**IBM prezentuje plan budowy pierwszego na świecie,  
wielkoskalowego i odpornego na błędy komputera kwantowego  
w nowym Centrum Danych IBM Quantum**

* *IBM ogłasza zaktualizowany plan rozwoju technologii kwantowej, nowe procesory oraz infrastrukturę, prezentując kroki do stworzenia IBM Quantum Starling, pierwszego wielkoskalowego komputera kwantowego odpornego na błędy.*
* *Przełomowe badania określają kluczowe elementy wydajnej architektury odpornej na błędy, wytyczając pierwszą realną drogę do stworzenia systemu zdolnego wykonać 20 000 razy więcej operacji niż współczesne komputery kwantowe.*
* *Do zapisania stanu obliczeniowego komputera IBM Starling potrzebna byłaby pamięć większa niż zasoby ponad kwindecyliona (10^48) najmocniejszych superkomputerów na świecie.*

**YORKTOWN HEIGHTS, NOWY JORK – 10 czerwca 2025 r.** – IBM ogłosił plan budowy pierwszego na świecie, wielkoskalowego komputera kwantowego odpornego na błędy, torując drogę do praktycznego i skalowalnego przetwarzania kwantowego.

Do 2029 roku powstanie IBM Quantum Starling, który zostanie zbudowany w nowym centrum danych IBM Quantum w Poughkeepsie w stanie Nowy Jork. Maszyna ta ma być zdolna do wykonywania aż 20 000 razy więcej operacji niż dzisiejsze komputery kwantowe. Aby odwzorować stan systemu obliczeniowego IBM Starling, potrzeba byłoby więcej pamięci niż posiada ponad kwindecylion (10^48) najpotężniejszych superkomputerów na świecie. Dzięki Starlingowi użytkownicy będą mogli w pełni eksplorować złożoność stanów kwantowych, przekraczającą możliwości obecnych technologii, które pozwalają jedynie na dostęp do ograniczonego zakresu ich właściwości.

IBM, który już teraz dysponuje rozbudowaną, globalną siecią komputerów kwantowych, publikuje nowy plan rozwoju technologii kwantowych [Quantum Roadmap](https://www.ibm.com/quantum/technology#roadmap), który zakłada stworzenie praktycznego, odpornego na błędy komputera kwantowego.

„IBM wyznacza nowy horyzont dla technologii kwantowej” – powiedział Arvind Krishna, prezes i dyrektor generalny IBM. „Nasze doświadczenie z zakresu matematyki, fizyki i inżynierii toruje drogę do stworzenia wielkoskalowego, odpornego na błędy komputera kwantowego. Takiego, który będzie rozwiązywać rzeczywiste wyzwania i otworzy ogromne możliwości dla biznesu”.

Wielkoskalowy komputer kwantowy odporny na błędy, wyposażony w setki lub tysiące kubitów logicznych, mógłby wykonywać setki milionów, a nawet miliardy operacji, co mogłoby znacząco przyspieszyć procesy i zwiększyć efektywność kosztową w takich zastosowaniach jak opracowywanie leków, odkrywanie nowych materiałów, chemia czy optymalizacja.

Starling będzie w stanie osiągnąć moc obliczeniową niezbędną do rozwiązywania tego typu zagadnień, **wykonując 100 milionów operacji kwantowych przy użyciu 200 kubitów logicznych**. Będzie podstawą dla IBM Quantum Blue Jay, który będzie w stanie wykonać **1 miliard operacji kwantowych z wykorzystaniem 2 000 kubitów logicznych**.

Kubit logiczny to jednostka komputera kwantowego z korekcją błędów, której zadaniem jest przechowywanie informacji kwantowych o wartości jednego kubitu. Może być utworzony z wielu fizycznych kubitów, współpracujących ze sobą w celu przechowywania tych informacji i monitorowania się nawzajem pod kątem błędów.

Podobnie jak klasyczne komputery, komputery kwantowe wymagają korekcji błędów, aby mogły niezawodnie wykonywać złożone obciążenia obliczeniowe. Aby to zrobić, klastry fizycznych kubitów są używane do tworzenia mniejszej liczby logicznych kubitów z niższymi współczynnikami błędów niż bazowe kubity fizyczne. Współczynnik błędów kubitów logicznych zmniejsza się wykładniczo wraz z rozmiarem klastra, co umożliwia wykonywanie coraz większej liczby operacji.

Zwiększanie liczby kubitów logicznych zdolnych do uruchamiania obwodów kwantowych, przy jednoczesnej minimalizacji liczby wymaganych kubitów fizycznych, ma kluczowe znaczenie dla skalowania komputerów kwantowych. Do tej pory nie opublikowano jednak jasnego planu budowy odpornego na błędy systemu kwantowego, która nie zakładałaby nierealistycznych wymagań inżynieryjnych.

**Droga do wielkoskalowej odporności na błędy**

Sukces w realizacji wydajnej architektury odpornej na błędy zależy od doboru odpowiedniego kodu korekcji błędów oraz od tego, jak system zostanie zaprojektowany i zbudowany, aby umożliwić skalowanie tego kodu.

Alternatywne i dotychczasowe, w tym uznawane za złoty standard, kody korekcji błędów wiążą się z poważnymi wyzwaniami inżynieryjnymi. Aby osiągnąć skalowalność, wymagają one bowiem nieosiągalnej liczby kubitów fizycznych potrzebnych do utworzenia wystarczającej liczby kubitów logicznych, zdolnych do realizacji złożonych operacji. Wymagałoby to niepraktycznych zasobów infrastrukturalnych oraz rozbudowanej elektroniki sterującej. To sprawia, że ​​mało prawdopodobne jest ich wdrożenie poza eksperymentami i urządzeniami na małą skalę.

Do stworzenia wielkoskalowego, odpornego na błędy komputera kwantowego niezbędna jest architektura, która spełnia następujące warunki:

* **Odporność na błędy**, pozwalająca skutecznie tłumić ich występowanie, tak aby możliwe było uruchamianie użytecznych algorytmów.
* Zdolność do przygotowywania i odczytywania **kubitów logicznych** w trakcie obliczeń.
* Możliwość stosowania **uniwersalnych instrukcji** na kubitach logicznych.
* **Dekodowanie wyników pomiarów kubitów logicznych w czasie rzeczywistym** oraz możliwość modyfikowania kolejnych instrukcji w zależności od tych wyników.
* **Modularność**, umożliwiająca skalowanie systemu do setek lub tysięcy kubitów logicznych, niezbędnych do uruchamiania bardziej złożonych algorytmów.
* **Wydajność**, pozwalająca na realizację rzeczywistych algorytmów przy zachowaniu realistycznych nakładów fizycznych, takich jak energia i infrastruktura.

Dziś IBM zaprezentował dwa nowe opracowania techniczne, w których szczegółowo opisuje, jak planuje rozwiązać pozostałe wyzwania związane z budową wielkoskalowej architektury kwantowej odpornej na błędy.

[Pierwszy](https://arxiv.org/abs/2506.03094) z nich przedstawia sposób, w jaki taki system będzie przetwarzać instrukcje i skutecznie wykonywać operacje dzięki zastosowaniu kodów qLDPC. Opracowanie to opiera się na przełomowym podejściu do korekcji błędów, które zostało [przedstawione](https://www.nature.com/articles/s41586-024-07107-7) na okładce ***Nature*** i które wprowadziło kody kontroli parzystości o niskiej gęstości (qLDPC). Kod ten radykalnie ogranicza liczbę kubitów fizycznych potrzebnych do korekcji błędów, zmniejszając całkowite narzuty nawet o 90% w porównaniu z wiodącymi obecnie kodami. Dodatkowo określa on wymagane zasoby potrzebne do niezawodnego uruchamiania wielkoskalowych programów kwantowych, potwierdzając przewagę tej architektury nad innymi.

[Drugi](https://arxiv.org/abs/2506.01779) dokument opisuje, jak efektywnie dekodować informacje z kubitów fizycznych oraz przedstawia drogę do identyfikacji i korekcji błędów w czasie rzeczywistym, z wykorzystaniem konwencjonalnych zasobów obliczeniowych.

**Od planów do rzeczywistości**

Nowa mapa drogowa IBM Quantum Roadmap wyznacza kluczowe etapy w rozwoju technologii, które pozwolą zademonstrować i wdrożyć wszystkie niezbędne kryteria odporności na błędy. Każdy nowy procesor uwzględniony w tym planie został zaprojektowany tak, aby rozwiązywać konkretne wyzwania, budując systemy kwantowe, które są modularne, skalowalne i wyposażone w mechanizmy korekcji błędów.

* **IBM Quantum Loon** – planowany na **2025 rok** – zostanie wykorzystany do testowania komponentów architektury dla kodów qLDPC, w tym tzw. C-couplerów, które umożliwiają łączenie kubitów na większe odległości w ramach jednego układu scalonego.
* **IBM Quantum Kookaburra** – planowany na **2026 rok** – będzie pierwszym modularnym procesorem IBM przeznaczonym do przechowywania i przetwarzania zakodowanej informacji. Połączy on pamięć kwantową z operacjami logicznymi, tworząc podstawowy element umożliwiający skalowanie systemów odpornych na błędy poza pojedynczy czip.
* **IBM Quantum Cockatoo** – planowany na **2027 rok** – połączy dwa moduły Kookaburra przy użyciu tzw. L-couplerów. Taka architektura umożliwi łączenie kwantowych układów scalonych niczym węzłów w większy system, co pozwoli uniknąć konieczności budowania niepraktycznie dużych czipów.

**Wszystkie te działania zmierzają do uruchomienia komputera Starling w 2029 roku.**

Więcej o tym, jak IBM rozwija technologię odporną na błędy w komputerach kwantowych przeczytasz na naszym [blogu](https://www.ibm.com/quantum/blog/large-scale-ftqc?previewToken=eyJhbGciOiJIUzI1NiIsInR5cCI6IkpXVCJ9.eyJpZCI6Mjk2LCJpYXQiOjE3NDkyMzI4MDYsImV4cCI6MTc0OTQ5MjAwNiwic3ViIjoiNDE0MCJ9.O_MfyiHt70Z2jPXlB2qO2ISg0zq_K2I3qBZo_Upwze0#fn-2). Zachęcamy też do obejrzenia najnowszego materiału [wideo](https://www.youtube.com/watch?v=zrZHPil0BTA) z udziałem naukowców z zespołu IBM Quantum.