

Teledetekcyjne tropy wokół Nord Stream

Nic się nie ukryje

Niedawne uszkodzenia kontrowersyjnych gazociągów ułożonych na dnie Bałtyku były najpewniej celowe. Dane satelitarne mogą pomóc w ustaleniu szczegółów sabotażu, a może nawet jego sprawcy.

Paweł Ziemnicki

W ydarzenia z 26 września 2022 r. wstrząsnęły krajami europejskimi. Za sprawą eksplozji na dnie Morza Bałtyckiego zniszczone zostały trzy z czterech podmorskich nitek gazociągów Nord Stream 1 oraz Nord Stream 2. Wszystkie powstałe w następstwie tych wydarzeń wycieki gazu były zlokalizowane na wodach międzynarodowych. Jak jednak szczegółowo podsumowywał na początku października portal Energia.rp.pl, „wyciek z jednej nitki Nord Stream 1 i pierwszy wyciek z rurociągu Nord Stream 2 znajdują się w duńskiej wyłącznej strefie ekonomicznej (WSE), natomiast wyciek z drugiej nitki Nord Stream 1 i drugi wyciek z Nord Stream 2 znajdują się w szwedzkiej wyłącznej strefie ekonomicznej”.

W kontekście trwającej wojny w Ukrainie oraz trudnej sytuacji energetycznej, w jakiej znalazły się europejskie państwa po odcięciu dostaw rosyjskiego gazu, społeczność międzynarodowa jest żywo zainteresowana wyjaśnieniem, co zaszło pod powierzchnią Morza Bałtyckiego. Rosja konsekwentnie wypiera się swojego udziału w rzekomym sabotażu. Własne śledztwa podjęły Niemcy, Dania oraz Szwecja. W ustaleniu sprawców ważną rolę mogą odegrać zobrazowania

satelitarne pozyskane dla kluczowych obszarów na krótko przed tajemniczymi eksplozjami. To, co działo się wokół gazociągów Nord Stream już

w miesiącach poprzedzających wrześniowe wydarzenia, bada się m.in. z użyciem obserwacji pozyskanych z sensorów satelitarnych.

• Flaring

Już wiosną 2022 r. rosyjska infrastruktura służąca do przesyłania gazu na zachód Europy znalazła się w polu zainteresowania firmy SpaceKnow specjalizującej się w wydobyciu informacji z różnych źródeł satelitarnych. Na stronie internetowej przedsiębiorstwa można przeczytać, że wykorzystuje ono technologie teledetekcyjne, „aby zapewnić przejrzystość tam, gdzie obiektywne i aktualne dane są albo ograniczone, albo nie istnieją”.

16 czerwca Gazprom ograniczył przepływ gazu przez Nord Stream 1 do 40% możliwości przesyłowych. Tymczasem już 5 czerwca specjaliści ze SpaceKnow dostrzegli, wykorzystując swoje narzędzie Natural Gas Monitor, duży spadek aktywności produkcyjnej tłoczni Nord Stream 1 Portowaja. Oznaką tego była wówczas malejąca aktywność cieplna tłoczni. Ponadto analitycy odnotowali, że 17 czerwca, czyli dzień po ograniczeniu przepływu gazu, Rosjanie rozpoczęli w terminalu eksportowym LNG Portowaja (odległym od wspomnianej tłoczni o niecałe pięć kilometrów) masowe wypalanie gazu. Związane z tym pochodnie były potem obserwowane na przestrzeni kolejnych dni.

Mieliśmy tu do czynienia z tzw. flaringiem, czyli wypalaniem nadmiaru gazu, którego nie można było wte-



Dwa związane z przesyłaniem gazu obiekty infrastrukturalne na rosyjskim krańcu gazociągu Nord Stream 1 wykazujące nadzwyczajną aktywność i flarowanie gazu



Pochodnia gazowa widoczna nad terminalem eksportowym LNG Portowaja, 5 sierpnia 2022 r.

dy przechowywać, przesyłać czy sprzedać innym odbiorcom (gaz ten po prostu się zmarnował). Eksperci zwracają uwagę, że flarowany był najprawdopodobniej gaz, który pierwotnie miał trafić poprzez Nord Stream 1 do europejskich odbiorców. Innym potencjalnym uzasadnieniem wypalania gazu w pochodni mogło być sprawdzanie poprawności działania sprzętu na ostatnim etapie rozruchu terminala LNG lub też podjęcie procedur bezpieczeństwa związanych z awarią sprzętu. Zmieniającą się aktywność tłoczni oraz wypalanie gazu w terminalu LNG Portowaja specjaliści ze SpaceKnow badali m.in. na podstawie zdjęć pochodzących od operatora satelitarnego Planet.

• Podejrzane statki

W kolejnych tygodniach po podmorskich eksplozjach badacze i śledczy starali się dociec, kto dopuścił się sabotażu. Problem wzięli na tapetę również specjaliści z przywoływanej już firmy SpaceKnow. Dysponujący dostępem do różnorodnych danych teledetekcyjnych, odpłatnych i nieodpłatnych, eksperci przeanalizowali zobrażenia z 90 dni poprzedzających te wydarzenia.

Na krótko przed wybuchami w pobliżu miejsc eksplozji przewinęło się łącznie 25 statków. 23 z nich miały włączony radiowy system automatycznej identyfikacji AIS. Do stałego wysyłania radiowych sygnałów AIS zobowiązane są większe jednostki operujące na morzu – te o pojemności rejestrowej brutto przekraczającej 300 ton. Emisja AIS służy nie tylko do unikania zderzeń, ale też jest kluczowym źródłem informacji dla instytucji nadzorujących ruch morski, np. dla straży przybrzeżnej. W sygnale AIS danego statku zawarte są choćby dane dotyczące jego wielkości, kursu, prędkości, ostatniego odwiedzonego portu czy portu przeznaczenia.

Zatem w pobliżu miejsc uszkodzeń Nord Stream na

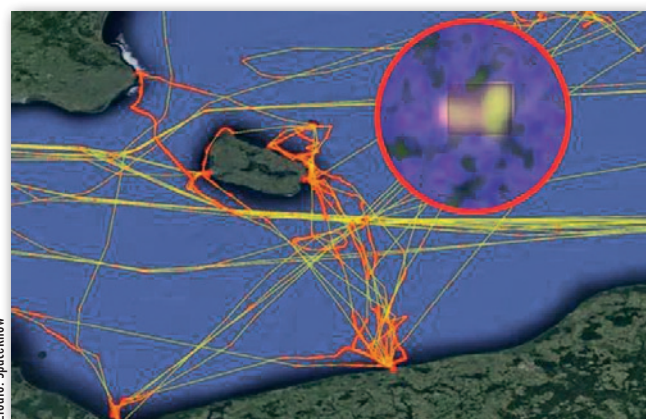


Przebieg podmorskich gazociągów Nord Stream 1 i 2 oraz oznaczenie lokalizacji powstałych wycieków

krótko przedtem przepływały dwa statki z wyłączoną sygnalizacją AIS. Pracownicy SpaceKnow dostrzegli je na radarowym zdjęciu z satelity Sentinel-1 z 24 września 2022 r. Pokrywa chmur umożliwiała tego dnia wykonywanie zdjęć z użyciem satelitów optycznych.

Sentinel-1 wchodzi w skład europejskiego systemu obserwacji Ziemi Copernicus i nie jest sensorem oferującym wysoką rozdzielczość przestrzenną. Piksel na pozyskiwanych przezeń obrazach ma około 20 m. Stąd na badanych zdjęciach niewiele widać, a dwa podejrzane statki zajmują tam zaledwie po kilka pikseli. Ale wyraźnie odcinają się jako jasne plamy na ciemniejszym tle. Badacze oszacowali, że każda z tych dwóch tajemniczych jednostek miała długość od 95 do 130 m.

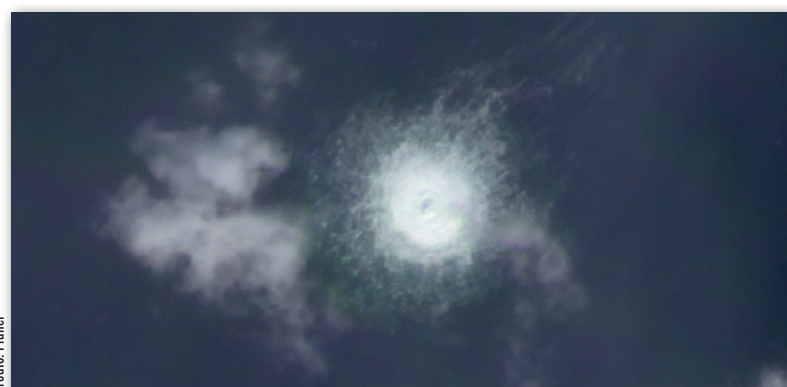
Analitycy wskazują, że jeśli owe statki miały swój udział w wydarzeniach wokół gazociągów, to teoretycznie mogły być bezpośrednio zaangażowane w akcję sabotażową. Ze statków takiej wielkości można bowiem wypuścić drony, mniejsze jednostki podwodne czy nurków, którzy przygotowaliby gazociągi do wysadzenia. Być może jednak statki te brały udział w całej akcji tylko pośrednio – choćby realizując zadania związane z upewnieniem się, czy



Trasy statków, które na krótko przed wybuchami przepływały w pobliżu miejsc przyszłych eksplozji. Dwa z nich miały wyłączony nadajniki systemu AIS

w pobliżu miejsca eksplozji – radaru z syntetyczną aperturą), ma tę podstawową zaletę, że z jego pomocą można prowadzić obserwacje przez chmury oraz w nocy. Warto jeszcze zauważyć, że segment Sentinel-1, realizujący zadania związane z obserwacjami radarowymi, od wielu miesięcy pracuje w osłabieniu. Po awa-

Sentinel-1, podobnie jak i inne satelity radarowe wykorzystujące technologię SAR (Synthetic Aperture Radar



Powierzchnia morza nad uszkodzonym gazociągiem w obiektywie satelity Planet Dove, 26 września 2022 r.



Zdjęcie: ICEYE/analizyka: SpaceKnow

Wykrywanie statków na obrazowaniu SAR

rii satelity Sentinel-1B obecnie czynny jest tylko Sentinel-1A.

• Wysoka rozdzielczość i uczenie maszynowe

Operatorzy satelitów SAR oraz firmy analityczne pracują nad rozwiązaniami umożliwiającymi wykrywanie operujących na morzu statków z wyłączonymi nadajnikami AIS, czyli tzw. *dark vessels*. Służące do tego narzędzia są również tworzone przez SpaceKnow. Powstać ma tam platforma umożliwiająca automatyczną detekcję statków na wysokiej rozdzielczości obrazowaniach satelitarnych SAR, które dziś są w stanie zapewniać w dużej ilości tacy komercyjni dostawcy, jak np. ICEYE czy Capella Space.

Nad poszerzeniem możliwości w tej dziedzinie SpaceKnow pracuje w ramach projektu SEA-SPARK, przy wsparciu Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA). Firma zamierza wykorzystywać precyzję radarowych zdjęć wysokorozdzielczych do skuteczniejszej detekcji jednostek pływających, również tych o mniejszych rozmiarach. Inżynierowie chcą stworzyć i wdrożyć algorytmy oparte na mechanizmach uczenia głębokiego – *deep learning*, a później także eksperymentalnie sprawdzić, jak będą sobie one radziły. Zadaniem tych algorytmów będzie wykrywanie i klasyfikowanie statków morskich: od małych jednostek transportowych i handlowych po duże tankowce i okręty wojskowe.

SpaceKnow legitymuje się przeszło 9-letnim doświad-

zeniem w automatycznym analizowaniu danych SAR i implementowaniu właściwych algorytmów – np. do liczenia samochodów na obrazowaniach. Adresatem rozwiązania wypracowanego w ramach projektu SEA-SPARK mogą być choćby porty, organy administracji odpowiedzialne za zarządzanie ruchem morskim, straż graniczna czy agencje wywiadowcze. Narzędzie wzmacniające procesy automatycznego wykrywania podejrzanych statków w ogromnych strumieniach danych wydaje się bardzo przydatne, zważywszy na to, że wody pokrywają ponad 70% powierzchni Ziemi.

• Jeśli nie SAR, to co?

Siłą rzeczy, kiedy nad danym akwenem utrzymuje się zachmurzenie, satelity optyczne nie są w stanie obserwować operujących tam jednostek. Uwaga analityków kieruje się wtedy w stronę dostawców obrazowań radarowych. Co jednak, jeśli taki

satelita nie przelatywał nad danym obszarem morskim akurat wtedy, kiedy potrzebujemy stamtąd informacji?

Są jeszcze inne metody satelitarnej detekcji *dark vessels*. Jednostki takie można na przykład próbować namierzyć z pomocą satelitów nadzoru radioelektronicznego na podstawie innych wysyłanych ze statku sygnałów radiowych – np. związanych z korzystaniem z telefonów satelitarnych. Takie rozwiązania oferuje chociażby opisywana już na łamach GEO-DETY firma HawkEye 360. Satelity tego operatora pozwalają nie tylko wykryć transmisję z podejrzanego statku, ale także dokonać jego geolokalizacji. Trzeba się jednak liczyć z tym, że jeśli jednostka podejmuje na morzu jakieś niecie działania i specjalnie wyłącza nadajnik AIS, by pozostać niezauważoną, to załoga również może zachowywać dyscyplinę i unikać jakichkolwiek transmisji, które naruszyłyby ciszę radiową. Wtedy tego rodzaju

satelity nie będą mogły wykryć statku.

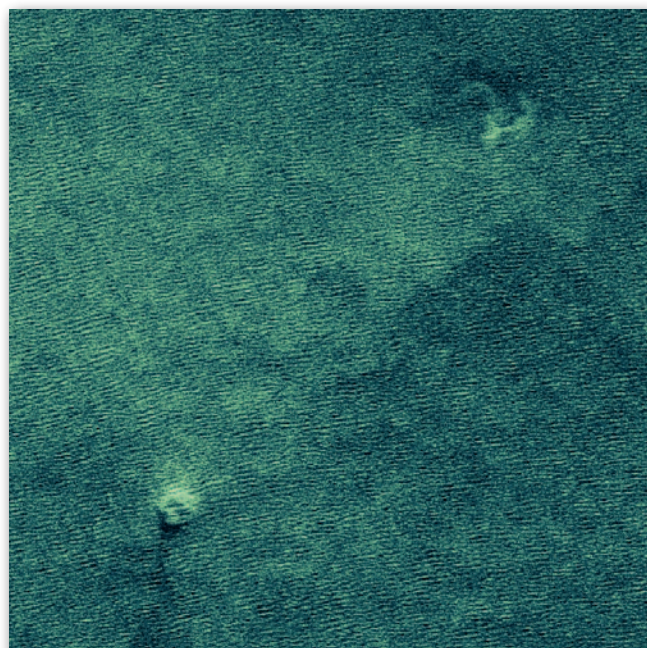
Najprawdopodobniej w niedalekiej przyszłości *dark vessels* będzie można jeszcze dostrzec z wykorzystaniem wysokiej rozdzielczości zobrazowań termalnych wykonywanych w odpowiednim zakresie podczerwieni. Tego typu zobrazowania będzie przykładowo dostarczać operator Satellite Vu z Londynu – rozwijający obecnie swą działalność i szykujący konstelację urządzeń do rozmieszczenia na orbicie. Firma ma zbierać dane z rozdzielczością 3,5 m na piksel. Obserwując w podczerwieni *de facto* energię emitowaną przez obiekty, specjaliści będą mogli stwierdzić, czy dana jednostka pływająca jest aktywna – na przykład czy statek ma włączone silniki. Firma będzie też oferować obserwacje w trybie wideo (do 60 sekund jednorazowej akwizycji). Dzięki niemu możliwe będzie stwierdzenie, w jakim kierunku i z jaką prędkością podąża podejrzany statek. Sensory orbitalne Satellite Vu pozwolą wykrywać statki z wyłączonym AIS nocą, ale przez gęstą pokrywą chmur – już niestety nie.

• Obserwacja skutków

Choć w czasie eksplozji gazociągi Nord Stream 1 i 2 nie obsługiwały czynnego przepływu, to w rurach wciąż zgromadzony był sprężony gaz. Mogło to być nawet ok. 300 tys. ton metanu. Po uszkodzeniu podwodnych rurociągów gaz wydostawał się z nich w postaci mknących ku górze pęcherzy. Na powierzchni Bałtyku było wówczas widać kipiące poławie bąbli. Zjawisko rejestrowały satelity, a z orbity można je było dostrzec przy użyciu różnego rodzaju sensorów.

W tym czasie nad miejscami uszkodzeń NS 1 i 2 domi-

Pofałdowanie powierzchni morza spowodowane wyciekami gazu widoczne na obrazowaniu z satelity radarowego, 28 września 2022 r.



Zdjęcie: ICEYE

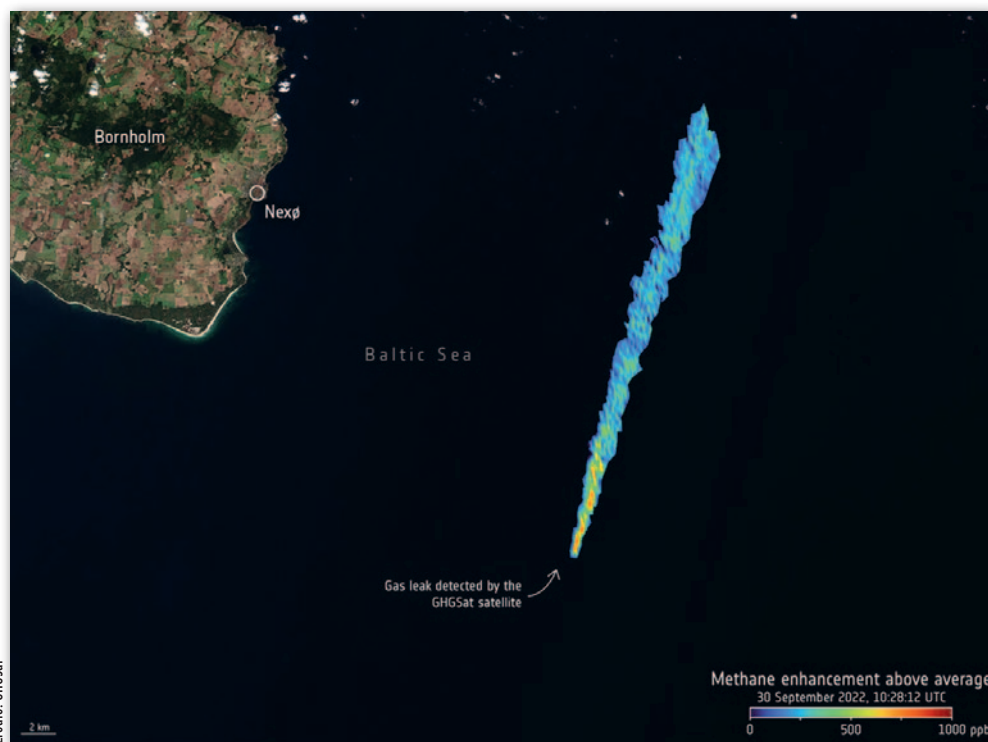
nowały chmury, toteż docierające do powierzchni wody pęcherze gazu było dość trudno zaobserwować z użyciem satelitów optycznych. Udało się to satelitom Pleiades Neo operatora Airbus Defence & Space oraz sensorom Dove firmy Planet. Na zobrażeniach optycznych widoczne są kręgi bąbli na wodzie mierzące 500–700 m średnicy. Kilka dni później znacząco mniejsze już obszary zaburzeń na powierzchni morza zaobserwował satelita Sentinel-2 systemu Copernicus, a później jeszcze amerykański Landsat 8.

Co więcej, wyciek gazu powodował znaczące „pofałdowanie” powierzchni wody, występujące w dużej skali. Mogły to obserwować czułe radary SAR na pokładach satelitów, takich jak europejski Sentinel-1A czy sensory należące do komercyjnego operatora ICEYE. Craig Donlon, naukowiec odpowiedzialny w ESA m.in. za badania oceanów, komentował na stronie Esa.int: „Moc aktywnych mikrofalowych instrumentów radarowych polega na tym, że mogą one monitorować sygnatury bulgotania metanu na powierzchni oceanu przez chmury, w szerokim pasie i z wysoką rozdzielczością przestrzenną, pokonując jedno z głównych ograniczeń przyrządów optycznych”.

● Szacowanie skali

Dla śledczych, badaczy i analityków istotne było jednakże nie tylko samo dostrzeżenie uchodzenia metanu ze zniszczonych gazociągów, ale także oszacowanie skali wycieku gazu. Zbadanie tej skali za pomocą klasycznych satelitów optoelektronicznych było utrudnione, gdyż poziom metanu szacuje się, prowadząc obserwacje w zakresie fal SWIR (*shortwave infrared*). Nad powierzchnią morza jest to o tyle utrudnione, że woda pochłania znaczną część światła emitowanego przez Słońce w zakresie SWIR.

W badania zaangażowało się wywodzące się z Kanady



Rekordowa emisja metanu ze źródła punktowego, zarejestrowana przez GHGSat 30 września 2022 r.

przedsiębiorstwo teledetekcyjne GHGSat, specjalizujące się w satelitarnym wykrywaniu i monitorowaniu ziemskich źródeł emisji metanu. Ten operator potrafi prowadzić badania, obserwując interesujący obszar pod znacznym kątem, gdy sensor satelitarny znajduje się w tzw. *glint spot*, czyli tam, gdzie odbicie światła słonecznego od powierzchni morza widoczne jest z największą intensywnością. Wykorzystując satelitę o rozdzielczości przestrzennej 25 m/piksel firma 30 września zmierzyła skalę wycieku metanu z jednego z ubytków w gazociągu Nord Stream 2. Pomiar wykazał emisję na poziomie 79 tys. kg na godzinę. Była to największa emisja ze źródła punktowego, z jaką GHGSat miało dotąd do czynienia, a przecież pomiaru dokonano dopiero kilka dni po rozszczelnieniu Nord Stream 2, kiedy ciśnienie w nim już malało.

Równoległe do działań kanadyjskiej spółki pewne pomiary wykonał też satelita Sentinel-2 z konstelacji Copernicus. W tym kontekście warto pamiętać o wchodzącym w skład tego systemu sateli-

cie Sentinel-5P, którego zdolności, jak podaje ESA, „umożliwiają obserwację regionów o zwiększonym stężeniu metanu z silnych źródeł punktowych na całym świecie”.

● Wpływ na klimat

1 października 2022 r. Duńska Agencja Energii poinformowała, że z uszkodzonej infrastruktury Nord Stream wyciekł już cały gaz. Metan na szczęście nie jest toksyczny i jego podwodne wycieki nie stanowiły bezpośredniego zagrożenia dla ekosystemu Morza Bałtyckiego. Jednak te 100 tys. do nawet 350 tys. ton gazu (szacunki wykazują znaczne rozbieżności), które uwolniło się z rur gazociągów i przeniknęło do atmosfery, w dłuższej perspektywie będzie mieć pewien wpływ na klimat planety. Przez pierwsze 20 lat swojej obecności w atmosferze wyemitowany metan przyczynia się do powstawania efektu cieplarnianego ponad 80 razy silniej niż dwutlenek węgla.

Według specjalistów z Duńskiej Agencji Energii w najgorszym razie z trzech nitek Nord Stream wydostało się 778 mln m³ metanu, co

pod względem emisji gazów cieplarnianych stanowi ekwiwalent ok. 14,6 mln ton CO₂. To mniej więcej jedna trzecia rocznych duńskich emisji CO₂. Inne szacunki mówią z kolei o tym, że to, co wyciekło z gazociągów Nord Stream, można przyrównać do ilości metanu, jaką w skali świata emituje się w ciągu 1,5 dnia.

Cała sytuacja pokazała, że Europejska Agencja Kosmiczna słusznie podkreśla, iż „obserwacje satelitarne są potężnym narzędziem do poprawy szacunków wielkości emisji [gazów cieplarnianych – dop. aut.], obserwowania, jak zmieniają się one w czasie, a także mogą pomóc w wykrywaniu nieznanymi wcześniej źródeł emisji”. Satelity dają nam również lepszą świadomość sytuacyjną w zakresie bezpieczeństwa infrastruktury energetycznej, pozwalając przyrzeć się dotykającym ją wypadkom czy katastrofom, także umyślnie spowodowanym przez człowieka.

Paweł Ziemiński
dziennikarz, ekspert ds. tematyki kosmicznej, pracuje na rzecz podmiotów związanych z satelitarną obserwacją Ziemi