



Tytuł opracowania: **Ekspertyza dotycząca przyszłości produktów i usług powstających na podstawie danych satelitarnych**

Autor ekspertyzy: dr hab. Stanisław Lewiński

Opracowanie wykonane na zlecenie: Polska Agencja Kosmiczna

Rok opracowania: 2025

STRESZCZENIE WYKONAWCZE

W ramach ekspertyzy przedstawiono ocenę sytuacji produktów i usług obserwacji Ziemi, które są związane z downstream czyli z aplikacyjnym wykorzystaniem danych satelitarnych. Zostało to wykonane ze zwróceniem uwagi na rolę Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA) oraz Narodowy System Informacji Satelitarnej działający w ramach Agencji.

Budowa konstelacji polskich satelitów obserwacyjnych zdynamizowała krajowy sektor kosmiczny. Do podstawowych trendów, które obserwujemy zaliczyć należy metody analizy danych z zastosowaniem sztucznej inteligencji (AI), dane hiperspektralne, przetwarzanie na pokładzie satelity. Ważnym i jeszcze nie w pełni zagospodarowanym obszarem jest integracja danych rejestrowanych z pokładów satelitów, samolotów i dronów.

Administracja, jako podstawowy odbiorca produktów satelitarnych powinna z większym zaangażowaniem korzystać z najnowszych technik obserwacyjnych i wykorzystywać w ten sposób potencjał ośrodków naukowych i przemysłu. Wpływ na taką sytuację mają również opóźnienia legalizacyjne i brak certyfikacji produktów satelitarnych. Wymieniono nisze usługowe związane z NSIS (wsparcie użytkowników, dodatkowa funkcjonalność) oraz technologiczne (AI, obliczenia kwantowe). Jako nisze tematyczne wskazano na zastosowania obserwacji Ziemi w statystyce, wsparcie analiz z zakresu wskaźników zrównoważonego rozwoju oraz przestępstwa środowiskowe, które są ważnym i aktualnym tematem.

Krajowe kompetencje w zakresie downstream powinny być koordynowane przez POLSA. Mając na uwadze istotność tematu i korzyści gospodarcze, w ramach Agencji powinien powstać silny zespół specjalistów obserwacji Ziemi. Obserwacje Ziemi powinny być polską specjalnością.

SPIS TREŚCI

1 WPROWADZENIE	4
2 CEL EKSPERTYZY.....	4
3 ZAKRES EKSPERTYZY	4
4 PODSTAWOWE TRENDY OBSERWACJI ZIEMI (downstream).....	5
4.1 AUTOMATYZACJA.....	5
4.2 SZTUCZNA INTELIGENCJA.....	6
4.3 OBLICZENIA KWANTOWE.....	7
4.4 NOWE KONSTELACJE SATELITÓW	7
4.5 DANE HIPERSPEKTRALNE.....	8
4.6 ON-BOARD PROCESSING.....	9
4.7 BEZPIECZEŃSTWO, WSPÓŁPRACA INSTYTUCJI CYWILNYCH Z WOJSKIEM	9
4.8 INTEGRACJA DANYCH SATELITARNYCH.....	9
5 SEGMENTACJA WYBRANYCH RYNKÓW EO.....	11
5.1 PLANOWANIE PRZESTRZENNE	11
5.2 ROLNICTWO.....	11
5.3 LEŚNICTWO.....	11
5.4 KLIMAT	12
5.5 ENERGETYKA.....	12
5.6 ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ.....	12
6 ANALIZA KOMPETENCJI I POTENCJAŁU POLSKICH OBSERWACJI ZIEMI	13
7 NISZE I KIERUNKI ROZWOJU KRAJOWYCH OBSERWACJI ZIEMI	13
7.1 NISZE USŁUGOWE.....	14
7.1.1 Wsparcie użytkowników NSIS.....	14
7.1.2 Poprawa geometrii danych satelitarnych	14
7.1.3 Bazy danych walidacyjnych	15
7.2 NISZE TECHNOLOGICZNE.....	16
7.2.1 Sztuczna Inteligencja.....	16
7.2.2 Obliczenia kwantowe.....	16
7.3 NISZE TEMATYCZNE.....	17
7.3.1 Statystyka.....	17
7.3.2 Wskaźniki SDG.....	18
7.3.3 Przestępstwa środowiskowe.....	18
8 PLAN ROZWOJU KRAJOWYCH OBSERWACJI ZIEMI	20
9 MOŻLIWOŚCI WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ.....	21
10 BARIERY I RYZYKA KRAJOWYCH OBSERWACJI ZIEMI	21
10.1 Bariery.....	21
10.2 Ryzyka.....	21
11 REKOMENDACJE STRATEGICZNE DLA POLSKIEJ AGENCJI KOSMICZNEJ	22
12 EDUKACJA.....	23
13 PORTAL NSIS - wybrane uwagi użytkownika	23
14 PODSUMOWANIE	24
15 Bibliografia i źródła	24

1 WPROWADZENIE

Rozwój produktów obserwacji Ziemi powinien wynikać z Polskiej Strategii Kosmicznej (PSK). PSK została przyjęta w roku 2017 i wyznacza cele do roku 2030¹. Dokument wskazuje na trzy podstawowe cele:

- 1) Polski sektor kosmiczny będzie zdolny do skutecznego konkurowania na rynku europejskim, a jego obroty wyniosą co najmniej 3% ogólnych obrotów tego rynku (proporcjonalnie do polskiego potencjału gospodarczego);
- 2) Polska administracja publiczna będzie wykorzystywać dane satelitarne dla szybszej i skuteczniejszej realizacji swoich zadań, a krajowe przedsiębiorstwa będą w stanie w pełni zaspokoić popyt wewnętrzny na tego typu usługi oraz eksportować je na inne rynki;
- 3) Polska gospodarka i instytucje publiczne będą posiadały dostęp do infrastruktury satelitarnej umożliwiającej zaspokojenie ich potrzeb, zwłaszcza w dziedzinie bezpieczeństwa i obronności.

Wskazano również cele szczegółowe:

- wzrost konkurencyjności polskiego sektora kosmicznego i zwiększenie jego udziału w obrotach europejskiego sektora kosmicznego;
- rozwój aplikacji satelitarnych - wkład w budowę gospodarki cyfrowej;
- rozbudowa zdolności w obszarze bezpieczeństwa i obronności państwa z wykorzystaniem technologii kosmicznych i technik satelitarnych;
- stworzenie sprzyjających warunków do rozwoju sektora kosmicznego w Polsce;
- budowa kadr dla potrzeb polskiego sektora kosmicznego.

W ostatnich latach obserwujemy postęp technologiczny (możliwości obliczeniowe, rozwój AI), rosną kompetencje polskich podmiotów oraz następują istotne zmiany geopolityczne, mimo to dokument z roku 2017, jak dotąd nie został zaktualizowany.

Podstawowym odbiorcą danych satelitarnych, co jest równoważne z siłą napędową, powinna być administracja, wskazują na to również dokumenty m.in. europejskiego programu Copernicus². Jednak tak nie jest, zainteresowanie obserwacjami Ziemi jest umiarkowane. Nie w pełni jest wykorzystywany istniejący potencjał.

Raport zawiera informacje i spostrzeżenia wynikające z wieloletnich praktycznych doświadczeń w zakresie przetwarzania danych satelitarnych oraz zdobywania i realizacji krajowych i zagranicznych projektów naukowych i aplikacyjnych, działania w organizacjach naukowych, pełnienia roli przedstawiciela kraju w GEO High Level Working Group oraz kierowania Action Group Land Cover and Land Intelligence przy EuroGEO.

2 CEL EKSPERTYZY

Celem ekspertyzy jest przedstawienie przyszłości produktów obserwacji Ziemi z uwzględnieniem wybranych danych in-situ przez które są one wspierane. Ze względu na wielką złożoność tematu zostały poruszone podstawowe zagadnienia z nawiązaniem do Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej (NSIS) oraz do roli Polskiej Agencji Kosmicznej (POLSA). Przedstawiono podstawowe trendy obserwacji Ziemi, wybrane rynki, nisze, opinię dotyczącą funkcjonowania NSIS. Ekspertyza zawiera rekomendacje dla POLSA.

3 ZAKRES EKSPERTYZY

Przedstawiono aktualne trendy obserwacji Ziemi (downstream) do których należy automatyzacja, wykorzystanie sztucznej inteligencji, obliczenia kwantowe, integracja danych obserwacyjnych. Zwrócono uwagę na znaczenie danych hiperspektralnych i przetwarzania ich na pokładzie. Pokreślono istotną rolę nowych polskich konstelacji satelitarnych, których budowa dynamizuje krajowy przemysł kosmiczny. Zasygnalizowano konieczność współpracy instytucji cywilnych z wojskiem wobec zachodzących zmian geopolitycznych.

¹ <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/polska-strategia-kosmiczna>

² <https://www.copernicus.eu/en/opportunities/public-authorities>

Scharakteryzowano wybrane rynki obserwacji Ziemi: planowanie przestrzenne, rolnictwo, leśnictwo, klimat, energetyka, zrównoważony rozwój. Zaproponowano działania w ramach potencjalnych niszy usługowych (wsparcie użytkowników NSIS, poprawa geometrii zdjęć Sentinel-2, bazy danych referencyjnych), technologicznych (sztuczna inteligencja, obliczenia kwantowe) oraz tematycznych (statystyka, wskaźniki zrównoważonego rozwoju, przestępstwa środowiskowe).

Podkreślono znaczenie Narodowego Systemu Informacji satelitarnych (NSIS) oraz zaproponowano zmiany w sposobie rozstrzygania zamówień na nowe warstwy tematyczne. Ekspertyza wskazuje na konieczność integracji działań w ramach obserwacji Ziemi (downstream) w czym podstawową rolę powinna odegrać Polska Agencja Kosmiczna. Przedstawiono rekomendacje. Został poruszony również temat edukacji w zakresie obserwacji Ziemi. Na zakończenie dodano wybrane uwagi z punktu widzenia użytkownika systemu NSIS.

4 PODSTAWOWE TRENDY OBSERWACJI ZIEMI (downstream)

Podstawowe trendy lub mega trendy to kierunki obserwacji Ziemi, które są szczególnie istotne, zmieniają podejście do danych, do sposobu ich pozyskiwania, przetwarzania, odbioru społecznego. Trendy powinny być długotrwałe, ale też mogą być chwilowe, jeżeli mimo pierwszych obiecujących wyników nie przynoszą wymiernych korzyści. Wyróżniono 8 podstawowych trendów, zamieszczono dodatkowe komentarze.

4.1 AUTOMATYZACJA

Ogromna liczba dostępnych danych satelitarnych, która jest mierzona w peta bajtach (PB) zmieniła podejście do sposobu przetwarzania danych. Pierwotnie dane były pobierane, a następnie przetwarzane przez lokalne systemy lub centra obliczeniowe. Czasochłonność pobierania danych, nieustanne generowanie ruchu w Internecie oraz możliwości przetwarzania danych w chmurze spowodowało zdefiniowanie zasady „algorithm-to-data”³. Zgodnie z nazwą przesyłany jest algorytm, a nie dane. Przykładem obliczeń chmurowych danych satelitarnych w Polsce jest działający od roku 2017 CreoDIAS⁴ oraz uruchomiony niedawno przez Polską Agencję Kosmiczną POLSA Narodowy System Informacji Satelitarnej (NSIS)⁵. Obliczenia chmurowe zapewniają również akademickie ośrodki obliczeniowe, w tym Centrum Naukowych Analiz Geoprzestrzennych i Obliczeń Satelitarnych (CENAGIS), działające przy Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej⁶. Światowymi liderami są m.in. Amazon Web Services (AWS) oraz Google Earth Engine (GEE).

Rozwiązania chmurowe zapewniają środowisko pracy, bezpośredni dostęp do danych oraz możliwości przechowywania wyników. Użytkownicy mają również dostęp do specjalistycznych pakietów narzędziowych (toolbox), które pozwalają na uruchamianie kompleksowych specjalistycznych algorytmów. Przekładem jest toolbox Sen4CAP (Sentinels for Common Agricultural Policy) oraz Sen4Stat (Sentinels for Statistics) ukierunkowane na analizy rolnicze, opracowane w ramach projektów ESA.

Uwagi szczegółowe

W czasie GEOFORUM organizowanego jesienią 2025 przez POLSA przedstawiono założenia platformy NSIS. Oferowany jest dostęp do danych, środowiska obliczeniowego oraz gotowych narzędzi. Użytkownik nie musi posiadać specjalistycznej wiedzy z zakresu teledetekcji satelitarnej, ani zaplecza obliczeniowego, aby móc wykonać analizy setek lub tysięcy zdjęć satelitarnych. Konieczna jest jednak wiedza informatyczna, której nie mają urzędnicy lub samorządowcy.

Dążenie do pełnej automatyzacji przetwarzania danych satelitarnych nie podlega dyskusji. Równocześnie jednak są tracone umiejętności interpretacji danych satelitarnych. Jest to szczególnie widoczne w przypadku analizy pokrycia i użytkowania ziemi. Do lat 80. poprzedniego wieku powszechnie stosowana była interpretacja wizualna. Uzyskiwane wyniki uzależnione były od doświadczenia interpretatora. Obecnie poszukiwane są przede wszystkim umiejętności informatyczne. Pokolenie doświadczonych

³ D. Tuia *et al.*, "Artificial Intelligence to Advance Earth Observation: A review of models, recent trends, and pathways forward," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, doi: 10.1109/MGRS.2024.3425961. keywords: {Adaptation models;Artificial intelligence;Earth;Data models;Computational modeling;Monitoring;Data mining}.

⁴ [CREODIAS - cloud services and Earth Observation data access](https://creodias.eu) [https://creodias.eu/](https://creodias.eu)

⁵ [Strona główna | NSIS](https://nsisplatforma.polsa.gov.pl/) <https://nsisplatforma.polsa.gov.pl/>

⁶ [CENAGIS](https://cenagis.edu.pl) <https://cenagis.edu.pl>

interpretatorów, zdobywających doświadczenie przez 10 lub 20 lat, wypadło już z rynku pracy. Wiedza o środowisku i procesach zachodzących na powierzchni Ziemi jest niezbędna do prawidłowego korzystania z danych satelitarnych. Konieczne jest tworzenie interdyscyplinarnych zespołów badawczych i aplikacyjnych. Dotyczy to przede wszystkim zespołów budujących modele AI. Są dostępne artykuły zwracające uwagę na konieczność odwoływania się do oceny wizualnej⁷, ale czynnik ludzki jest zastępowany algorytmizacją procesu obserwacji.

4.2 SZTUCZNA INTELIGENCJA

Obecnie dominującą metodą przetwarzania danych satelitarnych są algorytmy Deep Learnig (DL) oraz modele sztucznej inteligencji Artificial Intelligence (AI).

Jednym z powodów gwałtownego wzrostu modeli AI gotowych do analiz EO jest dostępność danych oraz ich wielkość niezbędna do prawidłowego działania modeli. Dostępnych jest coraz więcej danych satelitarnych, rośnie ich zasięg, rozdzielczość przestrzenna, spektralna, radiometryczna i czasowa. Są to zbiory macierzowe predysponowane do obliczeń.

Światowa organizacja Group on Earth Observations (GEO) rozpoczęła systematyczne prace nad wykorzystaniem AI dopiero po roku 2020. Zapoczątkowano inicjatywę Artificial Intelligence for Earth Observations (AI4EO)⁸, w ramach której powstała m.in. sieć ekspertów AI specjalizujących się w EO.

W roku 2023 powstał dokument Earth Intelligence For All GEO POST 2025 STRATEGY⁹, w którym uwydatniono rolę AI jako narzędzia wspierającego analizy danych EO, dającego wyniki w czasie zbliżonym do rzeczywistego oraz pozwalającego na wykonywanie prognoz.

Dostępnych jest wiele modeli AI, które są gotowe do wykorzystania. Jednym z bardziej popularnych repozytoriów jest GitHub¹⁰. Modele są ukierunkowane na klasyfikacje np. terenów zalanych, zabudowę, podwyższenie rozdzielczości (super resolution). Są one dostosowane do różnych danych satelitarnych. Stopień ich gotowości do bezpośredniego zastosowania nie jest jednakowy, w większości przypadków modele wymagają dotrenowania czyli dostosowania do analizowanych danych. Obserwujemy tendencję budowania foundation models, które są uniwersalne, dostosowane do różnych zastosowań EO. Zarówno do różnych danych jak i analiz tematycznych, są trenowane wstępnie na danych obrazujących powierzchnię Ziemi na wszystkich kontynentach. Przykładem zastosowania takich modeli jest monitorowanie roślinności¹¹. Analizowane są parametry biofizyczne, które mogą być indykatorami również innych zjawisk. Stosowanie foundation models do różnych zadań świadczy o wielkich możliwościach AI. Zainteresowanie takim podejściem wykazuje ESA. W roku 2025 został ogłoszony konkurs ESA AO/1-12737/25/I-KE-cl, OPENING THE BLACK BOX: SELF-EXPLAINABLE AI FOR EARTH OBSERVATION - EXPRO+, zorientowany na wykorzystanie foundation models. Dodatkowo ESA zaznaczyła konieczność stosowania rozwiązań, których zasady działania są w pełni wytłumaczalne.

Uwagi szczegółowe

Przeglądając dostępne modele można odnieść wrażenie, że niektóre z nich powstawały bez udziału specjalistów EO, którzy mają doświadczenie w przetwarzaniu danych tradycyjnymi metodami oraz wiedzę środowiskową. Nie są wykorzystywane wieloletnie doświadczenia z zakresu teledetekcji środowiska, dlatego tak ważne jest aby nowe modele powstawały z udziałem informatyków oraz specjalistów środowiskowych w zespołach interdyscyplinarnych.

⁷ Wang, W., Yang, Y., & Pan, Y. (2024). *Visual knowledge in the big model era: Retrospect and prospect*. arXiv preprint arXiv:2404.04308. <https://arxiv.org/abs/2404.04308>

⁸ AI4EO <https://earthobservations.org/groups/artificial-intelligence-for-earth-observations#Fjkt2Wj5au>

⁹ For All GEO POST 2025 STRATEGY <https://earthobservations.org/storage/documents/Key-Documents/GEO%20Post%202025%20Strategy%20Full%20Document.pdf>

¹⁰ GitHub <https://github.com>

¹¹ Gao, Z. et al. (2024). Study on winter wheat leaf area index inversion employing the PSO-NN-PROSAIL model. *International Journal of Remote Sensing*.

Celowe jest rozwijanie modeli AI, które są dostosowane do polskich warunków. Tworzenie od podstaw lub dotrenowanie takich modeli wymaga czasu oraz odpowiednich danych referencyjnych. Konieczne jest porównywanie wyników z metodami obecnie stosowanymi.

Nie ma jednoznacznej odpowiedzi na pytanie czy foundation models są bardziej skuteczne w działaniu w porównaniu z modelami dedykowanymi konkretnym danym satelitarnym oraz trenowanymi na przykładzie tylko jednego obszaru geograficznego. Z punktu widzenia użytkownika dotrenowanie istniejącego modelu jest zadaniem o mniejszym stopniu trudności w porównaniu z budową nowego. Stworzenie nowego modelu od podstaw jest wyzwaniem, które wymaga kompetencji nie tylko informatycznych, ale również analizy matematycznej, architektury sieci neuronowych i wiedzy środowiskowej.

4.3 OBLICZENIA KWANTOWE

Nowym wyzwaniem w przetwarzaniu danych są obliczenia kwantowe. Zajmują się tym głównie wyspecjalizowane grupy naukowe, które również sięgają po dane satelitarne. Należy pamiętać, że opracowanie algorytmów kwantowych nie polega na skopiowaniu już istniejących algorytmów. Powstają całkowicie nowe rozwiązania. Nowa technologia rozbudza wielkie oczekiwania, ale nie ma całkowitej pewności czy na pewno przelom nastąpi. Mimo to, należy bezwzględnie wspierać krajowe kompetencje EO ukierunkowane na obliczenia kwantowe. Konieczne jest zapewnienie warunków współpracy specjalistów matematyków/informatyków ze specjalistami EO, którzy mają wiedzę o danych satelitarnych i środowisku. W ramach takiej współpracy powinny być porównywane wyniki uzyskiwane różnymi metodami, przykładem jest publikacja¹². Zapewni to budowanie nowych kompetencji i opracowywanie skutecznych metod analizy.

4.4 NOWE KONSTELACJE SATELITÓW

Pod koniec listopada 2025 wyniesiono na orbitę konstelację satelitów Polish ImAging SaTellites (PIAST)¹³. Konstelacja składa się z trzech nanosatelitów. PIAST-M jest przeznaczony do testowania laserowych systemów nawigacji, natomiast PIAST-S1 i S2 mają dostarczać dane obrazowe o rozdzielczości 1 m, która będzie uzyskana z wykorzystaniem algorytmów AI super resolution. Dostarczane dane będą wykorzystywane przede wszystkim przez siły zbrojne i zapewnią autonomiczność ich działań.

W grudniu 2024 Agencja Uzbrojenia (Skarb Państwa) podpisała umowę z firmą Creotech Instruments S.A. na budowę konstelacji MIKROGLOB¹⁴. Do roku 2027 planuje się budowę czterech mikrosatelitów rejestrujących obrazy powierzchni Ziemi w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni. Celem konstelacji jest rozpoznanie obrazowe dla Sił Zbrojnych RP i zapewnienie polskiej suwerenności satelitarnej.

Kolejną polską konstelacją jest Country Awareness Mission in Land Analysis (CAMILA)¹⁵. Umowa z ESA została podpisana w 2025. W latach 2027 – 2028 zostaną wyniesione na orbitę co najmniej trzy satelity przeznaczone do monitorowania środowiska, analiz przestrzennych, wspomaganie sytuacji kryzysowych oraz bezpieczeństwa. Dwa będą rejestrować dane w zakresie optycznym VIS + NIR z rozdzielczością przestrzenną 1-2 m, trzeci będzie satelitą radarowym.

W roku 2025 podpisano również umowę w ramach, której konsorcjum ICEYE Polska i Wojskowe Zakłady Łączności Nr 1 zbudują konstelację MIKROSAR składającą się z trzech satelitów radarowych. Pierwszy satelita został wyniesiony już w grudniu 2025.

Równoczesna realizacja aż czterech programów świadczy o wyjątkowej dynamice polskich obserwacji satelitarnych. Rosną nie tylko kompetencje przemysłu budującego urządzenia, ale również segmentu kontroli lotów oraz przetwarzania i udostępniania danych.

Nie wszystkie parametry nowych konstelacji są jawne. Wspólną cechą jest rejestrowanie obrazów optycznych w zakresie widzialnym oraz bliskiej podczerwieni z rozdzielczością metrową. Z punktu widzenia obserwacji środowiskowych nie są to dane wielospektralne, które można porównać np. do zdjęć Landsat lub Sentinel. Zakresy

¹² [Multi-spectral image classification with quantum neural network](#), P Gawron, S Lewiński - IGARSS 2020-2020 IEEE international geoscience and remote sensing symposium, p. 3513-3516.

¹³ <https://www.gov.pl/web/nauka/nanosatelity-piast-na-orbicie--przelom-w-obszaru-ziemi>

¹⁴ <https://dziennikzbrojny.pl/aktualnosci/news,1,12109,aktualnosci-z-polski,rusza-satelitarny-program-mikroglob>

¹⁵ <https://space24.pl/przemysl/sector-krajowy/nowy-satelity-dla-polski-histeryczna-umowa-podpisana>

spektralne pozwalają jednak na wykonywanie podstawowych klasyfikacji, analiz ilościowych i jakościowych. Deklarowana rozdzielczość przestrzenna jest na poziomie 1 m.

Szeroko pojęta administracja oraz samorządy uzyskają dostęp przede wszystkim do zdjęć z konstelacji CAMILA. Będzie to cenne uzupełnienie i rozszerzenie europejskich danych SENTINEL.

Polskie satelity będą posiadać zdolności przetwarzania danych już na pokładzie (brak dostępnych, dokładnych informacji).

Uwagi szczegółowe

Rozdzielczość przestrzenna

Podstawowym parametrem nowych polskich konstelacji jest rozdzielczość przestrzenna deklarowana na poziomie 1 metra. Taka rozdzielczość pozwala na wykonanie opracowań w skali od 1:5 000 do 1:10 000. Jest to duża różnica w porównaniu do zdjęć Sentinel-2, które są obecnie podstawowym źródłem informacji dla systemu NSIS i są predysponowane do opracowań w skalach między 1:25 000 i 1:50 000. Wzrost rozdzielczości przestrzennej zwiększa zakres stosowania danych np. w planowaniu przestrzennym, urbanistyce, monitoringu infrastruktury. Ze wzrostem rozdzielczości rosną wymagania związane z ich geometrią. Rzeczywista przydatność nowych zdjęć w zastosowaniach kartograficznych i geoinżynierskich będzie musiała zostać potwierdzona analizami geometrii danych. Planowane jest wykorzystanie metod AI super resolution (SR) do dodatkowej poprawy rozdzielczości przestrzennej. Obecnie algorytmy SR są intensywnie wykorzystywane^{16 17}. Najczęściej poprawa stopnia szczegółowości jest czterokrotna. Ważnym zagadnieniem są efekty tzw. halucynacji^{18 19}. Polega to na powstawaniu na obrazie o podwyższonej rozdzielczości obiektów, które w rzeczywistości nie istnieją. Ich występowanie jest powiązane z rodzajem stosowanych sieci oraz ze stopniem wytrenowania modelu.

Możliwości klasyfikacyjne nowych danych

Optyczne satelity konstelacji CAMILA będą rejestrować obrazy powierzchni Ziemi w podstawowych zakresach spektralnych Red, Green, Blue oraz NIR. Jest to duże ograniczenie w porównaniu z satelitami środowiskowymi (Landsat, Sentinel, WorldView). Satelita radarowy będzie pracować w paśmie X z rozdzielczością 1-3 m, w paśmie X pracuje również Sentinel-1.

Pełne wykorzystanie możliwości nowych danych satelitarnych będzie możliwe w przypadku opracowania odpowiednich metod klasyfikacyjnych. Ze względu na typowy zestaw kanałów przykłady można znaleźć w literaturze, ale należy podjąć próbę opracowania nowych. Dotyczy to przede wszystkim modeli AI. Ważnym aspektem jest zastosowanie odpowiednich metod korekcji atmosferycznej, jest to szczególnie istotne w analizach wieloczasowych oraz klasyfikacji dużych obszarów zobrazowanych na kilku zdjęciach lub zdjęciach zarejestrowanych w różnym czasie.

Opracowując nowe, dedykowane metody analizy i klasyfikacji trzeba podjąć próbę integracji polskich danych z danymi Sentinel. Takie rozwiązania powinny być preferowane.

4.5 DANE HIPERSPEKTRALNE

W odróżnieniu od danych rejestrowanych przez skanery wielospektralne, które rejestrują obrazy powierzchni Ziemi w kilkunastu zakresach spektralnych, dane hiperspektralne składają się z kilkudziesięciu lub nawet kilkuset wąskich kanałów. Pozwala to na identyfikację unikalnych cech spektralnych obserwowanych obiektów.

¹⁶ Towards High-Resolution Alignment and Super-Resolution of Multi-Sensor Satellite Imagery
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.23150>

¹⁷ Super-Resolution for Satellite Imagery Explained <https://geoawesome.com/super-resolution-for-satellite-imagery-explained/>

¹⁸ Ren W., Goyal R., Hu Z., Aumentado-Armstrong T., Mohamed I., Levinshtein A.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.14367>

¹⁹ The Effects of Super-Resolution on Object Detection Performance in Satellite Imagery Shermeyer J., Van Etten A. CVPR EarthVision Workshop, 2019;
https://openaccess.thecvf.com/content_CVPRW_2019/papers/EarthVision/Shermeyer_The_Effects_of_Super-Resolution_on_Object_Detection_Performance_in_Satellite_CVPRW_2019_paper.pdf

Teoretycznie znajdują one zastosowanie we wszystkich obszarach tematycznych EO. Obecnie jest dostęp do danych Hyperion, EnMAP, PRISMA, DESIS. Przy czym nie jest to dostęp otwarty jak w przypadku zdjęć Sentinel. Bezpłatnie można je pozyskać dla celów edukacyjnych, do innych zastosowań są udostępniane na zasadach komercyjnych. Najczęściej ich rozdzielczość przestrzenna jest nieznacznie mniejsza od danych wielospektralnych. Tradycyjne metody przetwarzania danych hiperspektralnych związane były z sekcją tzw. najlepszych kanałów co pozwalało na redukcję liczby kanałów i ograniczenie wielkości danych. Obecnie olbrzymie ilości danych są przetwarzane metodami AI. Nowym trendem jest przetwarzanie na orbicie.

Pod koniec roku 2023 został wprowadzony na orbitę pierwszy polski satelita hiperspektralny Intuition-1 zbudowany przez firmę KP Labs²⁰ i AAC Clyde Space. Zastosowano unikalne rozwiązanie polegające na przetwarzaniu danych na pokładzie satelity. Dane Intuition-1 nie są ogólnodostępne.

4.6 ON-BOARD PROCESSING

Przetwarzanie danych na orbicie pozwala na przesyłanie na Ziemię danych gotowych do użytku i dodatkowo zmniejsza czas ich transmisji^{21 22}. Rozwiązania „on-board processing” zyskują popularność i są wspierane przez algorytmy AI²³. Stosowanie ich jest na pewno uzasadnione w przypadku ściśle określonych zadań. Równocześnie część informacji jest bezpowrotnie tracona. Z punktu widzenia opracowań naukowych bardziej wartościowe są pełne dane oryginalne. Mogą być one dodatkowo kalibrowane i analizowane z zastosowaniem algorytmów opracowanych w późniejszym czasie. Przykładem takich działań są zdjęcia LANDSAT. Dane archiwalne były parokrotnie poddawane tzw. reprocessingowi, który dotyczył m.in. ich geometrii, radiometrii, korekcji atmosferycznej²⁴. Dzięki temu jest dostępne archiwum spójnych danych satelitarnych z okresu ponad 40 lat. Na ich podstawie można opracowywać nowe metody przetwarzania danych satelitarnych. Są unikalnym źródłem informacji w wieloczasowych analizach porównawczych.

4.7 BEZPIECZEŃSTWO, WSPÓŁPRACA INSTYTUCJI CYWILNYCH Z WOJSKIEM

Dynamiczny rozwój polskiego sektora kosmicznego jest związany z siłami zbrojnymi. Wynika to bezpośrednio z aktualnej sytuacji geopolitycznej, która wyznacza priorytety. Dane satelitarne są strategicznym zasobem. Podstawowe ich zastosowanie to monitoring granic, terenów objętych konfliktem, infrastruktury krytycznej.

W rozwój obronności powinni być zaangażowani wszyscy, dlatego istotne jest łączenie i współdziałanie sektora wojskowego i cywilnego, tak aby zapewnić pełne wykorzystanie potencjalnych możliwości. Taka współpraca jest wyraźnie widoczna przypadku budowy nowych konstelacji. Wojsko poszukuje nowych zastosowań danych satelitarnych czego przykładem jest program Tarcza Wschód²⁵, który jest realizowany w latach 2024 – 2028 i ma na celu m.in. budowę systemów monitorowania terenów i infrastruktury obronnej na granicy z Rosją i Białorusią. Aby w pełni wykorzystać kompetencje instytucji cywilnych w zakresie obserwacji Ziemi należy rozważyć zacieśnienie tej współpracy nie tylko poprzez otwarte konkursy, ale również wspólne poszukiwanie tematów w ramach interdyscyplinarnych zespołów roboczych. Przykładem jest budowanie modeli AI.

Instytuty naukowe i firmy niezwiązane z obronnością nie znają potrzeb a ich kompetencje i kreatywność nie są wykorzystywane.

4.8 INTEGRACJA DANYCH SATELITARNYCH

Integracja danych EO pochodzących z różnych satelitów jest tematem aktualnym od wielu lat. Dobrym przykładem jest wykorzystanie danych optycznych i radarowych w rolnictwie. Informacja o kondycji roślin pozyskiwana jest na

²⁰ <https://www.kplabs.space/projects-and-missions/intuition-1>

²¹ <https://www.kplabs.space/news/how-on-board-data-processing-is-reshaping-space-missions>

²² <https://www.eoportal.org/other-space-activities/onboard-data-processing>

²³ https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/Onboard_Data_Processing/On-board_Data_Processing_-_Publications

²⁴ Landsat Reprocessing Events <https://landsat.usgs.gov/landsat-reprocessing>

²⁵ <https://www.gov.pl/web/obrona-narodowa/tarcza-wschod---program-o-strategicznym-znaczeniu>

podstawie danych optycznych natomiast aktualne warunki wodne na podstawie danych radarowych. W przypadku monitoringu lasów biomasa i gatunki drzew są określane na podstawie danych optycznych, a rozpoznanie ich struktury jest możliwe na podstawie danych radarowych. Kolejnym przykładem są sytuacje kryzysowe. Zasięg powodzi jest dobrze widoczny na zdjęciach optycznych. Chmury, które najczęściej towarzyszą powodziom zastaniają powierzchnię Ziemi, ale nie są przeszkodą dla fal radarowych ale sfałowana powierzchnia wody utrudnia interpretację radaru. Z tych powodów należy wykorzystywać dane pochodzące z różnych źródeł²⁶.

Opracowując nowe, dedykowane metody analizy i klasyfikacji danych z polskich konstelacji konieczna jest ich integracja z danymi Sentinel.

W rozmowach specjalistów EO często poruszany jest temat systemowej integracji zdjęć satelitarnych o różnej rozdzielczości lub wykorzystanie zdjęć satelitarnych oraz z dronów. Ogólna idea polega na ciągłym monitoringu dużych obszarów z wykorzystaniem danych satelitarnych np. Sentinel-2. Dla poszczególnych scen po nowej akwizycji wykonywana jest detekcja zmian. Są sygnalizowane miejsca potencjalnych zmian, ale ze względu na rozdzielczość wynoszącą 10 m nie jest możliwe określenie rodzaju wykrytej zmiany lub anomalii. Potwierdzenie i dokładne zdefiniowanie zmiany jest możliwe na podstawie zdjęć satelitarnych o wysokiej rozdzielczości, lotniczych lub wykonanych z dronów. Takie podejście systemowe optymalizuje koszty. Istotna jest częstość pozyskiwania danych o mniejszej rozdzielczości, która powinna być dostosowana do dynamiki obserwowanego zjawiska. Przykładem jest monitorowanie sieci osadniczej. Zdjęcie satelitarne wskazuje miejsce zmiany, dron potwierdza i dokumentuje zmianę. W rolnictwie na podstawie zdjęcia satelitarnego można wskazać miejsce pogorszenie kondycji roślin na polu, a dane z drona pozwolą na określenie przyczyny (np. choroby, stres wodny)^{27 28}. Integracja danych radarowych z danymi z dronów wykorzystywana jest w sytuacjach kryzysowych – powodzie²⁹. Kolejnym przykładem jest identyfikacja miejsc wypalania łąk. Systemowe podejście jest uniwersalne, równocześnie mogą być identyfikowane różne rodzaje zmian, warunkiem działania takiego systemu jest dostęp (na żądanie) do danych wysokiej rozdzielczości (satelity, drony).

Bardzo zaawansowaną formą integracji danych jest integracja określana jako Internet of Things (IoT) - Internet Rzeczy. Dane satelitarne współdziałają z innymi źródłami danych, które są pozyskiwane w sieciach połączonych urządzeń i sensorów które posiadają zdolność komunikowania się między sobą, a w zarządzaniu całością są wykorzystywane modele AI. Wybrane przykłady to nawadnianie w rolnictwie³⁰, monitorowanie jakości powietrza³¹, analiza warunków życia w mieście³². Sieci IoT wymagają zaawansowanych naziemnych urządzeń pomiarowych, dane satelitarne uzupełniają je i pozwalają na wykonywanie analiz geoprzestrzennych.

²⁶ Tarpanelli, A., Mondini, A. C., and Camici, S.: Effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 for flood detection assessment in Europe, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 22, 2473–2489, <https://doi.org/10.5194/nhess-22-2473-2022>, 2022.

²⁷ Bazrafkan A., Igathinathane C., Bandillo N., Flores P. (2025). Optimizing integration techniques for UAS and satellite image data in precision agriculture — a review. *Frontiers in Remote Sensing*, <https://www.frontiersin.org/journals/remote-sensing/articles/10.3389/frsen.2025.1622884/full>

²⁸ Ogungbunyi M.G., Mohammed C., Fischer A.M., Turner D., Whitehead J., Harrison M.T. (2024). Integration of Drone and Satellite Imagery Improves Agricultural Management Agility. *Remote Sensing*. <https://www.mdpi.com/2072-4292/16/24/4688>

²⁹ Fawakherjia M., Hashemi-Benib L. (2025). Flood detection and mapping through multi-resolution sensor fusion: integrating UAV optical imagery and satellite SAR data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/19475705.2025.2493225>

³⁰ Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. (2018). Machine Learning in Agriculture: A Review. *Sensors*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/8/2674>

³¹ Cukjati J., Mongus D., Rizman Žalik K., Žalik B. (2022). IoT and Satellite Sensor Data Integration for Assessment of Environmental Variables: A Case Study on NO₂. *Sensors*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/15/5660>

³² Sharma A., Singh K.J., Kapoor D.S., Thakur K., Mahajan S. (2024). The Role of IoT in Environmental Sustainability: Advancements and Applications for Smart Cities. Springer.

5 SEGMENTACJA WYBRANYCH RYNKÓW EO

5.1 PLANOWANIE PRZESTRZENNE

Planowanie przestrzenne jest wymieniane jako jeden z podstawowych kierunków zastosowania obserwacji Ziemi. Na podstawie zdjęć wykonywane są klasyfikacje pokrycia i użytkowania terenu. Analizy zagospodarowania przestrzennego ze szczególnym uwzględnieniem terenów zurbanizowanych³³ oraz różnego rodzaju analizy środowiskowe. Porównując dane zarejestrowane w różnych terminach określone są zmiany zachodzące na powierzchni Ziemi oraz są modelowane ich trendy np. antropopresja³⁴. Obserwacje Ziemi zasilają i aktualizują bazy danych np. o budynkach i infrastrukturze. Na ich podstawie wykonywane są różnorodne analizy GIS³⁵. Rozdzielczość przestrzenna zdjęć determinuje skalę opracowania. Istotną rolę w tym segmencie odgrywa Główny Urząd Geodezji i Kartografii (GUGiK)³⁶, który prowadzi geoportal krajowy³⁷.

5.2 ROLNICTWO

Zdjęcia satelitarne są intensywnie wykorzystane w rolnictwie. Już w latach 70. i 80., na podstawie pierwszych zobrazowań Landsat, podejmowano próby szacowania światowego rynku zbóż. Liczba zastosowań EO w rolnictwie jest bardzo duża. Do najważniejszych należą: monitorowanie kondycji roślin, prognozowanie plonów, identyfikacja upraw, monitorowanie odłogów, monitorowanie suszy, określanie parametrów biofizycznych roślin. Jest możliwość prowadzenia systematycznego monitoringu. Dane satelitarne wykorzystuje przede wszystkim Agencja Restrukturyzacji i Mechanizacji Rolnictwa ARiMR, Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa KOWR oraz Główny Urząd Statystyczny GUS. Tematyka rolnicza jest popularna i bardzo mocno eksploatowana przez firmy i ośrodki naukowe^{38 39 40}. Z Ministerstwem Rolnictwa ściśle współpracuje m.in. Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa PIB⁴¹.

5.3 LEŚNICTWO

Satelitarne obserwacje lasów są jednym z wiodących tematów w skali globalnej oraz krajowej. Lasy Państwowe prowadzą monitoring powierzchni leśnych, inwentaryzację zasobów i ich stan zdrowotny, mogą być rozpoznawane gatunki drzew. Dane satelitarne są wykorzystywane w planowaniu wyrębów, zasadzeń i zabiegów pielęgnacyjnych. Odgrywają ważną rolę w monitorowaniu zrównoważonej gospodarki leśnej^{42 43 44}. W tematach leśnych specjalizują się uczelnie, instytuty naukowe jak również firmy. Prowadzone są analizy GIS, przetwarzane

³³ Understanding the Impact of Earth Observation for Sustainable Urban Development
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1646>

³⁴ Earth Observation for Land Cover and Human-Environment Interactions, <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-4-W5-2022/211/2022/>

³⁵ Spatial Planning Implementation Effectiveness:
https://www.researchgate.net/publication/362597565_Spatial_Planning_Implementation_Effectiveness_Review_and_Research_Prospects

³⁶ GUGiK <https://www.gov.pl/web/gugik>

³⁷ Geoportal <https://www.geoportal.gov.pl/>

³⁸ Earth Observation based multi-scale analysis of crop diversity in the European Union: First insights for agro-environmental policies, JRC, 2024, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC135596>

³⁹ ASAP – Anomaly Hotspots of Agricultural Production, 2023,
<https://gkhub.earthobservations.org/packages/bf817-dc879>

⁴⁰ Monitoring Agricultural ResourceS (MARS), https://joint-research-centre.ec.europa.eu/monitoring-agricultural-resources-mars_en

⁴¹ IUNG <https://www.iung.pl/>

⁴² Earth Observation in Support of EU Policies for Biodiversity,
https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC132908/JRC132908_01.pdf

⁴³ Industry view for systematic inclusion of EO for forest management, <https://earsc.org/wp-content/uploads/2025/04/EARSC-Position-paper-on-Forest-management.pdf>

⁴⁴ Monitoring changes in the Polish forestry and timber sector (UNECE standards),
<https://pit.lukasiewicz.gov.pl/en/o/monitoring-changes-in-the-polish-forestry-and-timber-sector-according-to-the-standards-of-the-unece-committee-on-forestry-and-timber-industry-2022-2024/>

są nie tylko zdjęcia satelitarne, ale również lotnicze i wykonane z dronów. Lasom Państwowym, wsparcie w zakresie obserwacji Ziemi zapewnia Instytut Badawczy Leśnictwa (IBL)⁴⁵.

5.4 KLIMAT

Instytucjami odpowiedzialnymi za monitoring klimatu w Polsce są Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy (IMGW PIB) oraz Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy (IOŚ PIB). Oba instytuty wykorzystują w swoich działaniach dane satelitarne. IMGW-PIB reprezentuje Polskę w światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) oraz w innych strukturach związanych z meteorologią, hydrologią, klimatologią oraz oceanografią. W prowadzonych pracach i badaniach wykorzystywane są dane i zdjęcia z satelitów meteorologicznych. W ramach projektu SAT4ENVI powstała w IMGW PIB infrastruktura zapewniająca dostęp do danych satelitarnych SENTINEL⁴⁶ ⁴⁷. IOŚ PIB realizuje krajowy program współpracy z Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) i Climate Change Service (C3S), odpowiada również za integrację danych EO w analizach jakości powietrza i zmian klimatu⁴⁸.

5.5 ENERGETYKA

Energetyka jest stosunkowo nowym rynkiem wykorzystania danych EO. Mimo to można zaobserwować wyraźny wzrost zainteresowania danymi satelitarnymi. Są one najczęściej analizowane w systemach GIS w powiązaniu z innymi danymi geoprzestrzennymi oraz parametrami fizycznymi. Dotyczy to głównie odnawialnych źródeł energii. Lokalizacja farm wiatrowych wykonywana jest na podstawie satelitarnych danych o nasłonecznieniu, zachmurzeniu, aerozalach⁴⁹. Analizowane jest również oddziaływanie nowych instalacji na środowisko przyrodnicze⁵⁰. Zdjęcia satelitarne i lotnicze są najczęściej jedynym aktualnym źródłem informacji pozwalającym na monitorowanie zmian zachodzących wokół terenów inwestycji. Dane EO są również wykorzystywane do szacowania ryzyka klimatycznego wynikającego z opadów śniegu, deszczu, silnych wiatrów. Zobrazowania o dużej szczegółowości (lotnicze, drony) są wykorzystywane do systematycznego monitorowania stanu linii energetycznych oraz towarzyszącej infrastruktury. Monitorowane są również tereny pod liniami energetycznymi, analizowana jest wysokość krzaków i drzew oraz identyfikowane są obiekty, które są niedozwolone w strefie ochronnej⁵¹. Dane radarowe wykorzystywane są do kontroli stabilności gruntu co jest szczególnie istotne np. na terenach pokopalnianych. Od wielu lat rozwija się specjalistyczny rynek usług monitoringu sieci elektrycznych.

5.6 ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ

Zrównoważony rozwój jest silnie związany z rolnictwem, leśnictwem i klimatem. Jest to zagadnienie bardzo szerokie pod względem tematycznym jak również zachodzących interakcji między podejmowanymi działaniami a środowiskiem. Obserwacje Ziemi są jednym ze źródeł informacji w obliczeniach wskaźników celów zrównoważonego rozwoju, Sustainable Development Goals (SDG).

W roku 2015 ONZ zainicjował prace nad wskaźnikami SDG, dwa lata później został zatwierdzony ich globalny zestaw. Nie jest to lista zamknięta. Wskaźniki są modyfikowane stosownie do zmieniających się potrzeb, modyfikowane są również metody ich obliczania. Zdefiniowano 231 wskaźników z czego 30 – 40 można obliczać z wykorzystaniem danych EO. Są one przedstawione w publikacji ESA „EARTH OBSERVATION FOR SDG, Compendium of Earth Observation contributions to the SDG Targets and Indicators”⁵². Podane są opisy

⁴⁵ IBL <https://www.ibles.pl/>

⁴⁶ <https://sat4envi.imgw.pl/>

⁴⁷ https://www.ekoportal.gov.pl/fileadmin/user_upload/T2_Operacyjne_wykorzystanie_danych_satelitarnych_oraz_dzialania_na_rzecz_ich_udostepniania_w_ramach_Naziemnego_Segmentu_Wspolpracujacego_Copernicus_oraz_projektu_Sat4Envi.pdf

⁴⁸ Raporty IOŚ PIB <https://ios.edu.pl/raporty-i-analazy/>

⁴⁹ Wykorzystywanie danych z programu Copernicus w ramach działań klimatycznych w miastach <https://cordis.europa.eu/article/id/454776-turning-copernicus-data-into-meaningful-urban-climate-action/pl>

⁵⁰ <https://nauka-pan.pl/index.php/nauka/article/view/1143/1190>

⁵¹ Monitoring, Inspection and Early Warning System in Electrical Distribution Networks Using Satellite Images, 2024, <https://www.mdpi.com/2504-3900/110/1/27>

⁵² EARTH OBSERVATION FOR SDG Compendium of Earth Observation contributions to the SDG Targets and Indicators, https://www.eo4sdg.org/wp-content/uploads/2021/01/EO_Compendium-for-SDGs-compressed.pdf

wskaźników, metody ich obliczania, odwołania do literatury. Stopień złożoności obliczeń nie jest jednakowy, od bardzo prostych do bardzo złożonych wymagających dostępu do specjalistycznych baz danych. Są również takie, dla których nie zdefiniowano zatwierdzonej metody i prace nad nimi trwają.

W Polsce za realizację i koordynację Celów Zrównoważonego Rozwoju odpowiada przede wszystkim Rząd RP – na poziomie strategicznym Prezes Rady Ministrów, a na poziomie operacyjnym Ministerstwo Rozwoju i Technologii⁵³. GUS odpowiada za monitorowanie postępów, dostarcza dane do ONZ i co roku przygotowuje raporty o stanie realizacji celów SDG⁵⁴ są to w większości wskaźniki obliczane na podstawie danych statystycznych.

6 ANALIZA KOMPETENCJI I POTENCJAŁU POLSKICH OBSERWACJI ZIEMI

Krajowe kompetencje w zakresie satelitarnych obserwacji Ziemi są rozwijane od chwili dostępu do pierwszych zdjęć satelitarnych Landsat, których celem jest monitoring środowiska. W roku 1976 powstał w Instytucie Geodezji i Kartografii (IGiK) Ośrodek Przetwarzania Obrazów Lotniczych i Satelitarnych (OPOLiS)⁵⁵. OPOLiS był ośrodkiem wiodącym, ściśle współpracował z administracją rządową. Realizował pierwsze duże projekty NASA, FAO, ESA.

Obecnie w satelitarnych obserwacjach Ziemi specjalizuje się kilka instytutów naukowo-badawczych (m.in. CBK PAN, IGiK) oraz uczelnie (m.in. Uniwersytet Warszawski, Politechnika Warszawska, AGH). Praktycznie na większości krajowych uczelni prowadzone są zajęcia z teledetekcji lotniczej i satelitarnej, często razem z GIS (Systemy Informacji Geograficznej). Od kilku lat rosną kompetencje firm (m.in. CloudFerro, Creotech Instruments, KP Labs, SmallGIS, ProGEA). Istotną rolę odegrało powstanie platformy CREODIAS oferującej chmurowe środowisko obliczeniowe z dostępem do danych Sentinel. Powstaje ESA Φ-lab oraz ESA Civil Security Hub. Rosną kompetencje w zakresie AI (KP Labs). Instytuty i firmy ubiegają się o europejskie projekty Horyzont, ESA, EC. Tematy EO można realizować również w ramach krajowych projektów NCN i NCBiR. Przetargi na produkty EO organizuje również POLSA, która uruchomiła NSIS.

W kraju są rozbudowane kompetencje w zakresie satelitarnych obserwacji Ziemi, istnieje również dostęp do nowoczesnej infrastruktury obliczeniowej. Prowadzone są prace nad stosowaniem AI.

Podstawowym problemem jest jednak brak koordynacji. Kompetencje są podzielone między POLSA, która jest agencją wykonawczą Ministerstwa Rozwoju i Technologii (MRiT) a Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW). MRiT odpowiada za współpracę z ESA i wspiera przemysł kosmiczny. W gestii MNiSW jest program Copernicus i GEO. Aktywność MNiSW ogranicza się do promowania programu Copernicus. Taka sytuacja nie sprzyja wypracowaniu wizji rozwoju EO. Nie ma sugerowanych priorytetów, kierunków badań lub aplikacji dla administracji. Nie są również prowadzone systematyczne prace nad dostosowaniem ram prawnych pozwalających na wykorzystywanie w większym zakresie danych i technik EO.

7 NISZE I KIERUNKI ROZWOJU KRAJOWYCH OBSERWACJI ZIEMI

Jednoznaczne wskazanie tzw. nisz satelitarnych obserwacji Ziemi nie jest zadaniem prostym wobec szybkiego rozwoju technologicznego, rosnącej dostępności danych, wykształconej kadry i coraz większej liczby świadomych użytkowników. Potencjalne, nowe kierunki rozwoju są szybko „zagospodarowywane” przez środowisko naukowe oraz komercyjne firmy.

W domenie downstreamu, który jest zorientowany na wykorzystanie danych satelitarnych w celu zbudowania aplikacji lub dostarczenia produktu, można wyróżnić nisze usługowe, technologiczne i tematyczne. Działania w ramach nisz nie są niezależne, w dużym stopniu uzupełniają się.

Obserwacje Ziemi są interdyscyplinarne. Zespoły analizujące zdjęcia najczęściej składają się z osób o różnym przygotowaniu zawodowym co pozwala na podejmowanie nowych tematów. Wyniki analiz oraz algorytmy są publikowane. Od początku rozwoju teledetekcji satelitarnej są prowadzone projekty ukierunkowane na promowanie produktów satelitarnych na poziomie administracji i samorządów, organizowane są kursy dla

⁵³ <https://www.gov.pl/web/sdg-portal-wiedzy/polska>

⁵⁴ Krajowa Platforma Raportująca – SDG, <https://sdg.gov.pl>

⁵⁵ <https://nauka-pan.pl/index.php/nauka/article/download/394/641/628>

młodzieży. Na prawie każdej polskiej uczelni, na kierunkach przyrodniczych i technicznych prowadzone są zajęcia, na których analizowane są zdjęcia satelitarne, lotnicze lub wykonane przez drony. Badania ankietowe wykonane przez POLSA na temat wykorzystania EO przez administrację^{56 57} wskazały, że istnieje wysoka świadomość i potrzeba korzystania z technik satelitarnych a równocześnie wykorzystanie ich jest stosunkowo niskie. Wskazywano również na brak kompetencji i odpowiednich narzędzi. Przepisy nie zabraniają korzystania z danych satelitarnych, równocześnie jednak nie są traktowane jako materiał dowodowy. Brakuje instrukcji przygotowywania dokumentów, planów, operatów, które jednoznacznie wskazują na konieczność korzystania z danych EO.

Nisza polskich obserwacji może być zdefiniowana jako technologiczna lub tematyczna. Wprowadzono również termin niszy usługowej, która ma ważne znaczenie w kontekście platformy NSIS.

7.1 NISZE USŁUGOWE

7.1.1 Wsparcie użytkowników NSIS

W czasie GeoForum 2025 został zaprezentowany interfejs Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej. NSIS jest bardzo cenną inicjatywą i powinien mieć wpływ na rozwój krajowych kompetencji, zwłaszcza administracji. Ośrodki naukowe oraz firmy nie powinny mieć większych problemów z opanowaniem wirtualnego (chmurowego) środowiska pracy. W odmiennej sytuacji jest administracja i samorządy. Realizując swoje statutowe obowiązki nie zawsze mają potrzebę zatrudniania informatyków oraz specjalistów EO, którzy potrafią wykorzystać oferowane możliwości dostępu do danych satelitarnych i mocy obliczeniowych.

Niszą usługową jest aktywne wspieranie użytkowników NSIS. Polegać to powinno nie tylko na pełnieniu roli konsultanta, ale również na skonfigurowaniu środowiska pracy i wykonaniu zadania. Zakres takiego wsparcia powinien obejmować przede wszystkim zainstalowane narzędzia i toolboxy. Pracownik urzędu powinien zdefiniować cel i zakres analizy. Na tej podstawie konsultant powinien dobrać narzędzie, dane satelitarne, uruchomić proces, poinformować o dostępności danych, na koniec pomóc w interpretacji i ocenie wyników – konsultacje online. Koszty takiej usługi powinny być bardzo niskie, ponieważ podstawowym celem jest generowanie zapotrzebowania na korzystanie z danych satelitarnych. Usługa powinna być oferowana przez Agencję lub powierzona firmie zewnętrznej. W przypadku regularnie powtarzanych analiz będą rosły kompetencje użytkowników pozwalające na samodzielne korzystanie ze środowiska chmurowego.

Jeżeli Agencja ma w planach rozwijanie swoich kompetencji w zakresie przetwarzania danych satelitarnych to powinna podjąć się takiego zadania. Uruchamianie działających narzędzi nie jest trudnym i czasochłonnym zadaniem, równocześnie konsultanci stają się ekspertami od toolboxów. W przyszłości będą przygotowani do zaproponowania ich modyfikacji lub rozszerzenia funkcjonalności stosownie do poznanych potrzeb użytkowników.

7.1.2 Poprawa geometrii danych satelitarnych

Jednym z podstawowych źródeł danych systemu NSIS są zdjęcia Sentinel-2. W przypadku większości analiz środowiskowych w skalach przeglądowych, poprawa geometrii nie jest wymagana. Dodatkowo jest to proces czasochłonny i wymaga specjalistycznego oprogramowania.

Ze względu na sposób przygotowania danych, siatka pikseli każdego zdjęcia jest jednakowa ale wartości, które ją wypełniają mogą być przesunięte o jeden, a nawet dwa piksele. Było to szczególnie widoczne na początku dostępności danych Sentinel-2⁵⁸. W kolejnych latach dopracowano metody przetwarzania surowych danych i nastąpiła wyraźna poprawa. Jednak zawsze należy liczyć się z przesunięciem o wielkość co najmniej jednego piksela. Rzutuje to na wyniki wszystkich analiz porównawczych zdjęć zarejestrowanych w różnym czasie.

⁵⁶ POLSA: Raport z badań ankietowych nt. wykorzystania danych satelitarnych EO w administracji publicznej (2021–2023)

⁵⁷ Podręcznik „Dane satelitarne dla administracji publicznej”; <https://polsa.gov.pl/aktywnosci/obserwacja-ziemi/dane-satelitarne/>

⁵⁸ E. Kukawska et al., "Multitemporal Sentinel-2 data - remarks and observations," 2017 9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp), Brugge, Belgium, 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/Multi-Temp.2017.8035212.

Szczególnie w sytuacji porównywania stosunkowo małych obiektów (np. budynki), które są reprezentowane przez pojedyncze piksele.

Cennym uzupełnieniem oferty NSIS byłoby stworzenie użytkownikom możliwości poprawy geometrii zdjęć Sentinel-2. Jednym z rozwiązań jest wykonanie warstwy referencyjnej zdjęć o podwyższonej geometrii obrazujących obszar całego kraju. Pojedyncze zdjęcia (nie mozaika) powinny być poddane ortorektyfikacji z wykorzystaniem specjalnie zebranych w tym celu punktów oraz numerycznego modelu terenu. Mając scenę referencyjną można poprawić geometrię każdego nowego zdjęcia na zasadzie automatycznej korelacji charakterystycznych punktów / obiektów. Ze względu na różnice spektralne między porami roku powinny być wykonane co najmniej dwie warstwy referencyjne. Użytkownik powinien jedynie wskazać zdjęcia, których geometria ma być poprawiona.

Uruchomienie takiej usługi podniesie jakość wszystkich produktów. Wzrośnie dokładność porównywania zdjęć z bazami danych wektorowych, zdjęciami lotniczymi, wykonanymi z dronów, nastąpi zasadnicza poprawa detekcji zmian. Kolejnym przykładem stosowania zdjęć o poprawionej geometrii jest Super Resolution. Polega to na poprawie rozdzielczości przestrzennej z zastosowaniem modeli sieci neuronowych. Najczęściej rozdzielczość wzrasta czterokrotnie, oznacza to, że zamiast piksela 10 m otrzymujemy obraz o wielkości pikseli 2,5 m. Jeżeli nie ma poprawy geometrii to należy liczyć się z przesunięciem obrazu wynikowego nawet o cztery piksele.

Systemowa możliwość poprawy geometrii będzie powszechnie wykorzystywana przez użytkowników NSIS. Wpisuje się to w trendy analiz wieloczasowych, detekcji zmian, klasyfikacji danych wieloczasowych. Poprawa geometrii powinna być stosowana w budowie data cube (wieloczasowe i wieloletnie zbiory danych analizowane metodami AI).

7.1.3 Bazy danych walidacyjnych

Każda klasyfikacja danych satelitarnych jest walidowana czyli sprawdzana jest jej jakość. Tradycyjna ocena polega na stworzeniu macierzy błędów, która zawiera informacje o przypisaniu punktów kontrolnych do klas pokrycia terenu. Macierz umożliwia analizę zależności między poszczególnymi klasami i są obliczane miary dokładności. Ze względu na konieczność zebrania dużej ilości informacji referencyjnych walidacja jest procesem czasochłonnym zwłaszcza, że jest to wykonywane metodą interpretacji wizualnej.

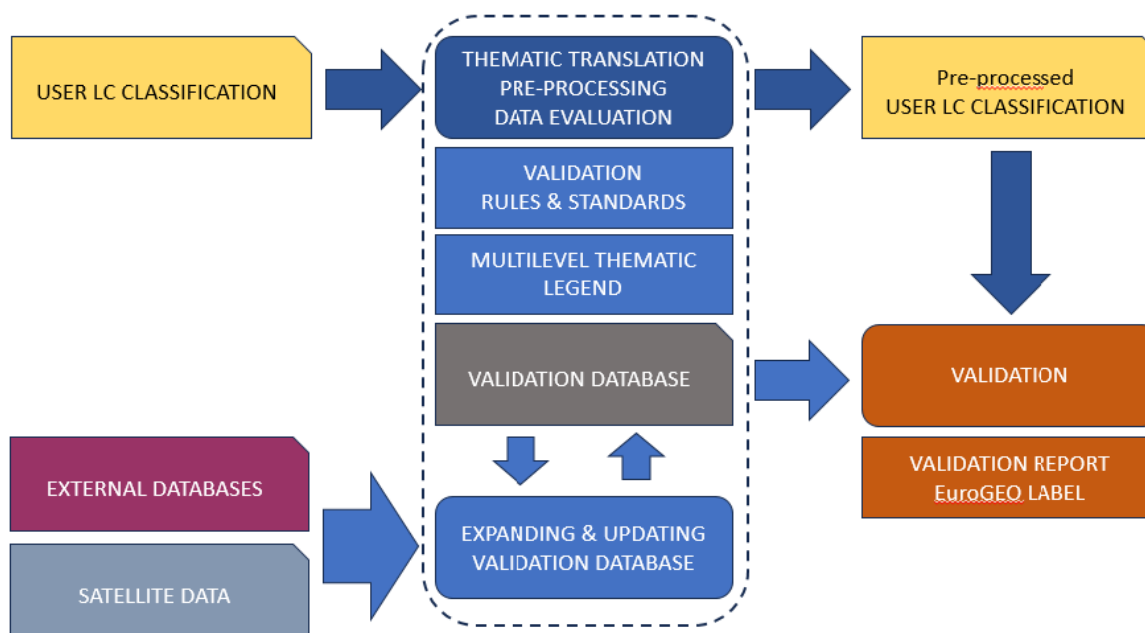
W ostatnich latach podejście do walidacji ulega zmianie. Algorytmy ML, DL, AI oceniane są stopniem wytrenowania algorytmu lub miarami pozyskiwanymi na podstawie danych referencyjnych (bazy danych). Dodatkowo informacje te są uzyskiwane automatycznie, a informatycy często nie posiadają wiedzy interpretacyjnej ani wiedzy o zależnościach i procesach zachodzących w środowisku. Aby utrzymać wysokie standardy klasyfikacji zasadne jest walidowanie klasyfikacji tradycyjnymi metodami. Liderzy EuroGEO Action Group Land Cover and Land Intelligence zaproponowali budowę automatycznego systemu oceny wyników klasyfikacji⁵⁹. Podstawowym elementem systemu jest baza danych walidacyjnych, która powinna być tworzona w oparciu o istniejące bazy danych i uzupełniana o nowe, generowane w toku wykonywanych klasyfikacji. Można założyć, że każdy projekt klasyfikacyjny powinien zasilać bazę danych walidacyjnych. Ważna jest aktualizacja danych walidacyjnych bazująca na rozwiązaniach automatycznych. Możliwe jest zaplanowanie takiego procesu, który będzie analizować wartości spektralne nowych i archiwalnych danych satelitarnych. Źródłem bazy danych powinny być również dane in situ jeżeli są dostępne. System walidacyjny powinien posiadać możliwość tematycznego dopasowania bazy walidacyjnej do ocenianej klasyfikacji. Schemat postępowania dla klasyfikacji pokrycia terenu jest przedstawiony na rysunku 1.

Referencyjne bazy danych mogą być wykorzystywane przez Agencję do oceny produktów. Do bazy powinni mieć również dostęp użytkownicy NSIS, ale bez możliwości pobierania jej zasobów, końcowym wynikiem walidacji byłby wygenerowany automatycznie raport.

POLSA powinna wypracować zasady zbierania informacji walidacyjnych w toku wykonywanych zleceń dla NSIS.

⁵⁹ Land Cover and Land Intelligence Action Group <https://gkhub.earthobservations.org/records/gzq9d-ggt43>

VALIDATION SYSTEM OF LAND COVER MAPPING



Rysunek 1. Schemat systemu walidacyjnego klasyfikacji land cover zdjęć satelitarnych (St.Lewiński, <https://gkhub.earthobservations.org/records/gzq9d-ggt43>)

7.2 NISZE TECHNOLOGICZNE

7.2.1 Sztuczna Inteligencja

Obecnie wiodącym kierunkiem przetwarzania danych EO są metody Machine Learning (ML), Deep Learnig (DL) i Artificial Intelligence (AI). Wyraźnie widać, że europejskie konkursy projektowe są ukierunkowane na nowe metody przetwarzania dużych ilości danych. Praktycznie dotyczy to wszystkich zastosowań teledetekcji satelitarnej.

Mając na uwadze renomę polskich programistów należy promować rozwijanie metod AI. Konieczne jest podkreślanie konieczności współpracy specjalistów AI i EO. Tylko zespoły interdyscyplinarne mają szansę na opracowywanie rozwiązań gotowych do praktycznego wykorzystania. Stosowanie AI w obserwacjach Ziemi nie ma praktycznych ograniczeń.

Równolegle powinny być rozwijane foundation models oraz modele ukierunkowane na konkretne zastosowania. Wyznaczanie kierunków rozwoju AI i ocena wyników powinna być wykonywana w ramach interdyscyplinarnego zespołu specjalistów.

7.2.2 Obliczenia kwantowe.

Podstawy technologii kwantowej rozwijane są od kilkudziesięciu lat. Obecnie obserwujemy rozwój komputerów kwantowych, a nowe metody analizy są opracowywane i testowane. Techniki kwantowe koncentrują się na przetwarzaniu dużych ilości danych w bardzo krótkim czasie. Dane satelitarne i analiza pokrycia terenu stanowią doskonałe zestawy testowe. Komisja Europejska i ESA aktywnie wspierają rozwój technik kwantowych w przetwarzaniu danych EO.

Filozofia obliczeń kwantowych jest zupełnie inna w porównaniu z obecnymi podejściami obliczeniowymi i nie jest możliwe proste przeniesienie istniejących algorytmów klasyfikacyjnych. Nowe algorytmy i metody przetwarzania muszą być opracowywane i testowane w oparciu o wiedzę i umiejętności niewielkiej grupy specjalistów w dziedzinie kwantowej, które powinny być wspierane przez specjalistów EO. Podczas spotkania AG LC&LI w Atenach (2022) zaprezentowałem schemat (rys. 2) ilustrujący związek między udziałem specjalistów EO i

informatyków w zależności od stosowanych metod przetwarzania danych EO. Udział specjalistów EO drastycznie maleje.

POLSA powinna starać się wspierać rozwój obliczeń kwantowych dedykowanych obserwacjom Ziemi. Polscy specjaliści posiadają duże doświadczenie w tym zakresie i jest szansa na polską specjalizację. Niezbędne jest tworzenie interdyscyplinarnych zespołów, aby zapewnić wymianę doświadczeń. Nowe technologie stwarzają nowe możliwości, ale kluczowe jest zachowanie aktualnych standardów i wykorzystanie wypracowanych doświadczeń. Wdrażając nowe rozwiązania należy porównywać wyniki, aby wybierać i stosować najlepsze⁶⁰.



Rysunek 2. Schematyczne przedstawienie zaangażowania programistów i ekspertów EO w przetwarzaniu danych satelitarnych. St.Lewiński, EuroGEO 2022.

7.3 NISZE TEMATYCZNE

7.3.1 Statystyka

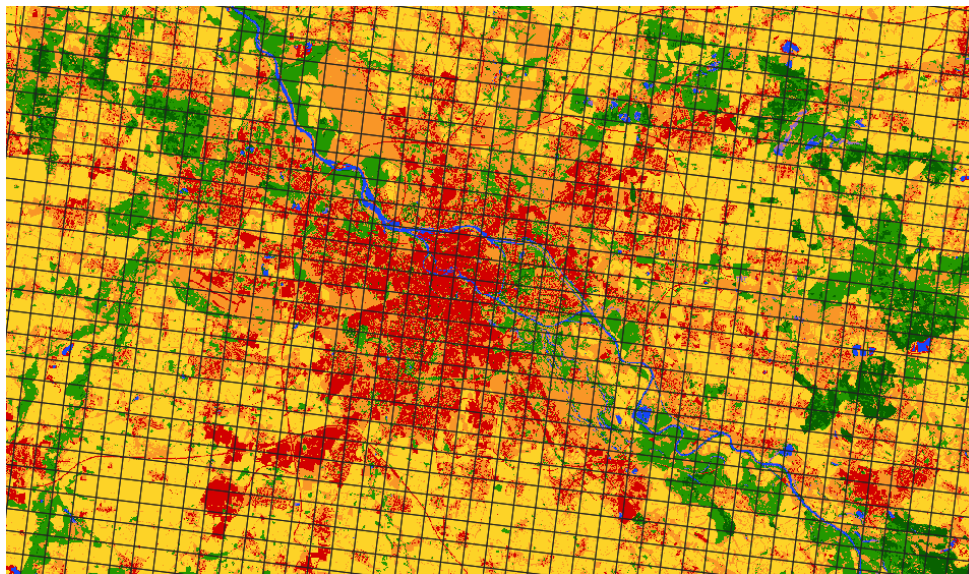
Główny Urząd Statystyczny (GUS) jest przodującym urzędem statystycznym w Europie pod względem wykorzystania danych EO. W wyniku wieloletniej współpracy z Instytutem Geodezji i Kartografii (IGiK) oraz Centrum Badań Kosmicznych PAN (CBK PAN) opracowano metody służące m.in. do monitorowania suszy, prognozowania plonów, rozpoznawania upraw na zdjęciach satelitarnych. W roku 2020 Eurostat w celu zbierania informacji statystycznych zdefiniował europejską geoprzestrzenną sieć statystyczną⁶¹. Podstawowa warstwa charakteryzuje się wielkością oczka 1x1 km. Kolejne mają mniejszą rozdzielczość wynoszącą 2, 5, 10, 20, 50 i 100 km. Na początku Grid 1km został zasilony informacjami pochodzącymi z powszechnych spisów ludności. Obecnie trwają prace nad opracowaniem innych wskaźników statystycznych opisujących stan i zmiany zachodzące w Europie (informacja własna). Źródłem takich informacji mogą być również dane satelitarne. W CBK PAN wykonano próby obliczania w siatce 1 km tzw. wskaźników krajobrazowych. Są one obliczane na podstawie klasyfikacji pokrycia terenu i obrazują zmiany zachodzące na

⁶⁰ Multi-spectral image classification with quantum neural network, P. Gawron, S. Lewiński, IGARSS 2020-2020 IEEE international geoscience and remote sensing symposium.

⁶¹ <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/grids>

powierzchni Ziemi. Przykładem prostego wskaźnika jest stopień wypełnienia oczka siatki lasami lub zabudową, bardziej złożone przedstawiają np. stopień rozdrobnienia krajobrazu. Pierwsze próby zostały pozytywnie ocenione przez GUS.

Siatka Eurostat Grid może być wykorzystana również do obliczania wskaźników SDG. Powinno to być połączone z próbą opracowywania nowych metod obliczania wskaźników. W ramach współpracy z GUS można zaplanować działania w skali całej Europy.



Rysunek 3. Siatka Eurostat 1km na tle klasyfikacji pokrycia terenu okolic Warszawy. Opracowanie CBK PAN.

7.3.2 Wskaźniki SDG

Należy rozważyć wykorzystanie platformy NSIS do obliczania wskaźników SDG bazujących na danych ze zdjęć satelitarnych. Konieczna jest ścisła współpraca z GUS. Istotne jest również opracowywanie nowych algorytmów ich obliczania. Prezentacja ich na tle zdjęć satelitarnych odgrywa ważną rolę edukacyjną.

W Niemczech prowadzone są ciągłe prace nad metodami obliczania SGD, instytucją odpowiedzialną jest centralny urząd federalny Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), który prowadzi współpracę międzynarodową w zakresie monitoringu Ziemi i SDG

7.3.3 Przystępstwa środowiskowe

Potencjalną niszą polskich obserwacji Ziemi mogą być przystępstwa środowiskowe. Jest to temat stosunkowo nowy, aktualny i bardzo ważny, wpisuje się w działania zrównoważonego rozwoju, bioróżnorodności i zielonej transformacji. Równocześnie trudny, ponieważ działania niezgodne z prawem są ukrywane. Ich skala jest różna, mogą być dokonywane o każdej porze roku, dnia lub nocy. Możliwość monitorowania przystępstw środowiskowych jest możliwa na zdjęciach satelitarnych, lotniczych lub wykonanych z dronów. O możliwości obserwacji decyduje rozdzielczość przestrzenna, spektralna i czasowa. Najlepszym rozwiązaniem jest monitoring ciągły podejrzanych lokalizacji.

Na podstawie kontaktów roboczych z Departamentem Gospodarki Odpadami, Emisji i Pozwoleń Zintegrowanych w Urzędzie Marszałkowskim Województwa Mazowieckiego została zdefiniowana wstępna lista zagadnień związanych z monitorowaniem przystępstw środowiskowych:

- identyfikacja wysypisk odpadów komunalnych i nielegalnych składowisk;
- monitoring miejsc wydobycia kopalin (piasek, żwir);
- monitoring rekultywacji miejsc wydobycia kopalin;
- klasyfikacja kategorii odpadów;
- odpady komunalne,

- osady ściekowe,
- stłuczka szklana,
- odpady metalowe,
- odpady z demontażu pojazdów,
- azbest,
- tworzywa sztuczne.

Ważnym zagadnieniem jest monitoring miejsc wydobycia kopalin (piasek, żwir). Po zakończeniu wydobycia teren powinien być zrehabilitowany czyli powrócić do stanu pierwotnego. Do zasypiania wyrobiska należy wykorzystać materiały dozwolone, tzw. czyste. Gdy w wyrobisku pojawia się woda, ze względu na możliwość skażenia wód gruntowych i podziemnych, wydobycie lub rekultywacja mogą być wstrzymane przez urząd nadzorujący. W praktyce zasady te nie są przestrzegane. Zdarzają się sytuacje, że wyrobiska są zasypywane odpadami komunalnymi. Są to działania nielegalne, szkodliwe dla środowiska, ale przynoszące wielkie korzyści finansowe. Przepięstwa środowiskowe najczęściej dokonywane są na terenach oddalonych od zabudowań. Ich skala często jest zaskakująco duża. Kolejnym przykładem jest składowanie niebezpiecznych odpadów. Są one składowane nie tylko w halach i na placach zakładów przemysłowych, ale również na dużych polach.

Przepięstwa środowiskowe są złożonym tematem. Identyfikacja ich wymaga nie tylko odpowiednich danych obrazowych, ale również dostępu do danych administracyjnych i GIS. W literaturze są nieliczne przykłady dotyczące najczęściej składowisk komunalnych^{62 63 64}. Konieczna jest ścisła współpraca z samorządami oraz z Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska (GIOŚ). Wymagane jest kompleksowe podejście integrujące wszystkie dostępne dane. Obiecującym kierunkiem jest wykorzystanie sterowców wykonujących ciągły monitoring powierzchni Ziemi z bardzo dużych wysokości. Zbudowanie polskich kompetencji w zakresie przestępstw środowiskowych nie jest zadaniem prostym, ale możliwym. Działania muszą być przemyślane, systematyczne i nie mogą ograniczyć się do ogłoszenia jednego konkursu.

Temat przestępstw środowiskowych sygnalizuję od trzech lat w czasie spotkań EuroGEO. Widać wzrost zainteresowania, pojawił się konkurs Horyzont Europa ukierunkowany na te zagadnienia.

Na rys. 4 przedstawione przykłady wysypisk komunalnych i składowiska odpadów.



miejsca wydobycia piasku i żwiru. GoogleMaps.



składowisko odpadów komunalnych. GoogleMaps.

⁶² Torres, R.N.; Fraternali, P., Learning to Identify Illegal Landfills through Scene Classification in Aerial Images, RS 2021, 13(22), 4520.

⁶³ Dabholkar A.; Muthiyar B.; Srinivasan S.; Ravi S., Smart Illegal Dumping Detection, IEEE 2017, 10, 255-260.

⁶⁴ Youme O.; Bayet T.; Dembele J. M., Cambier C., Deep Learning and Remote Sensing: Detection of Dumping Waste Using UAV, Elsevier 2021, 185, 361–369



Nielegalne składowisko odpadów komunalnych.
Fot. Agata Szymńska-Medina



Nielegalne składowisko odpadów
niebezpiecznych.
<https://www.wkatowicach.eu/informacje/pozakatowicami>

Rysunek 4. Przykłady obiektów w monitoringu przestępstw środowiskowych

8 PLAN ROZWOJU KRAJOWYCH OBSERWACJI ZIEMI

Rozwój krajowych obserwacji Ziemi zależy od popytu na oferowane produkty. Rośnie komercyjne wykorzystanie danych satelitarnych, ale podstawowym użytkownikiem jest administracja.

Zwiększenie wykorzystania danych satelitarnych przez administrację wymaga koordynacji działań w skali całego kraju, powinna to być rola Polskiej Agencji Kosmicznej. Resortowe rozproszenie infrastruktury i kompetencji EO nie jest korzystne. Przykładem jest powstający System Satelitarnego Monitorowania Upraw Rolnych (S2MUR)⁶⁵⁶⁶, który od kilku lat jest budowany przez Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa (KOWR) we współpracy z Ministerstwem Rolnictwa i Rozwoju Wsi. Należy unikać powielania działań równoległych, infrastruktura obliczeniowa powinna być ogólnodostępna, a nie resortowa. Równocześnie konsolidacja działań nie wyklucza rozproszonej struktury systemu.

Z punktu widzenia obserwacji Ziemi obecnie POLSA pełni rolę administratora NSIS, organizatora przetargów na warstwy systemu, prowadzi zajęcia edukacyjne, integruje środowisko EO. Ambicją powinno być powstanie silnego zespołu ekspertów EO oraz programistów (programiści zapewnią rozwój ML, DL, AI). Zespół realizowałby zadania związane ze wsparciem użytkowników systemu NSIS, aktualizacją produktów, poszukiwaniem nowych zastosowań EO, testowaniem danych i metod ich przetwarzania, określania standardów jakości. Aktywność powinna dotyczyć również zmian legislacyjnych dotyczących wykorzystania produktów EO. Ważną funkcją jest utrzymywanie kontaktów z uczelniami, instytutami naukowych oraz firmami.

NSIS powinien być centralnym punktem krajowych obserwacji Ziemi. Powinien wspomagać działanie administracji i samorządów. Rekomendowane jest stworzenie komitetu konsultacyjnego NSIS, pełniącego rolę doradcą i zarazem punktu kontaktowego. Wywołanie interakcji z użytkownikami pozwoli na określanie potrzeb i oczekiwań na nowe produkty.

Ze względu na interdyscyplinarność obserwacji Ziemi w dalszej perspektywie należy rozważyć powstanie Instytutu Obserwacji Ziemi bezpośrednio wspierającego działania Agencji. Podstawowym celem Instytutu byłoby wskazywanie nowych zastosowań EO i ocena wykonalności, testowanie najnowszych metod analiz (np. rozwijanie modeli AI), organizowanie zespołów zadaniowych (np. obliczenia kwantowe w EO). Wnioski wynikające z działalności Instytutu powinny inspirować kierunki rozwoju upstreamu.

⁶⁵ <https://www.gov.pl/web/kowr/system-satelitarnego-monitorowania-upraw-rolnych>

⁶⁶ <https://www.gov.pl/web/kowr/projekt-s2mur-stan-realizacji>

9 MOŻLIWOŚCI WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ

Agencja przez lata swojej działalności rozwija kontakty międzynarodowe (ESA, NASA, JAXA, narodowe agencje kosmiczne), ale działania związane z EO downstream nie przekładają się w sposób bezpośredni na działania instytutów i firm.

Agencja powinna reprezentować i promować polski downstream poza krajem. Nie odgrywa aktywnej roli na arenie międzynarodowej, nie zaznacza swojej obecności w europejskich i światowych organizacjach EO (opinia eksperta). Nie ma informacji o próbach rekomendowania tematów badawczych i aplikacyjnych (lobbowanie konkursów), które są istotne dla kraju.

Obecnie siłą napędową europejskich EO jest EuroGEO. Jest to regionalna inicjatywa GEO w Europie, od paru lat kształtują się nowe struktury. Co roku organizowane są EuroGEO workshop, na których prezentowane są plany i działania europejskich obserwacji Ziemi. Jest to czas spotkań tematycznych Action Groups (AG), wymieniane są doświadczenia, toczą się dyskusje, w których uczestniczą przedstawiciele EU, eksperci JRC, przedstawiciele Copernicus. W roku 2024 workshop EuroGEO, z moją pomocą, został zorganizowany w Krakowie. Ministerstwo Rozwoju wskazało Agencję jako organizatora wspierającego. Nie podjęto próby aktywnego włączenia się w prace EuroGEO (opinia eksperta).

Co dwa lata w różnych częściach świata, organizowany jest GEO Ministerial Summit. W roku 2019 na froncie europejskiego stoiska ESA i EC została umieszczona satelitarna mapa Europy wykonana w CBK PAN. W mojej ocenie było to duże (może największe) wyróżnienie dla polskich obserwacji Ziemi, ale Polscy przedstawiciele byli nieobecni. Promowanie krajowych osiągnięć jest bardzo istotne ze względu na duży potencjał eksportowy.

Aktualna sytuacja geopolityczna wymusza inwestycje w krajowy przemysł kosmiczny. Powstają nowe konstelacje satelitów wojskowych. Obronność kraju powinna być wspierana przez cywilnych specjalistów EO. Należy zapewnić zasady współpracy, aby nie tracić potencjału intelektualnego.

W listopadzie 2025 na Radzie Ministerialnej ESA podjęto decyzję o budowie w Polsce ESA Civil Security Hub (bezpieczeństwo i działania kryzysowe). Jest to bardzo ważna inwestycja, której celem jest zwiększenie odporności kryzysowej. Uruchomienie ośrodka pozwoli na rozwijanie krajowych kompetencji kryzysowych. Należy rozważyć (jeżeli to możliwe) współpracę z NSIS. W mojej opinii gwarancją wysokich kwalifikacji w przetwarzaniu danych satelitarnych jest ciągły trening i doskonalenie umiejętności. Sytuacje kryzysowe nie zdarzają się każdego dnia, dlatego zespół aplikacyjny powinien być zaangażowany w codzienny monitoring satelitarny.

10 BARIERY I RYZYKA KRAJOWYCH OBSERWACJI ZIEMI

10.1 Bariery

W opinii eksperta do podstawowych barier rozwoju krajowych EO należy zaliczyć:

- brak koordynacji krajowych obserwacji Ziemi;
- brak wieloletnich krajowych tematów badawczych i aplikacyjnych;
- niska świadomość korzyści wynikających z danych EO u decydentów i w administracji;
- niechęć administracji do inwestowania w nowe technologie;
- niedofinansowanie nauki, która powinna wytyczać nowe kierunki;
- konkurencja instytutów naukowych z przemysłem;
- niedostateczne regulacje legislacyjne dla danych i produktów EO;
- brak aktywności w międzynarodowych organizacjach EO;

10.2 Ryzyka

- dobrze wykształceni fachowcy poszukują zatrudnienia poza krajem;
- duża liczba małych firm;

- brak stabilnego rynku EO⁶⁷;
- rozwój EO następuje przez losowe uczestnictwo w grantach;
- wielkie możliwości AI mogą zdominować lub zakończyć rynek EO;
- uzależnienie od upstream, który może narzuć rozwiązania technologiczne.

11 REKOMENDACJE STRATEGICZNE DLA POLSKIEJ AGENCJI KOSMICZNEJ

Rekomendacje dla Polskiej Agencji Kosmicznej zakładają, że Agencja ma ambicje i możliwości pełnienia roli wiodącej w krajowych obserwacjach Ziemi. Uwzględniają one również funkcjonowanie NSIS, który powinien odgrywać istotną rolę w działaniach Agencji.

Przyjęto dwa priorytety: **A**: do roku 2027, **B**: lata 2027 – 2035

Lp.	Rekomendacja	Propozycja działania	Priorytet
1	Wsparcie dla użytkowników NSIS	Utworzenie zespołu wspierającego użytkowników systemu w zakresie doboru danych, algorytmów oraz uruchomienie aplikacji	A
2	Zmiana zasad konkursów NSIS na wykonanie produktu	Konkursy powinny być wzorowane na ESA. Powołanie grona doświadczonych ekspertów, rozmowy z wykonawcami. Zmiana sposobu oceny kompetencji wykonawców. Promowanie metody, a nie ceny usługi.	A
3	Wprowadzenie konkursów otwartych NSIS	Możliwość zgłoszenia nowej funkcjonalności (aplikacji) systemu NSIS	A
4	Wprowadzenie wieloletnich zleceń NSIS	Zapewnienie możliwości wykonania serwisu przez parę lat, jeżeli produkt spełnia wszystkie oczekiwania Agencji.	A
5	Poprawa jakości produktów NSIS	Wprowadzenie zasady poprawy produktów jeżeli są nowe możliwości	A
6	Przygotowanie zbiorów walidacyjnych NSIS	Zbieranie danych referencyjnych powstałych w czasie realizacji zleceń NSIS	B
7	Poprawa geometrii zdjęć Sentinel-2 (na żądanie)	Udostępnienie w INSIS aplikacji poprawiającej geometrię zdjęć Sentinel-2	A
8	Rozwijanie kompetencji AI	Konkursy na modele AI, udostępnianie danych testowych, porównywanie wyników z tradycyjnymi metodami	B
9	Rozwijanie kompetencji w zakresie obliczeń kwantowych	Zdefiniowanie tematów EO dla obliczeń kwantowych.	B
10	Kierownicza rola POLSA w zakresie obserwacji Ziemi	Utworzenie silnego zespołu EO, lub instytutu EO wspierającego działania POLSA; Współpraca z uczelniami i instytutami naukowymi; Współpraca z ESA Φ Lab, udział POLSA w organizacjach międzynarodowych EO;	A
11	Stworzenie komitetu konsultacyjnego NSIS	Współpraca z Ministerstwami w celu promowania systemu oraz pozyskiwania informacji o potrzebach Ministerstw i Urzędów	A
12	Poszukiwanie nowych zastosowań EO	Aktywne kontakty z administracją i samorządami; współpraca z GUS i Ministerstwami	A
13	Produkty EO polskich konstelacji	Opracowanie produktów dostosowanych do danych pozyskiwanych z polskich konstelacji	B
14	Wdrażanie nowych niszowych tematów	Opracowanie zasad, które pozwolą na rozpoznanie możliwości i wdrażanie nowych tematów, które wymagają etapowej realizacji	B
15	Zmiany legalizacyjne dotyczące danych i metod obserwacji Ziemi	Rozpoczęcie prac nad wprowadzeniem zmian legislacyjnych, które zalecają korzystanie z danych satelitarnych przez administrację	A
16	Wskazywanie kierunków działań dla upstreamu	Przy drugiej generacji polskich konstelacji parametry techniczne powinny być ustalane z udziałem downstreamu	B
17	Współpraca międzynarodowa z EuroGEO i GEO	Ustanowienie przy POLSA krajowego przedstawiciela EuroGEO; aktywny udział w pracach EuroGEO	A
18	Program edukacji EO	Koła naukowe LEOO i klasy obserwacji Ziemi w liceach	A

⁶⁷ satellite-based services for a competitive, autonomous, safe and resilient Europe, <https://www.spacey.eu.com/spacey-news/enhancing-the-use-of-satellite-based-services-for-a-competitive-autonomous-safe-and-resilient-europe/>

12 EDUKACJA

W ramach programów GEOLAND, a później Copernicus budujących europejski potencjał kosmiczny, były i są prowadzone działania zorientowane na promowanie obserwacji Ziemi. Jest to konieczne, aby olbrzymie nakłady na nowe technologie były powszechnie wykorzystywane i przynosiły planowane korzyści.

POLSA aktywnie działa na polu edukacji. Prowadzone są szkolenia, kursy, konkursy dla młodzieży. W roku 2020 w ramach programu sat4envi została wydana publikacja „Dane satelitarne dla administracji publicznej”⁶⁸. Jest to obszerne (450 stron) kompendium wiedzy o EO, opisująca dane, metody, zastosowania, projekty. Ze względu na dużą liczbę autorów tekst nie jest jednorodny. Na pewno nie jest to podręcznik akademicki, równocześnie nie jest to publikacja do czytania przez administrację, która „utonie” w ilości stron i w szczegółach. Należy zastanowić się nad nowym wydaniem dostosowanym do potrzeb.

Akcje edukacyjne Agencji są adresowane do młodzieży szkolnej, studentów, dorosłych. Od lat podejmowanych jest wiele cennych inicjatyw, a ostatnio związane one były z lotem polskiego astronauty.

Równolegle do prowadzonej aktywności, którą wysoko oceniam, chciałbym zaproponować działania wzorowane na kole naukowym Local Earth Observation Observatory (LEOO), które zostało zainicjowane w liceum w małym mieście Biała Podlaska⁶⁹. Grupa młodzieży jest bardzo aktywna, prowadzone są wykłady (też w j. angielskim), odnoszą sukcesy w konkursach. Celem jest rozbudzenie pasji, zachęcenie do studiowania na kierunkach związanych z EO. Dalszym celem jest stworzenie europejskiej sieci, jest to realne ponieważ przedstawiciele LEEO zostali zaproszeni na EuroGEO w Hadze. Dodatkowo działania młodzieży są wspierane przez władze miasta, które są zainteresowane EO oraz rozważają korzystanie z Citizen Science. Koło naukowe wymaga opieki, ale równocześnie powoli staje się niezależne. Jest to obiecujący sposób promocji obserwacji Ziemi.

Należy rozważyć zachęcenie szkół licealnych do wprowadzania klas o profilu „obserwacje Ziemi”.

13 PORTAL NSIS - wybrane uwagi użytkownika

Portal⁷⁰ Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej zawiera systematycznie rosnącą liczbę opracowań (klasyfikacje, przetworzenia). Udostępniane są również wybrane warstwy tematyczne innych geoserwisów co zwiększa udostępniany zakres tematyczny. Korzystanie z podstawowej funkcjonalności jest intuicyjne. Korzystanie z bardziej zaawansowanych funkcji wymaga zapoznania się z podręcznikiem użytkownika.

Warstwy tematyczne NSIS zostały wykonane w ramach zleceń konkursowych POLSA. Przeglądając zakładkę „o warstwie” nie znajdujemy informacji o wykonawcy, znajdujemy ją dopiero w bazie wiedzy. Wykonując pracę dla POLSA przekazywane są prawa autorskie, jednak w opinii środowiska EO, wykonawca powinien być wymieniony bezpośrednio w metryce warstwy.

System oferuje użytkownikom mozaiki zdjęć satelitarnych Sentinel-2 w barwach zbliżonych do naturalnych i CIR. Kompozycja CIR jest stosowana w przypadku zdjęć lotniczych ze względu na ograniczoną liczbę kanałów spektralnych. W analizach środowiskowych posługujemy się kombinacją kanałów Sentinel-2 (8,11,4), lub Landsat (4,5,3). Zapewnia to najlepszą rozróżnialność form pokrycia terenu, takie kompozycje są praktycznie stosowane na wszystkich kontynentach. Jest to kannon dobrych praktyk.

W bazie wiedzy INSIS brakuje odwołań do literatury. W przypadku bazy wiedzy możliwość dojścia do źródeł jest bardzo istotna.

Wyspy ciepła są ważnym zjawiskiem występującym w miastach. W NSIS brakuje opisu stosowanego algorytmu. Trudno doszukać się informacji dla jakiego okresu wykonano obliczenia, legenda sugeruje, że dla jednego dnia (?), brak informacji o częstotliwości występowania zjawiska. Należy rozważyć aplikację, która automatycznie oblicza

⁶⁸ Dane satelitarne dla administracji publicznej <https://nsisplatforma.polsa.gov.pl/baza-wiedzy/artykuly/podrecznik-polsa>

⁶⁹ LEEO Biała Podlaska <https://leoo-poland.eu/>

⁷⁰ <https://nsisplatforma.polsa.gov.pl/portal/>

wyspy dla wskazanego miejsca i okresu czasu. Cennym uzupełnieniem byłaby informacja o wielkości referencyjnej temperatury.

Ciekawą warstwą NSIS jest mozaika Sentinel-2 o podwyższonej rozdzielczości. Zamieszczone są dwa produkty dla roku 2022 i 2024. W opisach nie podano wielkości wynikowego piksela co jest istotną informacją. Jakość przetworzenia z roku 2022 znacząco odbiega od roku 2024. Może to wynikać z zastosowanego modelu lub niedotrenowania sieci (?). Należy rozważyć poprawę.

Na stronach NSIS jest zamieszczona animacja obrazująca kołowy ruch satelity nad miastem co sugeruje ciągłą obserwację powierzchni Ziemi. Nie ma systemu satelitarnego, który może poruszać się po takiej trajektorii. Ze względu na funkcję edukacyjną portalu należy to zmienić.



14 PODSUMOWANIE

Ekspertyza przedstawia ocenę trendów, produktów i usług w krajowym obszarze downstream, ze szczególnym uwzględnieniem roli Polskiej Agencji Kosmicznej oraz Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej. Uruchomienie NSIS oraz rozwój konstelacji polskich satelitów obserwacyjnych znacząco pobudził aktywność krajowego sektora kosmicznego i tworzy nowe możliwości wykorzystania danych satelitarnych.

Wśród kluczowych trendów technologicznych zidentyfikowano rosnące znaczenie metod analizy opartych na sztucznej inteligencji, rozwój danych hiperspektralnych oraz przetwarzania informacji bezpośrednio na pokładzie satelitów. Jednocześnie wskazano na istotny, lecz wciąż niewystarczająco rozwinięty obszar integracji danych pozyskiwanych z satelitów, samolotów i dronów.

Podano przykłady nisz dzieląc je na usługowe (znaczenie lokalne), technologiczne i tematyczne. Nisze usługowe zostały wskazane na przykładzie NSIS i dotyczą wsparcia użytkowników systemu, poprawy geometrii zdjęć satelitarnych oraz utworzenia bazy danych referencyjnych dla klasyfikacji pokrycia terenu. W niszy technologicznej wskazano na rozbudowę kompetencji w zakresie AI oraz obliczeń kwantowych. Ze względu na doświadczenia krajowych specjalistów powinny to być polskie specjalizacje. Jako nisze tematyczne, w których można zaistnieć w skali Europy, wskazano statystykę i wskaźniki zrównoważonego rozwoju. Tematem trudnym i równocześnie perspektywicznym, który należy podjąć są przestępstwa środowiskowe.

W działania, których celem jest definiowanie nowych tematów dla obserwacji Ziemi musi być włączona administracja, która jest podstawowym odbiorcą danych i produktów obserwacji Ziemi. Należy również dostosować przepisy prawne, zachęcające, a nawet obligujące do stosowania zdjęć i technik satelitarnych w działaniach administracji i samorządów.

Należy dążyć do uporządkowania i integracji kompetencji w zakresie obserwacji Ziemi. Rolę integratora powinna odgrywać Polska Agencja Kosmiczna, w której powstanie silny zespół ekspertów obserwacji Ziemi. Pozwoli to na określanie strategii, rozwijanie nowych technik, inicjowanie interdyscyplinarnych zespołów, definiowanie tematów europejskich konkursów.

15 Bibliografia i źródła

Źródła internetowe i literaturowe są przedstawione w tekście w formie przypisów dolnych.