

Założenia do Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych



Tu tworzymy przyszłość

Spis treści

Wprowadzenie i kontekst	4
Ekosystem kwantowy w Polsce	7
Wizja i cele (do 2035 roku)	10
Stan obecny	13
<i>Mocne strony</i>	<i>13</i>
<i>Słabe strony</i>	<i>13</i>
Filary rozwoju kwantowego Polski i rekomendacje	16
<i>Horyzont czasowy i fazy realizacji</i>	<i>16</i>
<i>Mechanizm koordynacyjny</i>	<i>18</i>
<i>Ramy finansowe</i>	<i>21</i>
<i>Kadry i kompetencje</i>	<i>23</i>
<i>Badania naukowe</i>	<i>25</i>
<i>Wybrane specjalizacje</i>	<i>26</i>
<i>Infrastruktura</i>	<i>28</i>
<i>Rozwój rynku i gospodarki</i>	<i>30</i>
<i>Współpraca międzynarodowa</i>	<i>32</i>
<i>Bezpieczeństwo postkwantowe</i>	<i>34</i>
<i>Edukacja społeczeństwa i inkluzywność</i>	<i>35</i>
<i>Inwestycje prywatne</i>	<i>36</i>
<i>Ustanowienie ram etycznych, prawnych i zarządzania</i>	<i>37</i>
Podsumowanie	40

Wprowadzenie



Tu tworzymy przyszłość

Wprowadzenie i kontekst

Technologie kwantowe (a więc technologie, które w swoim działaniu wykorzystują zjawiska kwantowe takie jak superpozycja, splątanie, interferencja, tunelowanie) 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 złamania niektórych klasycznych algorytmów kryptograficznych (w szczególności algorytmów wykorzystujących klucz publiczny), 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. Podpisując Europejską Deklarację dotyczącą Technologii Kwantowych (Quantum Pact) w marcu 2024 roku, Polska zadeklarowała ambicję osiągnięcia wysokiego poziomu w dziedzinie technologii kwantowych, mając potencjał, by dołączyć do grona czołowych graczy w Europie. Wyraziła jednocześnie chęć zaangażowania we wzmacnianie europejskiej współpracy na rzecz budowy światowej klasy ekosystemu kwantowego. Wywiązanie się z tego zobowiązania nie będzie możliwe bez zwiększenia nakładów finansowych państwa na rozwój technologii kwantowych oraz zdefiniowania priorytetowych obszarów badań w tej dziedzinie.

Polska, mimo udziału w ważnych projektach europejskich, takich jak EuroHPC JU czy EuroQCI oraz posiadania dynamicznie rozwijającej się bazy talentów w matematyce, fizyce, inżynierii kwantowej i informatyce, pozostaje jednak państwem bez przyjętej polityki kwantowej.

Brak spójnej koncepcji rozwoju i wdrożeń może prowadzić do rozproszenia wysiłków organizacyjnych i finansowych, a tym samym do zmarnowania dotychczasowych nakładów, a także opóźnień względem partnerów europejskich i światowych. Dodatkowo, w warunkach globalnej konkurencji, brak stabilnych ram rozwoju technologii kwantowych w Polsce zwiększa ryzyko odpływu kluczowych talentów oraz

młodych firm technologicznych do krajów oferujących bardziej sprzyjające środowisko, co w konsekwencji osłabi potencjał kraju w budowaniu własnej “suwerenności kwantowej”.

Konieczne jest więc przygotowanie krajowej Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych, która wyznaczy ramy dla długofalowych działań państwa w tym obszarze. Realizacja tej ambicji wymaga stabilnego, długoterminowego finansowania i kompleksowego zaangażowania, obejmującego nie tylko pojedyncze projekty, lecz także kształcenie talentów i rozbudowę ekosystemu badawczego, przemysłowego i infrastruktury. Skuteczna polityka musi być holistyczna i sprzyjać głębokiej integracji między środowiskiem akademickim, przemysłem i rządem, a także podmiotami społecznymi. Ponadto, powinna wyznaczać priorytety rozwoju technologii kwantowych w Polsce oraz synergię z ekosystemem europejskim, wskazując, w jaki sposób możemy zdobyć silną pozycję w kontekście międzynarodowym.

Zamiast ograniczać się do inwestowania w izolowane projekty, należy stworzyć zintegrowany, dojrzały 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 oraz wdrożeń technologii kwantowych.

Niniejszy dokument “Założenia do Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych”, stanowi przygotowanie do opracowania docelowego dokumentu strategicznego - Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych, która będzie zgodna ze Strategią Cyfryzacji, oraz ogłoszoną 2.07.2025” Quantum Europe Strategy: Quantum Europe in a Changing World”.



Ekosystem kwantowy

w Polsce



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. Docelowo ekosystem rozwinięty zostanie na wszystkich tych polach, a prace wykonywane w ramach niego staną się bardziej skoordynowane i ukierunkowane w celu rozwoju naukowego oraz gospodarczego.

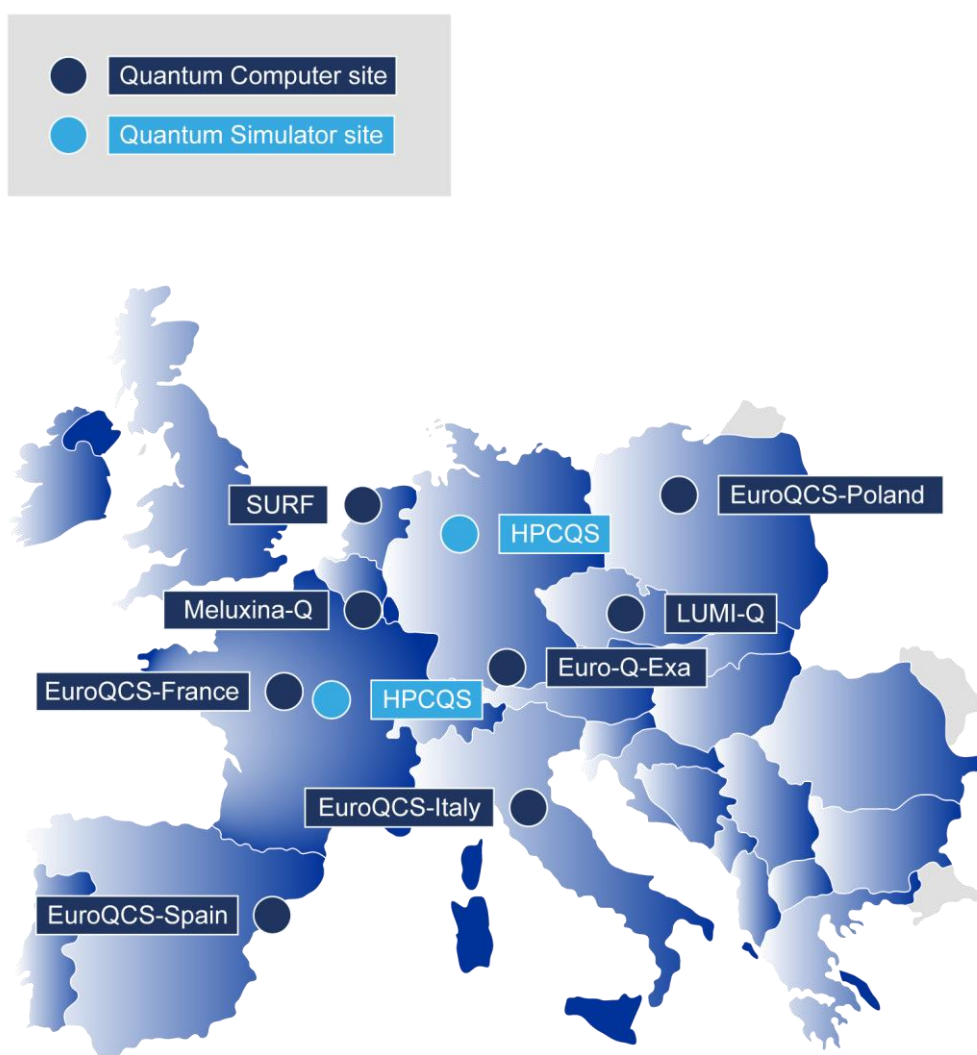
Na poziomie infrastruktury istotnym zasobem jest np. sieć komunikacji kwantowej PIONIER-Q - najdłuższa testowa sieć tego typu w Europie, w ramach której zbudowano m.in. połączenie Ministerstwo Cyfryzacji – Centrum Danych NASK. Warto wskazać również m.in. jednostki obliczeniowe i demonstratory działające w wyspecjalizowanych ośrodkach, takich jak Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe, CEZAMAT Politechniki Warszawskiej, Cyfronet AGH czy Wrocławskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe.

Silne zaplecze badawcze tworzą grupy naukowe działające w wiodących krajowych, cywilnych i wojskowych, ośrodkach akademickich i naukowo-badawczych, w tym na Uniwersytecie Warszawskim, Uniwersytecie Gdańskim (gdzie funkcjonuje Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej), Uniwersytecie Jagiellońskim, Akademii Górniczo-Hutniczej, CFT PAN, IF PAN, IITiS PAN, Politechnice Łódzkiej, Politechnice Poznańskiej, Politechnice Warszawskiej, CEZAMAT PW, Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu, Wojskowej Akademii Technicznej oraz Politechnice Wrocławskiej, a także w NASK.

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

Do ekosystemu dołączają również startupy, spin-offy i firmy technologiczne, 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. QPoland, czy koła naukowe przy uczelniach.

Mimo tych zasobów, Polska nadal nie posiada mechanizmu koordynującego dostępne aktywa organizacyjne i infrastrukturalne, zapewniającego długoterminowo stabilne finansowanie badań oraz ich trwałe powiązanie z przemysłem i odbiorcami publicznymi. Rozproszenie inicjatyw, brak spójnej wizji rozwojowej w postaci dedykowanego technologiom kwantowym dokumentu strategicznego 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 Rozwoju Technologii Kwantowych będzie miała 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:

1. Osiągnięcie kwantowej suwerenności technologicznej, rozumianej jako zdolność do samodzielnego wytwarzania, wdrażania i ochrony kluczowych komponentów infrastruktury w obszarze obliczeń, komunikacji, sensoryki oraz bezpieczeństwa danych;
2. Rozwinięcie zintegrowanego ekosystemu technologii kwantowych, opartego na ścisłej współpracy między uczelniami, instytutami badawczymi i naukowymi, sektorem publicznym i sektorem prywatnym. Powinno być to środowisko umożliwiające wymianę wiedzy, wspólne prowadzenie badań i realizację projektów opartych na fizycznej infrastrukturze kwantowej dostępnej w kraju oraz systemach udostępnianych w trybie zdalnym. Szczególną rolę powinny odgrywać centra transferu technologii oraz spin-offy i startupy technologiczne, które mogą skutecznie komercjalizować wyniki badań naukowych, zapewniając im praktyczne zastosowania i zapobiegając sytuacji, w której wartościowe prace badawcze pozostają bez przełożenia na gospodarkę;
3. Trwałe włączenie Polski w ekosystem globalny jako partnera współtworzącego, a nie jedynie jako użytkownika czy konsumenta technologii;
4. Wypromowanie dorobku Polski w świecie i wypracowanie znakomitej marki naszego kraju w obszarach technologii kwantowych - „Polska Szkoła Kwantowa”;
5. Wsparcie badań naukowych (podstawowych i aplikacyjnych) oraz powiązanie ich z zastosowaniami przemysłowymi poprzez pilotaże, testowe wdrożenia, tworzenie „piaskownic” i system zachęt inwestycyjnych. Kluczowe jest stworzenie warunków do skutecznej komercjalizacji wyników badań i ich eksportu na rynki zagraniczne, co wymaga mobilizacji odpowiedniego kapitału typu deep-tech, niezbędnego ze względu na wysoką złożoność i długofalowy charakter rozwoju technologii kwantowych;
6. Rozwijanie bezpiecznej komunikacji kwantowej (np. kwantowej dystrybucji klucza (z ang. QKD)) oraz algorytmów postkwantowej kryptografii (z ang. PQC) i ich wdrażanie w systemach cywilnych i wojskowych;
7. Wypracowanie przewag (wsparcie dla istniejących krajowych specjalizacji i zdefiniowanie nowych) w obszarach takich jak obliczenia kwantowe, komunikacja (w tym kryptografia kwantowa i postkwantowa), sensoryka i metrologia kwantowa, technologie umożliwiające/wspierające;
8. Zapewnienie odpowiednich warunków do kształcenia potrzebnych kadr naukowych, dydaktycznych, wdrożeniowych (inżynierskich, biznesowych i administracyjnych) i usługowych, m.in. poprzez rozwój infrastruktury

badawczej, dydaktycznej i wdrożeniowej oraz poprzez tworzenie kierunków zamawianych i ram kwalifikacji programów kształcenia;

9. Zapewnienie niedyskryminacyjnego dostępu do technologii kwantowych oraz udziału w ich tworzeniu, obsłudze i konsumpcji wszystkim obywatelom RP, w tym grupom niedoreprezentowanym (w szczególności kobietom, osobom z niepełnosprawnościami, osobom z mniej rozwiniętych obszarów);
10. Zapewnienie przystępnej komunikacji do społeczeństwa popularyzującej technologie kwantowe wszystkim grupom społecznym, w tym najmłodszym, zachęcając ich do edukacji i działań w tym obszarze;
11. Zapewnienie odpowiedniej spójności z działaniami wynikającymi z innych strategii i polityk krajowych oraz z działaniami na poziomie Unii Europejskiej.

Stan obecny

do 2035 roku



Ministerstwo
Cyfryzacji

Tu tworzymy przyszłość

Stan obecny

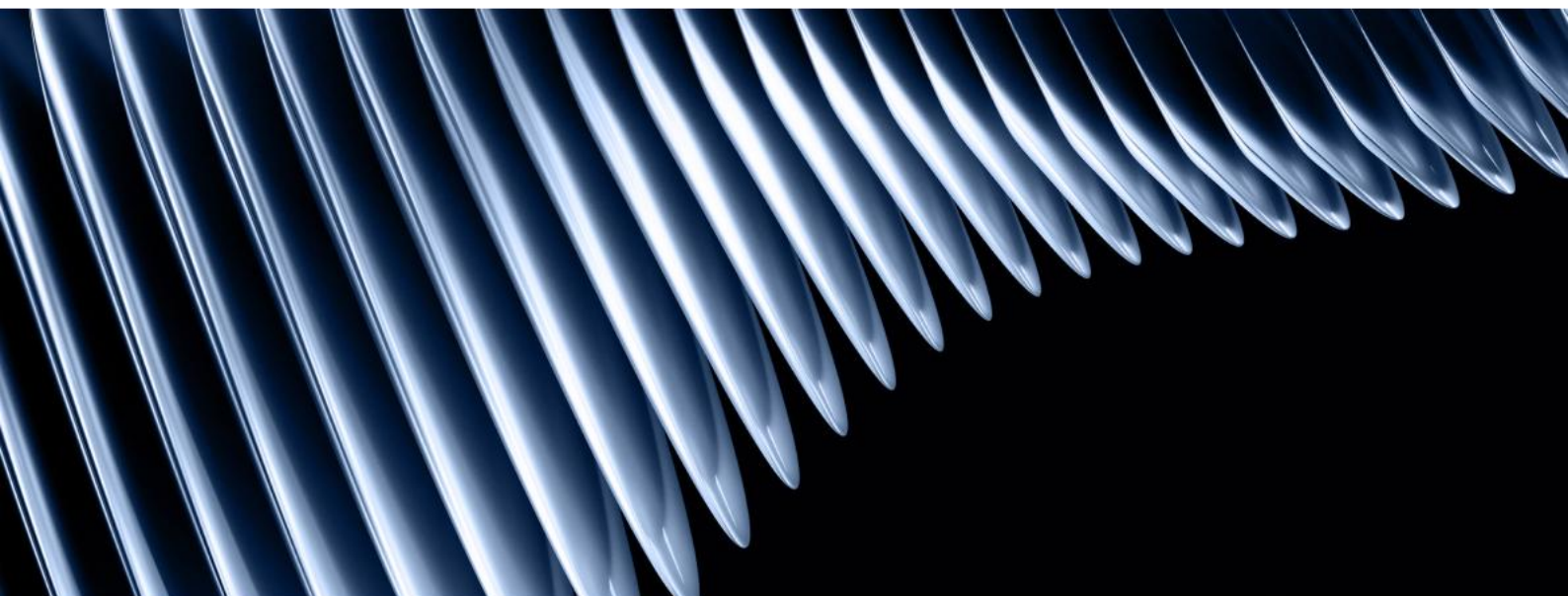
Mocne strony

1. Wysokie kompetencje teoretyczne: matematyka, kryptografia, informatyka, fizyka, silna szkoła algorytmiki;
2. Wysokie kompetencje eksperymentalne na poziomie nauk podstawowych w wybranych obszarach;
3. Przykłady infrastruktury kwantowej, m.in.: sieciowej i obliczeniowej;
4. Udział w projektach międzynarodowych (np. QuantERA, EuroQCI, EuroHPC JU, ERC), dzięki czemu Polska ma dostęp do najnowszych badań, doświadczeń, kontaktów międzynarodowych i know-how. W Polsce realizowane są również prestiżowe projekty badawcze finansowane przez programy europejskie (np. Horyzont Europa, Cyfrowa Europa, EURAMET);
5. Powstający ekosystem: firmy i spin-offy z potencjałem eksportowym. Mimo trudności, są firmy, które już dziś zdobywają międzynarodowe projekty; zamówienia i wyróżnienia, potwierdzając konkurencyjność polskich innowacji;
6. Duża diaspora naukowo-technologiczna dająca szanse na budowanie współprac międzynarodowych.

Słabe strony

1. Trwale zbyt niski poziom finansowania edukacji, nauki i wdrożeń - brak stabilnej, długoterminowej ścieżki budżetowej dla finansowania nauki, w tym utrzymania kadr i infrastruktury badawczej;
2. Brak efektywnych ścieżek transferu wyników prac R&D do przemysłu;
3. Zbyt mała liczba kompleksowych i dostosowanych do potrzeb rynku ścieżek kształcenia w obszarze technologii kwantowych w systemie edukacji w Polsce;
4. Brak systemowej ścieżki kształcenia dla profesjonalistów aktywnych zawodowo;
5. Brak ułatwień migracyjnych dla talentów z zagranicy;
6. Brak wystarczających zachęt do kształcenia się w obszarze fizyki, matematyki i technologii kwantowych;
7. Brak wystarczających zachęt dla kadry kształcącej w szkołach podstawowych i średnich w zakresie STEM (szczególnie fizyki);
8. Brak rynku wewnętrznego oraz kapitału inwestycyjnego dedykowanego technologiom kwantowym;
9. Niedostateczne powiązanie nauki z przemysłem - mało projektów pilotażowych wdrożeniowych, ograniczony popyt, brak rynku odbiorców, zbyt mało laboratoriów badawczych i technologicznych oraz pilotaży;
10. Brak systemowego mapowania ekosystemu kwantowego w Polsce;
11. Zbyt niskie uczestnictwo podmiotów z Polski w międzynarodowych projektach dotyczących technologii kwantowych w stosunku do potencjału;

12. Brak formalnie uchwalonej polityki krajowej i dedykowanego finansowania na rozwój technologii kwantowych wzorem innych państw;
13. Brak wystarczającej świadomości w społeczeństwie możliwości i zagrożeń związanych z technologiami kwantowymi.



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. Wiele krajów już uchwaliło i realizuje własne strategie kwantowe i tylko szybkie działanie zapewni, że Polska nie straci szansy na bycie jednym z liderów w obszarze technologii kwantowych w perspektywie 10 lat.

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, wdrożone zostaną również rozwiązania kryptografii postkwantowej. Docelowo w roku 2036 Polska stanie się innowacyjnym, mocno zsieciowanym ośrodkiem i jednym z liderów Europejskiej Doliny Kwantowej przy zachowaniu zdolności do działań własnych. Warunkiem realizacji tej wizji jest 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.

Rekomendacje:

1. Polityka Rozwoju Technologii Kwantowych powinna obejmować perspektywę lat 2027-2036 i zawierać konkretne cele do realizacji co najmniej do 2028 roku.
Przykładowe działania:
 - a. inwentaryzacja ekosystemu i wypracowanie mechanizmów jej aktualizacji;
 - b. analiza uwarunkowań prawnych rozwoju technologii kwantowych oraz przygotowanie i przyjęcie aktów prawnych wspierających realizację celów Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych;

- c. uruchomienie docelowych programów finansowania;
- d. utworzenie planowanych kierunków studiów;
- e. zakup infrastruktury umożliwiającej realizacji celów Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych;
- f. stworzenie platformy dla środowiska naukowego i biznesowego do komunikacji celem planowania działań dotyczących realizacji wspólnych projektów;
- g. działania, które mogą być realizowane w ramach aktualnych programów i organizacji, np. granty badawcze, szybkie granty proof-of-concept, programy pilotażowe we współpracy z przemysłem, wojskiem i administracją / sektorem publicznym.



Mechanizm koordynacyjny

Stworzenie efektywnego ekosystemu kwantowego wymaga koordynacji na poziomie centralnym. Zadaniem państwa jest skonsolidowanie dotychczas samoorganizującego się oddolnie poprzez inicjatywy społeczne ekosystemu kwantowego i nadanie mu wspólnego kierunku, stanowi to istotny etap rozwoju technologii kwantowych w Polsce.

Koordynatorem realizacji Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych w Polsce będzie Ministerstwo Cyfryzacji. Utworzony zostanie międzyresortowy zespół (z udziałem przedstawicieli MC, MNiSW, MRiT, MF, MON, MEN) oraz kluczowych interesariuszy akademickich i biznesowych realizujący wdrażanie Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych.

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

Rekomendacje:

1. Utworzenie zespołu realizującego wdrażanie Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych, z udziałem przedstawicieli MC, MNiSW, MRiT, MF, MON, MEN, MFiPR oraz kluczowych interesariuszy akademickich i biznesowych. Jego zadania: planowanie, monitoring, raportowanie, synchronizacja krajowych działań, aby zapewnić realizację Polityki Rozwoju technologii Kwantowych oraz jej zgodność z europejskimi inicjatywami związanymi z technologiami kwantowymi, a także z innymi polskimi strategiami i politykami, w szczególności w obszarze: cyfryzacji, obrony, rozwoju sztucznej inteligencji, kosmosu, edukacji i półprzewodników. Zespół ten będzie mógł również proponować zmiany w Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych;
2. Polityka kwantowa powinna być rewidowana nie rzadziej niż raz na rok, m.in. na podstawie KPI oraz stanu rozwoju technologii kwantowych na świecie;
3. Należy zadbać o systemowe, regularne mapowanie ekosystemu Technologii Kwantowych w Polsce;
4. Określenie kamieni milowych i wskaźników (KPI) dla wszystkich części ekosystemu kwantowego w zakresie:
 - 4.1. **Finansowania i inwestycji** (np. łączna wartość programów finansowanych ze środków publicznych i prywatnych, w tym krajowych programów na badania podstawowe, badania stosowane, programów B+R oraz wdrożeniowych; wartość dedykowanych programów inwestycyjnych dla polskich spółek i nowych podmiotów działających w

technologiach kwantowych, suma środków przeznaczonych na rozwój i utrzymanie infrastruktury kwantowej, w tym zakup infrastruktury lub jej elementów wytworzonych przez polskie podmioty; łączna kwota współfinansowania pozyskanego przez polskie organizacje ze środków europejskich, a także wartość środków przeznaczonych na dodatkowe wyposażenie i zajęcia STEM);

4.2. **Badań naukowych i międzynarodowej współpracy** (np. liczba projektów europejskich i międzynarodowych realizowanych z udziałem polskich podmiotów, w szczególności w rolach liderów lub koordynatorów oraz jako członków konsorcjów współfinansowanych przez instytucje europejskie; liczba i jakość grup badawczych działających w Polsce, ocenianych ekspercko jako reprezentujące solidny lub najwyższy światowy poziom; skala aktywności publikacyjnej mierzona liczbą publikacji w znaczących międzynarodowych czasopismach naukowych; liczba światowej klasy naukowców pracujących w polskich ośrodkach badawczych; oraz trwał podniesienie poziomu polskiej nauki w obszarze kwantowych technologii i ich zastosowań, wynikające ze wzrostu liczby projektów, grup badawczych i udziału polskich zespołów w międzynarodowej współpracy);

4.3. **Rozwoju przemysłu, komercjalizacji i transferu technologii** (np. skala aktywności patentowej i wdrożeniowej w technologiach kwantowych; intensywność współpracy publiczno-prywatnej i publiczno-publicznej oraz rola instytucji akceleratorów; liczba przedsiębiorstw rozwijających i wdrażających innowacje produktowe i procesowe oraz oferujących polskie produkty i usługi kwantowe, w tym tych objętych certyfikacją; poziom komercjalizacji mierzony przychodami z wdrożeń, wykorzystaniem technologii kwantowych w sektorze publicznym i prywatnym, wzrostem zatrudnienia oraz udziałem polskiego przemysłu w europejskim rynku; skala prywatnych nakładów inwestycyjnych i udział krajowych komponentów w systemach kwantowych wdrażanych w Polsce);

4.4. **Kapitału ludzkiego, talentów i edukacji** (np. liczba programów kształcenia w szkolnictwie wyższym oraz absolwentów, doktorów i doktoratów wdrożeniowych w obszarach związanych z technologiami kwantowymi; liczba uczestników certyfikowanych szkoleń oraz pracowników badawczych i badawczo-dydaktycznych, w tym zajęć STEM; atrakcyjność Polski jako miejsca rozwoju kariery naukowej mierzona napływem zagranicznych naukowców i powrotami polskich ekspertów; a także wzrost liczby specjalistów wykorzystujących technologie kwantowe w sektorze publicznym i prywatnym oraz skala działań popularyzujących wiedzę o technologiach kwantowych);

4.5. **Infrastruktury i suwerenności technologicznej** (np. liczba centrów i laboratoriów z dostępem do zaawansowanej infrastruktury kwantowej oraz liczba ośrodków rozwijających technologie kwantowe w ramach krajowego ekosystemu kwantowego; skala krajowej infrastruktury komunikacji i obliczeń kwantowych, mierzona m.in.

długością łączy komunikacji kwantowej i kwantowej komunikacji satelitarnej oraz stopniem integracji infrastruktury kwantowej z klasycznymi systemami HPC i AI; dostępność i potencjał kwantowej infrastruktury obliczeniowej, wyrażone liczbą stabilnych kubitów logicznych; liczba użytkowników i instytucji korzystających z infrastruktury kwantowej w obszarach komunikacji, obliczeń, sensorów i metrologii; poziom wykorzystania technologii kwantowych w sektorach krytycznych i dual-use; a także udział krajowych technologii w rozwijanej i eksploatowanej infrastrukturze kwantowej).

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.

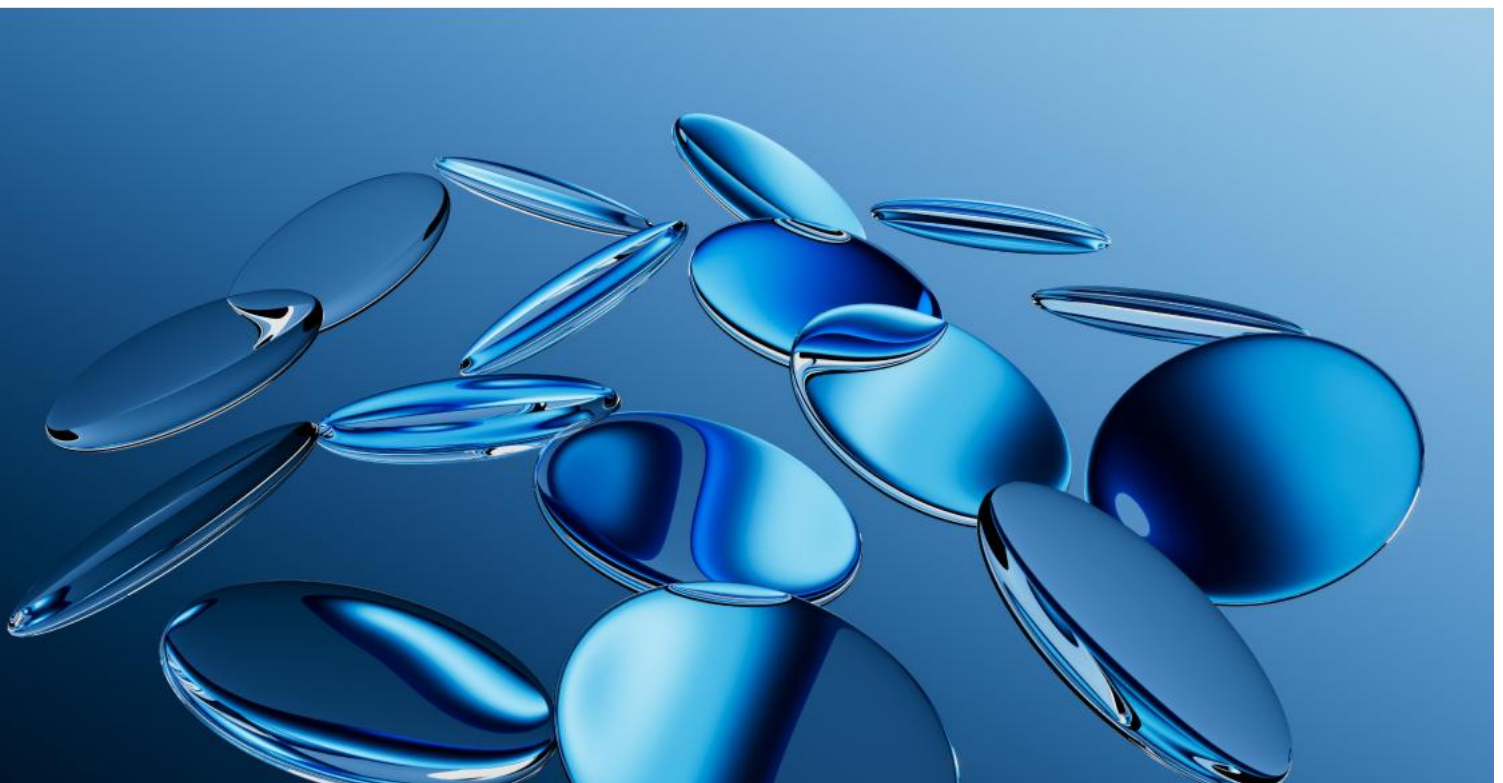
Ze względu na wczesny etap rozwojowy oraz nieprzewidywalne tempo „rewolucji kwantowej”, inwestycje w te technologie należą do tych najwyższego ryzyka. W związku z tym niezwykle trudno znaleźć jest na rynku stabilne finansowanie i konieczne jest systemowe wsparcie publiczne. Aby Polityka Rozwoju Technologii Kwantowych mogła zostać w pełni zrealizowana, niezbędne jest określenie i zapewnienie minimalnego pułapu inwestycji publicznych oraz pobudzenie inwestycji prywatnych.

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:

1. Określenie i zapewnienie minimalnego pułapu inwestycji krajowych i europejskich: co najmniej 1 mld EUR w ciągu 10 lat.
2. W Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych należy też zapisać rekomendowany minimalny roczny poziom finansowania co najmniej do 2030 roku.
3. Docelowo roczny poziom finansowania publicznego powinien zależeć od potrzeb i być uzależniony od PKB;
4. W Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych powinny znaleźć się rekomendacje głównych źródeł finansowania jej realizacji, a także wstępny plan wydatkowania inwestycji przynajmniej do końca 2028 roku;
5. Zapewnienie ciągłości finansowania umożliwiającej osiągnięcie odpowiedniej skali działań. Finansowanie powinno dotyczyć wszystkich komponentów łańcucha kształcenia i dostaw:
 - 5.1. Kształcenie kadr: infrastruktura dydaktyczna / laboratoria, studia zamawiane, stypendia (w tym stypendia mobilnościowe), staże, popularyzacja obszaru STEM wśród dzieci i młodzieży;

- 5.2. Infrastruktura badawcza i wdrożeniowa, np. obliczeniowa i komunikacyjna (jednostki obliczeniowe, PIONIER-Q, PIONIER-Q-SAT);
- 5.3. Prace badawcze na wszystkich poziomach gotowości technologicznej;
- 5.4. Wsparcie wdrożeń (wsparcie tworzenia spin-offów i start-upów, granty na współpracę naukowo-przemysłową, wsparcie procesu patentowania, wsparcie skalowania);
- 6. Podział finansowania publicznego powinien być jasno określony, ale możliwy do adaptacji w kolejnych latach. Powinien również wzmacniać odporność strategiczną państwa. Jako domyślny podział można przyjąć rekomendacje zawarte w Manifeście Kwantowym (ale docelowo powinien on być dostosowywany do potrzeb):
 - 6.1. Badania podstawowe (ok. 24% budżetu);
 - 6.2. Aplikacje i wdrożenia (ok. 24% budżetu);
 - 6.3. Infrastruktura (ok. 22% budżetu);
 - 6.4. Kształcenie (ok. 21% budżetu);
 - 6.5. Upowszechnianie, popularyzacja i koordynacja (ok. 9% budżetu).
- 7. Zapewnienie inwestycji w sektorze kwantowym w Polsce, w formie grantów, pożyczek lub kapitału udziałowego przy ścisłej współpracy z funduszami venture capital oraz instytucjami finansowymi. Ma to na celu wzmocnienie suwerenności technologicznej Polski i Europy;
- 8. Wprowadzanie zachęt do inwestowania w technologie kwantowe przez firmy i osoby prywatne (z Polski i z innych krajów);
- 9. Integracja źródeł finansowania ze strategią kosmiczną i strategią obronną (technologie o podwójnym zastosowaniu, z ang. dual use);
- 10. Zapewnienie finansowania dla inicjatyw międzynarodowych (m.in. z programów europejskich) realizowanych w schemacie współfinansowania;
- 11. Zapewnienie finansowania na wspieranie konsorcjów w formule partnerstwa publiczno-prywatnego (z udziałem spółek Skarbu Państwa) pomagających wdrożyć rozwiązania na wysokim poziomie gotowości technologicznej.



Kadry i kompetencje

Polska dysponuje znaczącym potencjałem kadrowym. Jakość studentów i ekspertów STEM w Polsce jest powszechnie ceniona i uznawana za jedną z najlepszych 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 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 oraz mechanizmy zachęcające osoby z wyższym wykształceniem do kontynuowania pracy w dziedzinie technologii kwantowych, zarówno na uczelniach wyższych i w instytutach badawczych, jak i w firmach high-tech lub deep-tech działających w obszarze technologii kwantowych.

Do tego typu działań należy jednak podchodzić ostrożnie. Ponieważ rozwój technologii kwantowych jest trudny do przewidzenia, istnieje ryzyko wykształcenia zbyt dużej liczby specjalistów, którzy mogą okazać się być niepotrzebni na polskim rynku pracy.

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:

1. Utworzenie do 2028 roku kilku 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; Dokładna liczba takich programów akademickich powinna uwzględniać

- istniejące już programy studiów oraz prognozowane zapotrzebowanie rynku oraz jednostek badawczych;
2. Stworzenie na uczelniach laboratoriów testowych (software i hardware);
 3. Stworzenie programów stypendialnych, zachęty dla utalentowanych osób z Polski i spoza Polski do studiowania w naszym kraju i prowadzenia badań, ale także do odbywania staży w czołowych ośrodkach naukowych
 4. Przygotowanie programu pozyskania, kooperacji i współpracy ze znakomitymi ekspertami, m.in. pochodzenia polskiego, obecnie pracującymi poza granicami Polski;
 5. Organizowanie specjalistycznych szkoleń dla kadry przemysłowej i administracyjnej, obejmujących również programy certyfikacyjne w zakresie technologii kwantowych oraz integracji z systemami krytycznymi;
 6. Rozwój programów szkoleniowych, mentoringowych i wsparcie inicjatyw (np. edukacja nieformalna) mających na celu popularyzację technologii kwantowych oraz kształcenie i organizowanie sieci osób związanych z technologiami kwantowymi;
 7. Utrzymanie i podnoszenie poziomu edukacji w obszarze przedmiotów ścisłych (głównie matematyki, fizyki, informatyki, chemii) w szkołach podstawowych i średnich. Inspirowanie i zachęcanie młodzieży do zajmowania się naukami ścisłymi i technicznymi, w tym technologiami kwantowymi, m.in. poprzez działania popularyzujące naukę, konkursy i inne działania dedykowane uczniom szkół średnich uzdolnionych w obszarze STEM;
 8. Włączenie wiedzy o istnieniu technologii kwantowych do podstawy programowej szkół średnich;
 9. Dodatkowe możliwości edukacyjne dla zainteresowanych (np. poprzez polskie organizacje pozarządowe współpracujące z młodzieżą);
 10. Utworzenie kursów doskonalących dla zainteresowanych nauczycieli fizyki i informatyki w szkołach ponadpodstawowych;
 11. W celu realizacji zakładanych działań należy zwiększyć poziom finansowania edukacji w Polsce, zwłaszcza w obszarze STEM.



Badania naukowe

Technologie kwantowe wciąż rozwijają się dynamicznie i jeszcze przez wiele lat badania naukowe w tej dziedzinie będą kluczowe dla opracowania innowacyjnych rozwiązań i wypracowania przewag. Kluczowa jest odpowiednia organizacja, w tym odpowiedni poziom finansowania, prowadzonych w Polsce badań naukowych, zarówno podstawowych, jak i aplikacyjnych.

Przykłady z innych polityk: Wielka Brytania – 10-letni plan badawczy (na lata 2024-2034) z finansowaniem na poziomie 2.5 mld funtów. Dania: 1 miliard koron duńskich na badania naukowe na lata 2023-2027.

Rekomendacje:

1. Przyjęcie Programu Badawczego, zakładającego kompleksowe podejście i długoterminową strategię dystrybucji środków na każdym poziomie gotowości technologicznej (startując od badań podstawowych i stosowanych) poprzez otwarte konkursy (w tym również dotyczące współpracy uczelni i instytutów badawczych i naukowych z biznesem), ale również systemowe zapewnienie ciągłości finansowania dla kluczowych kadr, projektów, infrastruktur i instytucji poza systemem konkursowym;
2. Organizacja rozproszonych naukowych hubów dziedzinowych (obliczenia kwantowe, komunikacja kwantowa, metrologia kwantowa, itp.), które pozwolą zintegrować ekosystem kwantowy (także z uwzględnieniem mniejszych jednostek organizacyjnych prowadzących prace badawcze lub badawczo-rozwojowe), oraz wzmocnić potencjał badawczy, badawczo-rozwojowy i wdrożeniowego. Takie huby mogłyby powstać na bazie istniejących już ośrodków;
3. Warto rozważyć utworzenie jednostki wspierającej finansowanie, rozwój i wdrażanie wyników prac badawczych lub badawczo-rozwojowych, która miałaby swój wydzielony budżet i finansowała projekty badawcze w wybranych specjalizacjach technologii kwantowych. Być może taka jednostka mogłaby funkcjonować w ramach NCN lub NCBR. Kluczowe jest uproszczenie procedur administracyjnych;
4. Wsparcie procesu wdrożenia i komercjalizacji wyników prac badawczych i badawczo-rozwojowych (np. programy inkubacyjne, doradztwo prawne i patentowe, wsparcie w tworzeniu spin-offów);
5. Wspieranie udziału przedstawicieli nauki w Polsce w międzynarodowych gremiach i organizacjach.

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. Pozwoli to na korzystny rozkład zasobów, aby Polska mogła stać się liderem w danych dziedzinach i z roli nabywców technologii stała się jej dostarczycielem, oraz by stała się ośrodkiem, gdzie Polscy naukowcy oraz inżynierowie mogą się kształcić oraz prowadzić badania bez konieczności wyjazdu do zagranicznych ośrodków. Na wybrane specjalizacje powinno być przeznaczone większe, długoterminowe finansowanie, umożliwiające osiągnięcie celów Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych.

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

Rekomendacje:

1. W każdej z dziedzin technologii kwantowych należy wybrać kluczowe specjalizacje, uwzględniając cele wynikające z istniejących już dokumentów strategicznych (np. "Strategii Bezpieczeństwa Narodowego Rzeczypospolitej 2025"), krajowych kompetencji i potencjalnego wpływu wybranych technologii na rozwój gospodarczy. Wybrane specjalizacje zostaną zapisane w Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych po konsultacji z ekspertami dziedzinowymi i interesariuszami. Przykładowe specjalizacje do rozważenia:
 - 1.1. Obliczenia kwantowe: algorytmika kwantowa i hybrydowa, kwantowe uczenie maszynowe, użytkowe oprogramowanie kwantowe, kwantowa korekcja błędów, środowiska i narzędzia deweloperskie (np. SDK, emulatorzy, symulatory), kwantowa i hybrydowa otwarta obliczeniowa infrastruktura sprzętowo-programowa, budowa komputerów kwantowych i hybrydowych oraz ich komponentów;

- 1.2. Komunikacja: kwantowa dystrybucja klucza, kryptografia kwantowa i postkwantowa, kwantowa generacja liczb losowych, urządzenia do komunikacji kwantowej, elementy rozwojowe (np. źródła splątania kwantowego, repeatery i pamięci kwantowe), stos protokołów i interfejsów kwantowego Internetu, teleportacja kwantowa;
- 1.3. Sensoryka i metrologia kwantowa: kwantowa detekcja pól elektromagnetycznych w tym magnetometria, optyczna detekcja zanieczyszczeń gazowych i analiza izotopowa, grawimetria kwantowa, nawigacja kwantowa, zegary kwantowe, sensory kwantowe, radary kwantowe;
- 1.4. Technologie umożliwiające/wspierające: AI, zastosowania inżynierii materiałowej do rozwijania technologii kwantowych, elektroniczne i optoelektroniczne systemy sterowania, technologie fotoniczne, kriogenika.

Ponadto, w ramach Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych należy zidentyfikować kluczowe obszary gospodarki, w których technologia kwantowa ma potencjał zwiększenia produktywności, bezpieczeństwa i wydajności. Celem będzie również wsparcie zastosowania technologii kwantowych w tych obszarach oraz wypracowanie kompetencji do tworzenia i wdrażania kwantowych aplikacji końcowych i usług dla użytkownika końcowego, w szczególności dual-use. Taka identyfikacja będzie wymagała przygotowania trybu i kryteriów ich wyboru. Wybrane obszary zostaną zapisane w Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych po konsultacji z ekspertami dziedzinowymi i interesariuszami.

Wybór specjalizacji i obszarów będzie wymagał przygotowania kryteriów, trybu i metodologii ich wyboru.

Infrastruktura

Zarówno kształcenie kadr, jak i prowadzenie badań czy realizacja wdrożeń, wymagają odpowiedniej infrastruktury.

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:

1. Rozbudowanie, upowszechnienie dostępu i możliwości testowania polskich rozwiązań technologicznych przy pomocy sieci PIONIER-Q, z naciskiem na segment transgraniczny, zgodność z EuroQCI, priorytetyzację zastosowania produktów krajowych oraz wsparcie rozwoju polskich kompetencji przy rozbudowie sieci.
2. W Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych powinna znaleźć się strategia pozyskiwania przez Polskę dostępu do kwantowej mocy obliczeniowej (w miarę jej rozwoju), uwzględniająca następujące możliwości:
3. Zapewnienie dostępu do kwantowej i hybrydowej mocy obliczeniowej poprzez krajowe centra obliczeniowe i w chmurze;
 - 3.1. Budowa własnej infrastruktury jednostek komputerów kwantowych i hybrydowych stymulująca rozwój kompetencji i rozwój gospodarczy w Polsce;
 - 3.2. Zapewnienie komponentów lub gotowych środowisk obliczeniowych kwantowych i hybrydowych o otwartej architekturze ze znaczącym udziałem komponentu badawczo-rozwojowego i szkoleniowego ("offsetu"), stymulującego rozwój kompetencji i rozwój gospodarczy w Polsce;
 - 3.3. Wyznaczenie ról węzłów: obliczenia kwantowe i hybrydowe, zintegrowanie zasobów z superkomputerami klasycznymi i usługami chmurowymi - dostęp dla nauki, przemysłu i spin-offów;
4. Polska powinna posiadać laboratoria precyzyjnego pomiaru czasu i sensorów kwantowych, w tym grawimetrów kwantowych;

5. Rozwinięcie laboratoriów badawczo-rozwojowych w zakresie systemów sterowania QPU, układów kriogenicznych, źródeł splątanych fotonów oraz detektorów nowej generacji.
6. Wsparcie tworzenia pilotażowych linii produkcyjnych do skalowania hardware'u i integracji systemów.
7. Rozwój kompetencji wytwarzania i testowania urządzeń w zakresie głębokich technologii kwantowych (np. kwanty w chipach, półprzewodniki, układy chłodzenia, fotonika, wysoko precyzyjna elektronika pomiarowa, itd.), np. poprzez tworzenie centrów kompetencji.
8. Rekomendowane jest wykorzystania zielonej energii w centrach obliczeniowych, w zgodzie z celami klimatycznymi UE.

Rozwój rynku i gospodarki

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:

1. Program inkubacji start-upów kwantowych (model rynkowy z udziałem krajowym) uzupełniony o dostosowanie ram prawnych do specyfiki spółek deep-tech, tak aby mogły łatwo pozyskiwać kapitał zagraniczny;
2. Wsparcie spin-offów, pilotaży sektorowych (np. finanse, farmacja, energetyka, kryptografia i łączność), procesu transferu wiedzy z uczelni do przemysłu (w tym patentowania);
3. 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;
4. Wsparcie tworzenia rynku i stymulowanie popytu na technologie kwantowe przez sektor publiczny, np. poprzez mechanizmy Pre-Commercial Procurement (PCP) oraz Public Procurement of Innovation (PPI), co nada spółkom i

administracji jasną podstawę prawną do stosowania tych modeli, umożliwi szybsze przejście od badań do wdrożeń i zapewni zgodność z europejskimi praktykami w zakresie innowacyjnych zamówień publicznych;

5. Stworzenie przynajmniej jednej „doliny kwantowej” będącej silnym hubem przyciągającym inwestycje;
6. Promowanie otwartych architektur, co może sprzyjać rozwojowi krajowego łańcucha dostaw;
7. Mechanizmy wsparcia dla polskich firm, które chciałyby integrować własne komponenty czy aplikacje z takim systemem;
8. Mapowanie krajowych software house'ów i firm, które mogą przekształcić swoje kompetencje w kierunku algorytmiki kwantowej i wsparcie tej transformacji;
9. Priorytet dla sektorów kluczowych dla bezpieczeństwa i rozwoju polskiej gospodarki;
10. Stworzenie mechanizmów wsparcia komercjalizacji wyników badań, np. w obszarze ochrony własności intelektualnej (np. fundusz patentowy);
11. Wdrożenie mechanizmów standaryzacji i certyfikacji;
12. Zwiększenie udziału i wpływu przedstawicieli Polski w krajowych, europejskich i międzynarodowych organizacjach standaryzacyjnych, również poprzez wsparcie finansowe.
13. W Polityce Rozwoju Technologii Kwantowych zawarta będzie analiza możliwego wpływu technologii kwantowych i zrealizowania tej Polityki na gospodarkę.



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 Polska powinna możliwie często pełnić rolę lidera lub koordynatora, a jak największa liczba europejskich inicjatyw powinna być realizowana na polskich uczelniach i w krajowych ośrodkach badawczych i wdrożeniowych oraz z udziałem polskich podmiotów komercyjnych. Posiadanie i rozwijanie własnej infrastruktury mogą wzmocnić pozycję Polski w kształtowaniu europejskich regulacji i standardów. 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:

1. Silne powiązanie polskich przedsięwzięć z unijnymi i światowymi inicjatywami, zapewnienie odpowiedniej spójności z polityką kwantową na poziomie europejskim;
2. Zapewnienie budżetu, ram i mechanizmów systemowego dofinansowania międzynarodowych projektów europejskich wymagających wkładu ze środków narodowych.
3. Budowa silniejszych konsorcjów regionalnych w ramach programów i inicjatyw takich jak EuroHPC, Quantum Flagship i innych. Wzmocnienie roli hubów regionalnych gotowych wnosić know-how i zasoby do projektów europejskich;
4. Rozwój współprac bilateralnych w obszarze wymiany kadr, staży badawczych, badań naukowych, testów pilotażowych i przemysłowych;
5. Zapewnienie dostępu do światowego know-how, m.in. poprzez współpracę naukową i implementacyjną z wybranymi globalnymi liderami;
6. Udział w europejskich środowiskach testowych i pilotażowych;
7. Ustanowienie co najmniej jednego polskiego ośrodka z komputerem kwantowym (bazującym w dominującym stopniu na polskim IP) jako hubu polskiej i międzynarodowej współpracy badawczej;

8. Wspieranie udziału przedstawicieli Polski w międzynarodowych gremiach, organizacjach i inicjatywach.

Bezpieczeństwo postkwantowe

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:

1. 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”);
2. Realizacja pilotażowych wdrożeń systemów kwantowej dystrybucji klucza oraz wsparcie procesu ich hybrydyzacji z PQC.
3. Opracowany zostanie „Plan migracji do kryptografii postkwantowej”, a szczegóły w tym zakresie określi Strategia Cyberbezpieczeństwa Rzeczypospolitej Polskiej;
4. Uzupełnienie krajowych systemów certyfikacji cyberbezpieczeństwa o ścieżki walidacji i certyfikacji rozwiązań odpornych na ataki kwantowe, dostępne dla instytucji i dostawców oprogramowania;
5. Zachęty dla podmiotów zlokalizowanych w krajach UE, a w szczególności w Polsce, do projektowania i wytwarzania większości krytycznych komponentów używanych w infrastrukturze kwantowej (sterowniki, platformy obliczeniowe, komponenty komunikacyjne), budowa „piaskownic” i tzw. testbed’ów;
6. Kluczowe instalacje kwantowe wykorzystywane w Polsce powinny być zlokalizowane w Polsce lub w innych krajach UE.

Edukacja społeczeństwa i inkluzywność

Polityka powinna systemowo przygotować państwo i gospodarkę do adaptacji technologii kwantowych, tak aby w chwili ich upowszechnienia Polska dysponowała odpowiednimi kompetencjami, infrastrukturą i ramami regulacyjnymi.

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:

1. 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;
2. Zapewnienie większej różnorodności talentów w obszarze technologii kwantowych poprzez zwiększenie udziału w programach edukacyjnych, stworzenie programów stypendialnych i mentorskiego wsparcia dla grup niedostatecznie reprezentowanych w dziedzinach STEM / technologii kwantowych (w szczególności kobiet, osób z regionów słabiej rozwiniętych, osób z niepełnosprawnościami);
3. Włączenie organizacji pozarządowych do kampanii i działań wspierających równość w dostępie do kariery w obszarze technologii kwantowych;
4. 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:

1. 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). Może to zostać zrealizowane na przykład poprzez Polski Fundusz Rozwoju;
2. Uruchomienie programów typu co-investment, w których państwo jest współinwestorem wraz z prywatnymi funduszami, minimalizując ryzyko inwestorów i zwiększając kapitał dostępny na rynku;
3. Stworzenie programu wsparcia dla pre-seed/start-upów kwantowych w formule akceleratora technologicznego z komponentem inwestycyjnym (np. analogicznie do programu NCBR BRIDGE Alfa), szkoleniowym i międzynarodowym, obejmującego również współpracę z najlepszymi akceleratorami na świecie.

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:

1. Polityka Rozwoju Technologii Kwantowych będzie spójna z "Europejską deklaracją praw i zasad cyfrowych w cyfrowej dekadzie", europejską strategią "Quantum Europe Strategy: Quantum Europe in a Changing World", "EU Quantum Act", "Strategią Cyfryzacji Państwa". Niniejszy dokument rozszerza działania w obszarze technologii kwantowych ujęte w Krajowym planie działania do programu polityki „Droga ku cyfrowej dekadzie” do 2030 r., pozostając w spójności z jego celami;
2. Polityka Rozwoju Technologii Kwantowych będzie spójna z innymi polskimi strategiami i politykami, w szczególności w obszarze: cyfryzacji, obrony, rozwoju sztucznej inteligencji, kosmosu, edukacji i półprzewodników;
3. Należy dokonać wszechstronną analizę regulacji prawnych oraz wprowadzić rozwiązania prawne wspierające realizację celów Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych, przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiego poziomu praw podstawowych. Podejmowane działania obejmą w szczególności:
 - 3.1. opracowanie wytycznych etycznych dot. tworzenia i wykorzystania poszczególnych technologii kwantowych;
 - 3.2. identyfikację i propozycje eliminacji barier legislacyjnych rozwoju poszczególnych technologii kwantowych, w szczególności w kontekście start – upów, sektora MŚP oraz środowiska akademickiego, m.in. w

- zakresie kosztów kwalifikowanych i niekwalifikowanych, kosztów VAT, zamówień publicznych;
- 3.3. udogodnienia podatkowe na rozwój technologii kwantowych (i innych przełomowych technologii);
 - 3.4. zasady zapewnienia sprawiedliwego dostępu do poszczególnych technologii kwantowych, w tym mocy obliczeniowych komputerów kwantowych oraz bezpiecznej łączności kwantowej;
 - 3.5. zasady ochrony prywatności i danych osobowych, w szczególności w kontekście ryzyka związanego z rozwojem komputerów kwantowych oraz kwantowego uczenia maszynowego;
 - 3.6. zasady wspierania, ochrony i kontroli inwestycji w technologie kwantowe;
 - 3.7. prawa zamówień publicznych w zakresie technologii kwantowych, w tym możliwości uelastycznienia zasad nabywania rozwiązań technologii kwantowych;
 - 3.8. prawo własności intelektualnej, w tym analizę możliwości przyspieszenia i uelastycznienia procesu uzyskania ochrony patentowej na wynalazki z zakresu technologii kwantowych, jak również wzmocnienie ochrony informacji poufnych;
 - 3.9. weryfikacje i ewentualne wprowadzenie dodatkowych mechanizmów kontroli eksportu, tworzenia i obrotu technologią podwójnego przeznaczenia (dual-use);
 - 3.10. normalizację i wdrażanie otwartych standardów w zakresie technologii kwantowych;
 - 3.11. ułatwienia dla środowiska akademickiego w zakresie współpracy międzynarodowej, tworzenia interdyscyplinarnych programów studiów;
 - 3.12. weryfikację adekwatności aktualnych regulacji z zakresu cyberbezpieczeństwa i ochrony informacji poufnych.

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 kryptografii kwantowej i postkwantowej oraz konsekwentne zapobieganie odpływowi talentów. Bez proaktywnego podejścia do tych wyzwań Polska ryzykuje utratę impetu i niewykorzystanie swojego potencjału.

Polityka Rozwoju Technologii Kwantowych 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 istniejące obecnie technologie nie są w stanie sobie samodzielnie poradzić. Prawdopodobnie istotna część potencjału technologii kwantowych nie została jeszcze w pełni rozpoznana. Polska musi uczestniczyć w tym rozwoju i w płynących z niego korzyściach.

Rozwój technologii kwantowych niesie również pewne zagrożenia, np. dotyczące cyberbezpieczeństwa - również na takie wyzwania Polska będzie musiała wypracować rozwiązania.

Poprzez konsekwentne wdrażanie Polityki Rozwoju Technologii Kwantowych, 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.