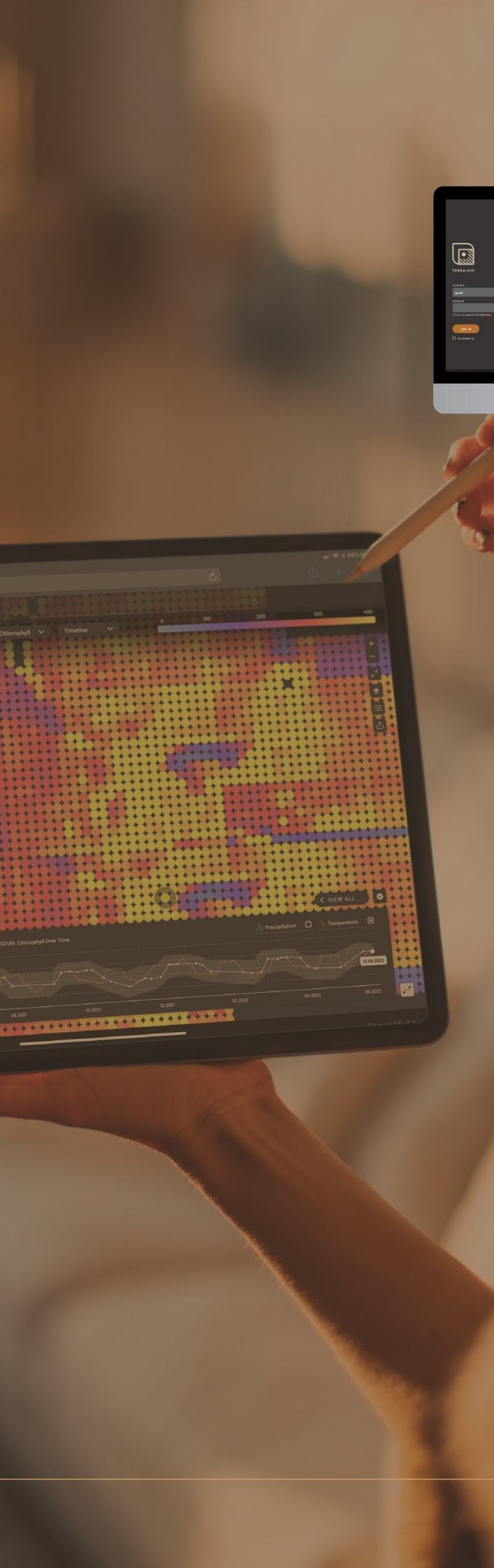




Możliwości systemu TerraEye

**Monitorowanie wpływów działalności
górnictwej na środowisko na przykładzie
rosyjskich kopalń odkrywkowych**



TERRA•EYE

Rozwijany system TerraEye to narzędzie, dedykowane dla branży górnictwa odkrywkowego, służące m. in. do monitorowania wpływów kopalń odkrywkowych na środowisko. Rozwijane przez nas funkcjonalności opierają się na analizie danych satelitarnych, przy wsparciu sztucznej inteligencji oraz uczenia maszynowego.

W niniejszym artykule przedstawiamy wybrane funkcjonalności odnoszące się do wpływów środowiskowych, na wybranych przykładach kopalń odkrywkowych. W ostatnim czasie, z uwagi na trwającą wojnę rosyjsko-ukraińską, w realizowanych przez nas pracach badawczo-rozwojowych zdecydowaliśmy się wziąć pod lupę szereg rosyjskich kopalń.

Ideą systemu TerraEye jest zautomatyzowany monitoring zarówno obszarów górniczych jak i terenów objętych wpływem działalności górniczej. Monitoring terenów objętych wpływem działalności górniczej jest skupiony wokół wpływów wydobycia odkrywkowego na środowisko naturalne. W dobie zwiększającej się świadomości społecznej i środowiskowej, skuteczne monitorowanie i raportowanie o tychże wpływach staje się w większości krajów obligatoryjne. Ponadto, system TerraEye może wspierać procesy likwidacji i rekultywacji kopalń odkrywkowych poprzez ilościowe i jakościowe monitorowanie skuteczności przywracania wartości użytkowych i przyrodniczych obszarom przeobrażonym działalnością górniczą. System TerraEye dostarcza przetworzonych informacji gotowych do analiz. Na podstawie systemu alertów można znacząco zmniejszyć ilość pobieranych próbek in-situ.

Z uwagi na specyfikę przetwarzanych przez nas danych satelitarnych, nasze rozwiązania są aplikowalne dla obszarów na całym świecie.

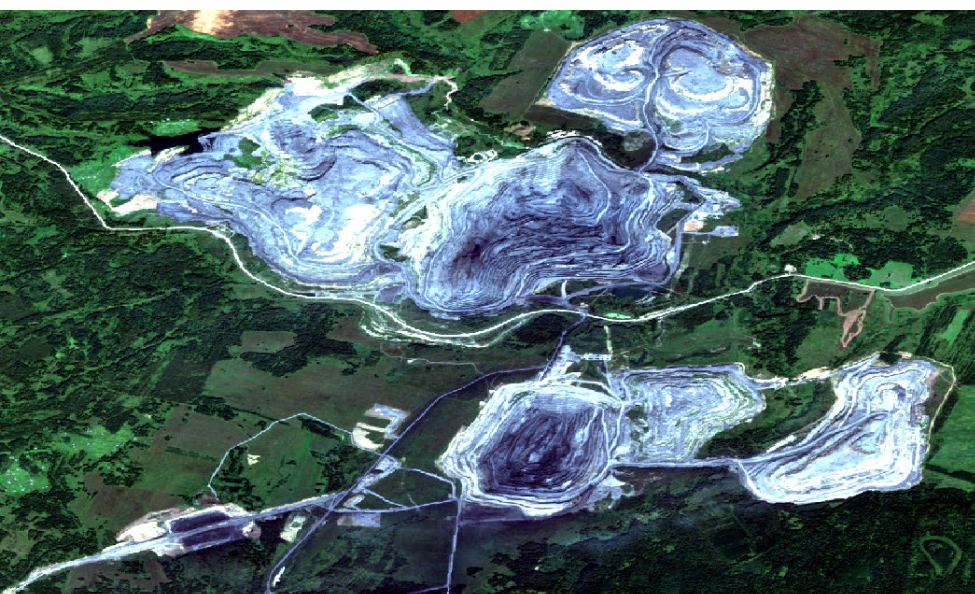
Rosja jest największym państwem na świecie pod względem powierzchni, obejmując ponad 17 mln km². Ogromna powierzchnia warunkuje ponadprzeciętny dostęp do surowców, a zasoby strategiczne odgrywają jedną z kluczowych ról w toczącym się konflikcie.

Skupiając się na surowcach wydobywanych metodą odkrywkową, Rosja zajmuje drugie miejsce na świecie pod względem wielkości zasobów węgla (175 mld ton). Znajdują się tam również ogromne ilości rud metali w tym m. in. trzecie co do wielkości na świecie zasoby rud żelaza (25 mld ton). Ponadto Rosja jest jednym z głównych producentów minerałów krytycznych,

takich jak nikiel, pallad czy rod. Jest także drugim producentem kobaltu i szóstym producentem grafitu na świecie. Rosja nie jest znaczącym producentem litu, ale w okupowanym wschodnim regionie Ukrainy, znajdują się jego znaczne zasoby. Biorąc pod lupę minerały ziem rzadkich, Rosja nie stanowi obecnie istotnej części łańcucha ich produkcji i przetwarzania, niemniej posiada około 10% światowych rezerw.

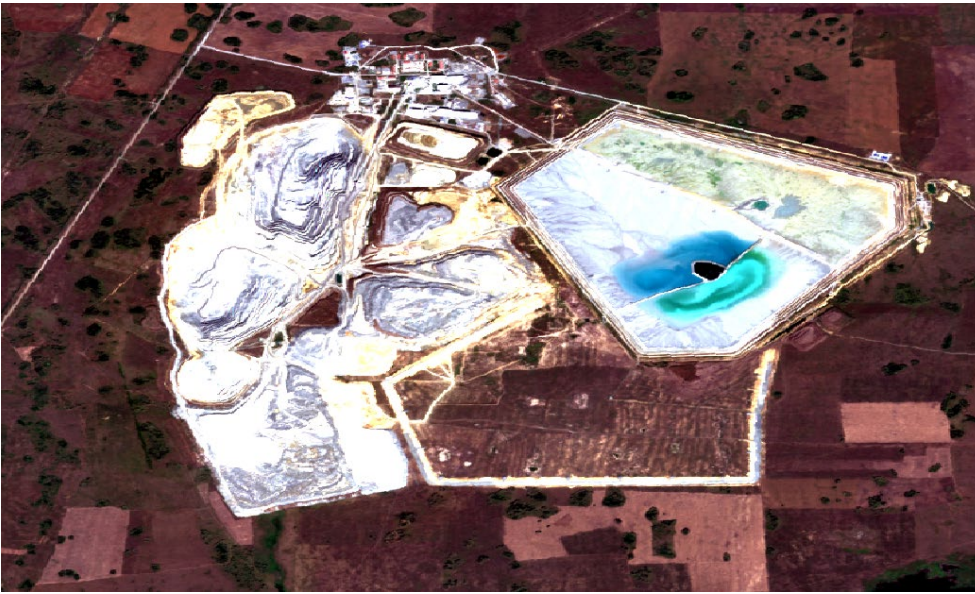
Na potrzeby przeprowadzenia analiz wytypowano trzy obszary, gdzie rosyjskie kopalnie prowadzą bądź prowadziły wydobycie metodą odkrywkową.

OBSZARY PODDANE ANALIZOM



1. Odkrywkowa Kopalnia Węgla Kamiennego

Obszar znajdujący się na południu Rosji we wschodniej części obwodu nowosybirskiego, około 20 km na wschód od miejscowości Iskitim, gdzie wydobywany jest węgiel kamienny w kilku wyrobiskach wglębnych, rokrocznie zwiększających swoją powierzchnię. Na obszarze widoczne są również wielkopowierzchniowe zwałowiska zewnętrzne.



2. Kopalnia Odkrywkowa Rudy Żelaza

Obszar znajdujący się na południu Rosji w obwodzie czelabińskim, około 20 km na zachód od granicy z Kazachstanem. Na obszarze znajduje się głębokie wyrobisko odkrywkowe rudy żelaza oraz towarzyszące jej zwałowiska zewnętrzne, zakład przerobczy oraz zbiornik odpadów pogórnich.



3. Zlikwidowana Kopalnia Odkrywkowa Węgla Brunatnego

Obszar znajdujący się w zachodniej części Rosji w obwodzie swierdłowskim. Znajduje się tam wyrobisko końcowe po wydobyciu węgla brunatnego w którym eksploatacja została zakończona i obecnie wypełnia się ono wodą. Wyrobisko bezpośrednio sąsiaduje z miejscowością Wołczansk. Widoczne jest również ogromne zwałowisko zewnętrzne, zrehabilitowane w kierunku leśnym.

W każdym z wytypowanych obszarów dostrzeżono potencjał na zastosowanie funkcjonalności systemu TerraEye. W lokalizacji **1** czynnikiem decydującym o wyborze była zaobserwowana postępująca wycinka lasów oraz wyłączanie z użytku gruntów w celach udostępniania nowych części złoża oraz nowych miejsc zwałowania. Spodziewano się pogarszającego się stanu roślinności w okolicy wyrobisk z uwagi na ogromną, zwiększającą się skalę wydobycia w obszarze.

W lokalizacji **2** czynnikiem decydującym o wyborze było zwiększające się zużycie terenu przez wyrobiska i zwałowiska oraz obecność zbiornika odpadów pogórnich.

W lokalizacji **3** czynnikiem decydującym o wyborze był etap likwidacji zakładu górniczego oraz podnoszenie się poziomu lustra wody w wyrobisku końcowym, a przy tym obecność wielu naturalnych zbiorników powierzchniowych w okolicy wyrobiska.

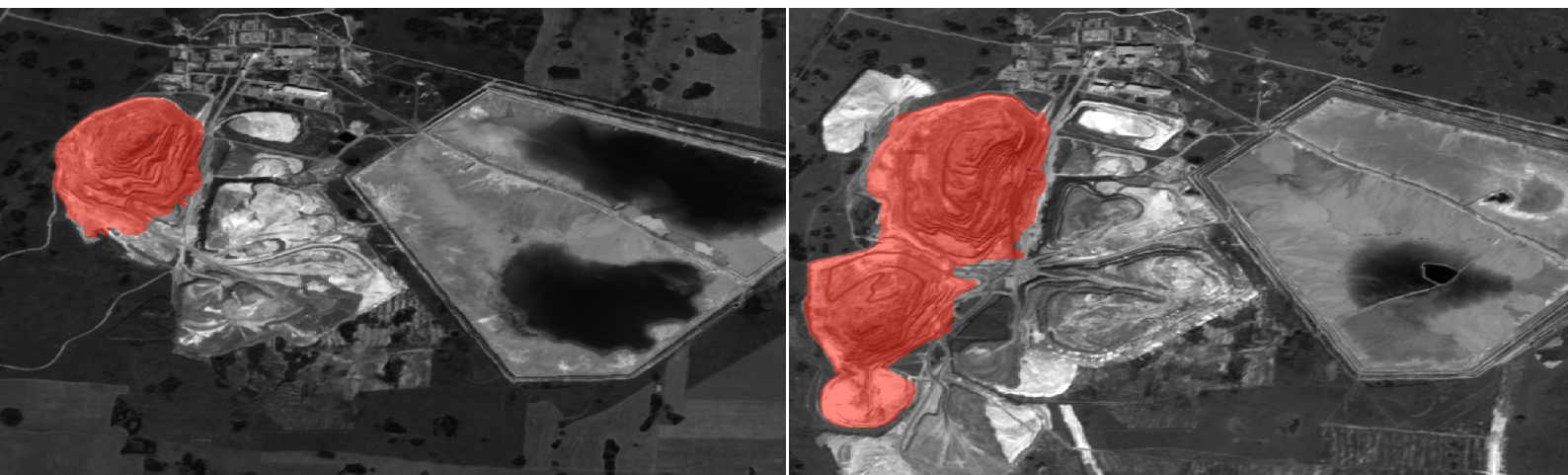
Zastosowane na potrzeby niniejszego tekstu funkcjonalności systemu TerraEye to: segmentacja elementów obszarów górniczych, detekcja wody oraz detekcja zieleni.

Rozwijana przez nas funkcjonalność umożliwia użytkownikowi automatyczną detekcję oraz śledzenie zmian w klasach pokrycia terenu obszarów górniczych.

W zależności od potrzeb użytkownika, segmentacja elementów kopalni może dostarczać informacji na temat aktualnej powierzchni obszarów przeobrażonych działalnością górniczą i wspierać procesy podejmowania decyzji poprzez weryfikowanie planów długoterminowych na najwyższym szczeblu zarządczym. System TerraEye poprzez śledzenie zmian w powierzchni poszczególnych elementów odkrywkowych zakładów górniczych, odnosi się do najbardziej oczywistego wpływu środowiskowego działalności górniczej, tj. zużycia terenu. Rozwijane przez nas modele uczenia maszynowego są w stanie automatycznie rozpoznawać aż 15 klas pokrycia terenu, w tym te najbardziej podstawowe - wyrobiska i zwałowiska. Jest to funkcjonalność komplementarna z innymi, skierowanymi

na działanie w poszczególnych obiektach (monitoring stateczności zboczy, osiadanie gruntów na zwałowiskach). W przyszłości konieczna do funkcjonowania zintegrowanego, wielofunkcyjnego systemu, celem ograniczenia ilości danych wejściowych koniecznych do wprowadzenia przez użytkownika. Co więcej, prowadzimy prace nad możliwościami zintegrowania tej funkcjonalności z autonomicznymi dronami, które samodzielnie wybierały będą docelowe miejsca przelotu w celu zebrania szczegółowych danych.

Poniżej dla lokalizacji 2, zaprezentowano przykłady predykcji obszaru wyrobiska wygenerowane automatycznie przez nasz model uczenia maszynowego. Porównano lata 2017-2021.

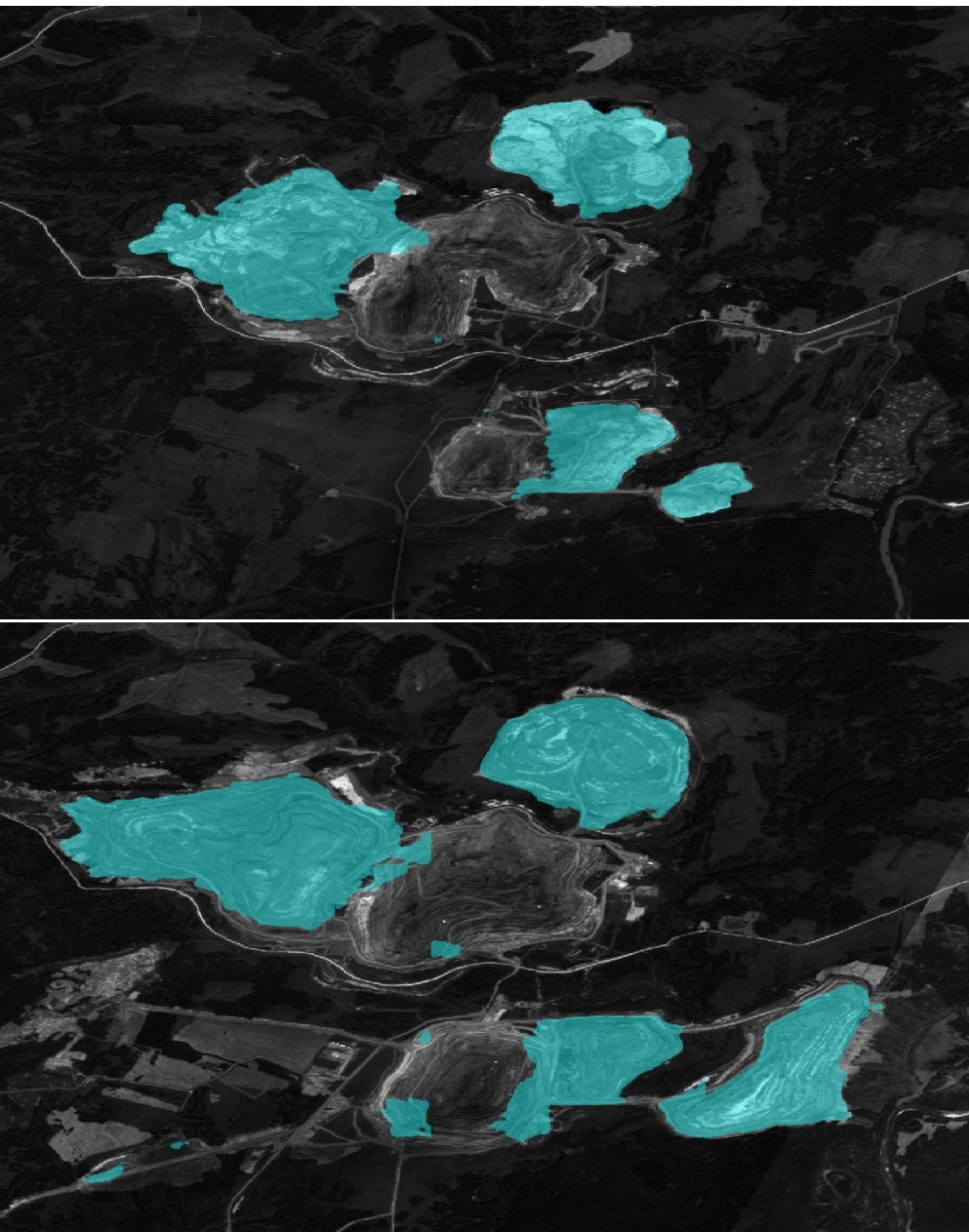


Rys. 1. Zmiany powierzchni wyrobiska w lokalizacji 2 w latach 2017-2021, wykonane przez model ML.

Na widocznym obszarze górniczym obserwowane jest znaczne zwiększanie się powierzchni wyrobisk oraz zwałowisk zewnętrznych. System TerraEye dostarczył m. in. informacji, iż wskutek udostępniania nowych części złoża i postępu

wydobycia, powierzchnia wyrobisk analizowanego obszaru górniczego, pomiędzy rokiem 2017 a 2021 zwiększyła się z ponad 119 do około 332 ha. W związku z tym, na potrzeby wydobywania rudy żelaza, z użytku wyłączono zostało około 213 ha gruntów.

Poniżej analogicznie, tym razem dla lokalizacji 1 zaprezentowano przykłady predykcji obszarów zwałowisk wygenerowanych automatycznie przez nasz model uczenia maszynowego. Porównano lata 2018-2022.



Na widocznym obszarze górniczym obserwowane jest znaczne zwiększenie się powierzchni wyrobisk oraz zwałowisk. System TerraEye dostarczył m. in. informacji, iż wskutek postępu zwałowania zewnętrznego, sumaryczna powierzchnia 4 istniejących zwałowisk zewnętrznych, pomiędzy rokiem 2018 a 2022 zwiększyła się z prawie 900 do ponad 1378 ha. W związku z tym, na potrzeby samego zwałowania skały płonnej, z użytku wyłączone zostało około 417 ha gruntów. Najbardziej znacząco zwiększyło się zwałowisko we wschodniej części obszaru górniczego, zwiększając swoją powierzchnię o ponad 200 ha.

Podobne analizy zmian powierzchni wykonane zostały dla innych predykowanych klas elementów obszarów górniczych. Skuteczność predykcji systematycznie zwiększa się wraz ze zwiększaniem ilości danych wejściowych dla modeli uczenia maszynowego.

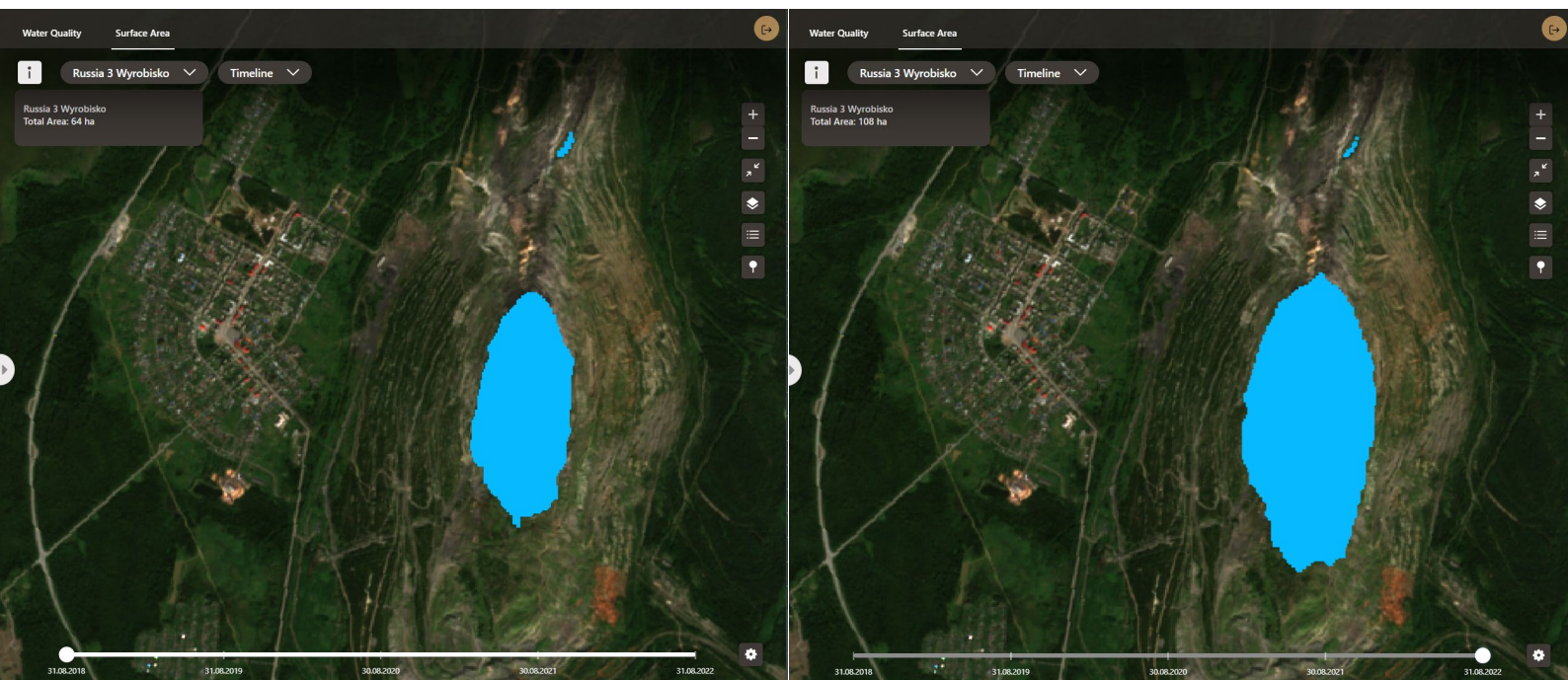
Rys. 2. Zmiany powierzchni zwałowisk w lokalizacji 1 w latach 2018-2022, wykonane przez model ML.

Rozwijana funkcjonalność detekcji wody pozwala użytkownikowi monitorować zarówno zmieniającą się powierzchnię zbiorników wodnych, jak i wybrane wskaźniki jakościowe wody.

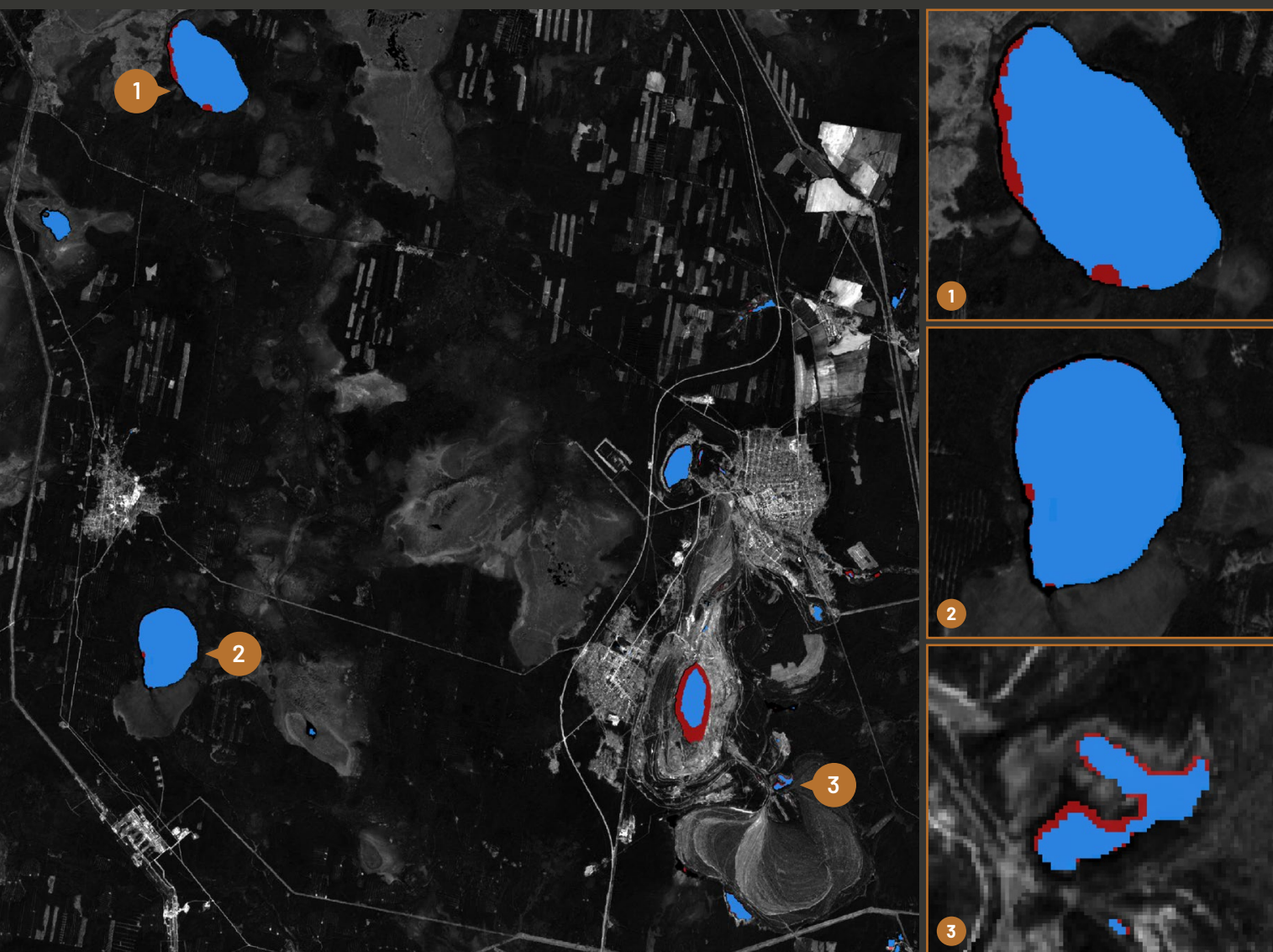
W kopalniach odkrywkowych, ze względu na możliwy napływ wód gruntowych i opadowych do wyrobisk, konieczne jest odpowiednie odwodnienie złóż aby umożliwić prowadzenie wydobywania. Odwadnianie złóż studniami głębinowymi prowadzi do tworzenia się leja depresji, którego promień może sięgać nawet kilkudziesięciu kilometrów. Prowadzi to do obniżania się poziomu wód podziemnych i powierzchniowych w otoczeniu kopalni. Ponadto, kopalnie odkrywkowe zużywają duże ilości wody w procesach technologicznych związanych z wydobywaniem i przeróbką surowców. Kopalnie zobligowane są do monitorowania wpływów swojej gospodarki wodnej na otaczające wody powierzchniowe. Dodatkowo, najpowszechniejszym sposobem rekultywacji dla wyrobisk końcowych kopalń odkrywkowych jest tworzenie jezior

poeksploatacyjnych. Konieczne jest odpowiednie planowanie, kontrola i monitorowanie procesów tworzenia jezior poeksploatacyjnych, zarówno pod kątem tempa wypełniania się zbiornika, jak i ciągłego monitoringu jakości wody.

Poniżej dla lokalizacji **3**, zaprezentowano zmiany powierzchni lustra wody w wyrobisku końcowym po wydobywaniu węgla brunatnego. Analizę wykonano dla serii czasowej zdjęć z lat 2018-2022 (miesiąc sierpień). Wskutek zakończonego odwadniania kopalni, widoczne jest wypełnianie się wyrobiska końcowego wodą z napływających wód podziemnych oraz wód opadowych. Powierzchnia lustra wody w wyrobisku końcowym wskazana przez nasz system zwiększa się z ponad 64 ha w roku 2018 do prawie 108 ha w roku 2022.



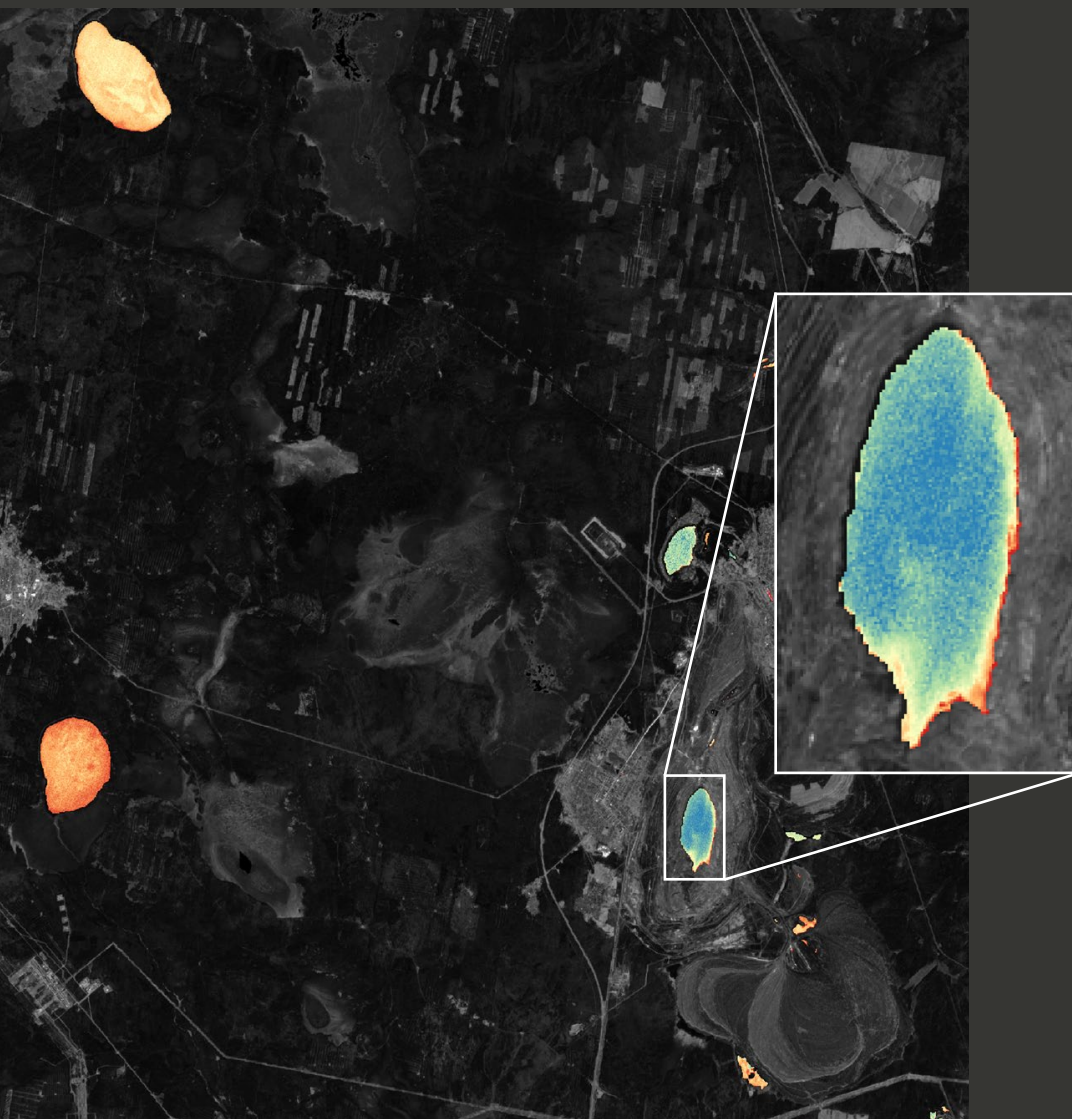
Rys. 3. Zmiany powierzchni lustra wody w wyrobisku końcowym po wydobywaniu węgla brunatnego w lokalizacji **3**. Widok z aplikacji TerraEye.



Rys. 4. Zmiany powierzchni lustra wody w jeziorach w otoczeniu lokalizacji 3.

Co więcej, zaprzestanie odwodnienia wyrobiska, spowodowało odbudowę zwierciadła wód w całym zasięgu leja depresji. Nasz system był w stanie wykryć sukcesywne powiększanie się powierzchni lustra wody otaczających jezior, które to w przeszłości dotknięte były negatywnym oddziaływaniem leja depresji.

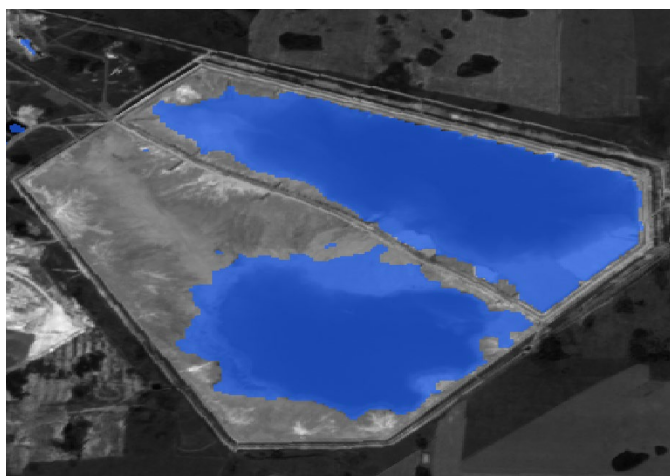
System TerraEye jest także narzędziem do wyliczenia wskaźników teledetekcyjnych opisujących jakość wód powierzchniowych w zbiornikach wodnych. Dzięki wskaźnikom już zaimplementowanym w naszym systemie możliwe jest m. in. określenie ilości chlorofilu w wodzie, którego wzrost wskazuje na pogarszanie się parametrów chemicznych, fizycznych i biologicznych wód (CHL_A; NDCI); określenie ilości rozpuszczonej materii organicznej, w tym rozpuszczonego węgla organicznego, których wzrost wskazuje na postępującą degradację fauny i flory w wodzie (CDOM; DOC); określenie zmętnienia wody, będącego konsekwencją dużej ilości cząstek stałych w zbiorniku wodnym, które mogą negatywnie wpływać na jakość wody (TURB). Nasz zespół specjalistów systematycznie pracuje nad poszerzeniem usługi o kolejne wskaźniki jakości wody.



Rys. 5. Porównanie zawartości rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) w wyróbisku końcowym i otaczających jeziorach w roku 2019; na przybliżeniu – mapa hot-spotów wskaźnika DOC w wyróbisku końcowym.

System TerraEye może służyć do wspierania monitoringu i badań in-situ poprzez wskazywanie tzw. hot-spotów i cold-spotów, czyli punktów, w których doszło do największych zmian w stosunku do danych z przeszłości, lub w których widoczny jest trend. Bazując na ich wartościach system TerraEye alarmuje użytkownika o anomaliach i potencjalnych zagrożeniach.

Na rysunku przedstawiono przykładowe wyniki analiz dla zawartości rozpuszczonego węgla organicznego (DOC) w roku 2019 w lokalizacji 3 oraz otaczających zbiornikach naturalnych. Należy zwrócić uwagę, że ilość rozpuszczonego węgla organicznego w antropogenicznych zbiornikach poeksploatacyjnych, które wypełniają się wodą, kształtuje się na zdecydowanie niższym poziomie niż w zbiornikach naturalnych.



Funkcjonalność detekcji wody również może być przydatna w monitorowaniu powierzchni lustra wody w zbiornikach odpadów poflotacyjnych, gdzie niepożądanym zjawiskiem jest zbliżanie się lustra wody do górnej krawędzi skarpy wewnętrznej.

Przykładową analizę wykonano dla zbiornika odpadów w lokalizacji 2, gdzie lustro wody zbiornika odpadów systematycznie ulegało zmianom, w zależności od ilości odprowadzanego odpadu, odzyskiwanej wody i warunków atmosferycznych.

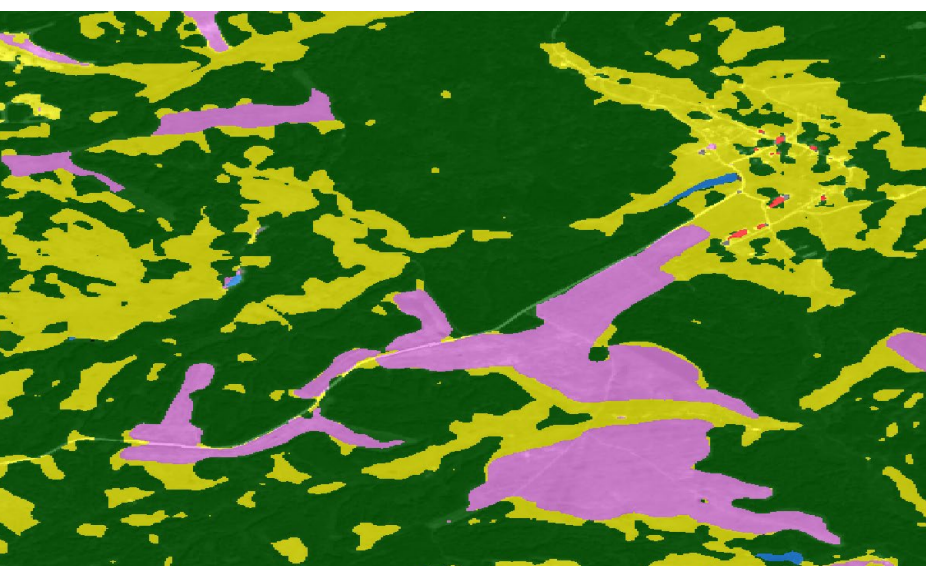
Rys. 6. Detekcja lustra wody dla zbiornika odpadów pogórnictwa dla lokalizacji 2 w roku 2017.

Rozwijana funkcjonalność detekcji zieleni służy do inwentaryzacji szaty roślinnej na terenie objętym wpływem działalności górniczej, poprzez wskazywanie zasięgu poszczególnych klas pokrycia roślinnością.



Nasz model uczenia maszynowego, w ramach funkcjonalności detekcja zieleni, jest w stanie rozróżniać aż 11 klas pokrycia terenu, w tym drzewa, krzewy, trawy, czy pola uprawne. System TerraEye jest w stanie kwantyfikować ubytki w pokryciu roślinnością spowodowane np. pracami udostępniającymi. Z drugiej strony, może służyć do inwentaryzacji szaty roślinnej na obszarach rekultywowanych w kierunkach leśnym czy rolnym.

Po lewej przedstawiono przykład klasyfikacji wegetacji przez model uczenia maszynowego dla części lokalizacji 1.



Rys. 7. Przykładowa klasyfikacja szaty roślinnej, dla północno zachodniej części obszaru lokalizacji 1; zielony – drzewa, żółty – trawy, różowy – pola uprawne, niebieski – woda.



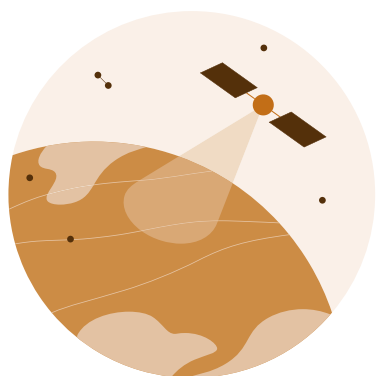
Rys. 8. Fragment obszaru lokalizacji 1 z widocznym nowym przobrażonym obszarem w roku 2021 (góra); porównanie wartości wskaźnika NDVI pomiędzy 2017 a 2022 (dół).

Ponadto, na obszarach wyznaczonych przez model uczenia maszynowego, przeprowadzana może być analiza jakości zieleni dla roślinności występującej w obrębie każdego piksela. Na podstawie wskaźnika teledetekcyjnego NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) możliwe jest określanie stanu rozwojowego oraz kondycji roślinności. Możliwe jest także monitorowanie zawartości wody w liście, przy użyciu wskaźnika NDII (Normalized Difference Infrared Index) oraz zawartości chlorofilu, przy użyciu wskaźnika NDRE (Normalized Difference Red-Edge Index), którego niskie wartości sugerować będą choroby i zniszczenia roślin. Wskaźniki są wyliczane osobno dla każdej klasy zieleni predykowanej przez model uczenia maszynowego. Ponadto, możliwe jest porównywanie zmian wielkości wskaźników w czasie.

Po lewej, przedstawiono wyniki porównania wielkości wskaźnika NDVI dla fragmentów lasów w centralnej części lokalizacji 1, gdzie w okolicy nowopowstałego obszaru przeobrażonego, pomiędzy rokiem 2017 a 2022, widoczny jest znaczny spadek jego wartości.

Nasz pomysł na monitorowanie kluczowych lokalizacji

Dzięki szerokiemu gronu klientów rozumiemy zapotrzebowanie na dane o zróżnicowanym poziomie i stopniu szczegółowości. Dla zapewnienia tych typów informacji, naszym celem jest integracja wielu sposobów pozyskania danych.



W SZERSZEJ PERSPEKTYWIE

Zobrazowania satelitarne dostarczają najbardziej aktualnych i zróżnicowanych informacji:

- Co 2-3 dni dostępne są nowe zobrazowania multispektralne;
- Co 12 dni pozyskiwane są nowe dane radarowe w celu uzyskania informacji o deformacjach gruntu;
- Dostęp do zobrazowań hiperspektralnych umożliwia tworzenie bardziej kompleksowych analiz.



BLIŻSZE SPOJRZENIE

Drony (UAV) mogą być wysłane w celu dalszego uzupełnienia danych satelitarnych i uzyskania bardziej szczegółowych informacji o regionie lub miejscu:

- Gdy wymagana jest lepsza rozdzielczość;
- Gdy chmury przestaniają określoną lokalizację;
- Gdy potrzebna jest walidacja danych satelitarnych.



IN-SITU DLA DETALI

Dostęp do szczegółowych informacji za pośrednictwem naziemnych sensorów i fizycznego pobierania próbek.

- Wykorzystywane do wyników analiz.
- Pobieranie próbek w konkretnych lokalizacjach w przypadku określonych zdarzeń lub w celu uzyskania lepszego wglądu w planowany przyszły projekt.



WSPARCIE

Aby osiągnąć najwyższą jakość ukazywanych informacji i ciągle ulepszać nasze algorytmy uczenia maszynowego współpracujemy z ekspertami:

- Pracujemy na danych pochodzących z optycznych konstelacji (w tym Pléiades Neo, Pléiades, SPOT DMC Constellation, Vision-1) poprzez współpracę z Airbus, SentinelHub, ESRIC, Maxar, SatRev, Pixxel oraz SkyWatch.
- Współpracujemy z Prometheus S.A. w ramach realizacji oblotów dronowych oraz pozyskiwania danych.
- Współpracujemy z Wydziałem Geologii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Politechniką Wrocławską, aby ulepszać nasze algorytmy.
- W rozwijaniu naszego systemu wspiera nas Microsoft, PWC oraz ESA.
- Otrzymujemy finansowanie z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

AIRBUS

MAXAR

esric

sentinelhub

pixxel

SATREV⁺

Microsoft

PROMETHEUS

pwc

eesa

**UNIWERSYTET
WARSZAWSKI**

**Politechnika
Wrocławska**

SKYWATCH

NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

O NAS

W RSBS naszą misją jest ograniczanie wpływu przemysłu na środowisko poprzez wprowadzanie innowacji technologicznych.

Przedstawiamy narzędzie, które przy wykorzystaniu zobrażeń satelitarnych i rozwiązań teledetekcyjnych, będzie wspierać proces oceny środowiskowej na wielu płaszczyznach.

Kontakt