

# Założenia do Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych



Tu tworzymy przyszłość

# Spis treści

---

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Wprowadzenie i kontekst</b> .....                             | <b>4</b>  |
| <b>Ekosystem kwantowy w Polsce</b> .....                         | <b>7</b>  |
| <b>Wizja i cele (do 2035 roku)</b> .....                         | <b>10</b> |
| <b>Stan obecny</b> .....                                         | <b>12</b> |
| <i>Mocne strony:</i> .....                                       | 12        |
| <i>Słabe strony:</i> .....                                       | 12        |
| <b>Filary rozwoju kwantowego Polski i rekomendacje:</b> .....    | <b>14</b> |
| <i>Horyzont czasowy i fazy realizacji:</i> .....                 | 14        |
| <i>Mechanizm koordynacyjny:</i> .....                            | 16        |
| <i>Ramy finansowe:</i> .....                                     | 18        |
| <i>Kadry i kompetencje:</i> .....                                | 20        |
| <i>Wybrane specjalizacje:</i> .....                              | 22        |
| <i>Infrastruktura i zaplecze technologiczne:</i> .....           | 23        |
| <i>Rozwój rynku i przemysłu:</i> .....                           | 24        |
| <i>Współpraca międzynarodowa:</i> .....                          | 26        |
| <i>Bezpieczeństwo postkwantowe i suwerenność</i> .....           | 27        |
| <i>Edukacja społeczeństwa i inkluzywność</i> .....               | 28        |
| <i>Inwestycje prywatne:</i> .....                                | 29        |
| <i>Ustanowienie ram etycznych, prawnych i zarządzania:</i> ..... | 30        |
| <b>Podsumowanie:</b> .....                                       | <b>32</b> |

# Wprowadzenie



Tu tworzymy przyszłość

# Wprowadzenie i kontekst

---

Technologie kwantowe stanowią jeden z kluczowych obszarów tzw. technologii przełomowych, których rozwój w perspektywie najbliższych dwóch dekad może zasadniczo wpłynąć na bezpieczeństwo państw, transformację modeli obliczeniowych, ewolucję infrastruktury komunikacyjnej oraz dynamikę rozwoju zaawansowanego przemysłu.

Rosnący potencjał technologii kwantowych niesie ze sobą zarówno szanse, jak i poważne wyzwania - w szczególności ryzyko kompromitacji klasycznych algorytmów kryptograficznych, które obecnie zabezpieczają infrastrukturę krytyczną, systemy finansowe oraz zasoby strategiczne państw. Globalna rywalizacja o pozycję w ekosystemie kwantowym wykracza poza sferę badań, obejmując również etap wdrożeń. Technologie kwantowe stają się tym samym fundamentem suwerenności technologicznej oraz elementem odporności struktur państw i organizacji. Polska zadeklarowała ambicję osiągnięcia wysokiego poziomu w dziedzinie technologii kwantowych, mając potencjał, by dołączyć do grona czołowych graczy w Europie. Podpisanie Europejskiej Deklaracji dotyczącej Technologii Kwantowych (Quantum Pact) w marcu 2024 roku jest wyrazem zaangażowania Polski we wzmacnianie europejskiej współpracy na rzecz budowy światowej klasy ekosystemu kwantowego.

Kolejnym krokiem jest przygotowanie spójnej krajowej polityki kwantowej, która ma wyznaczyć ramy dla długofalowych działań państwa w tym obszarze. Realizacja tej ambicji wymaga kompleksowego, długoterminowego zaangażowania, obejmującego nie tylko pojedyncze projekty, lecz także budowę skoncentrowanego ekosystemu badawczego, przemysłowego, talentów i infrastruktury. Skuteczna polityka musi być holistyczna i sprzyjać głębokiej integracji między środowiskiem akademickim, przemysłem i rządem, a także podmiotami społecznymi.

Zamiast ograniczać się do inwestowania w izolowane projekty, należy stworzyć samowystarczalny ekosystem kwantowy, dzięki któremu Polska - dysponująca uznaną tradycją badawczą w dziedzinie fizyki kwantowej, rozpoznawalną na arenie międzynarodowej - będzie mogła stać się jednym z liderów Unii Europejskiej w zakresie rozwoju technologii kwantowych.

Polska, mimo udziału w ważnych projektach europejskich, takich jak EuroHPC JU czy EuroQCI, oraz dynamicznie rozwijającej się bazy talentów w matematyce, fizyce, inżynierii kwantowej i informatyce, pozostaje państwem bez przyjętej polityki w tym obszarze. Brak spójnej koncepcji rozwoju i wdrożeń może prowadzić do rozproszenia wysiłków organizacyjnych i finansowych, a tym samym do zmarnowania dotychczasowych nakładów, opóźnień względem partnerów europejskich i światowych oraz utraty szansy na „suwerenność kwantową”.

Przygotowywana Polityka będzie spójna z europejską strategią: Quantum Europe Strategy: Quantum Europe in a Changing World, której założenia ogłoszono 2 lipca 2025 roku.



# Ekosystem kwantowy

w Polsce



Ministerstwo  
Cyfryzacji

Tu tworzymy przyszłość

# Ekosystem kwantowy w Polsce

---

Polska posiada dziś realne zasoby, które mogą być uznane za załączek krajowego ekosystemu technologii kwantowych. Obejmują one zarówno infrastrukturę, jak i kapitał ludzki, zaplecze naukowe oraz pojawiające się inicjatywy przemysłowe.

Na poziomie infrastruktury warto wskazać m.in. sieć komunikacji kwantowej PIONIER-Q - jedną z najdłuższych testowych sieci tego typu w regionie Europy Środkowo-Wschodniej - oraz punkty obliczeniowe i demonstratory działające w wyspecjalizowanych ośrodkach, takich jak PCSS, CEZAMAT przy Politechnice Warszawskiej, Cyfronet AGH czy WCSS.

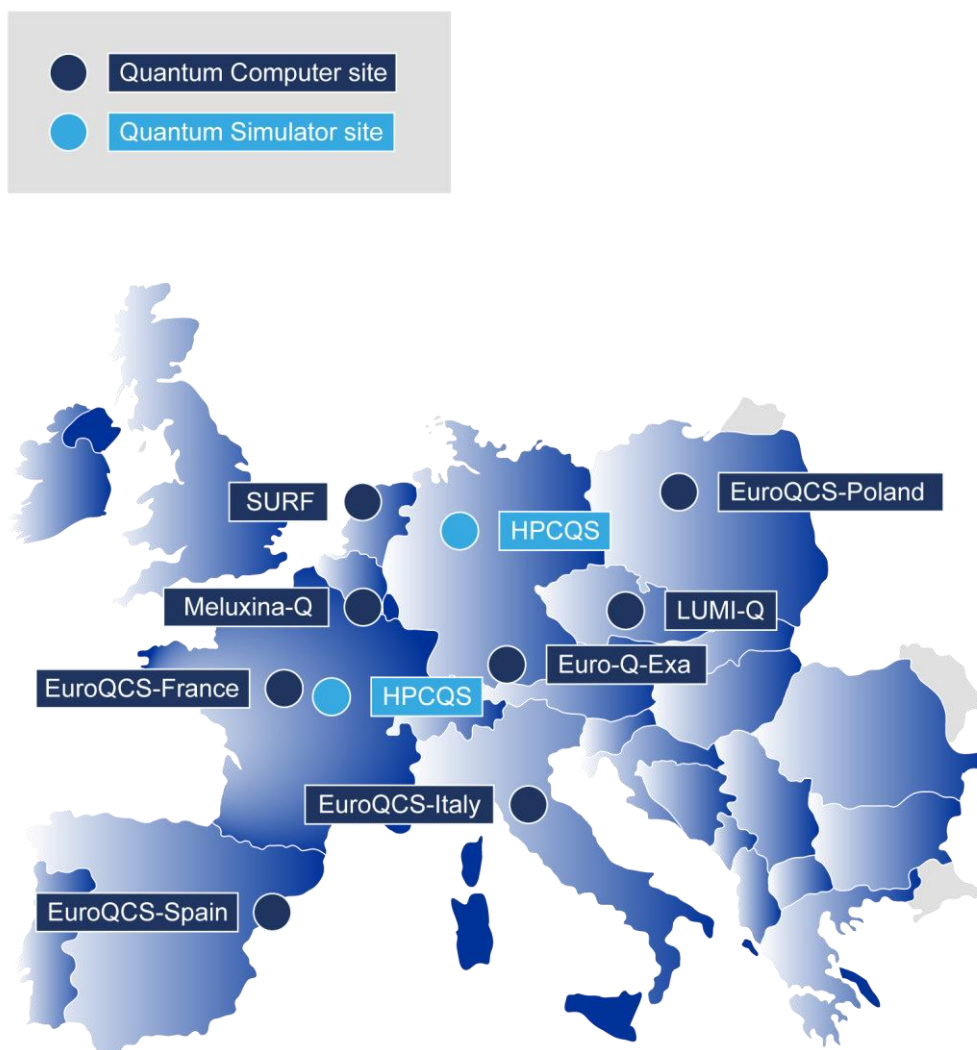
Silne zaplecze badawcze tworzą grupy naukowe działające w wiodących ośrodkach akademickich, w tym na Uniwersytecie Warszawskim, Uniwersytecie Gdańskim (gdzie funkcjonuje Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej), Uniwersytecie Jagiellońskim, Akademii Górniczo-Hutniczej, IFT PAN, IITiS PAN, CEZAMAT, Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu oraz Wojskowej Akademii Technicznej.

Coraz więcej uczelni oferuje też dedykowane ścieżki edukacyjne i kursy związane z technologiami kwantowymi - m.in. Uniwersytet Gdański, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Politechnika Warszawska, AGH i Politechnika Wrocławska.

Do ekosystemu dołącza również rosnąca grupa startupów, spin-offów i firm technologicznych, jak również organizacje wspierające rozwój środowiska kwantowego - takie jak Klaster Q, Komitet Technologii Kwantowych przy Krajowej Izbie Gospodarczej, Fundacja Quantum AI - oraz liczne oddolne inicjatywy organizacyjne i społeczne, np. Women in Quantum PL, QPoland czy koła naukowe przy uczelniach.

Mimo tych zasobów, Polska nadal nie posiada mechanizmu koordynującego dostępne aktywa organizacyjne i infrastrukturalne, zapewniającego stabilne finansowanie oraz trwałe powiązanie z przemysłem i odbiorcami publicznymi. Rozproszenie inicjatyw, brak spójnej wizji rozwojowej oraz słaby impuls ze strony państwa stanowią istotną barierę, która może zepchnąć kraj do roli biernego odbiorcy zagranicznych rozwiązań - zamiast aktywnego uczestnika europejskiego ekosystemu

kwantowego. Polityka kwantowa ma za zadanie zmienić ten stan rzeczy i uspoźnić działania i cele strategiczne w zakresie technologii kwantowych w Polsce.



MAPA SUPERKOMPUTERÓW EUROHPC, KOMPUTERÓW KWANTOWYCH I SYMULATORÓW, COM (2025) 363 - COMMUNICATION ON THE QUANTUM EUROPE STRATEGY, s.7.

# Wizja i cele

do 2035 roku



Tu tworzymy przyszłość

# Wizja i cele (do 2035 roku)

---

## Polityka rozwoju technologii kwantowych w Polsce ma na celu:

- Budowę kwantowej suwerenności technologicznej, rozumianej jako zdolność do samodzielnego rozwijania, wdrażania i ochrony kluczowych komponentów w obszarze obliczeń, komunikacji, sensoryki, bezpieczeństwa danych oraz infrastruktury kwantowej;
- Rozwinięcie zintegrowanego ekosystemu technologii kwantowych, opartego na ścisłej współpracy między uczelniami, instytutami badawczymi, sektorem publicznym i sektorem prywatnym. Kluczowym celem jest stworzenie środowiska umożliwiającego wymianę wiedzy, wspólne prowadzenie badań i realizację projektów opartych na fizycznej infrastrukturze kwantowej dostępnej w kraju oraz systemach udostępnianych w trybie zdalnym;
- Trwałe włączenie Polski w ekosystem globalny jako partnera współtworzącego, a nie jedynie jako użytkownika czy konsumenta technologii;
- Wypromowanie dorobku Polski w świecie i wypracowanie znakomitej marki naszego kraju w obszarach technologii kwantowych - „Polska Szkoła Kwantowa”;
- Wsparcie badań naukowych (podstawowych i aplikacyjnych) oraz powiązanie ich z zastosowaniami przemysłowymi poprzez pilotaże, testowe wdrożenia, tworzenie „piaskownic” i system zachęt inwestycyjnych;
- Wdrożenie bezpiecznej komunikacji kwantowej (z ang. QKD) oraz algorytmów postkwantowej kryptografii (z ang. PQC) w systemach cywilnych i wojskowych;
- Wypracowanie przewag (wsparcie dla istniejących krajowych specjalizacji i zdefiniowanie nowych) w obszarach takich jak kryptografia kwantowa i postkwantowa, algorytmy hybrydowe (kwantowo-klasyczne), komunikacja kwantowa, sensoryka i metrologia kwantowa oraz sprzętowe infrastruktury kwantowe;
- Zapewnienie odpowiednich warunków do kształcenia potrzebnych kadr naukowych, dydaktycznych, wdrożeniowych (inżynierskich, biznesowych i administracyjnych) i usługowych, m.in. poprzez rozwój infrastruktury badawczej i dydaktycznej;
- Zapewnienie powszechnego dostępu do technologii kwantowych oraz udziału w ich tworzeniu i obsłudze grup niedoreprezentowanych, w tym zwłaszcza kobiet;
- Zapewnienie odpowiedniej spójności z działaniami na poziomie Unii Europejskiej.

# Stan obecny

do 2035 roku



Ministerstwo  
Cyfryzacji

Tu tworzymy przyszłość

# Stan obecny

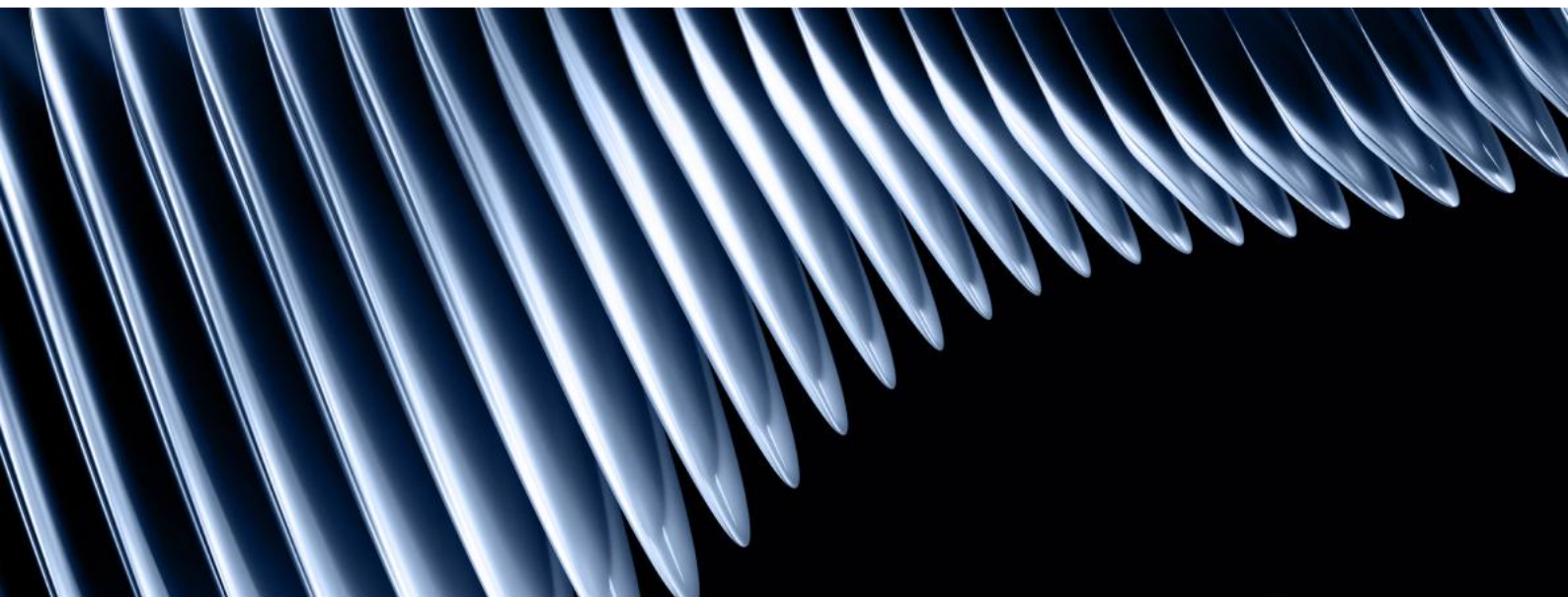
---

## Mocne strony:

- Kompetencje teoretyczne: matematyka, kryptografia, informatyka, fizyka, silna szkoła algorytmiki i tradycje kryptologiczne oraz z zakresu fizyki teoretycznej;
- Infrastruktura testowa sieciowa i obliczeniowa;
- Udział w projektach międzynarodowych (np. QuantERA, EuroQCI, EuroHPC JU), dzięki czemu Polska ma dostęp do najnowszych badań, doświadczeń, kontaktów międzynarodowych i know-how;
- Rozwijający się ekosystem: firmy i spin-offy z potencjałem eksportowym.

## Słabe strony:

- Zbyt niski poziom finansowania nauki i wdrożeń - brak stabilnej, długoterminowej ścieżki budżetowej;
- Rozproszenie inicjatyw między instytucjami;
- Brak systemowej ścieżki kształcenia w uniwersytetach i politechnikach;
- Niedostateczne powiązanie nauki z przemysłem - mało projektów pilotażowych wdrożeniowych, ograniczony popyt, brak rynku odbiorców, brak laboratoriów testowych i pilotaży;
- Brak formalnie uchwalonej polityki krajowej.



# Filary rozwoju kwantowego Polski

i rekomendacje



Ministerstwo  
Cyfryzacji

Tu tworzymy przyszłość

# Filary rozwoju kwantowego Polski i rekomendacje:

---

## Horyzont czasowy i fazy realizacji:

Planując rozwój technologii kwantowych w Polsce należy założyć, że działania muszą zostać podjęte niezwłocznie, a o powodzeniu przedsięwzięcia zadecydują dwa najbliższe lata.

W tym czasie Polska skoordynuje, wzmocni i rozbuduje istniejące fragmenty ekosystemu kwantowego i skoncentruje wysiłki na głównych specjalizacjach rozwojowych. W kolejnych latach powstanie rynek na produkty i usługi kwantowe oraz infrastruktura. Docelowo w roku 2035 Polska stanie się bezpiecznym kwantowo, innowacyjnym, mocno zsieciovanym ośrodkiem i jednym z liderów Europejskiej Doliny Kwantowej przy zachowaniu zdolności do działań własnych. Warunkiem jest oczywiście utrzymanie spójnej, konsekwentnej polityki rozwojowej i zakładanego poziomu nakładów finansowych.

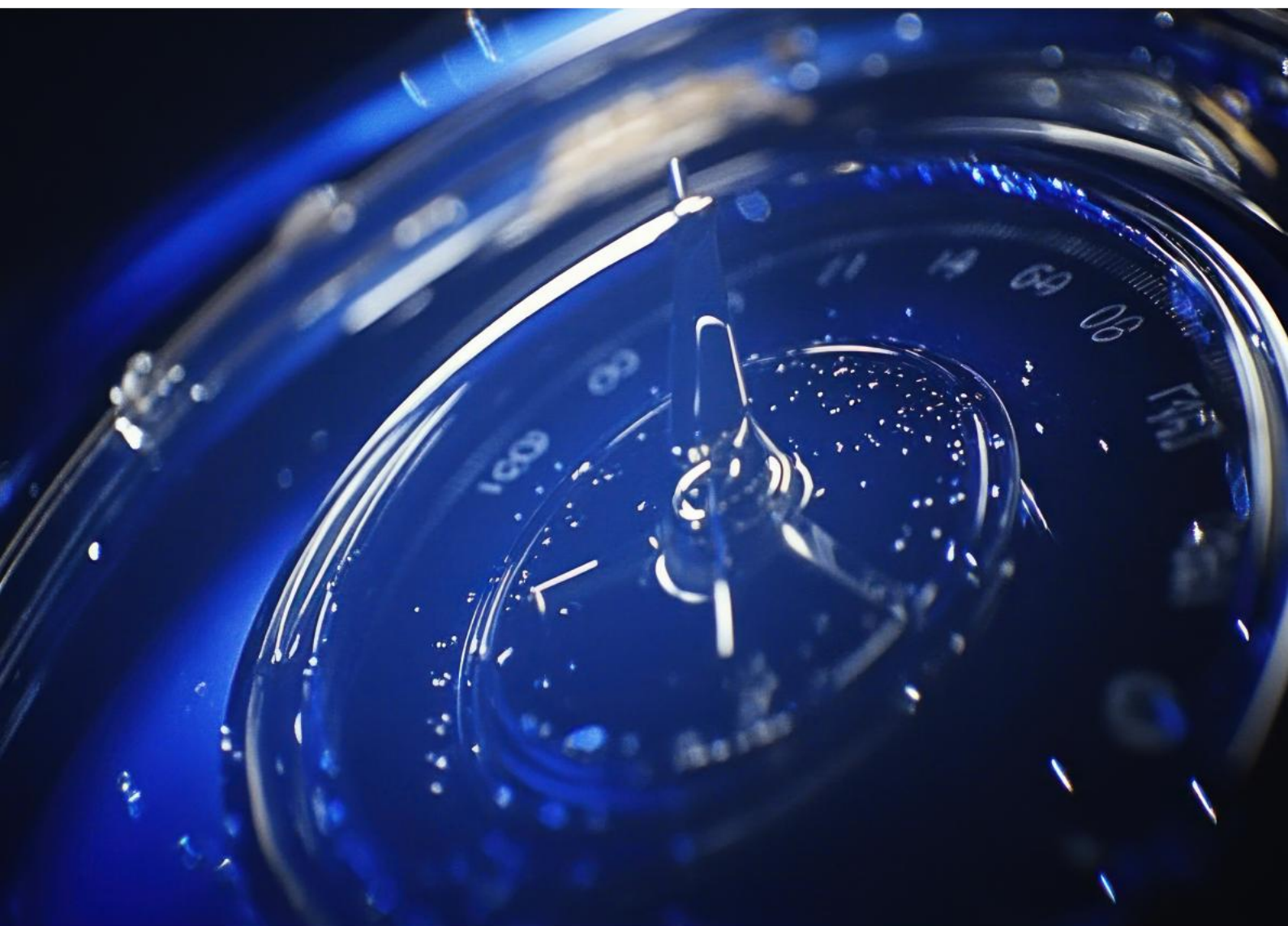
**Przykłady z innych strategii i polityk: Wielka Brytania - plan 10-letni (2,5 mld GBP, z rewizjami co 2-3 lata), Korea Południowa - plan 15-letni z etapami: badania/infrastruktura/komercjalizacja, Dania - I faza: plan 3-letni, II faza - 10-letni.**

## **Rekomendacja: Polityka powinna obejmować perspektywę 2025-2035, podzieloną na trzy spójne fazy:**

- **Faza I (2025-2027)** - inwentaryzacja ekosystemu, analiza uwarunkowań prawnych, uruchomienie celowego dofinansowania badań i inicjatyw start-upowych, szybkie granty proof-of-concept, programy pilotażowe we współpracy z przemysłem, wojskiem i administracją, budowa infrastruktury dla obliczeń kwantowych, komunikacji i sensoryki kwantowej, implementacja algorytmów kryptografii postkwantowej w sektorze publicznym, nowe inicjatywy na rzecz budowania kadr.
- **Faza II (2028-2030)** - rozbudowa sieci obliczeniowych, sensoryki i segmentów komunikacji kwantowej, demonstratory technologiczne, spin-offy w fazie

scale-up, „piaskownice” kwantowe, kompletny, działający ekosystem, integracja z europejskim i globalnym łańcuchem wartości.

- **Faza III (2031-2035)** - wdrożenie rozwiązań na skalę komercyjną, Polska jako jeden z głównych graczy europejskich i marka rozpoznawalna w świecie.



## Mechanizm koordynacyjny:

Stworzenie efektywnego ekosystemu kwantowego wymaga koordynacji w schemacie odgórnym (z ang. top-down). Do tej pory poszczególne podmioty same się organizowały w grupy interesu, obecnie należy dorobek tych stricte społecznych inicjatyw wpisać w kolejny etap rozwoju technologii kwantowych w Polsce. Mocny sygnał musi teraz wyjść ze strony państwa.

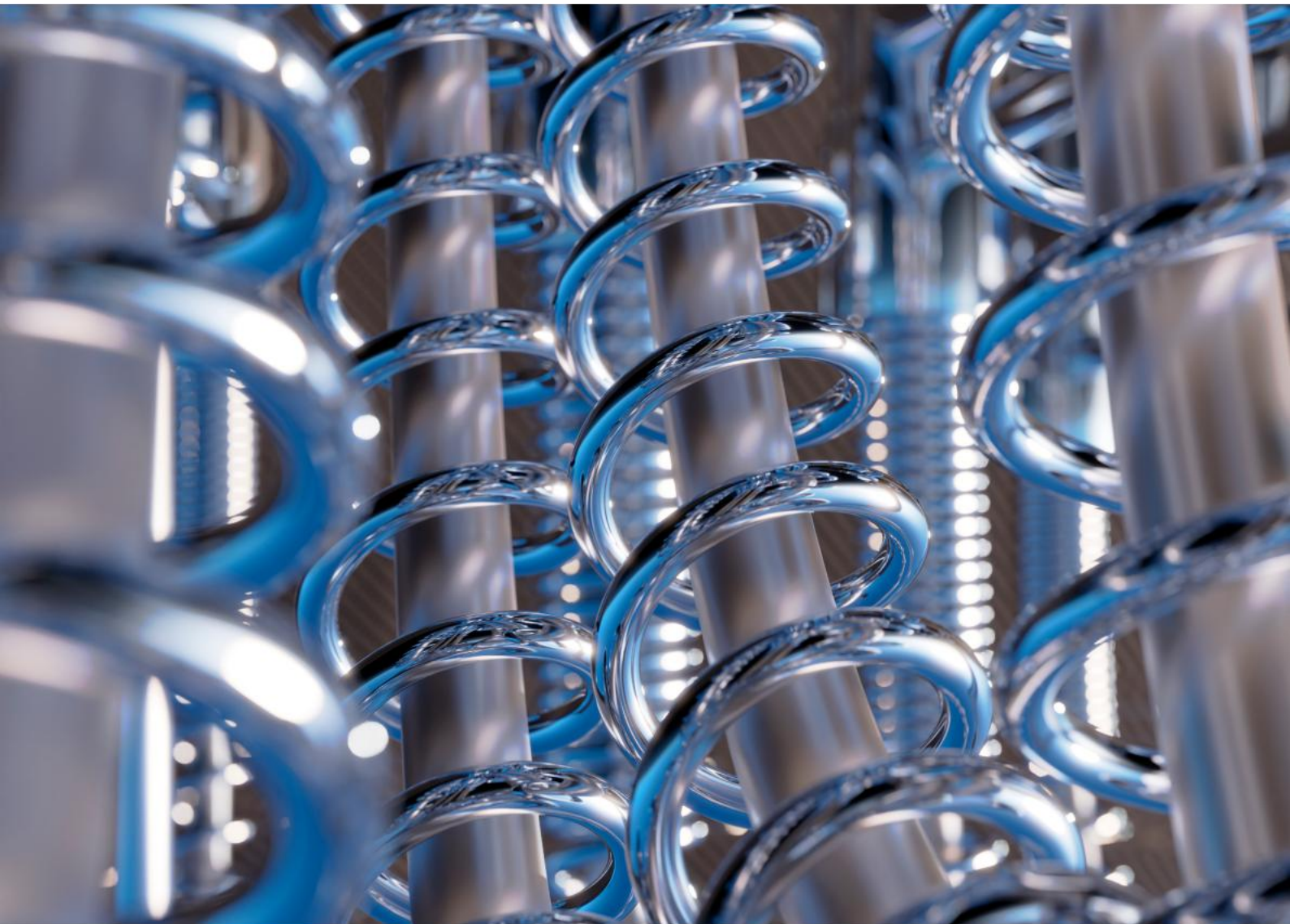
Wyznaczony zostanie ośrodek międzyresortowy, reprezentujący wszystkich interesariuszy, a jego kompetencje będą mieć charakter interdyscyplinarny. Wiodącym resortem w realizacji polityki rozwoju technologii kwantowych w Polsce będzie Ministerstwo Cyfryzacji, które spełni funkcję koordynatora tych wysiłków.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Niemcy - Federal Quantum Coordination Office; Korea - Komitet Międzyresortowy; Czechy - Commissioner for Quantum Technologies.**

## Rekomendacje:

- Utworzenie zespołu nadzorującego wdrażanie polityki kwantowej przy Komitecie ds. Cyfryzacji, z udziałem MNiSW, MRiT, MF, MON, MEN, przedstawicieli ośrodków akademickich i przemysłu. Jego zadania: planowanie, monitoring, raportowanie, synchronizacja krajowych działań, aby zapewnić realizację polityki kwantowej oraz jej zgodność z europejskimi inicjatywami związanymi z technologiami kwantowymi oraz z innymi polskimi strategiami i politykami, w szczególności w obszarze: cyfryzacji, obrony, rozwoju sztucznej inteligencji, kosmosu, edukacji i półprzewodników;
- Określenie kamieni milowych i wskaźników (KPI) dla wszystkich części ekosystemu kwantowego w zakresie:
  - Dofinansowania (np. wartość nowych inicjatyw i programów, suma zdobytego dofinansowania ze środków europejskich);
  - Rozwoju przemysłu (np. liczba i efektywność inicjatyw z sektorem akademickim, liczba wdrożeń, liczba ekspertów pracujących w przemyśle);
  - Współpracy naukowej i przemysłowej (np. liczba polskich podmiotów biorących udział w projektach międzynarodowych w rolach wiodących, liczba aktywności na polskich uczelniach i w instytutach badawczych utalentowanych naukowców ze świata, liczba patentów, liczba rozwiązań inżynierskich wdrażanych w przemyśle i gospodarce, liczba wysoko cytowanych artykułów naukowych i inżynierskich w światowych czasopiśmie);

- Kształcenia (np. liczba studentów i doktorantów kształcących się w obszarach związanych z nauką i technologiami kwantowymi - w tym inżynierii kwantowej, liczba utalentowanych obcokrajowców, którzy zdecydowali się na karierę w Polsce).
- Polityka kwantowa powinna być rewidowana i aktualizowana nie rzadziej niż co dwa lata.



## Ramy finansowe:

Skuteczny rozwój technologii kwantowych w Polsce wymaga znaczących nakładów finansowych oraz systemowego wsparcia. Inwestycje te umożliwią nie tylko profesjonalizację i rozbudowę kluczowych komponentów krajowego ekosystemu kwantowego, lecz także przyczynią się do ugruntowania pozycji Polski jako wiarygodnego i perspektywicznego partnera w obszarze badań naukowych, wdrożeń technologicznych oraz współpracy komercyjnej na arenie międzynarodowej.

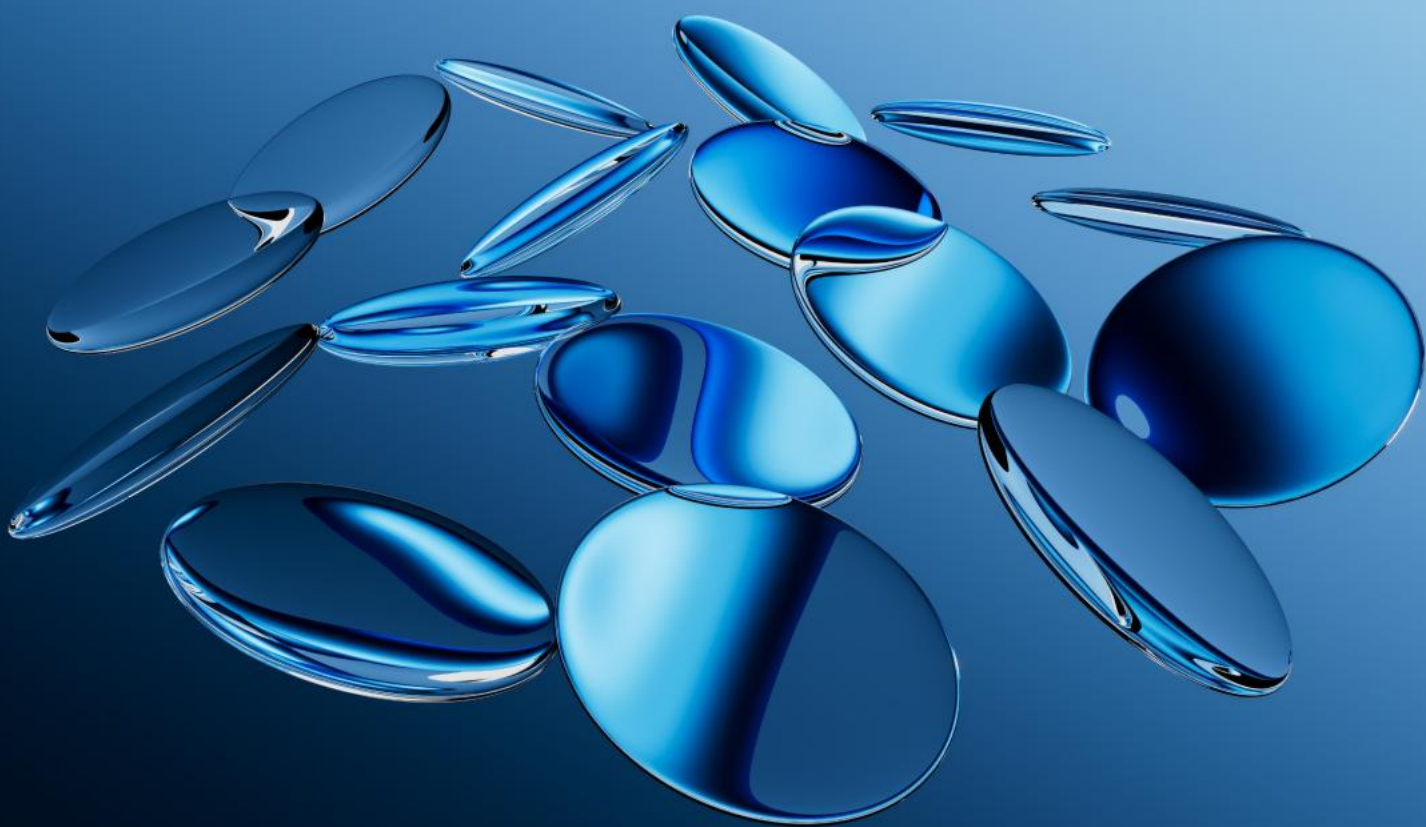
W nadchodzących latach kluczowym obszarem rozwojowym będzie obronność i środki na nią przeznaczone powinny stanowić znaczące źródło finansowania badań i inwestycji kwantowych. Ze względu na wczesny etap rozwojowy oraz nieprzewidywalne tempo „rewolucji kwantowej”, inwestycje w te technologie należą do tych najwyższego ryzyka. W związku z tym niezwykle trudno znaleźć na rynku stabilne finansowanie komercyjnych projektów. Publiczne wsparcie przedsiębiorców na tym etapie jest konieczne.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Hiszpania - 808 mln EUR bez horyzontu czasowego; Wielka Brytania - ok. 250 mln EUR rocznie; Niemcy - ok. 300 mln EUR rocznie; Kanada - ok. 350 mln EUR.**

## Rekomendacje:

- Określenie minimalnego pułapu inwestycji publicznych: **co najmniej 1 mld EUR w ciągu 10 lat;**
- Zapewnienie ciągłości finansowania umożliwiającej osiągnięcie odpowiedniej skali działań. Finansowanie powinno dotyczyć wszystkich komponentów łańcucha kształcenia i dostaw:
  - Kształcenia kadr (infrastruktura dydaktyczna / laboratoria, studia zamawiane, stypendia, staże, popularyzacja obszaru STEM wśród dzieci i młodzieży);
  - Infrastruktura testowa obliczeniowa i łączności (węzły obliczeniowe, PIONIER-Q), infrastruktura badawcza i wdrożeniowa;
  - Granty badawcze wspierające wszystkie poziomy gotowości technologicznej;
  - Wsparcie wdrożeń (wsparcie tworzenia spin-offów i start-upów, granty na współpracę naukowo-przemysłową, wsparcie procesu patentowania);

- Upowszechnianie, popularyzacja i koordynacja realizacji polityki kwantowej.
- Zapewnienie inwestycji w sektorze kwantowym w Polsce, w formie grantów, pożyczek lub kapitału udziałowego wspólnie z funduszami venture capital oraz instytucjami finansowymi;
- Integracja źródeł finansowania ze strategią kosmiczną i strategią obronną (technologie o podwójnym zastosowaniu, z ang. dual use);
- Zapewnienie finansowania na wspieranie konsorcjów w formule partnerstwa publiczno-prywatnego (z udziałem spółek Skarbu Państwa) pomagających wdrożyć wyniki badań i gotowe rozwiązania.



## Kadry i kompetencje:

Polska dysponuje znaczącym potencjałem kadrowym. Liczba studentów i ekspertów STEM jest jedną z najwyższych w Europie. Wspólna wiedza, doświadczenie i kompetencje tej grupy stanowią zasób o kluczowym znaczeniu dla realizacji ambitnych celów technologicznych i naukowych. Bogaty zasób specjalistów w zakresie technologii kwantowych - zdolnych je wytwarzać i obsługiwać - powinien stać się istotną przewagą Polski.

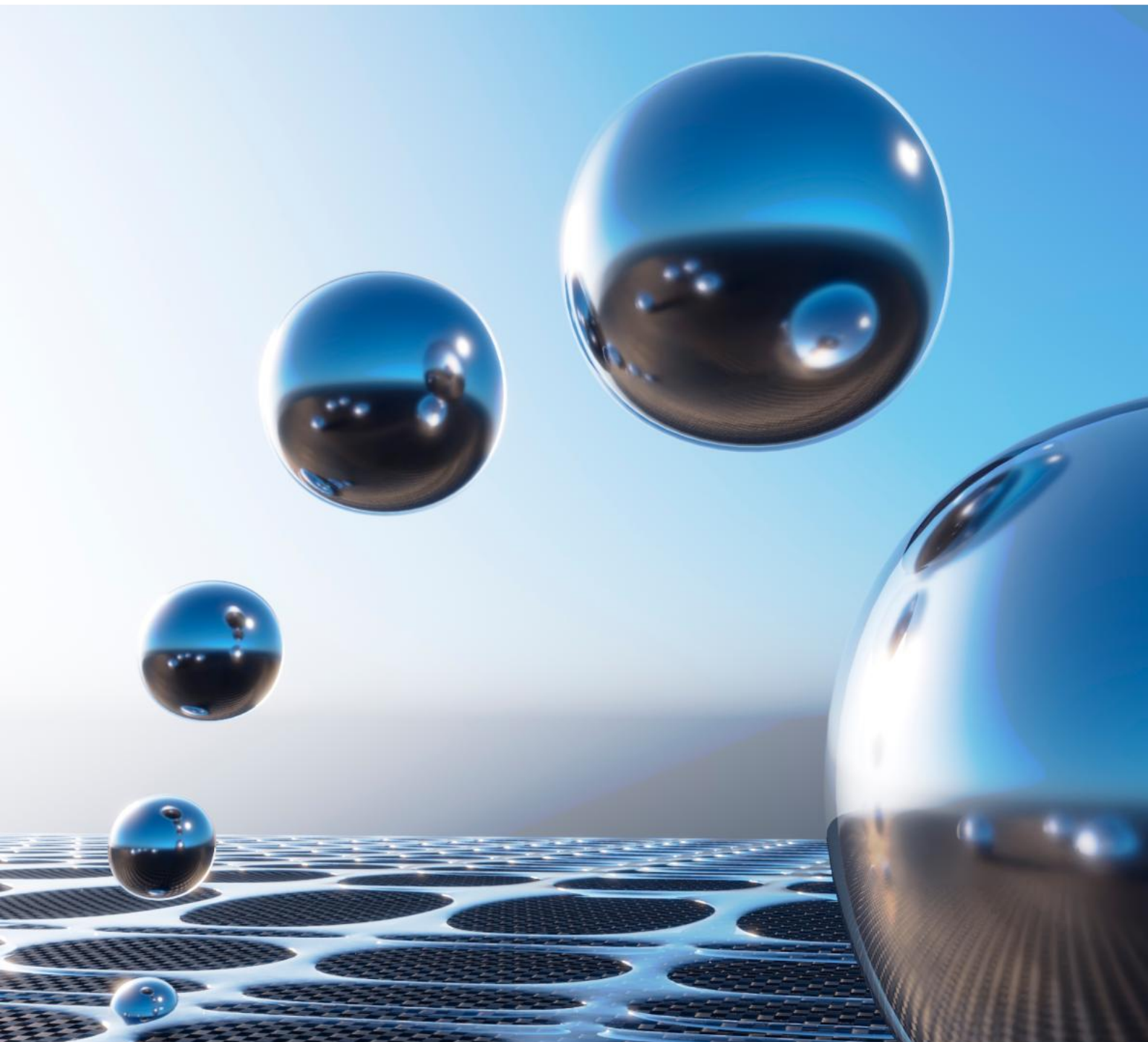
W tym celu należy znacząco rozbudować i unowocześnić ofertę edukacyjną uczelni wyższych w tym obszarze, zaopatrzyć je w odpowiednie narzędzia, a także uruchomić potencjał profesjonalistów z pokrewnych specjalizacji poprzez zbudowanie szerokiej oferty kursów specjalistycznych wdrażających w pracę z technologiami kwantowymi. Powstać też muszą nowe, interdyscyplinarne specjalizacje.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Niemcy - sieć Centrów Doskonałości, silne programy doktoranckie; Kanada - programy grantowe na przekwalifikowanie kadr i budowę tzw. Quantum Workforce Pipeline; Korea Południowa - powiązanie studiów magisterskich i doktoranckich z dostępem do krajowych i zagranicznych centrów obliczeniowych; intensywne partnerstwa z przemysłem ICT.**

## Rekomendacje:

- Utworzenie do 2028 roku minimum pięciu programów akademickich (na poziomie magisterskim i/lub doktoranckim), których podstawą będą technologie kwantowe, ze szczególnym uwzględnieniem ich interdyscyplinarnego charakteru (fizyka, inżynieria, informatyka, matematyka, cyberbezpieczeństwo, materiałoznawstwo) oraz kierunku inżynieria kwantowa;
- Stworzenie na uczelniach laboratoriów testowych (software i hardware);
- Stworzenie programów stypendialnych, zachęty dla talentów spoza Polski do studiowania w naszym kraju i prowadzenia badań;
- Organizowanie specjalistycznych szkoleń dla kadry przemysłowej i administracyjnej, obejmujących również programy certyfikacyjne w zakresie technologii kwantowych oraz integracji z systemami krytycznymi;

- Rozwój programów mentoringowych i wsparcie inicjatyw mających na celu popularyzację, kształcenie oraz organizowanie sieci osób związanych z technologiami kwantowymi.



## Wybrane specjalizacje:

Obszar technologii kwantowych obejmuje dziś szerokie spektrum zagadnień, w tym obliczenia kwantowe, komunikację kwantową oraz sensorykę kwantową. Każda z tych dziedzin rozwija się dynamicznie i obejmuje wiele specjalistycznych tematów. Nawet najbardziej zaawansowane państwa nie są w stanie prowadzić badań na najwyższym poziomie we wszystkich tych obszarach jednocześnie.

Dlatego w polskim kontekście konieczne jest dokonanie świadomego wyboru i wyodrębnienie priorytetowych kierunków specjalizacji. Warto przy tym uwzględnić zarówno istniejące krajowe kompetencje, jak i potencjalny wpływ wybranych technologii na rozwój gospodarczy.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Wielka Brytania - kryptografia i software; Dania - sensoryka; Kanada - QaaS.**

## Rekomendacje:

Należy wybrać specjalizacje Polski w obszarze kwantowym do roku 2025, bazując na następujących dziedzinach:

- Obliczenia kwantowe: algorytmika kwantowa (w tym kwantowe uczenie maszynowe) i oprogramowanie kwantowe, infrastruktura obliczeniowa;
- Infrastruktura kwantowa: inżynieria kwantowa, elektroniczne systemy sterowania, metrologia kwantowa;
- Komunikacja: kwantowa dystrybucja klucza, kryptografia kwantowa i postkwantowa;
- Sensoryka i metrologia: czujniki, grawimetria kwantowa.

# Infrastruktura i zaplecze technologiczne:

Zarówno kształcenie kadr, jak i prowadzenie badań czy realizacja wdrożeń, wymagają odpowiedniego zaplecza technicznego i infrastruktury badawczej.

Dotyczy to m.in. komponentów wykorzystywanych w komputerach kwantowych oraz urządzeń niezbędnych do implementacji rozwiązań z zakresu kryptografii kwantowej. Tego rodzaju infrastruktura może być pozyskiwana na drodze zakupu lub rozwijana lokalnie - wybór konkretnej ścieżki zależy od rodzaju technologii, priorytetów strategicznych, dostępnych kompetencji oraz horyzontu czasowego. Niezależnie od przyjętego modelu, celem powinno być systematyczne budowanie możliwie szerokiej suwerenności technologicznej w Polsce.

**Przykłady z innych strategii i polityk: EuroHPC JU: węzły obliczeniowe w Czechach, Niemczech, Hiszpanii. Polska: centra obliczeniowe superkomputerowe w PCSS, Cyfronet AGH.**

## Rekomendacje:

- Rozbudowanie sieci PIONIER-Q, z naciskiem na segment transgraniczny i zgodność z EuroQCI;
- W polityce kwantowej powinna znaleźć się strategia pozyskiwania dostępu przez Polskę do kwantowej mocy obliczeniowej, uwzględniając następujące możliwości:
  - Zakup gotowych komputerów kwantowych;
  - Zakup dostępu do mocy obliczeniowej komputerów kwantowych w chmurze;
  - Budowa infrastruktury jednostek komputerów kwantowych.
- Wyznaczenie ról węzłów: obliczenia kwantowe i hybrydowe, zintegrowanie zasobów z superkomputerami klasycznymi i usługami chmurowymi - dostęp dla nauki, przemysłu i spin-offów;
- Uruchomienie co najmniej jednego laboratorium precyzyjnego pomiaru czasu i sensorów kwantowych, w tym grawimetrów kwantowych;
- Rozwinięcie laboratoriów testowych w zakresie systemów sterowania QPU, układów kriogenicznych, źródeł splątanych fotonów oraz detektorów nowej generacji.

## Rozwój rynku i przemysłu:

Technologie kwantowe pozostają na stosunkowo wczesnym etapie rozwoju, co sprawia, że wiele z nich nie ma jeszcze potwierdzonej przewagi w zastosowaniach przemysłowych. W efekcie przedsiębiorstwom działającym w tym obszarze trudno jest wypracować stabilny i skalowalny model biznesowy, a pozyskiwanie finansowania – zarówno publicznego, jak i prywatnego – bywa znacząco utrudnione. Prowadzi to do szeregu barier hamujących rozwój technologiczny, w tym ograniczeń w zatrudnianiu i utrzymywaniu wysoko wykwalifikowanych specjalistów, co może skutkować ich migracją do innych krajów.

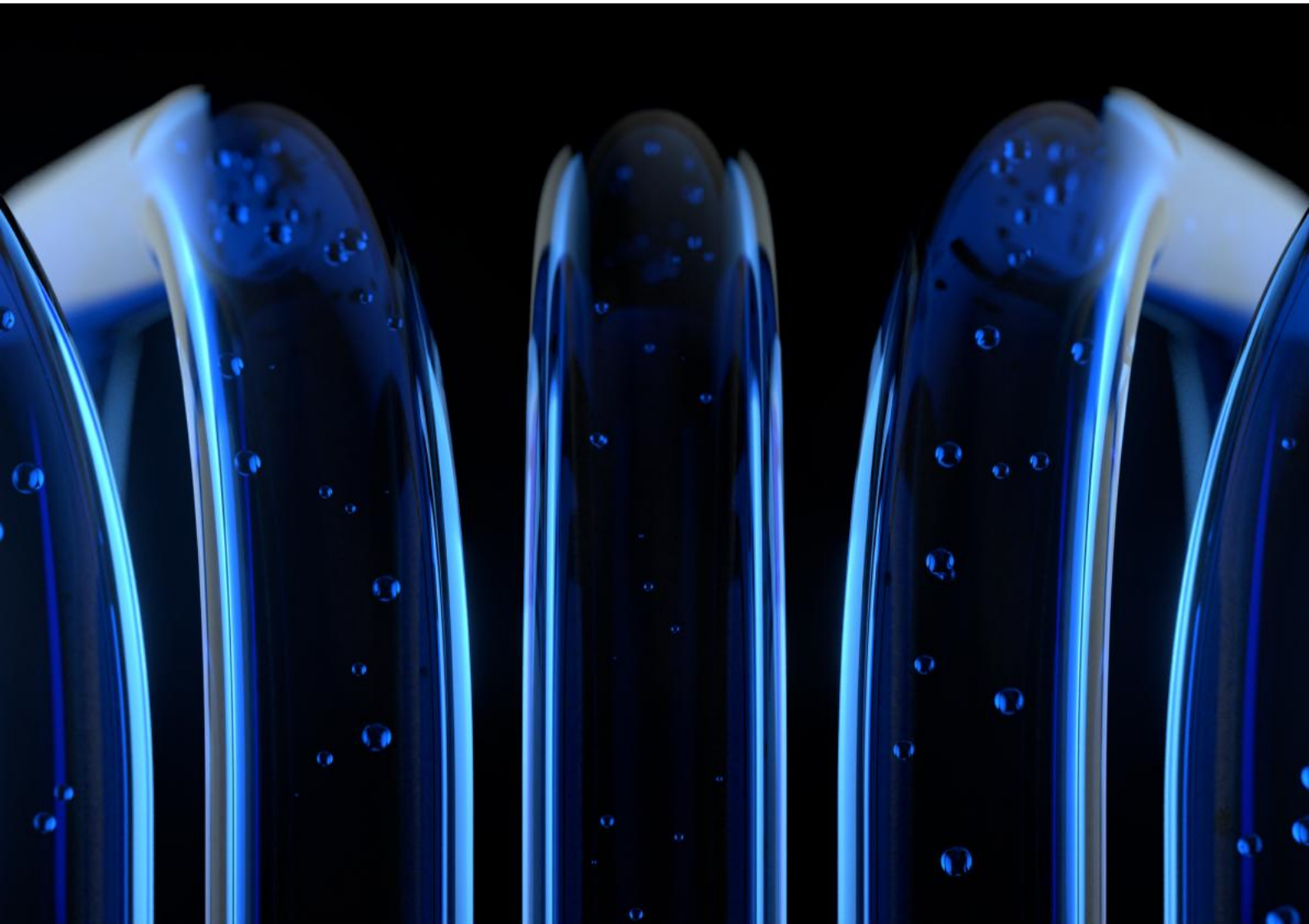
Na obecnym etapie rozwoju konieczne jest więc nie tylko wspieranie, ale wręcz aktywne współtworzenie krajowego rynku technologii kwantowych. Wiele państw, które przyjęły własne strategie kwantowe, przewiduje określony poziom zaangażowania sektora publicznego w tym zakresie. Polska również powinna podążać w tym kierunku - szczególnie że, według prognoz Komisji Europejskiej (JRC), do 2040 roku sektor kwantowy może osiągnąć wartość przekraczającą 155 miliardów euro i stworzyć tysiące wysoko wykwalifikowanych miejsc pracy.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Kanada: wsparcie spin-offów software'owych, model QaaS (Quantum-as-a-Service); Korea: pilotaże z dużymi firmami ICT, zachęty podatkowe.**

## Rekomendacje:

- Program inkubacji start-upów kwantowych (model rynkowy z udziałem krajowym);
- Wsparcie spin-offów, pilotaży sektorowych (np. finanse, farmacja, energetyka, kryptografia i łączność), procesu transferu wiedzy z uczelni do przemysłu (w tym patentowania);
- Wsparcie tworzenia rynku i stymulowanie popytu na technologie kwantowe poprzez zwiększenie udziału prywatnego kapitału, np. poprzez wdrożenie mechanizmu zachęt podatkowych i grantowych dla firm gotowych na fazę demonstracyjną oraz dla prywatnych inwestorów;
- Stworzenie przynajmniej jednej „doliny kwantowej” będącej silnym hubem przyciągającym inwestycje;

- Mapowanie krajowych software house'ów i firm, które mogą przekształcić swoje kompetencje w kierunku algorytmiki kwantowej i wsparcie tej transformacji;
- Priorytet dla sektorów kluczowych dla bezpieczeństwa i rozwoju polskiej gospodarki;
- Stworzenie mechanizmów wsparcia komercjalizacji wyników badań, np. w obszarze ochrony własności intelektualnej (np. fundusz patentowy);
- Wdrożenie mechanizmów standaryzacji i certyfikacji.



## **Współpraca międzynarodowa:**

Rozwój technologii kwantowych to gra zespołowa. Podobnie jak w przypadku każdej technologii przełomowej, tylko skoordynowane wysiłki o zasięgu globalnym – prowadzone równolegle z rosnącą rywalizacją geopolityczną - mogą doprowadzić do rzeczywistego przełomu. Polska musi aktywnie uczestniczyć w międzynarodowym obiegu wiedzy oraz we współpracy naukowej i wdrożeniowej, dążąc do jak najpełniejszego i najbardziej wartościowego dostępu do światowego know-how.

W projektach międzynarodowych powinna możliwie często pełnić rolę lidera lub koordynatora, a jak największa liczba europejskich inicjatyw powinna być realizowana na polskich uczelniach oraz w krajowych ośrodkach badawczych i wdrożeniowych. Równocześnie Polska musi być zdolna do samodzielnego inicjowania działań i wychodzenia z propozycjami współpracy - zarówno na poziomie europejskim, jak i globalnym.

**Stan: Formalny udział w EuroQCI, QuantERA, EuroHPC JU.**

### **Rekomendacje:**

- Silne powiązanie polskich przedsięwzięć z unijnymi i światowymi inicjatywami, zapewnienie odpowiedniej spójności z polityką kwantową na poziomie europejskim;
- Budowa silniejszych konsorcjów regionalnych w ramach programów i inicjatyw takich jak EuroHPC, Quantum Flagship i innych. Wzmocnienie roli hubów regionalnych gotowych wносить know-how i zasoby do projektów europejskich;
- Rozwój współprac bilateralnych w obszarze wymiany kadr, badań naukowych, testów pilotażowych i przemysłowych;
- Zapewnienie dostępu do światowego know-how, m.in. poprzez współpracę naukową i implementacyjną z wybranymi globalnymi liderami.

# Bezpieczeństwo postkwantowe i suwerenność

Bezpieczeństwo postkwantowe stanowi jeden z filarów rozwoju nowoczesnych technologii i ochrony infrastruktury cyfrowej państwa.

W obliczu zbliżającej się ery komputerów kwantowych konieczne jest pilne wdrażanie rozwiązań odpornych na nowe typy zagrożeń kryptograficznych. Równocześnie wzrasta znaczenie budowania suwerenności technologicznej poprzez rozwój krajowych kompetencji, standardów i infrastruktury. Polska strategia powinna wpisywać się w europejskie ramy interoperacyjności i odporności, przy zachowaniu zdolności do niezależnego działania w kluczowych obszarach bezpieczeństwa cyfrowego.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Europejska Strategia Kwantowa.**

## Rekomendacje:

- Wdrożenie do 2030 roku przez administrację publiczną oraz wybrane sektory gospodarki (np. energetyka, bankowość, zdrowie) algorytmów postkwantowych (PQC) zgodnie z rekomendacjami Europejskiej Strategii Kwantowej, NIST i ETSI, celem ochrony danych przed atakami HNDL (z ang. „Harvest Now, Decrypt Later”);
- Uzupełnienie krajowych systemów certyfikacji cyberbezpieczeństwa o ścieżki walidacji i certyfikacji rozwiązań odpornych na ataki kwantowe, dostępne dla instytucji i dostawców oprogramowania;
- Zachęty dla podmiotów zlokalizowanych na terytorium Polski lub w krajach UE do projektowania i wytwarzania większości krytycznych komponentów używanych w infrastrukturze kwantowej (sterowniki, platformy obliczeniowe, komponenty komunikacyjne), budowa „piaskownic” i tzw. testbed’ów.

# Edukacja społeczeństwa i inkluzywność

Polityka powinna zakładać systemowe przygotowanie do adaptacji technologii kwantowych w momencie, gdy ich zastosowania staną się powszechne i realnie obecne w życiu codziennym oraz gospodarce.

Celem jest zapewnienie, że Polska będzie gotowa nie tylko technologicznie, ale również kulturowo i kompetencyjnie do świadomego, bezpiecznego i efektywnego wdrażania rozwiązań kwantowych. Wymaga to działań edukacyjnych, informacyjnych i instytucjonalnych, które zwiększą ogólną świadomość, zrozumienie oraz gotowość odbiorców (obywateli, administracji i przedsiębiorstw) do korzystania z tych technologii w sposób odpowiadający rzeczywistym potrzebom społecznym i strategicznym państwa.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Quantum Flagship - Key Inclusion Indicators for Quantum Technologies in Europe.**

## Rekomendacje:

- Włączenie wiedzy o istnieniu technologii kwantowych do podstawy programowej szkół średnich, dodatkowe możliwości edukacyjne dla zainteresowanych;
- Utworzenie kursów doskonalących dla zainteresowanych nauczycieli fizyki i informatyki w szkołach ponadpodstawowych;
- Zapewnienie większej różnorodności talentów w obszarze technologii kwantowych poprzez zwiększenie udziału kobiet i grup niedostatecznie reprezentowanych w programach edukacyjnych, z celem osiągnięcia minimum 30% udziału kobiet w branży i doktoratach kwantowych. Stworzenie programów stypendialnych i mentorskiego wsparcia kobiet, osób z regionów słabiej rozwiniętych oraz innych grup niedoprezentowanych w dziedzinach STEM / technologii kwantowych;
- Włączenie organizacji pozarządowych do kampanii i działań wspierających równość w dostępie do kariery w obszarze technologii kwantowych;
- Uruchomienie kampanii społecznej promującej wiedzę o znaczeniu i wykorzystaniu technologii kwantowych.

## Inwestycje prywatne:

Rozwój technologii kwantowych wymaga nie tylko wsparcia ze środków publicznych, lecz także aktywnego zaangażowania kapitału prywatnego. Doświadczenia europejskie pokazują, że skuteczne strategie łączą finansowanie państwowe z inwestycjami funduszy venture capital, firm technologicznych oraz inwestorów branżowych.

W Polsce sektor prywatny pozostaje jeszcze stosunkowo nieaktywny w obszarze technologii kwantowych, dlatego kluczowym elementem powinno być stworzenie atrakcyjnych i przejrzystych mechanizmów, które zachęcą inwestorów do wejścia na ten rynek.

**Przykłady z innych strategii i polityk: Holandia: Fundusz „Quantum Delta NL” („QDNL Participations” celujący w 60 mln EUR (pierwszy 25 mln EUR) na inwestycje w startupy quantum), Francja: Bpifrance - Fundusz Deep Tech finansujący fazy seed i series A; Niemcy: German Quantum Incubator (GQI), Quantum Technologies Incubator z TU München i Fraunhofer.**

## Rekomendacje:

- Stworzenie funduszu typu VC/PVC (z ang. venture capital lub public venture capital), dedykowanego wyłącznie technologiom kwantowym i technologiom wspierającym (np. cryo, fotonika, sterowanie, PQC);
- Uruchomienie programów typu co-investment, w których państwo jest współinwestorem wraz z prywatnymi funduszami, minimalizując ryzyko inwestorów i zwiększając kapitał dostępny na rynku;
- Stworzenie programu wsparcia dla pre-seed/start-upów kwantowych w formule akceleratora technologicznego z komponentem inwestycyjnym, szkoleniowym i międzynarodowym.

# Ustanowienie ram etycznych, prawnych i zarządzania:

Polityka rozwoju technologii kwantowych powinna opierać się na dwóch uzupełniających się filarach: innowacyjności i odpowiedzialności.

Z jednej strony technologie te oferują przełomowe możliwości w takich obszarach jak bezpieczeństwo, komunikacja czy administracja publiczna. Z drugiej strony ich wdrażanie wiąże się z nowymi wyzwaniami etycznymi, prawnymi i społecznymi. Dlatego konieczne jest równoległe budowanie mechanizmów nadzoru, transparentności i zaufania. Polska, rozwijając swój potencjał kwantowy, powinna nie tylko inwestować w przełomowe rozwiązania, lecz także wyznaczać standardy odpowiedzialnego podejścia - w relacji do obywateli, instytucji i partnerów międzynarodowych.

**Przykłady z innych strategii i polityk: EU: Strategia UE „Quantum Europe” (2025) zakłada utworzenie wspólnego otoczenia regulacyjnego dla technologii kwantowych, który zapewni interoperacyjność technologii, ochronę łańcuchów dostaw i cyberbezpieczeństwo, jednocześnie sprzyjając innowacyjności.**

## Rekomendacje:

- Systemowe przygotowanie do akceptacji i adaptacji technologii kwantowych w momencie, gdy ich zastosowania staną się powszechne i realnie obecne w życiu codziennym oraz gospodarce poprzez działania edukacyjne, informacyjne i instytucjonalne, które zwiększą ogólną świadomość, zrozumienie oraz gotowość odbiorców (obywateli, administracji i przedsiębiorstw) do etycznego korzystania z tych technologii w sposób odpowiadający rzeczywistym potrzebom społecznym i strategicznym państwa;
- Przyjęcie podstawowych zasad wykorzystania technologii kwantowych, odzwierciedlających te dla sztucznej inteligencji: zgodność z prawem, odpowiedzialność dla misji, bezpieczeństwo, odpowiedzialność, wiarygodność i zorientowanie na człowieka;
- Uregulowanie prawne kwestii własności intelektualnej dla wyników obliczeń i dzieł generowanych kwantowo, wdrożenie polityk minimalizujących ryzyko naruszenia własności intelektualnej oraz ochrona tajemnic handlowych i informacji poufnych, zwłaszcza podczas korzystania z platform zewnętrznych.

# Podsumowanie



Tu tworzymy przyszłość

# Podsumowanie:

---

Polska stoi dziś przed historyczną możliwością, by stać się jednym z liderów powstającej „Europejskiej Doliny Kwantowej”. Realizacja tej ambicji wymaga zbieżności czterech elementów: jakości badań, potencjału gospodarczego, standardów bezpieczeństwa narodowego oraz gotowości społecznej. Obecne inicjatywy stanowią solidne fundamenty, na których można budować trwałą przewagę w nadchodzącej erze kwantowej.

Osiągnięcie tej pozycji będzie jednak możliwe wyłącznie dzięki skoordynowanym działaniom na poziomie krajowym oraz znaczącym inwestycjom publicznym i prywatnym. Jak podkreślono w Europejskiej Strategii Kwantowej, kluczowe znaczenie ma szybkie działanie w obszarze postkwantowej kryptografii (PQC) oraz konsekwentne przeciwdziałanie pogłębianiu się luki talentów. Bez proaktywnego podejścia do tych wyzwań Polska ryzykuje utratę impetu i niewykorzystanie swojego potencjału.

Polityka kwantowa w długim horyzoncie czasowym to nie tylko droga do suwerenności technologicznej i wzmocnienia bezpieczeństwa, lecz także szansa na aktywne współtworzenie globalnej przyszłości. Technologie kwantowe to nie tylko nowy impuls dla rozwoju gospodarczego czy nowy wymiar bezpieczeństwa - to także nadzieja na rozwiązanie problemów, z którymi ani klasyczne systemy HPC, ani sztuczna inteligencja nie są w stanie sobie samodzielnie poradzić. Prawdopodobnie istotna część ich potencjału nie została jeszcze w pełni rozpoznana. Polska musi uczestniczyć w tym rozwoju i w płynących z niego korzyściach.

Poprzez konsekwentne wdrażanie tak zakreślonej polityki, Polska może zająć trwałe miejsce wśród kluczowych graczy kształtujących międzynarodowy porządek technologiczny - przyczyniając się tym samym do budowy bezpiecznego i zamożnego społeczeństwa w nadchodzącej, wciąż trudnej do wyobrażenia w pełni, erze kwantowej.