



# DANE SATELITARNE DLA ADMINISTRACJI PUBLICZNEJ





# Spis treści

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| Projekt Sat4Envi                           | 2  |
| Teledetekcja satelitarna                   | 4  |
| Trendy rozwoju sektora kosmicznego         | 7  |
| Obszary wykorzystania danych satelitarnych | 9  |
| Systemy pozyskiwania danych satelitarnych  | 13 |

# Projekt Sat4Envi

Polska Agencja Kosmiczna (PAK) oraz Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy (IMGW-PIB), Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk (CBK PAN), Akademickie Centrum Komputerowe Cyfronet Akademii Górniczo-Hutniczej (ACK Cyfronet AGH) realizują projekt „System operacyjnego gromadzenia udostępniania i promocji cyfrowej informacji satelitarnej o środowisku - Sat4Envi” finansowany ze środków Unii Europejskiej (84,63%) oraz budżetu państwa (15,37%) w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa.

Głównym celem projektu Sat4Envi jest utworzenie na bazie aktualnych zasobów IMGW-PIB oraz ACK Cyfronet AGH infrastruktury służącej do pozyskiwania, gromadzenia, przetwarzania i udostępniania danych satelitarnych. Budowa systemu umożliwi użytkownikom dostęp do informacji rejestrowanych przez sensory konstelacji satelitów serii Sentinel (Ryc.1) budowanych i wynoszonych w kosmos w ramach programu Copernicus.



Ryc. 1. Satelita Sentinel-1  
(źródło: <https://www.esa.int>)

Powstała infrastruktura zapewni otwarty i nieodpłatny dostęp do kompleksowej, cyfrowej informacji o środowisku, służącej społeczeństwu i administracji publicznej. W ramach projektu utworzone zostanie archiwum danych satelitarnych, centrum szkoleniowe oraz centrum udostępniania informacji naukowej dotyczącej pozyskiwanych zobrazowań satelitarnych. Do systemu Sat4Envi zostaną także włączone dane z innych satelitów środowiskowych i meteorologicznych dostarczających informacji o aktualnym stanie atmosfery, hydrosfery i biosfery.

W związku z pojawianiem się w przestrzeni kosmicznej wciąż nowych generacji satelitów oraz rozbudową istniejących już konstelacji obserwuje się dynamiczny wzrost ilości i różnorodności zdalnie pozyskiwanych informacji o środowisku. W naszym kraju, podobnie jak i na całym świecie, przewiduje się zwiększenie zapotrzebowania na dane satelitarne i związane z nimi usługi. Największym potencjalnym odbiorcą danych obserwacji Ziemi dostarczanych przez satelity jest administracja publiczna. Istotne jest zatem szerokie upowszechnienie wiedzy o potencjale informacyjnym tych danych i zapewnienie efektywnego dostępu do tworzonych zasobów.

Zadaniem Polskiej Agencji Kosmicznej w projekcie Sat4Envi jest opracowanie programu edukacyjno-szkoleniowego skierowanego do administracji publicznej i uruchomienie tematycznych szkoleń dla urzędników. Ich celem będzie przede wszystkim budowanie świadomości korzyści wynikających ze stosowania danych satelitarnych w procesach decyzyjnych, a także poszerzenie wiedzy i kompetencji pracowników administracji na temat metod pozyskiwania i dostępu do danych satelitarnych, opracowania i analizy utworzonych na ich podstawie produktów oraz możliwości ich zasto-



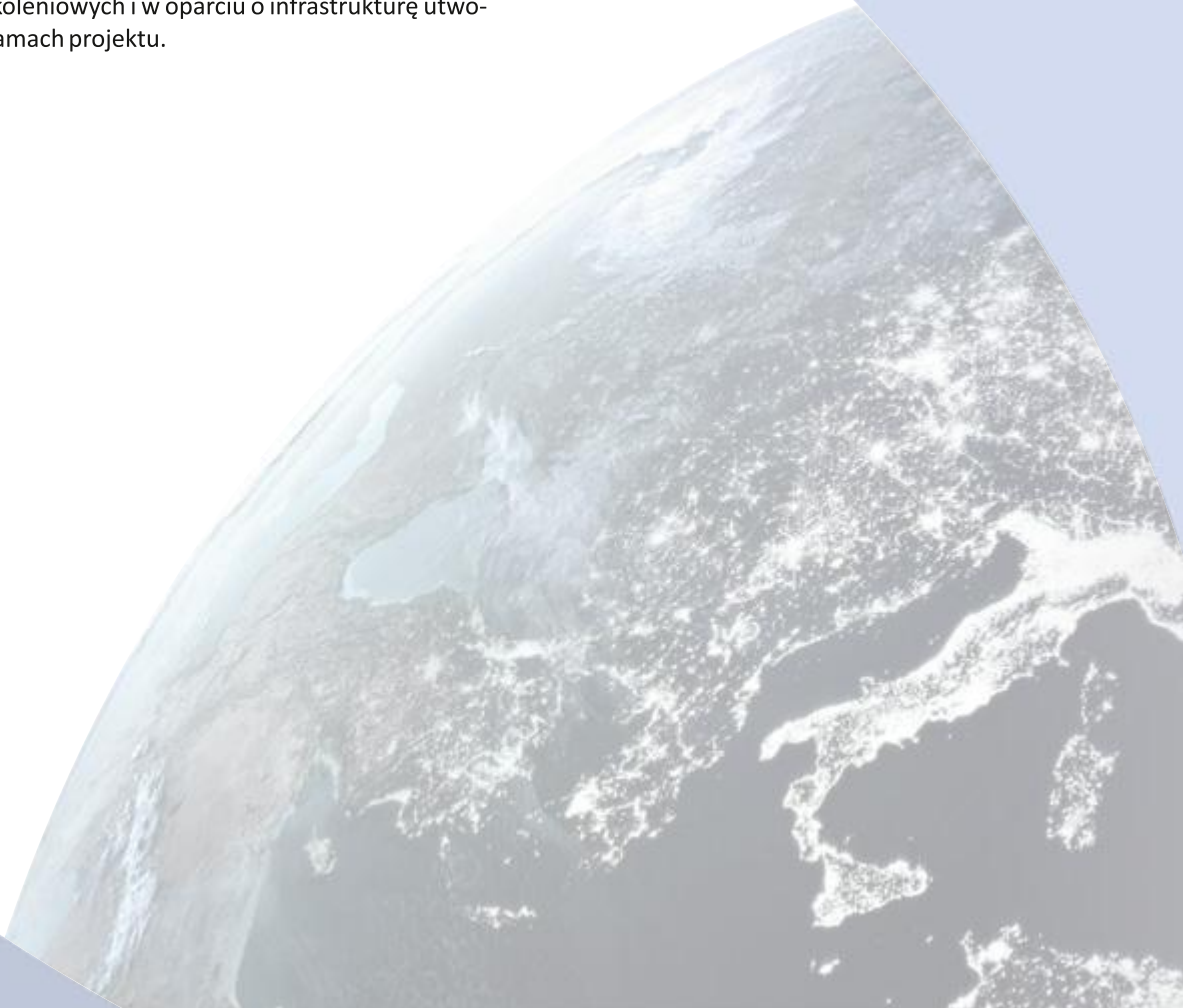
sowania w codziennej pracy urzędów. Program podzielony zostanie na szkolenia ramowe kierowane do decydentów wyższego i średniego szczebla oraz szkolenia specjalistyczne dla pracowników merytorycznych urzędów administracji publicznej.

Opracowanie zakresu tematycznego szkoleń poprzedziło wykonanie diagnozy potrzeb szkoleniowych uwzględniającej zadania poszczególnych szczebli administracji. Zakres szkoleń ma obejmować problematykę wykorzystania danych satelitarnych w takich obszarach, jak m.in.: infrastruktura, sieci transportowe, urbanizacja, ochrona środowiska, rolnictwo, transport, planowanie przestrzenne, gospodarka wodna, leśnictwo.

W ramach projektu Sat4Envi zostaną przeprowadzone pilotażowe szkolenia dla wybranej, reprezentatywnej grupy przedstawicieli jednostek samorządu terytorialnego i administracji rządowej z wykorzystaniem materiałów szkoleniowych i w oparciu o infrastrukturę utworzoną w ramach projektu.

Szkolenia przybliżą uczestnikom historię i rozwój technologii satelitarnych oraz współcześnie dostępne rodzaje danych i narzędzia służące do analiz teledetekcyjnych. Przedstawiona zostanie charakterystyka rynku kosmicznego, w tym informacje na temat programów oraz misji europejskich i światowych, ze szczególnym uwzględnieniem programu Copernicus. Zakres treści szkoleń obejmie także zagadnienia dotyczące uwarunkowań prawnych związanych z wykorzystaniem danych satelitarnych w realizacji zadań publicznych. Program edukacyjno-szkoleniowy będzie wdrażany na przełomie lat 2019/2020.

Niniejszy materiał zawiera informacje na temat potencjału informacyjnego danych satelitarnych, możliwości ich wykorzystania w codziennej pracy urzędów oraz inicjatywy szkoleniowej Polskiej Agencji Kosmicznej realizowanej w ramach projektu Sat4Envi. Broszura została opracowana z myślą o pracownikach administracji publicznej - potencjalnych uczestnikach szkoleń.

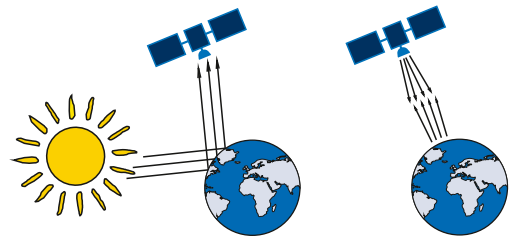


# Teledetekcja satelitarna

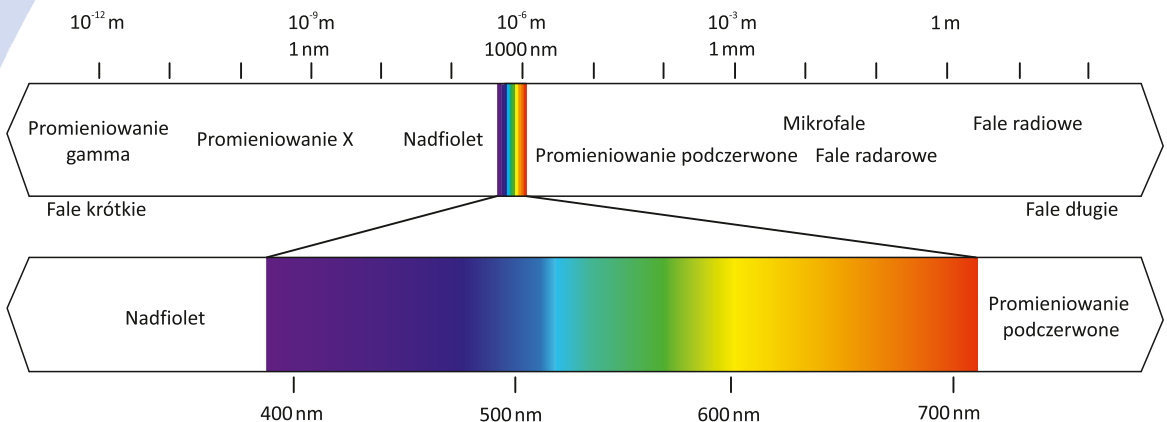
Pod pojęciem teledetekcja rozumie się metody pozyskiwania informacji o obiektach, zjawiskach i procesach za pomocą sensorów niebędących w bezpośrednim kontakcie z badanym obiektem, a także metody przetwarzania i analizowania zarejestrowanych danych cyfrowych w celu uzyskania użytecznych informacji pochodnych. Teledetekcja satelitarna dotyczy pozyskiwania danych z przestrzeni kosmicznej z wykorzystaniem sensorów umieszczanych na platformach będących sztucznymi satelitami Ziemi.

Większość sensorów teledetekcyjnych wykorzystuje promieniowanie elektromagnetyczne odbite lub wypromieniowane przez obserwowane obiekty. Zakres fal użytecznych z punktu widzenia teledetekcji obejmuje: promieniowanie widzialne, bliską i średnią podczerwień, podczerwień termalną oraz mikrofales i promieniowanie radiowe.

Obraz satelitarny przedstawia promieniowanie z wybranego zakresu widma elektromagnetycznego rejestrowanego przez sensor zamontowany na satelicie (Ryc. 2). Ze względu na źródło pochodzenia rejestrowanego promieniowania elektromagnetycznego, w teledetekcji satelitarnej wyróżnia się metodę pasywną oraz aktywną (Ryc. 3).



Ryc. 3. Metody rejestracji danych teledetekcyjnych: pasywna (po lewej) i aktywna (po prawej)



Ryc. 2. Zakresy promieniowania elektromagnetycznego (źródło: Ciołkosz i in. 1999<sup>1</sup>).

<sup>1</sup> Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., „Interpretacja zdjęć lotniczych”, Warszawa, PWN, 1999.

Metody pasywne opierają się najczęściej na rejestracji promieniowania słonecznego odbitego od obiektów lub przez nie wypromieniowanego (np. pożary lasów, erupcje wulkanów). Dzięki temu możliwa jest wizualizacja zobrazowań rejestrowanych w zakresie optycznym w barwach naturalnych (RGB) podobną metodą jak w przypadku zdjęć cyfrowych, tyle że te pierwsze wykonywane są z pułapu kosmicznego (Ryc. 4).

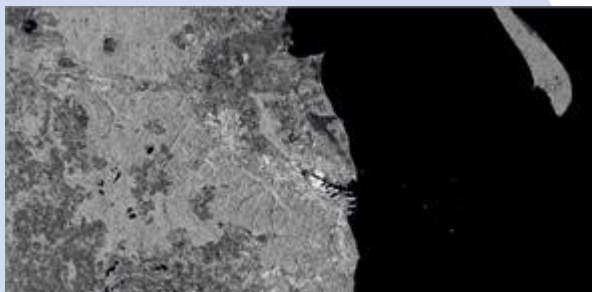


*Ryc. 4. Przykład zobrazowania teledetekcyjnego w zakresie optycznym – kompozycja w barwach naturalnych RGB (źródło: Copernicus, Sentinel z 2017 r.)*

Metody aktywnej teledetekcji bazują na wykorzystaniu własnych źródeł promieniowania elektromagnetycznego oraz sensorów rejestrujących jego odbicie od obiektów. Przykładem aktywnego systemu mogą być satelity wyposażone w detektory mikrofalowe (radary), które operują w trudnych warunkach atmosfery bez konieczności obecności światła słonecznego i dzięki zdolności mikrofal do penetracji aerozoli w atmosferze są w stanie pozyskiwać zobrazowania nawet przy znacznym zachmurzeniu czy zadymieniu. Radar analizuje odbicie wiązki od obiektu, które jest zależne od spolaryzowania fali, jej długości i właściwości fizycznych samego obiektu (Ryc. 5). Specjalistyczne oprogramowanie do przetwarzania sygnału radarowego umożliwia wizualizację danych w barwach fałszywych, które wspomagają interpretację obiektów zarejestrowanych na zobrazowaniu.

Odbite promieniowanie elektromagnetyczne zarejestrowane przez detektor w procesie obrazowania zamieniane jest najczęściej na postać rastrową złożoną z podstawowych elementów określanych jako piksel obrazu. W zobrazowaniach optycznych każdemu pikselowi zostaje przypisana wartość (tzw. jasność) określająca wielkość energii promieniowania elektromagnetycznego odbitego od obiektu w danym paśmie widma. Piksele w przetwarzanych zobrazowaniach

radarowych zawierają informację o amplitudzie oraz fazie sygnału powracającego do anteny odbiorczej.



*Ryc. 5. Przykład zobrazowania teledetekcyjnego zarejestrowanego w technologii mikrofalowej (radar) (źródło: Copernicus, Sentinel z 2018 r.)*

Poszczególne klasy pokrycia terenu (np.: budynki, roślinność, lasy, uprawy rolnicze, zbiorniki wodne czy gleba) charakteryzują się specyficznymi i odmiennymi właściwościami wpływającymi na wielkość odbijanego promieniowania elektromagnetycznego. Ta cecha umożliwia detekcję tych klas na zobrazowaniach satelitarnych i analizowanie zmian zachodzących w środowisku.

Spośród wielu cech obrazów satelitarnych jednymi z najistotniejszych są: rozdzielczość przestrzenna (terenowa) oraz czasowa. Rozdzielczość przestrzenna zobrazowania satelitarnego informuje użytkownika o wymiarze piksela w terenie. Przykładowo, rozdzielczość przestrzenna 10 m informuje, iż jeden piksel obrazu reprezentuje obszar o wymiarach 10 x 10 m. Im mniejsza wielkość piksela terenowego, tym wierniej odwzorowana może być sytuacja terenowa (Ryc. 6, 7, 8, 9).



*Ryc. 6. Bardzo wysokorozdzielcze zobrazowanie satelitarne o rozdzielczości przestrzennej 50 cm (źródło: DigitalGlobe, dostarczone przez European Space Imaging z 2016 r.)*





Ryc. 7. Wysokorozdzielcze zobrazowanie satelitarne o rozdzielczości przestrzennej ok. 3 m (źródło: Planet Labs, Inc. z 2018 r.)



Ryc. 9. Średniorozdzielcze zobrazowanie satelitarne o rozdzielczości przestrzennej 30 m (źródło: Landsat-8, U.S. Geological Survey z 2018 r.)



Ryc. 8. Średniorozdzielcze zobrazowanie satelitarne o rozdzielczości przestrzennej 10 m (źródło: Copernicus Sentinel z 2018 r.)

Czas rewizyty satelity, czyli ponownego obrazowania tego samego obszaru, określany jest jako rozdzielczość czasowa. Często rewizyta systemu satelitarnego ma duże znaczenie w aplikacjach wymagających niemal ciągłego pozyskiwania danych np. w sytuacjach kryzysowych (m.in. określanie zasięgu powodzi czy pożarów lasu). Obecnie na cywilnym rynku satelitarnym istnieją systemy teledetekcyjne (konstelacje satelitów) oferujące pozyskiwanie obrazów z rewizytą o częstotliwości nawet dwa razy w ciągu jednego dnia, a w 2021 r. zapowiadane są rozwiązania umożliwiające rejestrację obiektów od kilkunastu do kilkudziesięciu razy dziennie.

# Trendy rozwoju sektora kosmicznego

W ostatnich latach przestrzeń kosmiczna przestała być dostępna wyłącznie dla instytucji rządowych wybranych państw świata. Coraz częściej systemy satelitarne umieszczane są w przestrzeni okołoziemskiej przez kraje rozwijające się lub podmioty prywatne zainteresowane działalnością w tym sektorze gospodarki.

Istotnym trendem rozwojowym w sektorze kosmicznym jest miniaturyzacja. Powstają konstelacje niewielkich bezzałogowych statków kosmicznych (Ryc. 10), które ze względu na niespotykaną dotąd liczebność na tej samej orbicie okołobiegunowej pozwalają na pozyskiwanie danych wysokorozdzielczych o coraz krótszym czasie re wizyty.



Ryc. 10. Wizualizacja konstelacji nanosatelitów Dove (PlanetScope) operującej na dwóch orbitach okołobiegunowych (źródło: Planet Labs, Inc.)

Obecnie wysokorozdzielcze zobrazowania satelitarne mogą być pozyskiwane codziennie, a w niedalekiej przyszłości ma być to możliwe nawet kilkukrotnie w ciągu dnia. Dzięki rozwojowi rynku systemów wynoszenia

na orbitę i ograniczeniu wagi jednostkowej satelitów zmniejszają się koszty wyniesienia i utrzymywania konstelacji. Seryjna produkcja bezzałogowych statków kosmicznych pozwala na obniżenie ich ceny, co prowadzi do redukcji kosztu pozyskiwanych danych, oferowanych produktów i usług.

Kluczowym wyzwaniem w dobie nieustannie rosnącej ilości danych teledetekcyjnych jest ich inteligentne gromadzenie, archiwizowanie, udostępnianie i stwarzanie warunków do prowadzenia analiz z ich wykorzystaniem przez administrację publiczną, przedsiębiorców i obywateli. Powstała, i wciąż jest rozbudowywana, nowoczesna infrastruktura techniczna zapewniająca odpowiednie warunki do przechowywania, wyszukiwania, udostępniania i przetwarzania terabajtów danych, coraz częściej z wykorzystaniem technologii chmury obliczeniowej.

Platformy internetowe oferują usługi wyszukiwania zobrażeń satelitarnych, tworzenia własnych wizualizacji (kompozycji kanałów spektralnych) czy nawet obliczeń wskaźników roślinnych. Zaawansowanym użytkownikom udostępniane są również interfejsy programistyczne aplikacji (tzw. *API – Application Programming Interface*).

Do najpopularniejszych platform zaliczyć można: Copernicus Open Access Hub (Ryc. 11), EO Browser, EarthExplorer, Order Handling System (EUSI - European Space Imaging), Airbus Browse and Order, czy Planet Explorer. Dostęp do danych rejestrowanych przez sensory umieszczone na satelitach w ramach misji programu Copernicus ma także wkrótce zapewnić projekt Sat4Envi.





Ryc. 11. Interfejs platformy Copernicus Open Access Hub (źródło: <https://scihub.copernicus.eu/>)

Do systemów przetwarzania danych teledetekcyjnych działających w technologii chmury obliczeniowej należą

np.: CloudEO AG, EO Cloud czy platforma CreoDIAS uruchomiona w Polsce w ramach programu Copernicus.

Rynek zaczyna bardzo żywo reagować na rozwój technologii satelitarnych, oferując usługi oparte na danych satelitarnych dostarczanych przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) i Narodową Agencję Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (NASA). Powstają także platformy takie jak: CrowdAI, SatAgro czy Orbital Insight, które udostępniają przetworzone zobrazowania, uzupełniając tym samym ofertę wsparcia danymi satelitarnymi licznych gałęzi gospodarki, w tym zarządzania przestrzenią.

# Obszary wykorzystania danych satelitarnych

Teledetekcja satelitarna jest obecnie jednym z podstawowych źródeł informacji o środowisku przyrodniczym oraz o dynamice procesów zachodzących na Ziemi i wokół niej. Jedną z wielu zalet teledetekcji jest możliwość obrazowania rozległych obszarów w bardzo krótkim czasie, co znacznie ogranicza koszt pozyskiwania danych w porównaniu do tradycyjnych metod. Dane satelitarne mogą stanowić nieocenione źródło informacji, wspomagając działania administracji publicznej szczególnie w procesach podejmowania decyzji. Zobrazowania satelitarne mogą być z powodzeniem wykorzystywane do prowadzenia różnorodnych analiz przestrzennych w takich obszarach, jak: gospodarka przestrzenna, rolnictwo, ochrona środowiska, gospodarka wodna, leśnictwo, transport, zarządzanie kryzysowe, obronność i bezpieczeństwo oraz w wielu innych.

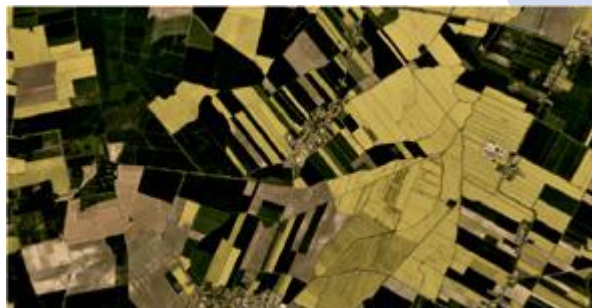
## ■ Gospodarka przestrzenna

Planowanie przestrzenne prowadzone przez regionalne i lokalne jednostki samorządu terytorialnego wymaga dostępu do danych wysokiej jakości. Zobrazowania satelitarne pozwalają na uzyskanie aktualnych informacji o pokryciu terenu i umożliwiają określenie tendencji rozwojowych w analizowanych obszarach (np. ekspansja aglomeracji miejskich). Dzięki wykorzystaniu danych satelitarnych łatwiejsze stają się analizy potrzeb inwestycyjnych związanych choćby z budową infrastruktury drogowej i technicznej czy podejmowania decyzji o lokalizacji wysypiska lub obszarów rekreacyjnych w miastach. Dzięki zobrazowaniom satelitarnym możliwe jest bieżące monitorowanie postępu inwestycji na dużych obszarach, a także inwentaryzacja zmian powstałych w trakcie ich realizacji. Analiza zobrazowań satelitarnych umożliwia przeprowadzenie klasyfikacji pokrycia terenu, która wspomaga ocenę stanu przestrzeni zurbanizowanej, bieżący monitoring zmian i planowanie jego dalszego rozwoju. Ważnym obszarem wykorzystania danych teledetekcyjnych pozyskanych dzięki satelitom są również badania zmian klimatu i tworzenia się tzw. miej-

skich wysp ciepła. Monitorowanie tych zjawisk umożliwiają obrazy rejestrowane przez sensory w paśmie podczerwieni termalnej serii satelitów Landsat. Obserwacja zróżnicowania temperatury powietrza w mieście wspomaga podejmowanie decyzji w zakresie planowanych kierunków zagospodarowania terenu. Dzięki możliwości integracji danych satelitarnych z innymi warstwami tematycznymi, jak np. ewidencja gruntów i budynków (EGiB), możliwe jest szybkie wykrycie niezgodności danych ewidencyjnych ze stanem rzeczywistym.

## ■ Rolnictwo

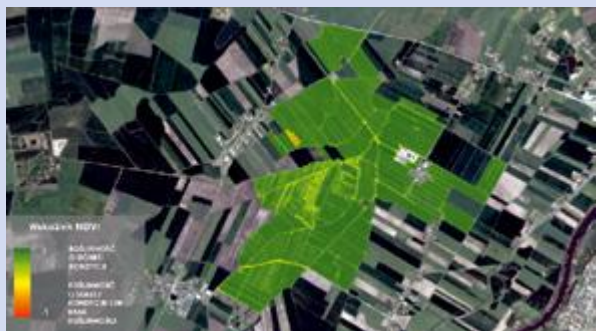
Dane satelitarne z powodzeniem są wykorzystywane w światowym rolnictwie, szczególnie w zakresie optymalizacji wielkości zbiorów i zapewniania ich wysokiej jakości. W tym przypadku kluczowe znaczenie ma wieloczasowa, szybka i trafna ocena stanu upraw i gleb (Ryc. 12).



*Ryc. 12. Kwitnące uprawy rzepaku (żółte obszary) w okolicach Malborka na zobrazowaniu satelitarnym PlanetScope (źródło: Planet Labs, Inc.)*

Na podstawie zobrazowań satelitarnych można określić m.in. klasy pokrycia i użytkowania terenu, strukturę upraw rolniczych czy niedobory wody, wyznaczyć strefy buforowe, prowadzić detekcję zmian i ocenę zróżnicowania środowiska przyrodniczego. Dane teledetekcyjne umożliwiają określanie właściwości biofizycznych (w tym kondycji zdrowotnej) roślinności.

Dzięki możliwości rejestracji zakresu bliskiej podczerwieni (ang. *NIR - Near InfraRed*) możliwe jest obliczenie wskaźników pozwalających na ocenę zmiany kondycji roślin wywołanej czynnikami naturalnymi i antropogenicznymi, stanu nawodnienia czy poziomu nawożenia gleby. Wskaźniki roślinne pozwalają m.in. na oszacowanie produktywności upraw (Ryc. 13).



Ryc. 13. Wskaźnik NDVI (znormalizowany różnicowy wskaźnik wegetacji) upraw rzepaku w okolicach Malborka (źródło: Planet Labs, Inc.)

Wykrywanie niedoborów wody czy składników odżywczych pozwala na precyzyjne dawkowanie wody lub nawozów w ilościach, które optymalnie zaspokoją potrzeby roślinności i nie wpłyną negatywnie na eksploatację czy obciążenie środowiska.

Ważnym obszarem korzystania z danych satelitarnych w europejskim rolnictwie jest modernizacja wspólnej polityki rolnej (WPR) wprowadzonej przez Komisję Europejską. Zakłada ona weryfikację spełniania wymogów WPR przede wszystkim z wykorzystaniem obrazów z satelitów serii Sentinel (Copernicus), ale i innych dostawców. Wykorzystanie danych satelitarnych na szeroką skalę spowoduje ograniczenie terenowych kontroli upraw i użytkowania ziemi w gospodarstwach rolnych, a tym samym obniżenie kosztów przeprowadzania takich kontroli, a dzięki zastosowaniu automatycznej klasyfikacji obrazu pozwoli na skrócenie czasu ich trwania.

Technologie satelitarne są stosowane od wielu lat na całym świecie w rolnictwie precyzyjnym. Na rynku pojawia się coraz więcej aplikacji służących wsparciu zabiegów agrotechnicznych. Automatyczne obliczenia wartości wskaźników roślinnych opisujących kondycję czy fenologię roślinności wykorzystuje się w celu określania wielkości dawek np. nawożenia związkami azotu, opty-

malnego czasu stosowania nawozów lub środków ochrony roślin, a także nawadniania. Dzięki takim rozwiązaniom możliwe jest szybkie reagowanie na różnego rodzaju niedobory składników odżywczych i wody, co ostatecznie przekłada się na wielkość uzyskiwanego plonu.

Analiza dynamiki zmian wskaźników roślinnych oraz tekstur obrazu lub nawet wysokości roślinności pozwala identyfikować i inwentaryzować na obrazowaniach satelitarnych obszary upraw po nawałnicach, gradobiciach, powodziach czy pożarach.

## Ochrona środowiska

Ochrona środowiska obejmuje szerokie spektrum zagadnień dotyczących zapobiegania powstawaniu szkód w środowisku, prowadzenia działań naprawczych po ich wystąpieniu, a także optymalnego wykorzystania zasobów naturalnych. W tej dziedzinie niezwykle ważna jest szybka i precyzyjna ocena stanu środowiska, która jest możliwa dzięki poszerzającemu się dostępowi do aktualnych obrazowań satelitarnych. Często dane te pozyskiwane są niemal w czasie rzeczywistym, co pozwala na bieżącą analizę zagrożeń i podejmowanie odpowiednio wcześniej działań zapobiegawczych. Obrazowania satelitarne umożliwiają prowadzenie monitoringu środowiska obejmującego wszystkie jego komponenty. Dostarczają one m.in. informacji na temat stanu szaty roślinnej, zagrożeń spowodowanych suszą, nawałnicami lub szkodnikami biotycznymi.

Ważną kwestią dotyczącą ochrony środowiska jest również detekcja nielegalnych wysypisk bądź składowisk niebezpiecznych odpadów, które mogą prowadzić do skażenia. Obrazowania pozwalają też zlokalizować zanieczyszczenie wód np. poprzez wykrywanie, monitorowanie i prognozę przemieszczania się plam oleju. Za pomocą danych satelitarnych możliwe jest również określenie stanu wód śródlądowych lub morskich poprzez ocenę eutrofizacji (np. zakwit planktonu) czy mętnienia wody.

## Gospodarka wodna

Procesy hydrologiczne zachodzą dynamicznie zarówno w czasie, jak i przestrzeni, a w ich analizie niezwykle ważne są aktualne dane obrazujące rozległe obszary (Ryc. 14).





Ryc. 14. Wysokorozdzielcze zobrazowanie satelitarne GeoEye-1 z obszaru objętego powodzią (źródło: DigitalGlobe)

Dane satelitarne umożliwiają identyfikację powierzchni nieprzepuszczalnych, których występowanie ma bezpośredni wpływ na spływ powierzchniowy wód opadowych, ewapotranspirację i wilgotność gleb. Radarowe technologie rejestracji powierzchni Ziemi, dzięki zdolności promieniowania mikrofalowego do penetracji chmur, są nieodzowne w pozyskiwaniu informacji o zasięgu i szacowaniu strat wywołanych przez klęski żywiołowe. Umożliwiają m.in. analizę grubości pokrywy śnieżnej, pozwalając np. na ocenę ryzyka powodziowego podczas roztopów. Z kolei jakościowa analiza strumienia wody odprowadzanej z zakładu przemysłowego, często posiadającego na zobrazowaniu inne zabarwienie, stanowi wskazanie do pobrania przez odpowiednie służby próbek do dalszych analiz. Dokonując fotointerpretacji zobrazowań satelitarnych można rozpoznać charakterystyczne formy terenu w zlewni, obliczyć jej powierzchnię, a także określić przebieg koryta rzecznej. Wykorzystując takie dane można również ocenić zmiany linii brzegowej zbiornika czy przebiegu koryt rzecznych, a także rozpoznać zarastanie zbiorników wodnych i zidentyfikować miejsca pojawienia się glonów.

## Gospodarka leśna

Las, jako złożony ekosystem, wymaga kompleksowego podejścia do prowadzenia zrównoważonej gospodarki m.in. z uwagi na wielofunkcyjność drzewostanów. Szczególnie ważne staje się odpowiedzialne zarządzanie zasobami leśnymi w dobie postępujących zmian klimatycznych i demograficznych. Analiza drzewostanów na zobrazowaniach satelitarnych umożliwia dokonanie szybkiej oceny ogólnego stanu lasu, wykrycie uszkodzeń po nawałnicach (Ryc. 15) czy po gradacji owadów. W in-

terpretacji uszkodzeń lasów niezmiernie przydatna jest tzw. kompozycja wykorzystująca kanał zielony, czerwony i bliskiej podczerwieni (ang. CIR – *Color Infrared*), która umożliwia detekcję drzewostanów znajdujących się w pogorszonej kondycji zdrowotnej lub całkowicie zniszczonych.



Ryc. 15. Wysokorozdzielcze zobrazowanie satelitarne Kompsat-3A wykonane po nawałnicy w Borach Tucholskich (11/12.08.2017 r.) na terenie Nadleśnictwa Lipusz; u góry - kompozycja RGB (barwy naturalne), u dołu kompozycja z użyciem bliskiej podczerwieni (barwy fałszywe) (źródło: KOMPSAT-3A imagery ©KARI, distributed SIIS)

Poza wykrywaniem intensywności szkód leśnych, możliwe jest także monitorowanie postępów prac uprzętających i prowadzonych zalesień. Połączenie zobrazowań satelitarnych z innymi geodanymi umożliwia m.in. przeprowadzenie analiz ilościowych w odniesieniu do wydzieleń leśnych, np. szacowanie skali strat surowca drzewnego. Takie dane pozwalają także wykrywać nielegalne wycinki lasu czy niszczenia zadrzewień. Monitorowanie drzewostanów za pomocą obrazów satelitarnych pozwala na szybkie i obiektywne szacowanie zasobów biomasy, określanie zdolności lasu do pochłaniania dwutlenku węgla czy retencji opadów atmosferycznych oraz kształtowanie mikroklimatu, co przyczynia się do przyspieszenia i usprawnienia procesów decyzyjnych.

## Transport

Technologia radarowa umożliwia ocenę stanu nawierzchni dróg, ich utrzymania, a także detekcję i pomiar osiadania gruntów w bezpośrednim sąsiedztwie dróg lub torów kolejowych. Poprzez kompleksowy ogląd sieci komunikacyjnej wybranego obszaru można wskazać miejsca budowy nowych dróg oraz planować remonty. Często rewizyta niektórych wysokorozdzielczych systemów satelitarnych umożliwia też obserwację ruchu na dużych lotniskach czy w portach morskich.

## Zarządzanie kryzysowe

W zarządzaniu kryzysowym, gdzie w sytuacji zagrożenia wymagana jest natychmiastowa reakcja, posługiwanie się obrazowaniami satelitarnymi jest dziś nieodzowne. Nie tylko pozwalają one na detekcję obszarów zniszczonych lub potencjalnie zagrożonych przez klęski żywiołowe (np. powódzie - analiza stref zalewowych; pożary - wskaźniki suszy i temperatury), ale także umożliwiają szybką reakcję służb i sprawne zaplanowanie działań ratunkowych. Obrazowania satelitarne przyspieszają i obniżają koszt szacowania strat spowodowanych klęskami żywiołowymi. Obrazy pozyskane w technologii radarowej pozwalają na bieżące obserwowanie zalanego obszaru i zmian poziomu wody czy powstawania osuwisk nawet przy bardzo wysokim zachmurzeniu. Z drugiej strony, optyczne obrazowania satelitarne wykonywane w paśmie bliskiej podczerwieni (NIR) pozwalają na detekcję uszkodzeń szaty roślinnej spowodowanych pożarami.

## Obronność i bezpieczeństwo

Obrazowania satelitarne zwiększają świadomość sytuacyjną w przypadku wystąpienia zagrożenia militarnego, co pomaga w planowaniu działań oraz podjęciu odpowiednich decyzji w sytuacji konfliktowej. Często rewizyta satelitów nad danym terenem pozwala na bieżącą obserwację obszarów kluczowych strategicznie (lotniska, porty, zakłady przemysłowe, tereny przygraniczne). Wysoka rozdzielczość przestrzenna systemów teledetekcyjnych umożliwia monitorowanie obiektów infrastruktury krytycznej. W zapewnieniu bezpieczeń-

stwa narodowego ważną rolę odgrywa satelitarna obserwacja zagrożeń zewnętrznych, która bywa często jedynym źródłem informacji o terenie objętym sytuacją kryzysową. Wysokorozdzielcze obrazowania satelitarne mogą np. szczegółowo rejestrować zniszczenia powstałe w wyniku konfliktów zbrojnych (Ryc. 16, Ryc. 17).



Ryc. 16. Zbombardowany terminal lotniska w Doniecku (źródło: DigitalGlobe, dostarczone przez European Space Imaging)



Ryc. 17. Rosyjska baza wojskowa na Krymie (źródło: DigitalGlobe, dostarczone przez European Space Imaging)

Kompleksowa świadomość sytuacyjna zagrożeń wewnętrznych i zewnętrznych uzyskana na podstawie rozpoznania satelitarnego umożliwia szybszą reakcję na niepożądane działania, a tym samym zwiększa poziom bezpieczeństwa narodowego.



# Systemy pozyskiwania danych satelitarnych

Na orbicie okołozemskiej krąży obecnie około 2000 satelitów operacyjnych<sup>2</sup> o różnym przeznaczeniu. Szacuje się, że ta liczba wzrośnie kilkakrotnie w ciągu najbliższych lat. Systemem satelitarnym, który dał początek teledetekcji środowiskowej i zapewnił z czasem powszechny, nieodpłatny dostęp do danych obrazowych, był amerykański program Landsat. Pierwszy satelita z tego programu, wyniesiony na orbitę w 1972 r., dostarczał dane o rozdzielczości przestrzennej ok. 80 m (sensor *MSS - Multi-Spectral Scanner*). Najnowszy z nich - Landsat 8 - został umieszczony na orbicie w 2013 r. i pozyskuje zobrazenia o rozdzielczości przestrzennej nawet 15 m (kanał panchromatyczny) z czasem rewizyty wynoszącym 16 dni. Misja Landsat umożliwia prowadzenie ciągłych obserwacji dynamiki zmian naszego globu, np. w ramach inicjatywy Global Forest Change, która dostarcza analizy zmian w czasie terenów leśnych na całym świecie.

Jednym z największych na świecie dostawców danych satelitarnych stała się Unia Europejska, która uruchomiła program Copernicus realizowany we współpracy z Europejską Agencją Kosmiczną (ESA) i mający istotny wkład w budowę Globalnej Sieci Systemów Obserwacji Ziemi. W ramach programu pozyskiwanych jest około 10 petabajtów danych rocznie. Żadna wcześniejsza inicjatywa w sektorze obserwacji Ziemi nie dostarczyła jeszcze takiej ilości i tak różnorodnych danych. Głównym celem programu jest opracowanie metod monitorowania stanu środowiska i bezpieczeństwa w państwach członkowskich Unii Europejskiej. Zapewnienie powszechnego, nieodpłatnego dostępu do danych satelitarnych i wybranych usług sprzyja popularyzacji ich wyko-

rzystania przede wszystkim w działaniach administracji publicznej. Liczba przedsiębiorców oferujących usługi i produkty oparte na przetworzeniach i analizie danych pochodzących z programu Copernicus wciąż rośnie.

Od kwietnia 2014 r. do lipca 2018 r. w ramach programu Copernicus w przestrzeń kosmiczną wyniesiono już 7 satelitów: Sentinel-1 (A i B), Sentinel-2 (A i B), Sentinel-3 (A i B) oraz Sentinel-5P. Sentinel-1 wyposażony jest w instrument radarowy typu SAR (ang. *Synthetic Aperture Radar*), który umożliwia pozyskanie danych mikrofalowych nawet przy niesprzyjającej pogodzie, dużym zachmurzeniu i zadymieniu. Konstelacja obrazuje, w zależności od trybu pracy, w rozdzielczości nawet poniżej 5 m, a jej okres rewizyty wynosi zaledwie 6 dni. Dwa bliźniacze satelity Sentinel-2 pozyskujące dane w paśmie optycznym obrazują łącznie w 13 kanałach spektralnych w rozdzielczościach terenowych 10 m, 20 m oraz 60 m i zapewniają rewizytę w okresie co 5 dni. Aktualnie na orbicie operują również satelity Sentinel-3, których sensor OLCI (ang. *Ocean and Land Color Instrument*) obrazuje w 21 kanałach spektralnych, a detektor SLSTR (ang. *Sea and Land Surface Temperature Radiometer*) w 9 zakresach. Satelity Sentinel-3 służą do obserwacji temperatury powierzchni lądów i oceanów, monitorowania zmian klimatycznych i obserwacji wód morskich. Sentinel-5P wyposażony jest w instrumenty do monitorowania stanu atmosfery, w tym w szczególności jakości powietrza, stężenia ozonu, promieniowania ultrafioletowego i innych parametrów klimatycznych.

Wśród kolejnych planowanych misji Sentinel znajdują się m.in. satelity badające skład atmosfery i sensory rejestrujące źródła emisji dwutlenku węgla.

<sup>2</sup> Roczny raport UNOOSA (Biuro ONZ do spraw Przestrzeni Kosmicznej) 2017

W ramach programu Copernicus, poza satelitami z rodziny Sentinel, planowanych i realizowanych jest około 30 uzupełniających misji dostarczających dane radarowe typu SAR, optyczne, radiometryczne, spektrometryczne i wysokościowe. Są to misje ESA, EUMETSAT (Europejska Organizacja Eksploatacji Satelitów Meteorologicznych), krajów członkowskich UE oraz operatorów komercyjnych, takich jak m.in.: COSMO-SkyMed, Pleiades, Landsat, Envisat, Planet Labs czy DigitalGlobe.

Program Copernicus ma na celu zapewnienie ciągłych i wzajemnie się uzupełniających danych pozyskiwanych z pułapu kosmicznego w celu umożliwienia jak najbardziej dokładnego monitoringu globu. Ciągłość rejestracji i komplementarność danych są istotną zaletą programu Copernicus. Daje on gwarancję dostępności do wiarygodnych, wysokiej jakości danych w wieloletniej perspektywie, przyczyniając się jednocześnie do wzrostu konkurencyjności gospodarki i nauki Unii Europejskiej w stosunku do USA i innych krajów.

Dostępne na rynku wysokorozdzielcze zobrazenia satelitarne oferowane są przez dostawców komercyjnych w rozdzielczościach terenowych sięgających już około 30 cm i mogą być pozyskiwane niemal codziennie na specjalne zamówienia. Zobrazeń o najwyższej rozdzielczości terenowej dostępnej na rynku komercyjnym dostarczają skanery umieszczone na satelitach WorldView-3 i WorldView-4 (DigitalGlobe; Maxar Technologies). Pierwszy z nich pozyskuje dane w największej liczbie kanałów spektralnych (aż 29) wśród dostępnych satelitów komercyjnych. Unikalna konstelacja około 200 nanosatelitów Dove (PlanetScope; Planet Labs) obrazuje codziennie obszar całej Ziemi z rozdzielczością ok. 3 m w 4 kanałach spektralnych. Inną konstelacją, która jest w stanie pozyskiwać zobrazenia wybranego obszaru nawet dwa razy w ciągu dnia oraz dostarczyć kilkadziesiąt sekund filmu w rozdzielczości HD, jest konstelacja satelitów SkySat (PlanetLabs). Oferuje ona

możliwość pozyskania szczegółów terenowych z rozdzielczością 80 cm.

Francuskie konstelacje satelitów SPOT oraz Pleiades obrazują w 5 kanałach spektralnych, przy czym SPOT-6 i -7 z rozdzielczością 1,5 m, a Pleiades 50 cm. Operujące równocześnie SPOT-6 oraz -7, a także system Pleiades zapewniają obrazowanie tego samego obszaru z częstotliwością 1 dnia.

W przestrzeni kosmicznej operują też satelity mikrofalowe (radary), takie jak: TerraSAR-X, TanDEM-X oraz Paz. Sensory na tych satelitach są w stanie rejestrować codziennie niemal całą powierzchnię Ziemi w rozdzielczości od 25 cm do 40 m, nawet w niesprzyjających warunkach pogodowych. Zobrażenia radarowe pozyskiwane są również przez sensory z konstelacji COSMO-SkyMed należącej do Włoskiej Agencji Kosmicznej. W zależności od trybu obrazowania ich rozdzielczość waha się od 1 do 100 m.

Od 2016 r. na orbicie działa pierwszy satelita konstelacji SuperView (SuperView-1) obrazujący w kanałach RGB (barwy naturalne), NIR (bliska podczerwień) oraz PAN (kanał panchromatyczny) charakteryzujących się rozdzielczościami od 0,5 do 2 m. Cała konstelacja projektowana jest na 16 satelitów optycznych, 4 sensory radarowe oraz 4 umożliwiające rejestrację wideo i posiadające większą liczbę kanałów spektralnych (sensory hiperspektralne).

Satelity optyczne serii KOMPSAT oferują zobrazenia w paśmie widzialnym i w bliskiej podczerwieni w rozdzielczości nawet 40 cm. Konstelacja ta składa się z platform z sensorami optycznymi (satelita KOMPSAT-2, KOMPSAT-3, KOMPSAT-3A) oraz z sensorem radarowym (satelita KOMPSAT-5) obrazującym w paśmie X z rozdzielczością nawet 85 cm.

Tab. 1. Podstawowe parametry teledetekcyjnych systemów obrazowania.

| Nazwa satelity                          | Typ sensora           | Rozdzielczość przestrzenna | Rozdzielczość czasowa | Data uruchomienia |
|-----------------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>LANDSAT 7</b>                        | optyczny              | 15 ÷ 60 m*                 | 16 dni                | 1999              |
| <b>LANDSAT 8</b>                        | optyczny              | 15 ÷ 100 m*                | 16 dni                | 2013              |
| <b>Sentinel-1</b>                       | radarowy              | 5 m ÷ 93 m**               | 6 dni                 | 2014              |
| <b>Sentinel-2</b>                       | optyczny              | 10 ÷ 60 m*                 | 5 dni                 | 2015              |
| <b>Sentinel-3</b>                       | optyczny/<br>radarowy | 300 ÷ 500 m***             | 2 dni                 | 2016              |
| <b>Sentinel-5P</b>                      | optyczny              | 7 km                       | 16 dni                | 2017              |
| <b>Pleiades</b>                         | optyczny              | 0,5 m                      | 1 dzień               | 2011              |
| <b>SPOT-6, -7</b>                       | optyczny              | 1,5 m                      | 1 ÷ 3 dni             | 2013              |
| <b>PlanetScope</b>                      | optyczny              | 3 m                        | 1 dzień               | 2016              |
| <b>RapidEye</b>                         | optyczny              | 5 m                        | 5,5 dnia              | 2009              |
| <b>SkySat</b>                           | optyczny              | 0,8 m                      | 0,5 dnia              | 2013              |
| <b>WorldView-2</b>                      | optyczny              | 0,4 m                      | 1,1 dnia              | 2009              |
| <b>WorldView-3</b>                      | optyczny              | 0,3 m                      | 1 dzień               | 2014              |
| <b>GeoEye-1</b>                         | optyczny              | 0,4 m                      | 8 dni                 | 2008              |
| <b>KOMPSAT-3A</b>                       | optyczny              | 0,4 m                      | 1 ÷ 3 dni             | 2015              |
| <b>KOMPSAT-3</b>                        | optyczny              | 0,5 m                      | 3 dni                 | 2012              |
| <b>KOMPSAT-5</b>                        | radarowy              | 0,85 ÷ 20 m**              | 28 dni                | 2013              |
| <b>COSMO-SkyMed</b>                     | radarowy              | 1 ÷ 100 m**                | 12 godz.              | 2007              |
| <b>TerraSAR-X,<br/>TanDEM-X<br/>Paz</b> | radarowy              | 0,25 ÷ 40 m**              | 1 ÷ 11 dni            | 2007              |

\* w zależności od kanału spektralnego

\*\* w zależności od trybu obrazowania

\*\*\* w zależności od sensora

**Polska Agencja Kosmiczna** została powołana ustawą z dnia 26 września 2014 r. Jako rządowa agencja wykonawcza uczestniczy w realizacji strategicznych celów Polski, podejmując działania w celu zwiększenia wykorzystania systemów satelitarnych i przyspieszenia rozwoju technologii kosmicznych na rzecz krajowej administracji, nauki, gospodarki i obronności.

#### **Najważniejsze zadania Polskiej Agencji Kosmicznej:**

- wspieranie rozwoju oraz promocja dorobku i potencjału przedsiębiorstw i instytucji naukowo-badawczych krajowego sektora kosmicznego,
- koordynowanie aktywności polskiego sektora kosmicznego na poziomie krajowym i międzynarodowym,
- działanie na rzecz szerszego wykorzystania technologii satelitarnych w pracy administracji publicznej,
- udział w projektach wzmacniających potencjał obronny kraju,
- reprezentowanie Polski w kontaktach z międzynarodowymi organizacjami sektora kosmicznego.

#### **Kluczowe działania Polskiej Agencji Kosmicznej:**

##### **Opracowanie Krajowego Programu Kosmicznego**

Celem przygotowania i wdrożenia Krajowego Programu Kosmicznego jest budowa w Polsce kompetencji umożliwiających zabezpieczenie potrzeb kraju w zakresie technologii satelitarnych oraz rozwój potencjału podmiotów sektora kosmicznego.

##### **Wspieranie podmiotów krajowego sektora kosmicznego**

Zrealizowano 3 programy bezpłatnych konsultacji eksperckich dla polskich przedsiębiorców. Agencja organizuje też wiele wydarzeń służących ułatwianiu polskim podmiotom pozyskiwania zagranicznych partnerów do wspólnych przedsięwzięć (wyjazdy studyjne, dni współpracy bilateralnej, polskie stoiska na imprezach branżowych etc.).

##### **Członkostwo Polski w europejskim Konsorcjum SST**

Konsorcjum SST (Space Surveillance and Tracking - Obserwacja i Śledzenie Obiektów Kosmicznych) realizuje jedną z kluczowych inicjatyw Unii Europejskiej związanych z kosmosem. Udział w konsorcjum umożliwi Polsce wzmocnienie krajowych zdolności związanych z obserwacją i budowaniem świadomości sytuacyjnej w przestrzeni kosmicznej.

##### **Szkolenia z zakresu wykorzystania danych satelitarnych przez administrację publiczną**

Prowadzone są prace związane z opracowaniem programu edukacyjno-szkoleniowego na potrzeby administracji publicznej w zakresie wykorzystywania zobrażeń i usług opartych na danych satelitarnych w realizacji zadań urzędów (projekt Sat4Envi).

##### **Zlecenie opracowania studiów wykonalności dużych programów kosmicznych i rozwoju technologii**

Zlecono opracowanie studiów wykonalności Astronomicznego satelity obserwacyjnego w paśmie UV, Satelitarnego systemu zobrażeń radarowych, Architektury systemu świadomości sytuacyjnej w zakresie kosmosu, Polskiej mikrorakiety nośnej oraz Przyszłościowych technik i technologii kosmicznych. Przygotowanie studiów znacznie przyspieszy prace nad realizacją tych projektów, jeżeli zapadnie decyzja o ich wdrożeniu.

##### **Rozwijanie współpracy międzynarodowej Polski w dziedzinie kosmosu**

Działania te są realizowane w ramach kontaktów z ESA i EUMETSAT, współpracy z krajami europejskimi komplementarnej do projektów ESA, jak również dzięki podjęciu rozmów na temat współpracy z NASA oraz podpisaniu listów intencyjnych lub umów z 8 narodowymi agencjami kosmicznymi m.in.: Francuską Agencją Kosmiczną, Włoską Agencją Kosmiczną, czy Chińską Narodową Agencją Kosmiczną.

##### **Wspieranie działań edukacyjnych dotyczących tematyki kosmicznej**

Współpraca przy tworzeniu nowych kierunków studiów związanych z technologiami kosmicznymi i satelitarnymi, m.in. w Trójmieście, dodatkowo przedstawiciele Agencji organizują dni informacyjne sektora kosmicznego w krajowych uczelniach.

##### **Promocja krajowego sektora kosmicznego**

Agencja promuje potencjał i dorobek podmiotów polskiego sektora kosmicznego podczas najważniejszych imprez branżowych w kraju i zagranicą oraz obejmuje patronatem najciekawsze inicjatywy realizowane przez krajowe podmioty (kilkadziesiąt wydarzeń branżowych i patronatów).







Siedziba główna  
w Gdańsku  
ul. Trzy Lipy 3  
80-172 Gdańsk  
tel. +48 58 500 87 60  
e-mail:sekretariat@polsa.gov.pl

Oddział Terenowy  
w Warszawie  
ul. Powsińska 69/71  
02-903 Warszawa  
tel. +48 22 380 15 50  
e-mail:sekretariat.warszawa@polsa.gov.pl

Oddział Terenowy  
w Rzeszowie  
ul. Warszawska 18  
35-205 Rzeszów  
tel. +48 17 711 00 23  
e-mail:rzeszow@polsa.gov.pl

[www.polsa.gov.pl](http://www.polsa.gov.pl)