

## KOMUNIKACJA KWANTOWA DLA EUROPY. NOWA JAKOŚĆ, KTÓRĄ MOGĄ WSPÓŁTWORZYĆ POLSKIE FIRMY I UCZELNIE

---

Europejskie instytucje i państwa regionu przodujące we współpracy nad innowacjami przemysłowymi zgodnie upatrują w technologii komunikacji kwantowej zapowiedzi nowego etapu postępu i awansu rozwojowego tej części świata. Działające w Polsce jednostki naukowe oraz firmy uczestniczą na tym polu w aktywnym rozwijaniu rozwiązań i pomysłów, angażując się we współtworzenie infrastruktury komunikacji kwantowej (QCI) oraz otwieranie dróg jej doskonalenia w kolejnych latach. Jednym z przykładów takich działań jest projekt „Samostrojący Elektroniczny Kontroler Satelitarnego Generatorsa Splątania Kwantowego”, realizowany w ramach programu „Szybka Ścieżka MŚP” NCBR przez firmę SYDERAL Polska z Gdańska.

### Europejskie zapotrzebowanie: skok generacyjny w dziedzinie komunikacji

Bezpieczeństwo i niezawodność systemu przekazywania informacji jest jedną z głównych potrzeb służb publicznych oraz sił zbrojnych każdego państwa. Wychodząc naprzeciw tym potrzebom i biorąc m.in. pod uwagę potencjalne zagrożenia związane z cyberterrorystycznym i przechwytywaniem danych wrażliwych, Komisja Europejska powołała do życia projekt rozbudowy europejskiej Infrastruktury Komunikacji Kwantowej (ang. Quantum Communication Infrastructure lub *EuroQCI*).

EuroQCI zakłada zarówno budowę sieci naziemnych połączeń, jak i uruchomienie segmentu satelitarnego – łącząc potencjały technologiczne i możliwości poszczególnych państw członkowskich. Kluczowym założeniem pozostaje utworzenie jednej wspólnej sieci, umożliwiającej zastosowanie komunikacji kwantowej na rzecz usprawnienia wymiany danych wrażliwych i niejawnych. Spodziewanym efektem jest skok generacyjny i wydatne podwyższenie poziomu zabezpieczeń całej infrastruktury komunikacyjnej.

Europejska Agencja Kosmiczna została zaproszona do współtworzenia kosmicznej części EuroQCI jako podmiot oferujący unikalne kompetencje w zakresie przygotowania infrastruktury satelitarnej. Elementem tym będą przede wszystkim satelity oraz stacje naziemne zrealizowane w ramach programu SAGA (Security And cryptoGrAphic mission), mającym być demonstracją satelitarnej dystrybucji klucza kwantowego (ang. Quantum Key Distribution – QKD). To z kolei stanowi integralną część programu ESA ARTES w obszarze strategii 4S (Space Systems for Safety and Security).

**Czytaj też:** [Badania kwantowe wśród jasnych punktów polsko-francuskiej kooperacji](#)

Europejska Agencja Kosmiczna ma być w całości odpowiedzialna za projekt SAGA, obejmujący

opracowanie, testy na orbicie i walidację segmentu kosmicznego. Jego wypracowane rozwiązania zostaną następnie zintegrowane z segmentem naziemnym QCI.

Polskie jednostki naukowe oraz firmy również uczestniczą w zbieraniu informacji na temat dostępnych rozwiązań i elementów QCI oraz propozycji ich rozbudowy w kolejnych latach. Jednocześnie opracowywaniu tych założeń towarzyszą prace badawczo-rozwojowe. Jednym z przykładów takich działań jest projekt „Samostrojący Elektroniczny Kontroler Satelitarnego Generatora Splątania Kwantowego” realizowany w ramach programu „Szybka Ścieżka MŚP” NCBR przez firmę SYDERAL Polska z Gdańska.

**Czytaj też:** [Polacy opracowali nowatorską metodę kwantowego sterowania fotonami](#)

W projekt ten zaangażowane są też dwie rodzime jednostki naukowe. Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu opracowuje prototyp źródła zdolnego do generowania splątanych par fotonów, na którym testowana będzie opracowana przez Syderal elektronika. Równolegle, Uniwersytet Gdański tworzy odpowiadające potrzebom algorytmy sterowania, które umożliwią szybką korektę działania układu optycznego.

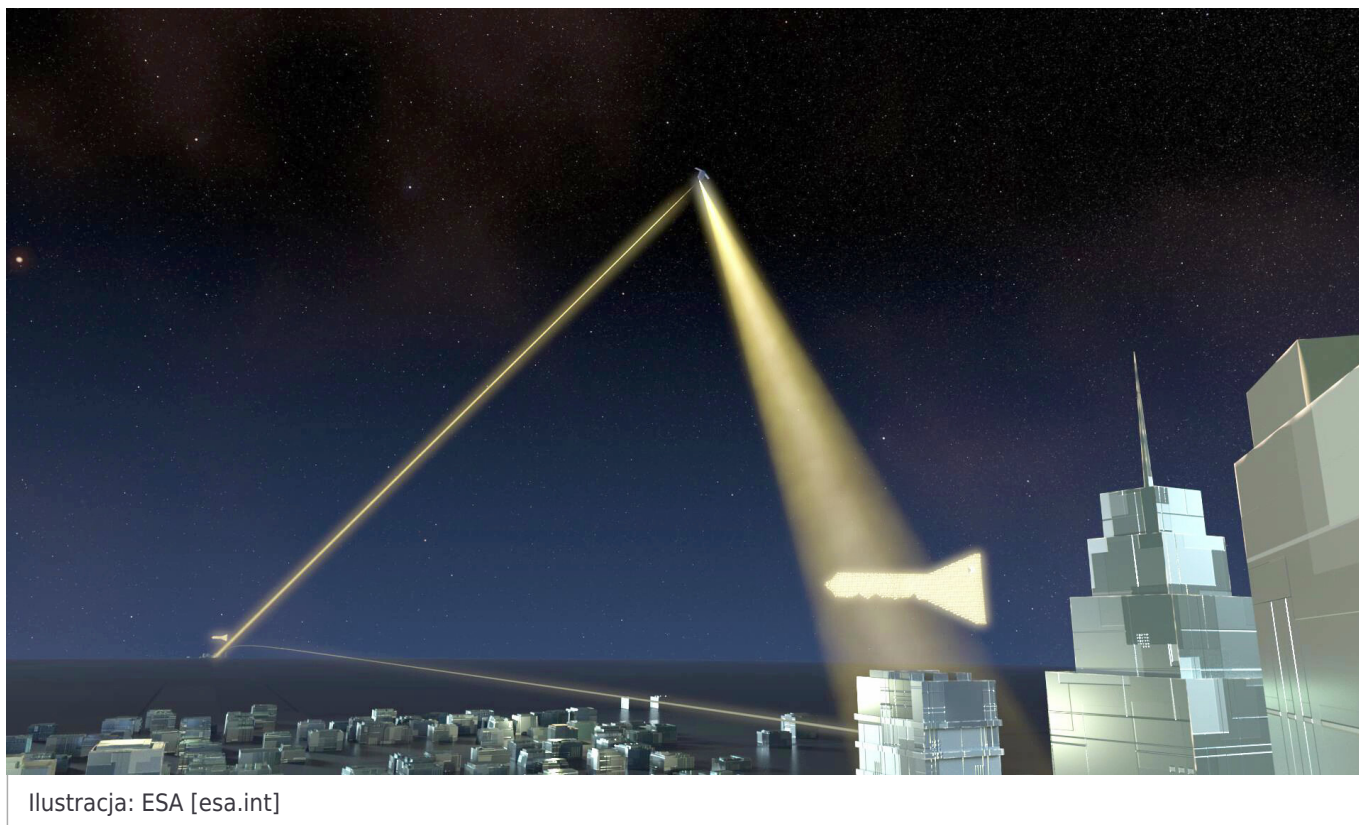
*Opracowane przez nas układy optyczne mogą generować pary fotonów, które ze względu na swoją nieklasyczną naturę mogą być wykorzystane do komunikacji kwantowej. Firma Syderal Polska podjęła się opracowania jednego z kluczowych elementów, który umożliwi prace takiego układu optycznego w przestrzeni kosmicznej.*

**Piotr Kolenderski, Single Photon Applications Laboratory, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu**

Jak podkreślają jego twórcy, kontroler tego typu ma duże szanse na zastosowanie w programie SAGA, gdzie jakość generowanego sygnału (splątanych par fotonów) będzie decydować o długości użytecznego klucza szyfrującego, który uda się uzyskać. Tenże klucz będzie służył do późniejszego zaszyfrowania komunikacji lub już posiadanych danych.

### **Naukowa strona projektu SAGA**

Komunikacja kwantowa opiera się na użytkowym operowaniu na stanach kwantowych pojedynczych fotonów w procesie przesyłania informacji. Zważywszy jednak na to, że przepustowość powstałych w ten sposób kanałów komunikacji kwantowej nie dorównuje pojemnością używanym obecnie kanałom klasycznym, łącze kwantowe wykorzystywane jest jedynie do wymiany klucza szyfrującego (będącego ciągiem bitów).



Klucz ten umożliwia zastosowanie silnych algorytmów klasycznej kryptografii symetrycznej (takich jak AES-256) dla danych przesyłanych drogą konwencjonalną. Proces ten jest popularnie już nazywany kwantową dystrybucją klucza i stanowi jeden z filarów kryptografii kwantowej. Zaletą takiego rozwiązania jest, wynikająca z zasad mechaniki kwantowej, teoretyczna niepodatność protokołów na ataki (w praktyce, istnieją jednak możliwości tzw. ataków fizycznych wykorzystujących niedoskonałości urządzeń kryptograficznych).

**Czytaj też:** [Chiny pionierem satelitarnej komunikacji kwantowej](#)

Można przy tym wyróżnić dwa różne typy protokołów kwantowej dystrybucji klucza: oparty na pojedynczych fotonach (*prepare&measure protocol*) i oparty na splątaniu kwantowym (*entanglement-based protocol*). Obie koncepcje różnią się znacznie pod względem zarówno projektu systemu, jak i wydajności klucza czy poziomu zabezpieczeń.

Z uwagi na eksponencjalne tłumienie sygnału kwantowego w światłowodach, wykorzystanie przestrzeni kosmicznej daje obecnie jedyną możliwość przeprowadzenia kwantowej dystrybucji klucza na odległościach kilkuset i kilku tysięcy kilometrów. Pierwszej tego typu międzykontynentalnej kwantowej transmisji satelitarnej dokonano w 2017 roku z wykorzystaniem chińskiego satelity Micius.

Rozwiązania satelitarne w skali satelity Micius są jednak niezwykle skomplikowane i kosztowne. Coraz częściej zatem stosuje się rozwiązania uproszczone – o mniejszych wymaganiach co do zasobów i nakładów, przyspieszając tym samym prace nad satelitarną komunikacją kwantową. Taki rodzaj technologii stanowią już obecnie rozwiązania mikro- i nanosatelitarne, zwłaszcza w standardzie CubeSat. Eksperymenty te mają zarówno na celu przetestowanie pracy systemów optyki kwantowej w warunkach kosmicznych, jak i samą łączność kwantową pomiędzy satelitą a stacją naziemną.

**Czytaj też:** [Kwantowe technologie kosmiczne. Naukowy wymiar postępu](#)

W przypadku rozwiązania opartego na pojedynczych fotonach, implementacja satelity jako zaufanego węzła okazuje się niezbędna. Wynika to z faktu, że satelita miałby dostęp do klucza kryptograficznego i niezbędne byłoby zapewnienie odpowiednich certyfikatów bezpieczeństwa dla obiektów zlokalizowanych na orbicie okołoziemskiej. Zarządzanie zaufanymi węzłami musiałyby być sprawowane przez właścicieli sieci QCI lub - w szczególnych przypadkach - przez dostawców prywatnych.



Ilustracja: ESA [esa.int]

W przypadku rozwiązania opartego na splątanych parach fotonów, czyli implementacji węzła niezaufanego lub węzła zerowego zaufania, podkreśla się, że system nie wymaga dodatkowej certyfikacji bezpieczeństwa, ponieważ klucz kryptograficzny przechowywany jest wyłącznie w obiektach użytkowników końcowych, a nie na pokładzie satelity. W konsekwencji zapewnienie odpowiednich certyfikatów bezpieczeństwa dotyczyłoby wyłącznie optycznych stacji naziemnych, a odpowiedzialność za ich bezpieczeństwo przejęłyby państwa członkowskie UE, będące odbiorcami końcowymi klucza kwantowego.

### **Poziom koncepcyjny, czyli wizje wcielenia w życie**

Na obecnym etapie nie została jeszcze podjęta decyzja na jakiej orbicie miałby zostać umieszczony satelita demonstracyjny programu SAGA. Wykorzystanie każdej z orbit (LEO, MEO, GEO) ma zarówno korzyści, jak i wady, które będą musiały być rozważone w fazie wstępnej przygotowania tej misji.

Projekt SAGA ma za zadanie - między innymi poprzez szereg zamówień publicznych - wspierać

europejskie firmy w zakresie doskonalenia zdolności przemysłowych w odniesieniu do technologii związanych z satelitarną dystrybucją klucza kwantowego. W ramach budowania tak zwanego 'know-how' SAGA zapewni również satelitarne środowisko testowe umożliwiającym stronom przeprowadzenie kompleksowych testów.

**Czytaj też:** [Pamięć Flash w aplikacjach kosmicznych. Trwałość i bezpieczeństwo danych](#)

Poza tym projekt SAGA w swoich założeniach ma być nie tylko eksperymentalną demonstracją technologii, ale zostanie przygotowany w taki sposób, aby spełniać (uprzednio sformułowane) wymagania operacyjne użytkowników końcowych kluczy kryptograficznych, ze szczególnym uwzględnieniem kwestii bezpieczeństwa, w tym wydajności klucza.

Ponieważ w ramach projektu SAGA zaprezentowany zostanie szereg zupełnie nowych technologii, niezbędne jest również przeprowadzenie szerokich działań badawczo-rozwojowych, aby sprostać wymaganiom i osiągnąć odpowiednio wysoki poziom gotowości technologicznej w odniesieniu do kluczowych technologii dotyczących segmentu kosmicznego zanim program wejdzie w fazę pełnej realizacji.

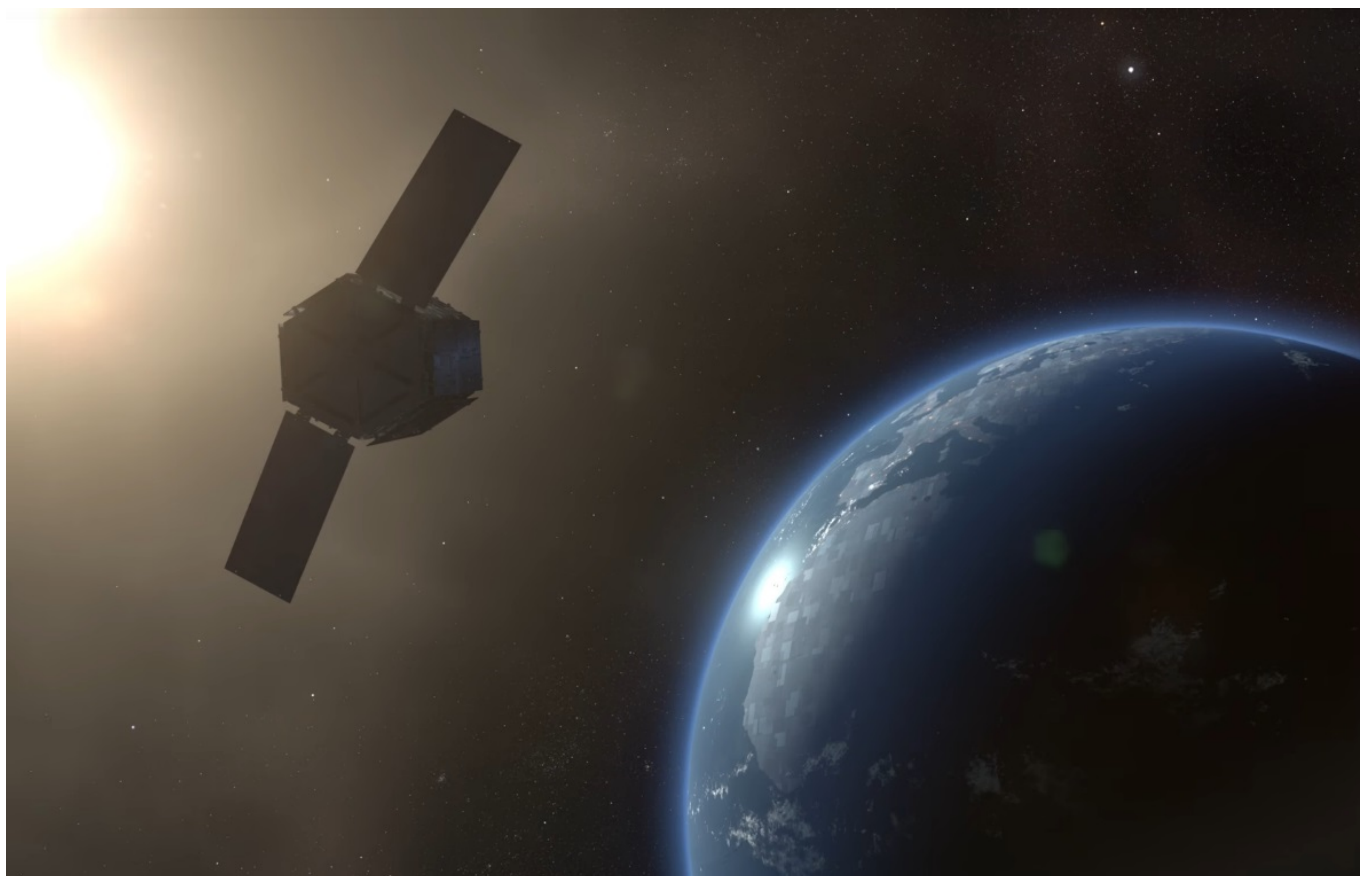
*Współczesna kryptografia klasyczna jest bardzo aktywnie rozwijana od wielu dekad, a pomimo tego wciąż jest dość podatna na ataki wykorzystujące niedoskonałości w implementacji. Kryptografia kwantowa jest znacznie młodsza a jej implementacja znacznie bardziej złożona, więc potrzeba jeszcze olbrzymiej ilości pracy aby jej bezpieczeństwo choć zrównało się z jej klasycznym odpowiednikiem.*

**Marcin Pawłowski, Międzynarodowe Centrum Teorii Technologii Kwantowych  
Uniwersytetu Gdańskiego**

## **Wdrożenie - horyzont czasowy, wymagania techniczne i kosztowe, kapitał ludzki**

W ciągu najbliższych miesięcy powstaną konsorcja, które zajmą się opracowaniem fazy wstępnej dla misji SAGA oraz jej ładunku użytecznego. Plan realizacji misji wskazuje na jej przewidywane rozpoczęcie przed końcem 2027 roku.

W pierwszej fazie projektu najważniejsze będą takie zagadnienia, jak określenie orbity czy wybór protokołu (nastąpi ostateczne rozstrzygnięcie pomiędzy rozwiązaniem opartym na pojedynczych fotonach, a tym opartym na parach splątanych fotonów). Rozważane będą też poziom skomplikowania danego rozwiązania: rozwiązania dotyczące stacji naziemnych, dostępności klucza kryptograficznego w zależności od pogody, czy też wielkość teleskopów zlokalizowanych na orbicie oraz na Ziemi.



Ilustracja: ESA [esa.int]

Do roku 2025 zostaną także uruchomione misje pomocnicze (*Contributing Missions*), które finansowane będą przede wszystkim przez inwestorów prywatnych. Takie zaangażowanie ze strony firm komercyjnych ma dodatkowo wzmocnić duży potencjał, jaki niesie ze sobą projekt rozbudowy europejskiej Infrastruktury Komunikacji Kwantowej. Kluczowym składnikiem sieci zaangażowanych podmiotów będą naturalnie ESA oraz Komisja Europejska, które zapewniają współfinansowanie także dla tej części całego projektu.

**Czytaj też:** [Podmioty z Polski pracują nad komputerami kwantowymi](#)

Polska, jako jeden z sygnatariuszy europejskiej deklaracji dotyczącej komunikacji kwantowej, ma szanse rozwijać tę dynamicznie ewoluującą gałąź gospodarki, która w przyszłości będzie kreowała setki nowych miejsc pracy. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że już obecnie polskie środowisko naukowo-badawcze zaangażowane jest w liczne projekty i badania z zakresu łączności kwantowej – prace prowadzone są między innymi przez Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Uniwersytet Warszawski, UMCS w Lublinie czy Politechniki – Wrocławską i Poznańską.

Zainteresowanie technologią kwantową sektora prywatnego daje również nadzieje na komercjalizację opracowywanych technologii, a tym samym wiąże się z ogromnymi szansami gospodarczymi i rozwojowymi dla polskich przedsiębiorstw. SYDERAL Polska, dzięki realizowanemu właśnie projektowi B+R, chce włączyć się aktywnie w ten nakreślony już proces rozwojowy.

Firma deklaruje przy tym, że znajduje się na dobrej drodze, aby aktywnie włączyć się w budowę misji SAGA oraz europejskiej infrastruktury komunikacji kwantowej. Jeżeli projekt SAGA i demonstracja

technologii kwantowej powiodą się, to z pewnością pojawią się także nowi inwestorzy, a wraz z nimi otworzą się kolejne możliwości rozwoju w tej fascynującej i nowatorskiej branży.

**Czytaj też:** [Związek Pracodawców Sektora Kosmicznego rośnie w siłę](#)

*Artykuł powstał we współpracy z firmą SYDERAL Polska.*