



Źródło: <https://hub.landofitmasters.pl/pl/polski-startup-kosmiczny-iceye-pomaga-ukrainie>

Ta historia jest najlepszym przykładem, jak połączenie wizji, odwagi i sprzyjających zmian technologicznych może przynieść globalny sukces w branży kosmicznej. W zaledwie dekadę firma ICEYE ze studenckiego projektu na Uniwersytecie Aalto w Finlandii zyskała status jednorożca wycenianego na ponad miliard dolarów. Kluczem do sukcesu była miniaturyzacja technologii radarów z syntetyczną aperturą (SAR) oraz rewolucja w możliwościach obliczeniowych i analitycznych. Dane satelitarne stały się łatwiejsze do wykorzystania i bardziej wartościowe dla klientów z całego świata.



#### Karol Dominik Juszczyk

Advisor to the management board Vertigo Global oraz ekspert w zakresie systemów bezzałogowych, geoinformacji i wykorzystania danych obrazowych. Absolwent geodezji z fotogrametrią oraz kierunków zarządczych na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim i Politechnice Warszawskiej. Doświadczenie zdobywał m.in. jako R&D director w Robokopter sp. z o.o. oraz jako emerging technologies expert w CNBOP-PIB (instytut MSWiA), współpracując przy projektach infrastrukturalnych dla ENEA, Tauron, PSE i PERN. Jako ekspert narodowy reprezentował Polskę przy Komisji Europejskiej w obszarze RPAS, współtworzył raporty i metodyki dla administracji publicznej oraz sektora bezpieczeństwa i energetyki.



Grupa studentów Uniwersytetu Aalto, w tym Polak Rafał Modrzewski i Fin Pekka Laurila, zaangażowała się w projekt Aalto-1 (fiński projekt kosmiczny, którego celem było zbudowanie i wystrzelenie pierwszego fińskiego satelity) oraz w kurs przedsię-

biorczości współorganizowany przez Stanford Technology Ventures Program. Chodziło o skuteczną metodę monitorowania ruchów lodu w Arktyce. Nazwa ICEYE (od *ice* i *eye*) miała kojarzyć się z obserwacją zamrzniętych mórz za pomocą radarów.

Rafał Modrzewski, współzałożyciel i obecny CEO ICEYE, reprezentuje nowe pokolenie polskich przedsiębiorców technologicznych. Urodził się i wychował w Katowicach. Od najmłodszych lat interesował się nauką, elektroniką i technologią. Był typem „złotej rączki” – rozbierał urządzenia, by zrozumieć, jak działają. Jego zainteresowanie techniką rosło wraz z dostępem do internetu i komputerów, co zaowocowało wyborem studiów na Politechnice Warszawskiej, na Wydziale Elektroniki i Technik Informatycznych. Po kilku latach studiów w Polsce wyjechał na studia magisterskie do Finlandii, na renomowaną uczelnię Aalto University (dawniej *Helsinki University of Technology*). Tam, studiując specjalizację Radio Science and Engineering, dołączył do zespołu pracującego nad projektem satelity Aalto-1 – pierwszego fińskiego satelity w standardzie CubeSat – w którym odpowiadał za przetwarzanie danych na pokładzie satelity.

To od niepozornej kostki o boku długości 10 cm zaczęła się pierwsza rewolucja satelitarna. Właśnie taki wymiar ma tzw. jednostka 1U w standardzie CubeSat, opracowanym w 1999 r. przez California Polytechnic State University i Stanford University. Początkowo był to projekt edukacyjny, który miał umożliwić studentom realne misje kosmiczne – z czasem zmienił całą branżę.

Każdy CubeSat to modułowy satelita o masie do 1,33 kg. Można je łączyć w większe konstrukcje: 2U, 3U, 6U czy 12U, dopasowując możliwości do zadań. Zamiast kosztownych, wielotonowych satelitów o budżecie liczonym w setkach mln dolarów, uczelnie i startupy mogły budować własne urządzenia za ułamek tej kwoty. Dzięki zunifikowanym interfejsom mechanicznym i elektrycznym powstał cały rynek producentów gotowych modułów – od paneli słonecznych po komputery pokładowe – które można było łączyć niczym klocki.

Satelity CubeSat są umieszczane w specjalnych pojemnikach P-POD (Poly-Picosatellite Orbital Deployer), pozwalających wynosić dziesiątki miniaturowych urządzeń podczas startu rakiety.

Projekt Aalto-1, przy którym pracował Rafał Modrzewski, był satelitą w standardzie 3U (10×10×30 cm). Okazało się, że nawet niewielkie, tańsze platformy mogą realizować zaawansowane misje naukowe i stać się bazą do rozwoju komercyjnych systemów obserwacji Ziemi. Jednocześnie, obserwując tradycyjne duże radarowe satelity obserwacji Ziemi, Modrzewski był świadom barier ich rozwoju: wysokich kosztów (budowa i start pochłaniały setki mln dola-

rów), wieloletnich harmonogramów misji i bardzo ograniczonego dostępu do danych.

To zestawienie doświadczeń – potencjału małych platform i problemów dużych – naprowadziło go na trop budowy dostępnych cenowo systemów obserwacyjnych nowej generacji. Wraz z Pavlem Kuznetsovem zaczął rozważać możliwość zbudowania dużo mniejszego, tańszego i bardziej dostępnego systemu satelitarnego wykorzystującego mikrosatelity o masie poniżej 100 kg, dziesięciokrotnie lżejszego od dotychczas stosowanych.

Dzięki wsparciu Aalto University otrzymali pierwsze granty, co pozwoliło przejść od pomysłu do planów wdrożeniowych. Uniwersytet Aalto okazał się idealnym inkubatorem dla tego typu innowacji – oferował nie tylko wsparcie finansowe, lecz także dostęp do najnowszych technologii i doświadczonych mentorów. W 2014 r. ICEYE zostało oficjalnie zarejestrowane jako spin-off Uniwersytetu Aalto. Kolejne źródła finansowania umożliwiły rozwój technologii i przygotowania do pierwszej misji kosmicznej.

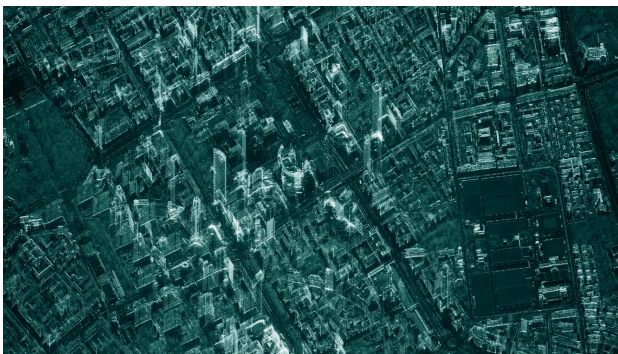
ICEYE Polska powstała stosunkowo wcześnie (19 października 2017 r.) – rok przed wystrzeleniem pierwszego satelity ICEYE-X1, co pokazuje, że założyciele już na wczesnym etapie rozwoju firmy planowali strategiczną ekspansję na rynek polski i wykorzystanie polskich talentów inżynierskich.

## Budowa konstelacji

ICEYE-X1, pierwszy na świecie mikrosatelita SAR o masie poniżej 100 kg, został wyniesiony na orbitę przez indyjską raketę PSLV-XL w ramach misji PSLV-C40 (12 stycznia 2018 r.). Był to także pierwszy fiński satelita komercyjny, co oznaczało przełom dla fińskiej branży kosmicznej.

ICEYE-X1 miał w konfiguracji startowej kompaktowe wymiary: 70 cm wysokości i 60 cm szerokości. Antena SAR rozciągała się na długość 3,25 m po rozłożeniu na orbicie. Satelita został zaprojektowany z myślą o 2–3-letniej żywotności. Maksymalnie wykorzystywał komponenty komercyjne, co znacznie obniżyło koszty produkcji. Jeszcze w tym samym roku, 3 grudnia 2018 r., na orbitę trafił kolejny satelita – ICEYE-X2, wyniesiony przez raketę Falcon 9 z Vandenberg Space Force Base w stanie Kalifornia. Z każdym kolejnym startem ICEYE udowadniało, że koncepcja mikrosatelitów SAR nie tylko działa, ale może być ekonomicznie opłacalna.

W rezultacie w 2019 r. firma uruchomiła usługę oferującą komercyjnie dostępne obrazy radarowe o rozdzielczości ok. 1 m. Było to przełomowe osiągnięcie, gdyż do tej pory taką jakość obrazowania zapewniały jedynie duże satelity. Co więcej, już w tym samym roku ICEYE zaprezentował pierwsze obrazy w trybie Spotlight o rozdzielczości poniżej 1 m – nawet do 0,5 m – co uczyniło go pionierem w kategorii małych satelitów SAR.



Satelity wyposażone w radary z syntetyczną aperturą mogą odwiedzać to samo miejsce nawet kilkanaście razy na dobę, umożliwiając wykrywanie zmian na niespotykaną dotąd skalę

Źródło: <https://www.iceye.com/pl-pl/>

Obecność na orbicie trzech aktywnych satelitów (ICEYE-X1, ICEYE-X2 i ICEYE-X3) umożliwiła świadczenie globalnych usług obrazowania radarowego. ICEYE mogło nie tylko oferować klientom z sektora rządowego i komercyjnego wysokiej jakości dane, lecz także zagwarantować szybkie, globalne pokrycie, co wyznaczyło nowy standard w branży obserwacji Ziemi. Za to osiągnięcie firma została uhonorowana prestiżową Fińską Nagrodą Inżynierii.

W latach 2020–2021 ICEYE przeprowadziła serie udanych startów kolejnych satelitów, zwiększając częstotliwość rewizyt nad poszczególnymi obszarami, co umożliwiło skuteczniejsze monitorowanie zjawisk dynamicznych. Równolegle rozwijano infrastrukturę naziemną i centra przetwarzania danych, co pozwoliło skrócić czas dostarczania obrazów klientom. Firma zbudowała też własne centra operacyjne w Europie i USA, dzięki czemu mogła działać bliżej kluczowych odbiorców – zarówno komercyjnych, jak i rządowych. W 2021 r. ICEYE, odpowiadając na zapotrzebowanie instytucji rządowych, uruchomiła własną spółkę zależną w USA – ICEYE US.

W tym czasie trwały intensywne prace nad zastosowaniami humanitarnymi i komercyjnymi rozwiązań. Pojawiły się usługi związane z monitorowaniem katastrof naturalnych, polegające na dostarczaniu niemal w czasie rzeczywistym mapy zasięgu powodzi na całym świecie. Szybkie mapowanie zalanych obszarów, nawet gdy chmury uniemożliwiają zastosowanie tradycyjnych satelitów optycznych, czyni SAR niezastąpionym narzędziem w sytuacjach kryzysowych. Władze brazylijskiego stanu Rio Grande do Sul wykorzystywały go do planowania pomocy po katastrofalnych powodziach. Możliwość monitorowania powodzi niezależnie od pogody i pory dnia rewolucjonizuje także sposób, w jaki firmy ubezpieczeniowe oceniają i wypłacają odszkodowania.

## Gotowość technologiczna

Sukces ICEYE nie byłby możliwy bez równoległej rewolucji w technologiach obliczeniowych. W latach 2010–2020

dostępne moce obliczeniowe były znacznie ograniczone i z tego powodu trudno było w pełni wykorzystać duże zbiory danych geoprzestrzennych. Małe firmy satelitarne musiałyby same budować stacje naziemne i centra przetwarzania danych, co znacznie wydłużało czas realizacji projektów i generowało ogromne koszty. Przełom nastąpił wraz z gwałtownym wzrostem dostępności elastycznej mocy obliczeniowej od 2020 r.

Popularyzacja chmur obliczeniowych (Amazon EC2, Google Cloud, Azure) oraz rozwój klastrów HPC umożliwiły przełamanie dotychczasowych barier. Można było korzystać z niemal nieograniczonych zasobów do składowania, przesyłu i analizy danych satelitarnych bez konieczności budowania własnej infrastruktury. Kluczowym elementem tej transformacji był także rozwój technologii przetwarzania, szczególnie GPU i akceleratorów obliczeniowych. Dzięki wyspecjalizowanym akceleratorom GPU możliwa stała się obróbka obrazu SAR bezpośrednio na satelicie. Inżynierowie tworzą obecnie potoki end-to-end, które całe przetwarzanie obrazu, w tym uczenie maszynowe, wykonują bezpośrednio na kartach GPU. W praktyce oznacza to, że zamiast łączyć ogromne macierze na CPU, dane przesyła się i analizuje równolegle na setkach rdzeni GPU, co istotnie skraca czas generowania użytecznego obrazu SAR.

Usługi chmurowe zrewolucjonizowały również sposób dostarczania i przetwarzania danych satelitarnych. Usługa AWS Ground Station (Amazon Web Services) jest kluczowym elementem zautomatyzowanego systemu dostarczania danych i umożliwiła zbudowanie systemu szybkiego dostarczania informacji wymagających terminowej analizy. Pozwala operatorom na bezpośrednie ściąganie danych SAR do chmury i ich natychmiastowe przetwarzanie, bez konieczności budowania własnych stacji naziemnych. Dzięki temu ICEYE może korzystać z globalnej sieci anten AWS i opłacać tylko czas transmisji, co obniża koszty o nawet 80%. Zastosowanie kolejnej technologii – *edge computing* – dodatkowo zwiększa efektywność całego systemu. Satelity z mocnymi pokładowymi komputerami wykonują wstępne algorytmy SAR na orbicie, redukując ilość przesyłanych danych, podczas gdy stacje naziemne zlokalizowane blisko centrów danych zmniejszają opóźnienia transmisji i pozwalają natychmiast przetwarzać pozyskane dane. Dzięki temu firma może praktycznie na bieżąco „przełączyć” surowy sygnał z sieci swoich satelitów do chmury i uruchomić analizy z minimalnym opóźnieniem. Wzrost mocy obliczeniowej umożliwił także szerokie zastosowanie sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego do automatycznej analizy obrazów SAR.

ICEYE rozwija procesy analityczne bazujące na uczeniu maszynowym, które automatycznie wykrywają i klasyfikują obiekty oraz identyfikują zmiany na powierzchni Ziemi. Dzięki temu klienci mogą szybko uzyskiwać informacje o przemieszczaniu się floty morskiej czy rozwoju osadnictwa bez ręcznego analizowania setek obrazów.



Firma oferuje komercyjny, zintegrowany system wykrywania jednostek pływających realizujących potajemne i nieautoryzowane rejsy po akwenach morskich.

Źródło: <https://space24.pl/satelite/iceye-naswietli-rzadom-panstw-morska-strefe-cienia>

Zmiany technologiczne otworzyły nowe rynki i modele biznesowe. Obniżył się próg wejścia dla klientów w zakresie dostępu do wysokiej jakości danych radarowych. Wprowadzono także udoskonalenia techniczne – satelity nowej generacji są bardziej niezawodne, zapewniają wyższą rozdzielczość i elastyczniejsze tryby pracy radarowej. Obrazami SAR zainteresowana jest także branża budowlana, która chce za ich pomocą zrewolucjonizować sposób planowania, budowy i utrzymania infrastruktury krytycznej.

### Zastosowania militarne

BAE Systems to jeden z największych brytyjskich gigantów z branży obronnej, z przychodami przekraczającymi 25 mld USD rocznie, specjalizujący się w zaawansowanych technologiach obronnych, lotniczych i bezpieczeństwa. BAE Systems dołączyło do grona nowych strategicznych inwestorów ICEYE na początku 2022 r. Wkrótce firmy ogłosiły partnerstwo operacyjne. ICEYE podpisało umowę z BAE Systems na dostawę zaawansowanej technologii radarów SAR jako część nowego wielosensorowego klastra satelitarnego BAE Systems uruchomianego w 2024 r. Projekt ten, znany jako Azalea, pokazuje przydatność SAR w wielosensorowym zbieraniu danych, torując drogę dla przyszłych zastosowań w sektorze wywiadu wojskowego.

Wybuch pełnoskalowej wojny w Ukrainie w lutym 2022 r. znacząco przyspieszył rozwój zastosowań militarnych ICEYE. Dane z satelitów ICEYE zaczęły być używane operacyjnie, aby wspierać działania obronne i planowanie strategiczne, a sam transfer technologii stał się jednym z symboli nowej roli prywatnych firm kosmicznych w obszarze bezpieczeństwa międzynarodowego.

Dzięki inicjatywie Fundacji Serhija Prytuły już w sierpniu 2022 r. ukraińskie Ministerstwo Obrony uzyskało dostęp do jednego z satelitów ICEYE wraz z prawami do danych z całej konstelacji. Był to przełom – ukraińskie wojsko mogło ko-

rzystać z niezależnych od pogody i pory dnia obrazów radarowych, co okazało się kluczowe w śledzeniu ruchów wojsk, wykrywaniu sprzętu maskowanego w lasach czy monitorowaniu skutków ostrzałów infrastruktury krytycznej.

### Wysyp umów

We wrześniu 2024 r. ICEYE podpisało umowę z greckim Ministerstwem Obrony na dostawę satelitów SAR. W tym samym miesiącu podczas Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego (MSPO) w Kielcach ICEYE Polska i Scanway podpisały porozumienie o współpracy; jej celem ma być wspólne projektowanie satelitów optycznych o wysokiej rozdzielczości, które będą służyć polskimi użytkownikom, a w przyszłości także klientom globalnym.

**W maju 2025 r. Polska podpisała z firmą ICEYE oraz Wojskowymi Zakładami Łączności Nr 1 (WZŁ-1) umowę na dostawę trzech satelitów radarowych SAR w ramach programu MikroSAR. Całkowita wartość kontraktu wynosi około 860 mln zł brutto, z opcją zakupu kolejnych trzech satelitów oraz rozbudowy segmentu naziemnego w ciągu 12 miesięcy. W ramach umowy ICEYE dostarczy satelity SAR, a WZŁ-1 będzie odpowiedzialne za budowę mobilnej platformy rozpoznania satelitarnego ISR, integrując systemy komunikacji, transmisji danych, bezpieczeństwa, zasilania oraz dedykowany system antenowy. Pierwszy satelita ma zostać wyniesiony na orbitę pod koniec 2025 r., a kolejne w 2026 r.**

Kolejne umowy podpisano z Portugalskimi Siłami Powietrznymi na dostawę jednego satelity SAR, segmentu naziemnego i anteny oraz z Królewskimi Siłami Powietrznymi Holandii na dostawę czterech satelitów SAR. Firma stopniowo wchodzi do grona dostawców danych dla programów kosmicznych NATO. W czerwcu 2025 r. podpisała umowę z Sojuszem na dostarczanie danych satelitarnych w ramach inicjatywy Alliance Persistent Surveillance from Space (APSS). Współpraca ta ma na celu zwiększenie zdolności Sojuszu Północnoatlantyckiego w zakresie monitorowania przestrzeni kosmicznej i szybszego podejmowania decyzji strategicznych.

### Rośnie apetyt na technologie SAR

Solidium Oy – państwowy fundusz inwestycyjny Finlandii, który zarządza udziałami państwa w fińskich spółkach o strategicznym znaczeniu, zainwestował w 2024 r. bardzo duże kwoty w ICEYE. Wysokie wsparcie firma uzyskała także od Business Finland – publicznej agencji innowacji Finlandii. Dominująca rola państwowych instytucji w finansowaniu pokazuje, że kraj traktuje firmę jako kluczowy

asset technologiczny i element bezpieczeństwa narodowego w erze rosnących napięć geopolitycznych.

W lipcu 2025 r. rząd Polski rozpoczął negocjacje w celu nabycia pakietu udziałów w firmie ICEYE, co ma wzmocnić krajowe kompetencje w zakresie technologii satelitarnych i zwiększyć niezależność w pozyskiwaniu danych wywiadowczych.

ICEYE nie jest jednym graczem na rynku SAR. Amerykańska Capella Space oferuje mikrosatelity SAR o masie około 100 kg i rozdzielczości ok. 0,5 m. Również amerykańska Umbra oferuje nawet lepszą rozdzielczość – do 0,25 m. Japoński Synspective buduje mikrosatelity SAR dla zastosowań urbanistycznych.

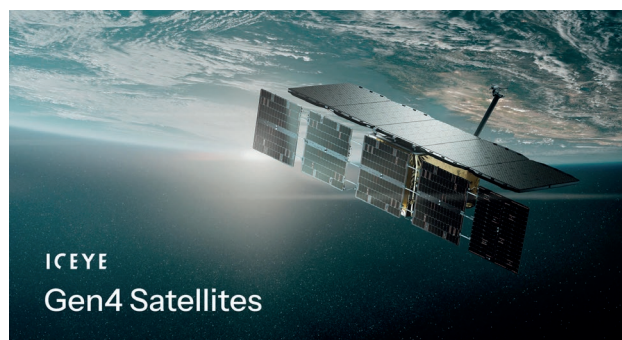
Jednak to ICEYE ma największą komercyjną konstelację SAR – obecnie 44 satelity na orbicie (stan na początek 2025 r.). Firma planuje zwiększenie produkcji satelitów z obecnych 25 do 100–150 szt. rocznie – to skok, który może zdefiniować na nowo całą branżę mikrosatelitów SAR. Planowana jest rozbudowa konstelacji o ponad 20 nowych satelitów rocznie. Oferowane przez firmę dodatkowe usługi analityczne, takie jak Flood Rapid Impact i Ocean Vision Detect, pokazują, że koncepcja rozwoju firmy związana jest z zaawansowanymi rozwiązaniami bazującymi na sztucznej inteligencji i dostosowanymi do specyficznych potrzeb branżowych.

### Czwarta generacja bezkonkurencyjna

Najnowsza technologia Generation 4 to przełomowy etap w rozwoju satelitów ICEYE, wyznaczający nowy standard w obrazowaniu radarowym. Pierwsze egzemplarze tej serii, wyniesione na orbitę w 2025 r., są znacznie bardziej zaawansowane pod względem rozdzielczości, przetwarzania danych i autonomii działania.

Nowa generacja charakteryzuje się anteną o powierzchni ponad 6 m<sup>2</sup>, wykonaną z ultralekkich kompozytów. Po rozłożeniu w przestrzeni antena umożliwia uzyskanie obrazów o rozdzielczości nawet 25 cm, co jeszcze niedawno było możliwe wyłącznie w dużych satelitach wojskowych, a taka rozdzielczość otwiera zupełnie nowe zastosowania.

W sektorze obronnym pozwala na identyfikację typów pojazdów, sprzętu i zmian w bazach wojskowych; w cywilnym umożliwia monitorowanie osiadania budynków, stabilności zapór, mostów i terenów górniczych. Generation 4 wprowadza też nowe tryby pracy radaru – Spotlight Ultra, Scan SAR i Stripmap+ – pozwalające elastycznie balansować między szerokością obserwowanego pasa a dokładnością obrazu. Generation 4 wspiera również technikę InSAR (Interferometric SAR), pozwalającą mierzyć milimetrowe deformacje powierzchni Ziemi poprzez analizę zmian fazy fal radarowych z kolejnych przelotów.



Źródło: <https://www.iceye.com/pl-pl/>

Filarem Generation 4 jest nowy system przetwarzania sygnału SAR na pokładzie. Satelity wykorzystują akceleratory GPU, które analizują dane radarowe jeszcze w przestrzeni kosmicznej, redukując ilość surowych danych przesyłanych na Ziemię. Dzięki temu ICEYE może dostarczać gotowe obrazy i analizy w ciągu kilku minut od rejestracji zjawiska. Dzięki większej mocy obliczeniowej satelity mogą samodzielnie rozpoznawać obiekty – statki, pojazdy, zmiany w zabudowie – i przekazywać priorytetowo tylko najistotniejsze dane. W połączeniu z chmurą obliczeniową i sztuczną inteligencją tworzy to niemal autonomiczny system obserwacji Ziemi i radykalnie skraca czas od detekcji zjawiska do dostarczenia analizy użytkownikowi.

Według planów ICEYE konstelacja Generation 4 ma liczyć do 2027 r. ponad 60 satelitów, zapewniających rewizytę dowolnego punktu na Ziemi w mniej niż 30 minut. Oznacza to wejście w erę ciągłej obserwacji naszej planety.