokiego wachlarza substancji chemicznych - od ultraczystych prekursorów i rozpuszczalników po wyspecjalizowane związki, takie jak PFAS (per- i polifluoroalkilowe substancje), odgrywające istotną rolę w procesach litografii, trawienia i izolacji. Ich unikalne właściwości - odporność chemiczna, niska przepuszczalność i stabilność termiczna - sprawiają, że są trudne do zastąpienia. Jednocześnie ich trwałość środowiskowa oraz potencjalna toksyczność są przedmiotem rosnących ograniczeń regulacyjnych.

W kontekście planowanych zmian ram prawnych dotyczących substancji chemicznych w UE - w tym rewizji rozporządzenia REACH^{xxvii}) oraz możliwego zaostżenia przepisów dotyczących PFAS i aktualizacji systemów klasyfikacji - Polska powinna opowiadać się za utrzymaniem możliwości stosowania PFAS w sektorze półprzewodników, dopóki nie zostaną opracowane realne i bezpieczne alternatywy. Równolegle należy rozwijać kompetencje w zakresie testowania, walidacji i oceny substancji zastępczych, zgodnie z wymogami ochrony zdrowia i środowiska. Rekomenduje się wzmocnienie krajowych jednostek badawczych w zakresie technologii odzysku i obiegu zamkniętego chemikaliów. Równocześnie warto wspierać aktywność polskich instytucji w ramach europejskich mechanizmów koordynacji i współpracy w obszarze chemii procesowej, regulacji substancji i zrównoważonej produkcji materiałów, umożliwiających integrację krajowego podejścia z działaniami na poziomie Unii Europejskiej.

Surowce krytyczne

Dostęp do wysokiej jakości materiałów i surowców, takich jak krzem, gal, german, ind, metale ziem rzadkich, a także specjalistyczne substraty (np. fosforek indu, antymonek galu, węgiel krzemu, azotek galu), jest warunkiem rozwoju nowoczesnych technologii półprzewodnikowych. Polska jako jedyny kraj w UE rozwijający natywne podłoża GaN (dla docelowej architektury przyrządów GaN-on-GaN), powinna wykorzystać tę pozycję do budowy niszowej przewagi w dziedzinach wymagających najwyższej jakości parametrów strukturalnych.

Wspieranie badań nad krystalizacją, epitaksją i ich przetwarzaniem ma znaczenie nie tylko technologiczne, ale również obronne i gospodarcze. Równolegle należy dążyć do realizacji celów Europejskiego aktu w sprawie surowców krytycznych^{xxviii}, które zakłada, że do 2030 roku co najmniej 25% zapotrzebowania na surowce strategiczne ma być pokrywane przez recykling - również na etapie przetwarzania pośredniego.

Polska powinna rozwijać zdolności do odzysku i przetwarzania surowców dla przemysłu półprzewodnikowego w oparciu o istniejący potencjał przemysłowy Śląska i kompetencje naukowe instytucji takich jak CEZAMAT PW, Łukasiewicz-IMiF, Łukasiewicz-IMN i Główny Instytut Górnictwa. Należy wspierać projekty hydrometalurgiczne, pilotażowe instalacje recyklingu oraz tworzenie nowych centrów kompetencji w zakresie analizy jakości, kontroli defektów i oceny parametrów technicznych surowców.

Zewnętrzne bezpieczeństwo dostaw powinno być wzmacniane przez rozwój współpracy międzynarodowej oraz przez aktywne uczestnictwo w projektach takich jak np. European Raw Materials Alliance. Wskazane jest także opracowanie mechanizmów wczesnego ostrzegania i mapowania ryzyka, zgodnych z filarem 3 Europejskiego aktu o czipach (monitoring i reagowanie kryzysowe).

Rozwój segmentu chemikaliów i surowców nie powinien ograniczać się do samych materiałów, ale obejmować cały łańcuch wartości - od badań podstawowych, przez wdrożenia przemysłowe, po testowanie i certyfikację. Należy rozwijać infrastrukturę otwartą dla MŚP oraz sektora nauki, wspierać tworzenie wyspecjalizowanych laboratoriów i przyspieszać adaptację nowych technologii zgodnych z zasadami bezpieczeństwa, efektywności i odporności regulacyjnej.

Wdrażanie, monitorowanie i ewaluacja

Koordinacja wdrażania

Polityka dla sektora półprzewodników 2026+ zostanie przyjęta uchwałą Rady Ministrów. Za koordynację wdrażania polityki odpowiada minister właściwy do spraw informatyzacji przy wsparciu Międzyresortowego Zespołu do spraw Krajowych Ram Wspierania Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych.

Poszczególne filary polityki realizowane będą we współpracy z właściwymi resortami: MC, MF, MON, MRiT, MNiSW, MEN, MRPiPS, MFiPR, MSZ, RARS

Monitoring

Minister właściwy do spraw informatyzacji monitoruje realizację Polityki raz w roku. System monitorowania obejmuje badanie postępu zaplanowanych działań w ramach celów i kierunków interwencji oraz stopnia realizacji przyjętych wskaźników efektywności. Wyniki z przeprowadzonego monitoringu realizacji Polityki będą przedstawiane Radzie Ministrów w formie sprawozdania oraz publikowane na stronie internetowej Ministerstwa Cyfryzacji, do końca marca każdego roku. Sprawozdanie będzie sporządzane przez ministra właściwego do spraw informatyzacji w szczególności na podstawie informacji otrzymanych z jednostek sektora publicznego.

Ewaluacja

Ewaluacja śródkresowa polityki przeprowadzona zostanie w 2028 roku i obejmie ocenę postępów w realizacji celów strategicznych oraz adekwatności przyjętych wskaźników. Ewaluacja końcowa przeprowadzona zostanie w 2031 roku i stanowić będzie podstawę do opracowania kolejnego dokumentu strategicznego dla sektora. Sprawozdanie z ewaluacji średniookresowej oraz końcowej będzie przedkładane Radzie Ministrów w terminie 2 miesięcy od jej zakończenia. Ewaluacji będzie dokonywał Minister właściwy do spraw informatyzacji we współpracy z członkami Rady Ministrów.

Mierniki sukcesu

Dokument wyznacza kierunki polityki na najbliższe lata, jednak skuteczna realizacja wymaga określenia mierzalnych efektów. W związku z tym proponuje się zestaw wskaźników dla każdego z siedmiu filarów strategii. Wskaźniki te pełnią rolę punktów odniesienia i mogą podlegać modyfikacjom w zależności od rozwoju sytuacji rynkowej, postępu technologicznego oraz dostępnych zasobów.

Dla każdego wskaźnika określono następujące parametry pomiarowe: wartość bazową (stan na 2024 lub 2025 rok w zależności od dostępności danych), wartość docelową (stan oczekiwany w roku docelowym), źródło danych (instytucja odpowiedzialna za gromadzenie danych), częstotliwość pomiaru (roczna) oraz podmiot odpowiedzialny za raportowanie. Szczegółowe karty wskaźników, zawierające definicje operacyjne i metodykę pomiaru, zostaną opracowane w ramach dokumentacji wdrożeniowej i zatwierdzone przez Międzyresortowy Zespół do spraw Krajowych Ram Wspierania Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych w terminie 6 miesięcy od przyjęcia polityki.

Filar strategii	Podstawowe KPI (wskaźniki)
1. Infrastruktura (MC, MRiT, MF)	Uruchomione linie pilotażowe - liczba funkcjonujących krajowych linii pilotażowych półprzewodników (cel: co najmniej 1 linia do końca 2028 roku). - Wartość docelowa ≥ 1 uruchomiona linia pilotażowa do końca 2028 roku. Dostęp do infrastruktury - liczba projektów B+R na wysokich poziomach TRL (5-8) wspartych krajową infrastrukturą (cel: 10 projektów TRL5+ rocznie do 2030 roku) oraz liczba firm/instytutów korzystających z udostępnionych narzędzi EDA (cel: wzrost o 50% w ciągu 5 lat). Inwestycje w infrastrukturę - co najmniej 800 mln zł CAPEX oraz 300 mln zł OPEX do 2029 roku, zgodnie z potrzebami wskazanymi w polityce. Środki obejmują m.in. budowę zaplecza laboratoryjnego, jego wyposażenie, systemy charakterystyki, a także zapewnienie środków na utrzymanie, eksploatację i operacyjne udostępnianie infrastruktury podmiotom naukowym i przemysłowym.

Filar strategii

Podstawowe KPI (wskaźniki)

1. Wartość docelowa = co najmniej 800 mln zł CAPEX oraz 300 mln zł OPEX do 2029 roku.

- **Platforma sektor-publiczny** - uruchomienie dedykowanej platformy łączącej krajowe firmy półprzewodnikowe z sektorem publicznym (status: działa od IV kw. 2026 roku); liczba zgłoszonych poprzez nią rozwiązań/produktów (cel: >20 w 2027 roku).
 1. Wartość docelowa = 1.
- **Mapa drogowa rozwoju technologii półprzewodnikowych kluczowych dla polskiej gospodarki i transformacji cyfrowej państwa** (cel: pierwsza edycja do końca 2026 roku, aktualizacja co 2 lata)
 1. Wartość docelowa = 1 edycja co roku.
- **Zamówienia przedkomercyjne (PCP)** - liczba ogłoszonych programów PCP wspierających półprzewodniki (cel 1: ≥ 1 program do końca 2026 roku; docelowo 3 programy do 2030 roku) oraz łączna wartość zamówień publicznych na krajowe innowacje w sektorze (cel 2: 100 mln zł w 2026-2027). Wartości docelowe: j.w., tj. 1: ≥ 1 program do końca 2026 roku; docelowo 3 programy do 2030 roku) oraz łączna wartość zamówień publicznych na krajowe innowacje w sektorze (cel 2: 100 mln zł w 2026-2027)
- **Państwo jako odbiorca** - liczba pilotażowych wdrożeń polskich technologii półprzewodnikowych w administracji lub spółkach SP (cel: min. 2 projekty pilotażowe rocznie, np. w elektronice dla energetyki lub obronności). Wartość docelowa = 2 projekty rocznie do 2030 = 6 projektów pilotażowych w latach 2027-2029.

2. Impuls państwa (MC, MRiT)

Filar strategii

3. Współpraca regionalna i międzynarodowa (MSZ, MC, MRiT)

4. Inwestycje i finansowanie (MF, MRiT, MFiPR, MC)

Podstawowe KPI (wskaźniki)

- **Członkostwo w inicjatywach UE** - przystąpienie polskich podmiotów do Europejskiego Sojuszu na rzecz Półprzewodników ESRA (cel: Polska członkiem ESRA do końca 2026 roku) oraz aktywny udział w programach Chips JU (liczba projektów z dofinansowaniem Chips JU z PL udziałem - cel: wzrost o 50% do 2030 roku).
- **Partnerstwa regionalne** - utworzenie formalnego konsorcjum lub podpisanie trójstronnego memorandum z Czechami i Niemcami dot. „mikroregionu półprzewodnikowego”
 1. Wartość docelowa: 1 porozumienie do końca 2026 roku.
- **Promocja zagraniczna** - liczba wydarzeń promujących polskie kompetencje za granicą (pawilony narodowe na branżowych targach, showroomy technologiczne)
 1. Wartość docelowa: 2-3 rocznie od 2026 roku, oraz liczba nawiązanych kontaktów B2B z zagranicznymi partnerami (cel: rosnąca, monitorowana jakościowo).
- **Wydłużenie Krajowych Ram Wsparcia Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych** na kolejne lata, z zapewnieniem ciągłości priorytetów oraz dostosowaniem horyzontu planistycznego do specyfiki inwestycji w sektorze.
 1. Wartość docelowa = 1,
- **Nowe inwestycje w sektorze** - łączna wartość zainicjowanych inwestycji półprzewodnikowych w Polsce.
 1. Wartość docelowa = 3 mld PLN do 2030 roku, sumując projekty wsparte z funduszy

Podstawowe KPI (wskaźniki)

publicznych i prywatnych - zgodne z ambicją zwiększenia wkładu sektora do ok. 0,5% PKB.

- **Wsparcie finansowe firm** - liczba przedsiębiorstw sektora, które otrzymały finansowanie z programów publicznych (dotacje, ulgi, fundusze venture).
 1. Wartość docelowa = 10 firm do 2027 roku (w tym MŚP typu fabless oraz projekty spin-off z uczelni).
- **Przyciągnięcie inwestorów zagranicznych** - pozyskanie znaczącej inwestycji
Wartość docelowa = co najmniej 1 duży inwestor zagraniczny otwiera zakład produkcyjny lub centrum R&D w PL do 2030 roku, np. w obszarze front-end lub back-end).
- **Absolwenci i specjaliści** - 1. liczba absolwentów kierunków elektronicznych/półprzewodnikowych
Wartość docelowa = podwojenie roczne do 2030 roku. oraz 2. liczba specjalistów zatrudnionych w branży w Polsce
 1. Wartość docelowa pkt. 2 = 3 tys. projektantów czipów do 2030 roku
- **Programy kształcenia** - uruchomienie nowych specjalizacji lub studiów podyplomowych we współpracy z przemysłem.
 1. Wartość docelowa > 5 nowych programów do 2028 roku. Wzrost liczby doktorantów realizujących tematykę półprzewodników
Wartość docelowa = wzrost o 30% w 5 lat.
- **Talent międzynarodowy** - liczba zagranicznych ekspertów pozyskanych do polskich jednostek
Wartość docelowa: 50 specjalistów do 2030 roku (dzięki programom wymiany i atrakcyjnym warunkom) oraz liczba Polaków z doświadczeniem za granicą powracających do kraju.
 1. Wartość docelowa: rosnący trend, mierzony ankietowo.

5. Kadry i edukacja (MEN, MNiSW, MSZ, MPRIIPS, MC)

Filar strategii

6. Energia i woda

(ME, MKiŚ)

7. Chemikalia i surowce

(MKiŚ, ME, MRiT, RARS)

Podstawowe KPI (wskaźniki)

- **Kontrakty energetyczne** - liczba długoterminowych umów na dostawę energii elektrycznej dla nowych fabryk/centrów.
 1. Wartość docelowa: min. 2 umowy do 2028 roku zapewniające stałą cenę energii dla inwestorów z sektora.
- **Udział OZE** - udział energii ze źródeł odnawialnych w zużyciu zakładów półprzewodnikowych.
 1. Wartość docelowa: $\geq 50\%$ OZE do 2030 roku, w ramach zielonej transformacji sektora.
- **Gospodarka wodna** - wdrożenie systemów recyklingu wody procesowej w fabrykach półprzewodników (fabach) /liniach pilotażowych
 1. Wartość docelowa= 1 pilotażowy system do 2030 roku, odzyskujący np. $>40\%$ wody używanej w produkcji oraz zapewnienie dedykowanych źródeł wody przemysłowej dla kluczowych inwestycji
Wartość docelowa: 100% nowych zakładów z zabezpieczonym przydziałem wody).
- **Dywersyfikacja dostaw** - liczba podpisanych umów/partnerstw (w tym jako UE) z dostawcami kluczowych surowców (krzem, związki GaN/SiC, metale ziem rzadkich).
 1. Wartość docelowa ≥ 3 strategiczne umowy do 2028 roku.
- **Lokalne źródła i recykling** - liczba inicjatyw krajowych w zakresie produkcji lub recyklingu materiałów półprzewodnikowych
 1. Wartość docelowa = co najmniej 1 pilotażowa linia recyklingu płytek krzemowych lub odzysku metali z odpadów elektronicznych do 2030 roku). Monitorować wolumen odzyskanych surowców (kg lub % zapotrzebowania) rocznie.
- **Baza strategiczna** - utworzenie krajowych rezerw lub zapasów krytycznych chemikaliów
 1. Wartość docelowa = system rezerwy strategicznej funkcjonujący od 2028 roku,

Filar strategii

Podstawowe KPI (wskaźniki)

obejmujący 3 miesiące zapotrzebowania na
wybrane gazy i chemikalia.

- ⁱ Decyzja Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2481 z dnia 14 grudnia 2022 r. ustanawiająca program polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r.
- ⁱⁱ Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1781 z dnia 13 września 2023 r. ustanawiające ramy środków na rzecz wzmocnienia europejskiego ekosystemu półprzewodników oraz zmieniające rozporządzenie (UE) 2021/69.
- ⁱⁱⁱ Komisja Europejska, „A Chips Act for Europe”, SWD(2022) 147 final, 2022.
- ^{iv} Szacunki na podstawie danych WSTS, analiz branżowych (m.in. McKinsey, ZVEI) oraz dokumentów Komisji Europejskiej, w tym Europejskiego aktu w sprawie czipów.
- ^v Przeliczone na podstawie danych z raportu SEMI Silicon Manufacturers Group (SMG), 2023, dotyczących globalnych dostaw płytek krzemowych.
- ^{vi} Geopolityka czipów: Cud produkcji”, FT Tech Tonic, Financial Times, 2024.
- ^{vii} Bruegel, „Geopolitics of semiconductors”, 2023.
- ^{viii} Grand View Research, Photonic Integrated Circuits Market Outlook 2024.
- ^{ix} Raport Tek.info „Osiągnięcia i perspektywy branży produkcji półprzewodników w Polsce”, 2024. Własna analiza na podstawie danych Dun & Bradstreet i konsultacji eksperckich.
- ^x Dane szacunkowe na podstawie raportów European Semiconductor Industry Association (ESIA) oraz Analysys Mason, uwzględniające udział firm europejskich w globalnym rynku projektowania układów scalonych (fabless design), stan na lata 2022-2023.
- ^{xi} Prognozy Yole Group dotyczące rynku węgla krzemu (SiC).
- ^{xii} Komisja Europejska, komunikat prasowy „Chips Act: Council gives final green light to strengthen EU's semiconductor ecosystem”, IP/23/3087, 2023.
- ^{xiii} Dane na podstawie statystyk UN Comtrade (HS 8542 - electronic integrated circuits) oraz Eurostat (CN 8542), zgłoszonych przez Polskę za 2023 r., według standardowej metodologii handlu zagranicznego (CIF dla importu, FOB dla eksportu).
- ^{xiv} Według danych Europejskiego Urzędu Patentowego (EPO) za lata 2019-2023
- ^{xv} Szacunek własny oparty na analizie potencjału krajowego sektora (stan na 2024 r.), porównaniu z udziałem sektora półprzewodników w PKB wybranych państw (Austria, Czechy, Finlandia) oraz przy założeniu pełnego uruchomienia planowanej infrastruktury, wzrostu liczby firm projektowych i realizacji inwestycji w produkcję komponentów dla sektorów strategicznych.
- ^{xvi} Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2023/1781 z dnia 13 września 2023 r. ustanawiające ramy środków na rzecz wzmocnienia europejskiego ekosystemu półprzewodników oraz zmieniające rozporządzenie (UE) 2021/69.
- ^{xvii} Uchwała nr 102 Rady Ministrów z dnia 17 września 2019 r. w sprawie przyjęcia „Krajowej Strategii Rozwoju Regionalnego 2030”, Monitor Polski 2019, poz. 1038.
- ^{xviii} Międzyresortowy Zespół do spraw Krajowych Ram Wspierania Strategicznych Inwestycji Półprzewodnikowych, ustanowiony Zarządzeniem nr 24 Prezesa Rady Ministrów z dnia 5 marca 2024 r. (M.P. poz. 191).
- ^{xix} Europejski Trybunał Obrachunkowy, sprawozdanie specjalne 12/2025: „Strategia UE dotycząca mikroczipów - Umiarkowane postępy we wdrażaniu, lecz Akt o czipach raczej nie wystarczy, by osiągnąć zbyt ambitny cel Dekady Cyfrowej”, 2025.
- ^{xx} Analiza oficjalnych danych Komisji Europejskiej oraz dokumentacji Chips JU i IPCEI ME/CT. W szczególności Polska obecna w trzech z pięciu linii pilotażowych: FAMES (FD-SOI), PIX-EUROPE (fotoniczne układy scalone) oraz WBG Pilot Line (półprzewodniki szerokopasmowe).
- ^{xxi} Europejski Trybunał Obrachunkowy, sprawozdanie specjalne 12/2025: „Strategia UE dotycząca mikroczipów - Umiarkowane postępy we wdrażaniu, lecz Akt o czipach raczej nie wystarczy, by osiągnąć zbyt ambitny cel Dekady Cyfrowej”, 2025.
- ^{xxii} Komisja Europejska, Wspólne sprawozdanie dotyczące zatrudnienia 2024.
- ^{xxiii} Uchwała nr 98 Rady Ministrów z dnia 12 września 2024 r. w sprawie przyjęcia polityki publicznej pod nazwą „Polityka Cyfrowej Transformacji Edukacji” (M.P. poz. 812).
- ^{xxiv} Własna analiza na podstawie danych z platformy RAD-on (grudzień 2024), obejmujących liczbę absolwentów kierunków technicznych i inżynierskich w Polsce. Analiza uwzględnia kierunki związane z elektroniką, elektrotechniką oraz innymi pokrewnymi dziedzinami technologicznymi, przy zestawieniu danych z podziałem na uczelnie techniczne i specjalizacje.
- ^{xxv} Główny Urząd Statystyczny, „Prognoza ludności rezydującej dla Polski na lata 2023-2060”, 2023.
- ^{xxvi} Opracowanie na podstawie danych ARE, PSE, 2024.
- ^{xxvii} Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE.
- ^{xxviii} Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2024/1252 z dnia 11 kwietnia 2024 r. w sprawie ustanowienia ram na potrzeby zapewnienia bezpiecznych i zrównoważonych dostaw surowców krytycznych oraz zmiany rozporządzeń (UE) nr 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1724 i (UE) 2019/1020.