

Podręcznik
merytoryczny
do lekcji

Powered by **ICEYE**



Jak satelity widzą Ziemię

– fizyka, inżynieria
i zastosowania
technologii
satelitarnych



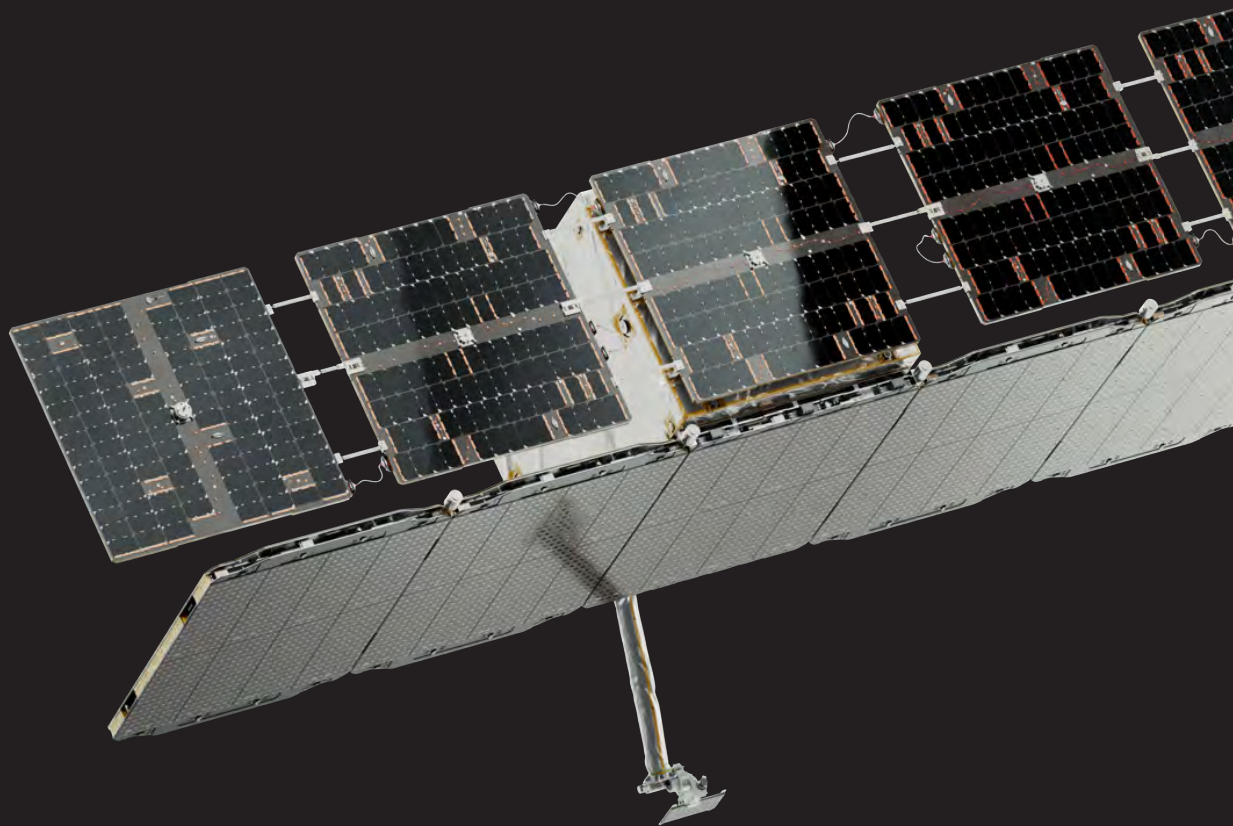
Podręcznik
merytoryczny
do lekcji

Powered
by **ICEYE**



Jak satelity widzą Ziemię

– fizyka, inżynieria
i zastosowania
technologii
satelitarnych



Rafał Modrzewski
CEO i współzałożyciel ICEYE



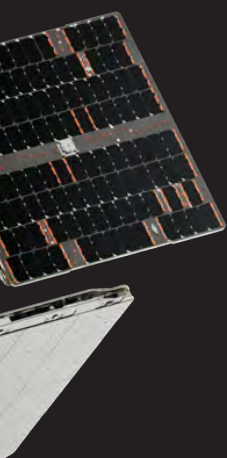
Kosmos zaczyna się w szkole.

Jako nastolatek razem z kolegami przygotowywałem się do Turnieju Młodych Fizyków. Mierzyliśmy się wtedy z zadaniami, które nie miały gotowych rozwiązań, i to właśnie one nauczyły mnie zasady, którą kieruję się do dziś: kiedy człowiek pracuje uparcie nad jakimś problemem, nie ma powodu, żeby się nie udało.

Często słyszy się: „Skoro nikt tego jeszcze nie zrobił, widocznie się nie da”. Historia technologii pokazuje jednak coś innego: wszystko, z czego dziś korzystamy, ktoś kiedyś musiał zrobić po raz pierwszy. Miałem dwadzieścia dwa lata, kiedy razem z przyjacielem ze studiów zakładałem ICEYE. Nie byliśmy profesorami ani ekspertami z tytułami. Byliśmy po prostu studentami. Wierzyliśmy za to w jeden pomysł: że możemy założyć firmę, która będzie produkowała dużo niewielkich satelitów wyposażonych w radar, który widzi Ziemię przez chmury i w środku nocy. Dziś kilkadziesiąt takich satelitów krąży nad naszymi głowami.

Ta droga nie zaczęła się jednak na studiach, tylko znacznie wcześniej, od zwykłej ciekawości: w domu, na lekcjach w szkole, a potem choćby na kółku fizycznym. Dlatego razem z Polską Agencją Kosmiczną przygotowaliśmy materiał, który macie przed sobą. Chcemy pokazać, że satelity są częścią codziennego życia, a kosmosem można zajmować się zawodowo, również w Polsce.

Wam, Nauczycielom, dziękuję, że sięgnęliście po ten pakiet. Sam dobrze pamiętam, ile zawdzięczam nauczycielom, którzy potrafili zarazić pasją. A Was, Uczniów, proszę o jedno: próbujcie. Nie czekajcie, aż zrobi to ktoś inny. Kto wie, może kolejną wielką konstelację satelitów zbuduje właśnie ktoś, kto siedzi dziś w Waszej klasie.



*Marta Wachowicz
Prezes Polskiej Agencji Kosmicznej*



Z radością prezentujemy pierwszy podręcznik poświęcony technologiom satelitarnym przygotowany przez ICEYE i Polską Agencję Kosmiczną. Mam nadzieję, że publikacja spotka się z zainteresowaniem nauczycieli i uczniów szkół ponadpodstawowych. Celem naszej inicjatywy jest nie tylko przekazanie podstawowej wiedzy o funkcjonowaniu satelitów i powstawaniu zobrażeń Ziemi, lecz także pokazanie znaczenia podejścia STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), łączącego nauki ścisłe i przyrodnicze, technologię, inżynierię oraz matematykę z wyraźnym akcentem na praktyczne rozwiązywanie problemów, eksperymentowanie i interdyscyplinarne myślenie.

Dzięki naszemu podręcznikowi zagadnienia omawiane podczas lekcji nie pozostaną jedynie teorią. Szczególną wartością materiałów jest ich osadzenie we współczesnej polskiej rzeczywistości. Uczniowie poznają nie tylko zagraniczne misje i systemy satelitarne, lecz także krajowe przykłady – w tym wykorzystanie technologii SAR oraz Narodowego Systemu Informacji Satelitarnej. Pozwala to lepiej zrozumieć, w jaki sposób dane satelitarne wspierają gospodarkę, ochronę środowiska, administrację i bezpieczeństwo państwa.

Materiały pokazują również cały proces powstawania informacji satelitarnej – od zaprojektowania i wyniesienia satelity na orbitę, przez zaplanowanie obserwacji i pozyskanie danych, aż po ich przetworzenie w gotowy produkt analityczny. Dzięki temu uczniowie mogą konfrontować wiedzę szkolną z nowoczesnymi technologiami i rzeczywistymi zastosowaniami, dostrzegając praktyczne znaczenie fizyki, matematyki, informatyki czy geografii. Wraz z podręcznikiem udostępniamy również prezentację, scenariusz lekcji i webinar dla nauczycieli, który wskaże możliwości wykorzystania materiałów podczas lekcji.

W imieniu Polskiej Agencji Kosmicznej dziękuję ICEYE za partnerską współpracę przy tym innowacyjnym projekcie edukacyjnym, który – mamy nadzieję – rozbudzi ciekawość i zainteresowanie młodego pokolenia tematami związanymi z kosmosem. Rozwój polskiego sektora kosmicznego wymaga bowiem nie tylko satelitów, infrastruktury i zaawansowanych technologii, lecz także współpracy, zaufania, transferu wiedzy i świadomego inwestowania w kolejne pokolenie specjalistów.

_01

Dlaczego
technologie
satelitarne
są dziś kluczowe

Dlaczego technologie satelitarne są dziś kluczowe

Z technologii satelitarnych korzysta dziś niemal każdy człowiek na Ziemi, często nawet o tym nie wiedząc. Satelity zapewniają łączność i przesyłanie danych, nawigację oraz dokładny pomiar czasu. Wspierają też prognozowanie pogody i śledzenie zmian klimatu, a także dostarczają informacji o stanie środowiska i o tym, co dzieje się na powierzchni planety. Dzięki nim można podejmować trafniejsze decyzje, szybciej reagować na kryzysy i prowadzić badania naukowe.

Codziennosc:

- nawigacja w telefonie
- synchronizacja czasu w sieciach
- telekomunikacja, bankowość
- transmisje telewizyjne
- internet satelitarny

Bezpieczeństwo i kryzysy:

- mapy powodzi, pożarów i osuwisk
- monitoring infrastruktury
- poszukiwania i ratownictwo
- świadomość sytuacyjna na polu walki

Nauka i klimat:

- monitoring środowiska
- obserwacje atmosfery, oceanów, pokrywy lodowej
- obserwacje zmian na lądzie



_02

Rodzaje satelitów

Rodzaje satelitów

Satelity krążące wokół naszej planety można dzielić według tego, jakie zadania wykonują. Ten podział pomaga zrozumieć, dlaczego satelity poruszają się na różnych wysokościach (orbitach) i mają różne instrumenty.

2.1 Satelity komunikacyjne

Zapewniają globalną łączność radiową, telewizyjną oraz dostęp do szerokopasmowego internetu. Aby stale obsługiwać jeden wybrany region Ziemi, satelity te umieszcza się na bardzo wysokiej orbicie geostacjonarnej (GEO). Z kolei nowoczesne konstelacje internetowe (np. Starlink) poruszają się na niskich orbitach (LEO), co wyraźnie zmniejsza opóźnienia w przesyłaniu sygnału.

2.2 Satelity nawigacyjne

Umożliwiają działanie globalnych systemów nawigacji satelitarnej (GNSS), takich jak GPS (USA), Galileo (UE), GLONASS (Rosja), BeiDou (Chiny). Satelity te bez przerwy nadają sygnał radiowy z dokładnym czasem z pokładowych zegarów atomowych. Odbiornik w naszym telefonie mierzy czas, w jakim sygnał przemierza drogę z satelity, obliczając na tej podstawie naszą dokładną pozycję na mapie. Ma to zastosowanie również w synchronizacji systemów bankowych i sieci komórkowych.

2.3 Satelity meteorologiczne

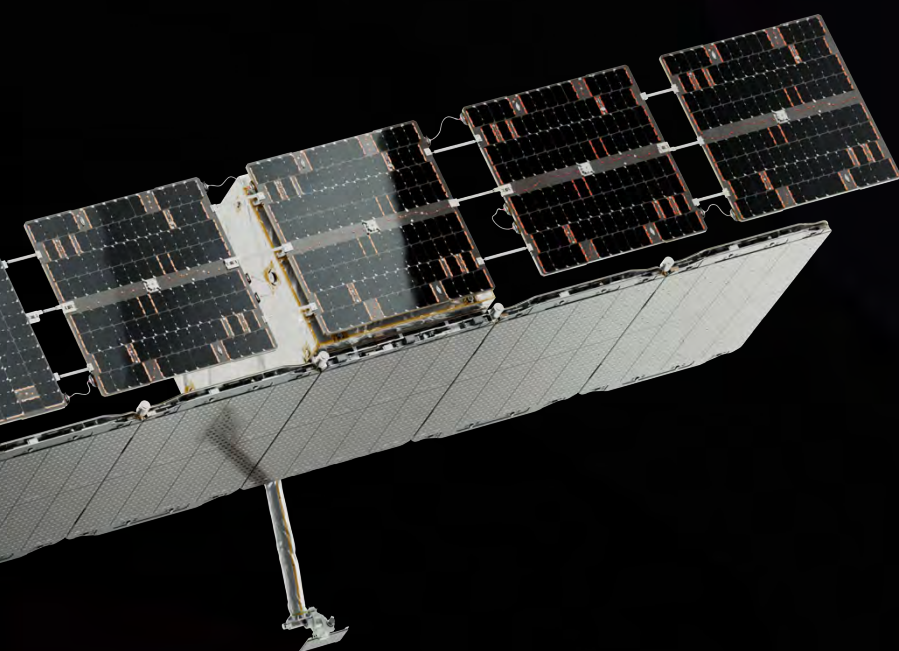
Służą do całodobowego monitorowania stanu atmosfery, chmur oraz oceanów. Dostarczają podstawowych danych do codziennych prognoz pogody oraz systemów wczesnego ostrzegania przed gwałtownymi zjawiskami (jak np. huragany, tajfuny, burze).

2.4 Satelity do obserwacji Ziemi

– optyczne (panchromatyczne, wielokanałowe i hiperspektralne)

Działają jak zaawansowane aparaty fotograficzne i skanery, na zasadzie teledetekcji pasywnej, tzn. rejestrują promieniowanie elektromagnetyczne (zarówno światło widzialne dla ludzkiego oka, jak i niewidzialną dla nas podczerwień), które jest emitowane przez Słońce i odbija się od powierzchni Ziemi. Są użyteczne w kartografii, monitoringu środowiska, rolnictwie oraz planowaniu przestrzennym, ale ich skuteczność może ograniczać zachmurzenie i brak światła słonecznego w porze nocnej. Ze względu na liczbę rejestrowanych kanałów obrazowania dzielimy na:

- panchromatyczne (jednokanałowe) – sensor rejestruje całe docierające światło widzialne jako jeden szeroki kanał, mierząc sumaryczną intensywność odbitego promieniowania, którego wynikiem jest bardzo szczegółowy, ostry obraz w odcieniach szarości o najwyższej dostępnej rozdzielczości przestrzennej. Stosowany w kartografii, planowaniu przestrzennym i precyzyjnym rozpoznaniu wywiadowczym;
- wielospektralne (kolorowe) – światło docierające do sensora jest dzielone na kilka lub kilkanaście oddzielnych, szerokich pasm (zazwyczaj barwy podstawowe: czerwona (R), zielona (G), niebieska (B), bliska podczerwień (IR)). Po połączeniu pasm widzialnych powstaje obraz w barwach naturalnych (RGB). Pasma podczerwieni pozwalają określić np. kondycję szaty roślinnej;
- hiperspektralne (szczegółowe) – najbardziej zaawansowana grupa satelitów optycznych. Promieniowanie odbite od powierzchni Ziemi jest rozszczepiane na dziesiątki/setki bardzo wąskich, sąsiadujących ze sobą kanałów spektralnych (od promieniowania widzialnego po bliską i daleką podczerwień). Satelita w ten sposób pozyskuje tzw. sygnaturę spektralną obiektu, służącą do zaawansowanych analiz fizyczno-chemicznych (np. skład mineralny gleb, identyfikacja gatunków drzew, wykrywanie zanieczyszczeń w wodzie).



2.5 Satelity do obserwacji Ziemi – radarowe (SAR)

Są to systemy aktywne, które wysyłają fale radiowe (mikrofale) w stronę Ziemi, a następnie odbierają sygnał odbity od jej powierzchni. Fale radiowe przenikają przez chmury i mgłę, a do działania nie potrzebują światła słonecznego. Dzięki temu systemy SAR umożliwiają obserwację niezależnie od warunków pogodowych i pory dnia.

Satelity SAR znajdują zastosowanie w obszarze bezpieczeństwa i reagowania kryzysowego, pomagając w szybkim rozpoznaniu sytuacji, ocenie skutków katastrof oraz monitoringu infrastruktury i aktywności na morzu. Są niezastąpione w monitorowaniu powodzi, wykrywaniu wycieków ropy na oceanach, śledzeniu ruchu lodowców, a także w rozpoznaniu wojskowym.

Współczesna teledetekcja opiera się na integracji danych – informacje z sensorów różnych typów są łączone, aby stworzyć jak najpełniejszy i najdokładniejszy obraz sytuacji na Ziemi. Ma ona zastosowanie cywilne, a jednocześnie wspiera bezpieczeństwo i reagowanie kryzysowe.



_03

Rodzaje orbit

Rodzaje orbit

Wybór orbity to najważniejsza decyzja podczas projektowania misji kosmicznej. Wysokość, na jakiej umieścimy satelitę, zdecyduje o tym, jak duży obszar planety będzie on obrazował/obejmował, jak często będzie wracał nad ten sam punkt, jak duże będą opóźnienia w przesyłaniu sygnału oraz w jak trudnych warunkach fizycznych przyjdzie mu pracować.

3.1 LEO – niska orbita okołoziemska (ok. 160–2000 km)

- Czas jednego pełnego okrążenia planety wynosi 90–120 minut.
- Niewielka odległość od powierzchni Ziemi pozwala sensorom na pozyskanie najwyższej szczegółowości obrazów.
- Sygnał radiowy pokonuje krótką drogę, co minimalizuje opóźnienia w łączności.
- Satelita w danym momencie widzi mały fragment terenu i bardzo szybko przemieszcza się nad horyzontem.
- Minus: mniejszy obszar widoczny w jednym przelocie oraz większe znaczenie oporu atmosferycznego na najniższych wysokościach.

3.2 MEO – średnia orbita okołoziemska (ok. 2000–35 786 km)

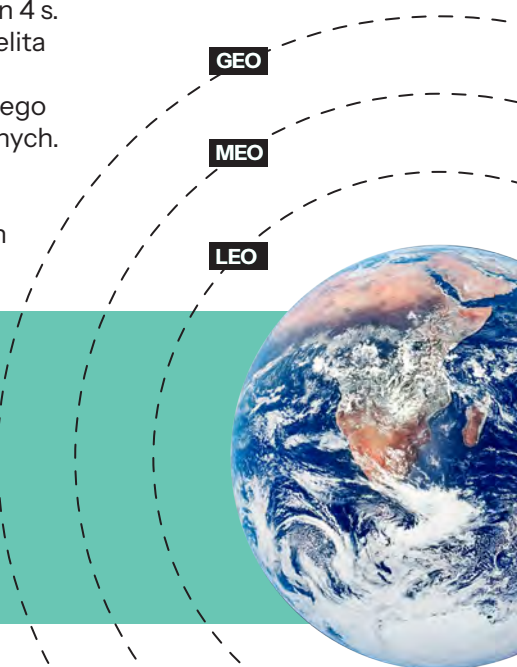
- Czas jednego pełnego okrążenia planety wynosi od kilku do 12 godzin.
- Zapewnia szerokie pole widzenia.
- Sygnał radiowy zachowuje umiarkowane opóźnienia.
- Na wysokości ok. 20 000 km orbity przeznaczone dla satelitów nawigacyjnych (GPS, Galileo) przebiegają przez pasy radiacyjne Van Allena, co wymusza posiadanie dodatkowych osłon przed promieniowaniem jonizującym.

3.3 GEO – orbita geostacjonarna (35 786 km nad równikiem)

- Okres obiegu wynosi jedną pełną dobę gwiazdową, czyli 23 godz. 56 min 4 s.
- Ponieważ Ziemia obraca się wokół własnej osi w tym samym czasie, satelita dla obserwatora z Ziemi wydaje się nieruchomy.
- Zapewnia stałą łączność z danym regionem oraz stałe obrazowanie dużego obszaru (1/3 globu). Idealna dla satelitów telewizyjnych i meteorologicznych.
- Duża odległość powoduje, że sygnał radiowy dociera z bardzo dużym opóźnieniem (ok. 500–600 milisekund).
- Wyniesienie satelity na tę orbitę wymaga potężnych rakiet i ogromnych nakładów finansowych.

3.4 Szybkie podsumowanie – kiedy która orbita?

- Potrzebujesz wysokiej szczegółowości powierzchni i niskich opóźnień – **wybierasz LEO.**
- Potrzebujesz globalnej nawigacji, pozycjonowania i precyzyjnego czasu – **wybierasz MEO.**
- Potrzebujesz stałego, nieprzerwanego „wpatrywania się” w ten sam region Ziemi (komunikacja, pogoda) – **wybierasz GEO.**



_04

Fizyka w tle: orbity i łączność

Fizyka w tle: orbity i łączność

4.1 Dlaczego satelita nie spada?

Satelita porusza się wokół Ziemi po zakrzywionym torze, którego kształt wynika z działania siły grawitacji. W przypadku orbity kołowej grawitacja pełni funkcję siły dośrodkowej. Można więc powiedzieć, że satelita znajduje się w ciągłym swobodnym spadku. Jednocześnie porusza się z odpowiednio dużą prędkością styczną, dzięki czemu nie spada na powierzchnię Ziemi, lecz stale porusza się wokół niej po orbicie.

4.2 Prędkość na LEO

Aby utrzymać się na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO), satelita musi poruszać się z prędkością 7,8 km/s (ok. 28 000 km/godz.). Przy takiej prędkości satelita pokonuje dystans z Warszawy do Krakowa w zaledwie kilkadziesiąt sekund. Wniosek: satelita szybko przelatuje nad danym miejscem – obserwacja jest więc „okienkiem”. Duża liczba satelitów w konstelacji pozwala na obrazowanie tego samego obszaru częściej.

4.3 Łączność i opóźnienie sygnału

Sygnał radiowy rozchodzi się z prędkością zbliżoną do prędkości światła.

Dla LEO odległość od satelity wynosi kilkaset kilometrów, więc opóźnienie sygnału jest niezauważalne dla człowieka (kilka milisekund), stąd zastosowanie idealne do komunikacji i szybkiego transferu danych.

Dla GEO odległość od satelity jest na tyle duża, że opóźnienie staje się zauważalne – w rozmowach wideo czy grach online. Z kolei w prognozie pogody lub transmisji TV opóźnienie rzędu ułamka sekundy zwykle nie jest problemem. Dla użytkownika w Polsce odległość od satelity wynosi ok. 38 000 km. Sygnał przesyłany z Ziemi do satelity i z powrotem pokonuje ten dystans dwukrotnie (2 x 38 000 km = 76 000 km). Powoduje to fizyczne opóźnienie sygnału ok. 0,25 s. W internetowej komunikacji dwukierunkowej pełny czas oczekiwania na odpowiedź wynosi ponad pół sekundy, co jest wyraźnie zauważalne podczas rozmów głosowych.

Dla ciekawych:

Siła grawitacji:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Ruch po okręgu:

$$F = \frac{m \cdot v^2}{r}$$

Prędkość orbitalna
(dla orbity kołowej):

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{r}}$$

Okres obiegu:

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

F – siła grawitacji [N]; **G** – stała grawitacyjna, $G = 6,674 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$; **M** – masa Ziemi, $M \approx 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$; **m** – masa satelity [kg]; **r** – promień orbity liczony od środka Ziemi: $r = R_z + h$ ($R_z \approx 6\,371\,000 \text{ m}$ – promień Ziemi, h – wysokość nad powierzchnią w metrach); **v** – prędkość orbitalna [m/s]; **T** – okres obiegu [s].

_05

Kosmos jako trudne środowisko pracy satelity

Kosmos jako trudne środowisko pracy satelity

Projektowanie satelity to w dużej mierze projektowanie niezawodności w środowisku, które jest wymagające i nie wybacza błędów.

5.1 Promieniowanie kosmiczne

Promieniowanie kosmiczne to strumień wysokoenergetycznych cząstek (m.in. protonów, elektronów, jąder helu) i promieniowania elektromagnetycznego (X i gamma). Źródłem promieniowania kosmicznego są najbardziej energetyczne zjawiska we Wszechświecie, m.in. rozbłyski słoneczne, wybuchy supernowych, pulsary, aktywne jądra galaktyk. Atmosfera oraz pole magnetyczne Ziemi skutecznie chronią nas przed większością wysokoenergetycznych cząstek. W przestrzeni kosmicznej cząstki te wywołują zakłócenia pracy systemów elektronicznych satelity, uszkadzają układy scalone oraz przyspieszają degradację materiałów konstrukcyjnych systemów satelitarnych.

5.2 Skrajne temperatury

Obiekty oświetlone bezpośrednio przez Słońce mogą nagrzewać się do temperatur przekraczających $+100^{\circ}\text{C}$, podczas gdy w cieniu Ziemi ich temperatura spada poniżej -180°C . W próżni kosmicznej nie występuje zjawisko konwekcji ani przewodzenia ciepła do otoczenia. Jedynym sposobem odprowadzania ciepła jest promieniowanie (radiacja). Stąd konieczność projektowania złożonych systemów termicznych satelity: izolacje, radiatory, grzałki, tryby pracy.

5.3 Pogoda kosmiczna

Pogoda kosmiczna to zmiany warunków fizycznych w przestrzeni okołozemskiej wywołane aktywnością Słońca. Zjawiska takie jak wiatr słoneczny, rozbłyski oraz koronalne wyrzuty masy (CME) wywołują burze geomagnetyczne w ziemskiej magnetosferze, powodując przy tym zaburzenia w łączności radiowej oraz zakłócenia w systemach nawigacji.

5.4 Opór atmosferyczny na niskiej orbicie (LEO)

Na wysokościach orbitalnych LEO (do ok. 1 000 km) wciąż występuje (choć rzadka) szczątkowa atmosfera. Satelita poruszający się z prędkością ok. 28 000 km/godz. bezustannie zderza się z pojedynczymi cząsteczkami gazu. Powoduje to powolną utratę energii mechanicznej i stopniową utratę wysokości orbity. Podczas wysokiej aktywności słonecznej górne warstwy atmosfery podgrzewają się, zwiększając tym samym opór gazu, powodując większe zużycia paliwa na pracę silników korekcyjnych.

5.5 Anomalia południowoatlantycka (SAA)

SAA to obszar nad Ameryką Południową i południowym Atlantykiem, gdzie pole magnetyczne Ziemi jest wyraźnie słabsze, o zaburzonej strukturze linii sił pola. W rezultacie wewnętrzny pas radiacyjny Van Allena, zawierający uwięzione wysokoenergetyczne protony, schodzi w tym rejonie na niskie wysokości (ok. 200 km), generując znaczny wzrost promieniowania jonizującego w obszarze LEO. Zwiększa to ryzyko awarii komputerów pokładowych oraz błędów w przesyłaniu danych.

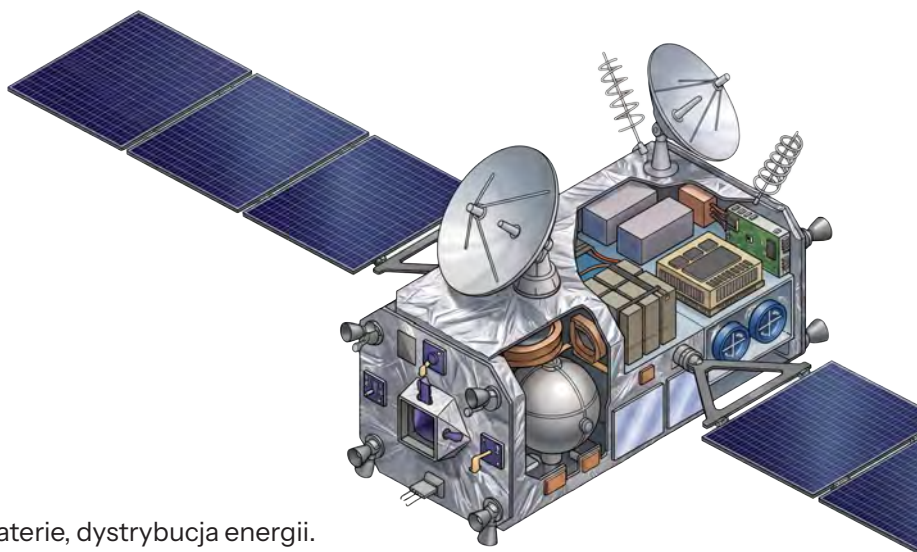
_06

Z czego
składa się satelita
(systemy
i podsystemy)

Z czego składa się satelita (systemy i podsystemy)

Satelita to połączenie platformy (bus) i ładunku użytecznego (payload). Platforma zapewnia „życie” satelity, a ładunek realizuje misję (np. kamera lub radar).

1. Platforma (tzw. bus satelitarne) stanowi bazę techniczną i strukturę nośną satelity. Odpowiada za utrzymanie go przy życiu, dostarczanie prądu, kontrolę temperatury oraz łączność z Ziemią.
2. Ładunek użyteczny to specjalistyczne narzędzia robocze satelity, czyli powód, dla którego satelita został wysłany na orbitę. W zależności od charakteru misji mogą to być kamery optyczne, radary, teleskopy astronomiczne lub anteny nadawcze.



6.1 Podsystemy satelitarne

- System zasilania: panele słoneczne, baterie, dystrybucja energii.
- Komputer pokładowy (OBC): sterowanie, oprogramowanie, obsługa danych.
- Łączność: nadajniki/odbiorniki, anteny, protokoły transmisji.
- ADCS: wyznaczanie i kontrola orientacji (czujniki, koła reakcyjne, magnetorquery).
- Napęd: silniki manewrowe do zmiany orbity i unikania kolizji.
- System termiczny: izolacja, radiatory, grzałki, kontrola temperatury.

6.2 Manewrowanie i orientacja – dlaczego to ważne?

Na orbicie satelita nie może po prostu zatrzymać się lub skręcić. Kontrola orientacji i możliwość wykonywania manewrów pozwala na:

- utrzymanie stabilnej trajektorii – szczątkowa atmosfera na niskich orbitach nieustannie hamuje satelitę;
- unikanie kolizji – w przestrzeni okołoziemskiej krążą tysiące kosmicznych śmieci. Gdy systemy naziemne wykryją ryzyko zderzenia, satelita musi wykonać manewr uniku;
- celowanie instrumentami – w celu wykonania obrazowania wybranego obszaru i komunikowania się satelity ze stacją naziemną satelita musi dokonać precyzyjnego obrotu.

_07

Dzień i noc
w 90 minut
– cykl na orbicie

Dzień i noc w 90 minut – cykl na orbicie LEO

Satelity krążące na niskiej orbicie LEO poruszają się z prędkością ok. 28 000 km/godz. Jedno pełne okrążenie Ziemi zajmuje im 90 minut. W rezultacie satelita w ciągu jednej doby „przeżywa” 16 wschodów i zachodów Słońca. Ciągłe przechodzenie ze strefy nasłonecznionej do cienia Ziemi niesie poważne konsekwencje inżynierskie, energetyczne i termiczne.

7.1 Faza dnia orbitalnego (ok. 55 minut)

- Panele fotowoltaiczne satelity są bezpośrednio oświetlane przez Słońce. Produkują energię elektryczną zasilającą urządzenia i ładują akumulatory pokładowe na zapas.
- Struktura satelity silnie absorbuje promieniowanie słoneczne, przez co jego zewnętrzne elementy gwałtownie nagrzewają się do wysokich temperatur.
- Jest to główny czas pracy satelitów optycznych (pasywnych), które do obrazowania potrzebują naturalnego oświetlenia powierzchni Ziemi przez Słońce.

7.2 Faza nocy orbitalnej (ok. 40 minut)

- Satelita wchodzi w stożek cienia Ziemi, co całkowicie odcina dopływ światła słonecznego. Panele przestają produkować energię elektryczną, a całe zasilanie satelity zostaje automatycznie przełączone na energię zgromadzoną w akumulatorach;
- Brak dopływu promieniowania słonecznego przy jednoczesnym ciągłym wypromieniowywaniu ciepła w próżnię sprawia, że satelita gwałtownie się wychładza. Aby zapobiec zamarznięciu i popękaniu elektroniki, komputer pokładowy musi uruchomić wewnętrzny system ogrzewania.
- Kamery optyczne pracujące w świetle widzialnym stają się w tej fazie bezużyteczne, ponieważ powierzchnia Ziemi pod satelitą jest nieoświetlona.

Satelity wyposażone w radar SAR (Synthetic Aperture Radar), czyli w aktywne sensory, nie potrzebują do pracy światła słonecznego. Mogą bez przeszkód prowadzić obserwacje zarówno w dzień, jak i podczas nocy orbitalnej, a warunki pogodowe nie mają dla nich żadnego znaczenia.

_08

Od zadaniowania
do produktu
– jak powstają
dane satelitarne

Od zadaniowania do produktu – jak powstają dane satelitarne

W teledetekcji satelitarnej obraz powierzchni Ziemi nie pojawia się w komputerze użytkownika w magiczny sposób. Gotowy produkt poprzedza precyzyjnie zaplanowany ciąg operacyjny.

8.1 Cykl operacyjny pozyskiwania zobrazowań

Proces ten składa się z sześciu głównych etapów:

1. Zadaniowanie (wybór satelity, określenie trybu pracy sensorów i zaplanowanie dokładnego czasu (okna), w którym satelita przeleci nad wybranym obszarem).
2. Przesłanie komend (centrum kontroli misji na Ziemi wysyła instrukcje operacyjne do satelity podczas jego najbliższego kontaktu ze stacją naziemną).
3. Pozyskiwanie danych (satelita wykonuje obrazowanie bądź skan radarowy dokładnie według podanych parametrów, następnie zapisuje surowe dane w swojej pamięci pokładowej).
4. Zrzut danych (podczas przelotu nad stacją naziemną satelita przesyła drogą radiową gigantyczne pakiety zapisanych danych).
5. Przetwarzanie (surowe dane satelitarne są kalibrowane, a następnie podlegają korekcji geometrycznej i atmosferycznej).
6. Produkt końcowy (użytkownik otrzymuje gotowy, skalibrowany obraz lub zaawansowaną mapę analityczną gotową do interpretacji).

Współczesna teledetekcja wykorzystuje dwa różne podejścia do pozyskiwania danych:

- model na zamówienie (satelita wykonuje zobrazowanie dopiero wtedy, gdy klient zgłosi zapotrzebowanie na konkretny obszar);
- model systematyczny (satelita krążący wokół Ziemi stale skanuje całą powierzchnię globu, np. satelity Sentinel. Dzięki temu powstaje cyfrowe archiwum zobrazowań, które pozwala porównywać stan „przed” i „po”, np. wystąpieniu powodzi).

Przykładem platformy gromadzącej dane satelitarne i gotowe produkty analityczne w jednym miejscu jest opracowany przez Polską Agencję Kosmiczną Narodowy System Informacji Satelitarnej (NSIS).



_09

Optyka vs radar:
dwa różne sposoby
„widzenia” Ziemi

Optyka vs radar: dwa różne sposoby „widzenia” Ziemi

9.1 Obrazowanie optyczne (pasywne)

Satelity optyczne działają jak cyfrowe aparaty fotograficzne. Rejestrują promieniowanie w zakresie widzialnym, które zostało wyemitowane przez Słońce i odbiło się od powierzchni Ziemi. Kolory, kształty i cienie wyglądają na tych obrazach dokładnie tak, jak je widzimy.



9.2 Obrazowanie radarowe (aktywne)

Satelity radarowe (SAR) nie korzystają ze światła słonecznego. Emitują w stronę Ziemi własne impulsy mikrofalowe (fale radiowe), a następnie mierzą sygnał, który powrócił do anteny (tzw. echo radiowe). Obraz radarowy to „mikrofalowa latarka”. Taki obraz podkreśla właściwości powierzchni i geometrię. W zależności od sposobu wizualizacji woda bywa ciemna, zabudowa często jasna. Obraz może być ziarnisty – to normalne zjawisko.

W praktyce dane optyczne i radarowe się uzupełniają i często są łączone.

_10

Radar
SAR

Radar SAR

Satelity radarowe SAR korzystają z zaawansowanych praw fizyki fal i matematyki komputerowej. Pozwalają tworzyć niezwykle dokładne obrazy powierzchni Ziemi z odległości setek kilometrów.

10.1 Czym jest „syntetyczna apertura”?

Satelita SAR, lecąc po orbicie, wysyła tysiące impulsów na sekundę i cały czas obserwuje ten sam obszar z kolejnych punktów swojej trasy. Komputer łączy odebrane sygnały w jeden obraz, tak jakby zebrała je pojedyncza antena o długości wielu kilometrów. To właśnie, w pewnym uproszczeniu, nazywamy syntetyczną aperturą.

10.2 Co mierzy SAR?

Radar SAR wysyła krótkie impulsy mikrofalowe i mierzy echo, czyli sygnał odbity od danej powierzchni. W uproszczeniu ważne są dwa elementy:

- amplituda – wysokość fali – siła echa radarowego, która zależy od materiału i szorstkości podłoża;
- faza – punkt w cyklu fali – pozwala precyzyjnie określić odległość od powierzchni i różnice wysokości obiektów.

10.3 Jak czytać obraz SAR?

Obrazy SAR są monochromatyczne (czarno-białe), a jasność punktów zależy od tego, jak fala radiowa odbiła się od danej powierzchni. Powierzchnie gładkie (np. woda, asfalt) są jak lustro – odbijają falę w dal pod kątem, przez co do satelity wraca nieznaczne echo, stąd takie powierzchnie są ciemne (czarne). Powierzchnie szorstkie i pionowe (np. lasy, budynki) powodują chaotyczne rozproszenie fali lub jej wielokrotne odbicie. Do satelity wraca potężne echo, stąd miasta i tereny zabudowane na obrazowaniach są bardzo jasne (białe).

- Jasne piksele często oznaczają silne odbicie (np. zabudowa, metal, ostre krawędzie, „kąty” budynków).
- Ciemne piksele często oznaczają słabe odbicie (np. gładka woda).
- Ziarnistość (speckle) jest typowa dla radarów – nie jest wadą zdjęcia, tylko cechą metody.
- Interpretacja zależy od geometrii obserwacji – przydaje się porównanie z mapą lub obrazem optycznym.

10.4 Tryby obrazowania na przykładzie satelitów ICEYE

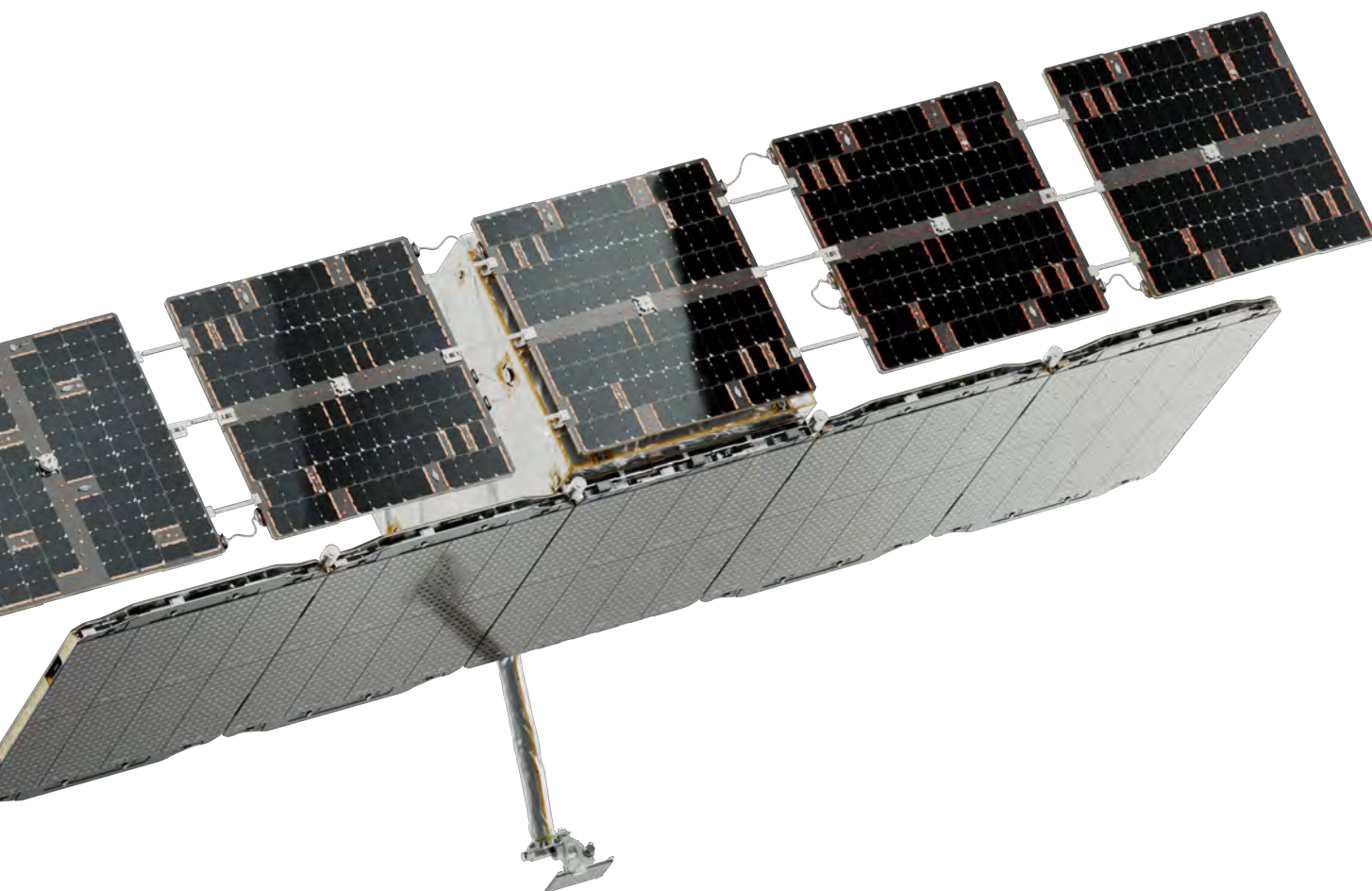
Tryby obrazowania to kompromis między: szczegółowością (rozdzielczością), szerokością pasa obserwacji (obszarem) i czasem obserwacji jednego miejsca. Satelita radarowy nie potrafi jednocześnie widzieć bardzo szeroko i bardzo szczegółowo. Dlatego inżynierowie sterują jego anteną w różnych trybach:

- Dwell – tryb, w którym antena „wpatruje się” w cel najdłużej, zbierając maksimum sygnału. Efektem jest obraz o wyjątkowej ostrości, podwyższonej jakości i obniżonym szumie. Rozdzielczość: 25 cm, 50 cm lub 1 m, scena 5 km x 5 km;
- Spot – tryb punktowy o bardzo wysokiej rozdzielczości. Rozdzielczość do 50 cm przy scenie do 15 km x 15 km, największej dostępnej przy tak dużej szczegółowości. Służy do identyfikacji obiektów i szczegółowej detekcji zmian;
- Strip – klasyczny tryb pasmowy; satelita skanuje równy pas terenu pod sobą, łącząc dobrą szczegółowość z dużym zasięgiem. Rozdzielczość 3 m, scena 30 km x 50 km. Sprawdza się w monitorowaniu rozległych obszarów lądowych i morskich: granic, wybrzeży, skutków klęsk żywiołowych czy nielegalnej działalności;
- Scan – tryb szerokiego skanowania; antena omiata teren, obejmując ogromne obszary kosztem szczegółowości. Dostępne są dwa warianty, Scan i Scan Wide, o rozdzielczościach 15 m i 27 m, ze scenami od 100 km x 100 km do aż 200 km x 600 km.

10.5 Dla ciekawych – monitoring zmian i techniki zaawansowane

Porównanie obrazów radarowych pozwala wykryć zmiany i dowiedzieć się, co dzieje się na obserwowanym terenie.

- Klasyczny obraz monochromatyczny pozwala na identyfikację szczegółów w zastosowaniu do miast, portów i linii brzegowych.
- Sekwencje z jednego przelotu (sub-aperture video) mogą ujawniać obiekty w ruchu.
- Interferometria (InSAR) – radar mierzy fazę fali, dzięki czemu możliwe jest nałożenie na siebie dwóch zobrażeń radarowych tego samego obszaru wykonanych w różnym czasie. Zastosowanie: wykrywanie ruchów skorupy ziemskiej z dokładnością do milimetrów, osiadanie miast nad kopalniami, powolne uginanie się zapór wodnych, ruchy lodowców, deformacje stożków wulkanicznych.



_11

Operacje satelitarne i bezpieczeństwo na orbicie

Operacje satelitarne i bezpieczeństwo na orbicie

Wysłanie satelity na orbitę to dopiero początek. Praca inżynierów i operatorów polega na codziennym zarządzaniu satelitą, monitorowaniu jego stanu technicznego oraz nawigowaniu w coraz bardziej zatłoczonej przestrzeni kosmicznej.

11.1 Cykl życia satelity

Każda misja kosmiczna dzieli się na ściśle określone etapy:

- budowa i integracja – łączenie podsystemów satelitarnych, przeprowadzenie testów w komorach próżniowych i termicznych, które symulują warunki kosmiczne;
- symulacje operacyjne – testowanie procedur łączności i sterowania, zanim satelita opuści Ziemię;
- kampania startowa – transport na kosmodrom, integracja satelity z rakietał nośną, start oraz separacja satelity na docelowej orbicie;
- faza LEOP – pierwsze chwile satelity na orbicie; satelita musi automatycznie rozłożyć panele słoneczne, ustabilizować własny ruch obrotowy i wysłać pierwszy sygnał radiowy na Ziemię;
- uruchomienie (z ang. commissioning) – faza testów, w której inżynierowie sprawdzają sprawność wszystkich instrumentów i kalibrują kamery lub radary;
- operacje rutynowe – właściwa praca satelity; codzienne wykonywanie zadań, zbieranie danych i przesyłanie ich na Ziemię;
- deorbitacja – zakończenie misji; satelita za pomocą silników obniża swoją orbitę, aby w sposób kontrolowany wejść w atmosferę i bezpiecznie w niej spłonąć.

11.2 Co robią operatorzy satelitów?

Operatorzy w centrum kontroli misji pracują w trybie ciągłym. Ich główne zadania to:

- analiza telemetrii – monitoring temperatury podzespołów, napięcia w akumulatorach i stanu naładowania baterii;
- zarządzanie anomaliami – w przypadku wykrycia awarii wdrażanie procedur awaryjnych w celu zdalnego naprawienia systemu;
- planowanie manewrów – analiza pozycji i wysyłanie komend zapewniających utrzymanie poprawnej trajektorii lotu.

11.3 Zarządzanie ruchem i unikanie kolizji (COLA)

W przestrzeni okołozemskiej krążą setki tysięcy obiektów: działające satelity, nie działające wraki oraz drobne odłamki (śmieci kosmiczne).

- systemy monitorowania – specjalne sieci naziemnych radarów i teleskopów – SST – Space Surveillance and Tracking – bezustannie śledzą pozycję tych obiektów;
- ostrzeżenie o zbliżeniu – gdy sensory wykryją, że inny obiekt przeleci niebezpiecznie blisko satelity, generowane jest ostrzeżenie o tzw. koniunkcji (bliskim przelocie);
- manewr unikania – COLA – Collision Avoidance Manoeuvre; inżynierowie obliczają ryzyko zderzenia. W razie wysokiego prawdopodobieństwa kolizji do satelity wysyłana jest komenda zmiany trajektorii lotu. Satelita na chwilę zmienia swoją orbitę, pozwalając śmieciowi kosmicznemu bezpiecznie przemknąć obok, po czym wraca na swoją pozycję i do swoich standardowych zadań.

_12

Technologie satelitarne w służbie bezpieczeństwa

Technologie satelitarne w służbie bezpieczeństwa

Satelity służą dziś państwom do ochrony suwerenności, wzmacniania bezpieczeństwa i ochrony obywateli przed skutkami klęsk żywiołowych. Kraj, który ma własne systemy orbitalne, może samodzielnie śledzić sytuację na Ziemi i nie musi kupować danych od zagranicznych dostawców.

Historycznym krokiem dla polskiej obronności było wyniesienie na orbitę w listopadzie 2025 roku pierwszego w historii Sił Zbrojnych RP satelity wojskowego. Satelita, zbudowany przez firmę ICEYE w ramach programu MikroSAR, jest wyposażony w radar z syntetyczną aperturą (SAR), który umożliwia obserwację Ziemi w każdych warunkach atmosferycznych – w dzień i w nocy.

12.1 Wczesne ostrzeżenie i monitoring zagrożeń powodziowych

Podczas powodzi najważniejsze jest szybkie rozpoznanie sytuacji na dużym obszarze, często w warunkach zachmurzenia i opadów. W takim scenariuszu dane radarowe SAR są szczególnie przydatne, bo satelity SAR działają niezależnie od pogody i pory dnia. Przykładem jest powódź w Polsce w 2024 roku (niż genueński „Boris”), podczas której wykonano setki zobrażeń radarowych i przygotowywano cykliczne analizy wspierające służby ratunkowe, m.in. mapy zasięgu i głębokości zalania.

12.2 Monitoring pożarów i ocena szkód

Podczas dużych pożarów widoczność bywa ograniczona przez dym, a dostęp do terenu utrudniony. Dane SAR mogą zapewnić aktualną informację sytuacyjną niezależnie od warunków obserwacji, wspierając planowanie działań ratowniczych i ocenę zniszczeń; tak wykorzystywano je m.in. przy pożarach w Los Angeles w styczniu 2025 roku.

12.3 Długoterminowy monitoring zmian środowiska

Serie obserwacji satelitarnych pozwalają śledzić ruch pokrywy lodowej, zmiany linii brzegowej czy osiadanie gruntu. Największą wartość daje regularność pomiarów i porównywanie danych w czasie, dlatego ważne jest gromadzenie i archiwizacja danych satelitarnych.

12.4 Monitoring rolnictwa i leśnictwa

Dane satelitarne wspierają monitoring upraw (kondycja roślin, precyzyjne nawożenie) oraz lasów (wykrywanie nielegalnych wyrębów, szkód po wichurach i pożarach, śledzenie chorób drzew).

_13

Kilka
faktów
historycznych

Kilka faktów historycznych



W ramach programu CORONA satelity rejestrowały obrazy na taśmie filmowej, po czym zrzucały kapsułę z materiałem, którą następnie przechwytywano w locie lub wyławiano z oceanu.

Fot. National Reconnaissance Office (NRO)

- 1957 – Sputnik 1: pierwszy sztuczny satelita Ziemi, początek ery kosmicznej
- 1960 – TIROS-1 (USA) – uruchomienie pierwszego w historii satelity meteorologicznego
- 1959-1972 – CORONA – pierwsza seria amerykańskich satelitów rozpoznawczych, operująca pod jawnym kryptonimem Discoverer – rozpoznawanie fotograficzne z filmem sprowadzanym na Ziemię w kapsule
- 1972 – Landsat 1: systematyczna cywilna obserwacja Ziemi, działająca do dziś. Aktualnie pracujące na orbicie Landsat 8 i Landsat 9
- 1995 – GPS: pełna zdolność operacyjna, globalna nawigacja i precyzyjny czas
- 2014 – Sentinel-1A: szeroka dostępność danych radarowych w programach publicznych
- 2019 – początek megakonstelacji (np. systemy łączności z LEO)

_14

Ścieżki kariery:
gdzie jest
tu miejsce
dla inżyniera?

Ścieżki kariery: gdzie jest tu miejsce dla inżyniera?

Sektor kosmiczny jest jedną z najbardziej interdyscyplinarnych branż. Budowa satelitów i operowanie nimi wymagają współpracy specjalistów różnych dziedzin. Oznacza to, że miejsce w branży kosmicznej znajdą zarówno programiści i konstruktorzy, jak i specjaliści od prawa, zarządzania i logistyki.

14.1 Przykładowe role

- Inżynier mechanik/struktury: wytrzymałość, wibracje w czasie startu, masa
- Inżynier materiałowy
- Inżynier elektroniki/fotonik/RF: łączność, anteny, zakłócenia, przetwarzanie sygnałów, w tym postkwantowe
- Inżynier automatyki, robotyki i sterowania (ADCS/GNC): orientacja, stabilizacja, algorytmy kontroli
- Inżynier oprogramowania: systemy pokładowe, testy, niezawodność, bezpieczeństwo, autonomia
- Inżynier danych/AI: przetwarzanie obrazów, detekcja zmian, mapy i produkty analityczne
- Inżynier systemów: łączy wszystkie elementy, pilnuje wymagań i szuka kompromisów, inżynieria MGSE
- Specjaliści od prawa i polityki kosmicznej
- Astrofizycy, astrobiolodzy, biotechnolodzy
- Eksperci od bezpieczeństwa, zarządzania kryzysowego, kontrolerzy jakości
- Specjaliści od ochrony środowiska wykorzystujący dane satelitarne, edukatorzy, popularyzatorzy nauki

14.2 Jakie dziedziny STEM są tu szczególnie przydatne?

- Automatyka i teoria sterowania
- Fizyka atomowa, astronomia, astrofizyka
- Termodynamika
- Elektronika i elektrotechnika
- Mechanika
- Fizyka matematyczna
- Teledetekcja satelitarna, fotogrametria

14.3 Co możesz zrobić już teraz?

- Ucz się matematyki i fizyki.
- Poznawaj podstawy programowania i pracy z danymi.
- Śledź projekty uczelni, firm i instytucji związanych z sektorem kosmicznym.
- Korzystaj z dostępnych online kursów, webinarów i materiałów edukacyjnych o kosmosie i nowych technologiach.

_15

Słowniczek

Słowniczek

15.1 Skróty:

ADCS (Attitude Determination and Control System):

podsystem wyznaczania i kontroli orientacji satelity; wykorzystuje czujniki oraz elementy wykonawcze, takie jak koła reakcyjne i magnetorquery.

CME (Coronal Mass Ejection):

koronalny wyrzut masy, czyli wyrzucenie dużej ilości plazmy z korony Słońca; jedno ze zjawisk pogody kosmicznej.

COLA

działania związane z oceną i ograniczaniem ryzyka kolizji; mogą obejmować wykonanie manewru unikania kolizji.

CSI (Colorized Sub-aperture Image):

produkt SAR powstający z podziału zebranego sygnału na kilka podapertur i zestawienia ich w jednym obrazie barwnym; ujawnia, jak obiekt odbija fale pod różnymi kątami, dzięki czemu wyróżnia elementy o określonej geometrii.

Dwell:

jest nazwą rozwiązania ICEYE związanego m.in. z produktami CSI i SAR Video.

GEO (Geostationary Orbit):

kołowa orbita równikowa o okresie jednej doby gwiazdowej = 23 godz. 56 min 4 s; satelita wydaje się nieruchomy względem punktu na równiku.

GNSS (Global Navigation Satellite System):

globalny system nawigacji satelitarnej; do tej kategorii należą GPS (USA), Galileo (UE), GLONASS (Rosja) i BeiDou (Chiny). Poza pozycją systemy te udostępniają precyzyjny czas odniesienia.

GRD (Ground Range Detected):

produkt radarowy zawierający wyłącznie amplitudę echa (informacja o fazie zostaje odrzucona), rzutowany na płaszczyznę terenu; typowy czarno-biały obraz SAR.

InSAR:

zob. Interferometria.

LEO (Low Earth Orbit):

niska orbita okołozemska, zwykle 160 do 2000 km.

LEOP (Launch and Early Orbit Phase):

wczesna faza misji po starcie: stabilizacja satelity, rozłożenie paneli i anten oraz weryfikacja działania systemów.

MEO (Medium Earth Orbit):

średnia orbita okołoziemską, ok. 2000 do 35 786 km; wykorzystywana głównie przez systemy nawigacyjne.

MGSE (Mechanical Ground Support Equipment):

mechaniczne oprzyrządowanie naziemne (stojaki, wózki, uchwyty, adaptery transportowe) potrzebne do bezpiecznego montażu, przenoszenia i testowania satelity przed startem.

NSIS (Narodowy System Informacji Satelitarnej):

krajowa platforma gromadząca dane satelitarne i gotowe produkty analityczne oraz udostępniająca je instytucjom publicznym.

OBC (On-Board Computer):

komputer pokładowy odpowiadający za sterowanie satelitą, wykonywanie oprogramowania i obsługę danych.

POLSA: Polska Agencja Kosmiczna,

instytucja odpowiedzialna za wspieranie i koordynację działań polskiego sektora kosmicznego.

SAA (South Atlantic Anomaly):

anomalia południowoatlantycka, obszar nad Ameryką Południową i południowym Atlantykiem o wyraźnie osłabionym ziemskim polu magnetycznym; przeloty przez ten region oznaczają podwyższony strumień promieniowania.

SAR (Synthetic Aperture Radar):

radar z aperturą syntetyczną, aktywny instrument obrazujący, który wysyła impulsy mikrofalowe i rejestruje echo, dzięki czemu działa niezależnie od zachmurzenia i pory dnia.

SSA:

szeroka świadomość sytuacyjna dotycząca środowiska kosmicznego i zagrożeń.

SSO:

zwykle prawie polarna orbita, której płaszczyzna precesuje tak, aby kolejne przeloty odbywały się w zbliżonej średniej lokalnej porze słonecznej.

SST:

wykrywanie, śledzenie i katalogowanie sztucznych obiektów orbitalnych oraz analiza koniunkcji, fragmentacji i wejść w atmosferę.

15.2 Pojęcia:

Amplituda echa:

siła sygnału odbitego od powierzchni; zależy m.in. od chropowatości, wilgotności i geometrii obiektu. Odpowiada za jasność pikseli na obrazie SAR.

Apertura:

w uproszczeniu efektywny rozmiar anteny; im większa, tym lepsza rozdzielczość obrazu.

Anomalia południowoatlantycka (SAA):

geometryczny obszar asymetrii ziemskiego pola magnetycznego wywołany przesunięciem dipola magnetycznego względem środka geometrycznego Ziemi o ok. 450 km. Powoduje to, że cząstki promieniowania uwięzione w pasach radiacyjnych Van Allena zbliżają się do Ziemi bardziej niż zwykle (ok. 200 km). W rezultacie satelity na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO), przelatując przez ten region, są narażone na zwiększone promieniowanie, co może zakłócać działanie ich elektroniki i instrumentów.

Apertura syntetyczna:

technika, w której satelita zbiera odbicia z tego samego obszaru w kolejnych punktach orbity, a przetwarzanie sygnału łączy je tak, jakby pochodziły z anteny znacznie większej niż fizycznie zabrana na orbitę.

Burza geomagnetyczna:

zaburzenie ziemskiego pola magnetycznego wywołane oddziaływaniem wiatru słonecznego lub CME; może zakłócać łączność radiową i zwiększać opór atmosferyczny na niskich orbitach.

Deorbitacja:

kontrolowane zakończenie misji przez obniżenie orbity i wejście satelity w atmosferę.

Doba gwiazdowa:

czas jednego obrotu Ziemi względem gwiazd, który wynosi 23 godz. 56 min 4 s. To on wyznacza okres obiegu satelity geostacjonarnego.

Faza sygnału:

informacja o położeniu fali w cyklu drgań, rejestrowana przez radar obok amplitudy. Pozwala precyzyjnie wyznaczać odległość, a w technikach interferometrycznych także różnice wysokości i bardzo małe przemieszczenia terenu.

Fuzja danych:

łączna analiza danych z różnych źródeł, np. obrazów optycznych i radarowych, w celu uzyskania informacji pełniejszej niż z jednego typu sensora.

Interferometria (InSAR):

technika porównująca fazę dwóch lub więcej obserwacji radarowych tego samego terenu; umożliwia pomiar różnic wysokości oraz przemieszczeń powierzchni w skali milimetrów.

Koło reakcyjne:

obracające się koło zamontowane na satelicie, którego przyspieszanie i hamowanie zmienia

orientację satelity bez zużywania paliwa.

Kontrola termiczna satelity:

proces zarządzania bilansem energetycznym polegający na równoważeniu wewnętrznych zysków ciepła (z pracy podzespołów) oraz zewnętrznych strumieni radiacyjnych (promieniowanie słoneczne, albedo Ziemi). W próżni kosmicznej wymiana ciepła z otoczeniem odbywa się wyłącznie drogą radiacyjną (wypromieniowanie energii). Z kolei transport ciepła wewnątrz satelity, od nagrzewających się podzespołów do radiatorów odprowadzających nadmiar energii, zachodzi dzięki przewodnictwu cieplnemu przez elementy konstrukcyjne oraz specjalne rurki ciepłone (heat pipes).

Konstelacja:

grupa satelitów pracujących wspólnie, dzięki której skraca się czas oczekiwania na obserwację danego miejsca.

Ładunek (payload):

instrument realizujący cel misji, np. kamera optyczna lub radar SAR.

Magnetorquer:

elektromagnes wykorzystujący ziemskie pole magnetyczne do wytworzenia momentu obrotowego i zmiany orientacji satelity.

Mapa zalania:

produkt analityczny pokazujący zasięg (a niekiedy także głębokość) wody powodziowej przygotowany na podstawie obrazowań satelitarnych.

Mock-ops:

próby operacyjne przed startem, podczas których zespół i systemy naziemne testowo prowadzą misję oraz sprawdzają łączność.

Obrazowanie optyczne:

rejestrowanie światła słonecznego odbitego od powierzchni Ziemi w zakresie widzialnym i podczerwonym; wymaga światła dziennego i najlepiej bezchmurnego nieba.

Obrazowanie radarowe:

obrazowanie z użyciem własnych impulsów mikrofalowych instrumentu, niezależne od pory dnia i zachmurzenia; podkreśla chropowatość i geometrię powierzchni, a nie jej barwę.

Okno przelotu:

przedział czasu, w którym satelita znajduje się nad danym obszarem lub w zasięgu stacji naziemnej i może odpowiednio obrazować albo przesyłać dane.

Okres obiegu:

czas jednego pełnego obiegu satelity wokół Ziemi; na LEO zwykle 90 do 120 minut.

Opór atmosferyczny:

hamowanie satelity przez szczątkową atmosferę prowadzące do stopniowego obniżania orbity. Rośnie na niskich wysokościach oraz podczas wzmożonej aktywności słonecznej.

Opóźnienie propagacji (Propagation Delay):

w łączności kosmicznej GEO jest determinowane czasem przejścia fali elektromagnetycznej przez przestrzeń z prędkością światła. Ze względu na położenie stacji naziemnych na szerokościach pozarównikowych teoretyczny czas przejścia sygnału na trasie stacja-satelita-stacja wynosi ok. 240–270 ms, co stanowi fundamentalne ograniczenie dla systemów czasu rzeczywistego.

Orbita geostacjonarna (GEO):

szczególny przypadek orbity geosynchronicznej o zerowej inklinacji (nachyleniu względem równika) i zerowym mimośrodku (orbita idealnie kołowa). Okres orbitalny satelity na orbicie GEO jest dokładnie równy okresowi rotacji Ziemi wokół własnej osi i wynosi jedną dobę gwiazdową (23 godz. 56 min 4 s). Dzięki temu satelita porusza się z prędkością kątową równą prędkości kątowej Ziemi, pozostając dla obserwatora naziemnego w stanie pozornego bezruchu w zenicie wybranego punktu na równiku.

Pas obserwacji (swath):

szerokość terenu obrazowanego przez instrument w jednym przelocie; im większa, tym zwykle mniejsza rozdzielczość.

Pasy radiacyjne Ziemi (pasy Van Allena):

obszary w ziemskiej magnetosferze, w których pole magnetyczne planety wiąże wysokoenergetyczne cząstki naładowane (głównie protony i elektrony) pochodzenia słonecznego i galaktycznego. Średnia orbita okołoziemska (MEO) przecina zewnętrzny pas radiacyjny oraz obszar przejściowy, co naraża pracujące tam satelity (np. systemy GNSS) na skumulowane dawki promieniowania jonizującego, wielokrotnie wyższe niż na niskich orbitach LEO, chronionych przez wewnętrzne warstwy magnetosfery.

Platforma (bus):

część satelity zapewniająca jego funkcjonowanie: zasilanie, łączność, kontrolę orientacji, napęd i kontrolę termiczną.

Pogoda kosmiczna:

zmienne warunki w przestrzeni okołoziemskiej wywołane aktywnością Słońca: wiatr słoneczny, rozbłyski i CME.

Pozycjonowanie GNSS (GPS/Galileo):

metoda określania położenia za pomocą sygnałów wysyłanych przez satelity. Odbiornik, np. w smartfonie lub nawigacji samochodowej, nie wysyła żadnych sygnałów do satelitów, lecz jedynie odbiera ich transmisje. Na podstawie czasu, w jakim sygnały dotarły z kilku satelitów, oblicza swoją pozycję oraz dokładny czas.

Produkt końcowy:

gotowa do użycia informacja przekazywana odbiorcy, np. skalibrowany obraz lub warstwa analityczna, a nie surowe dane z instrumentu.

Promieniowanie kosmiczne:

to strumień wysokoenergetycznych cząstek (m.in. protonów, elektronów, jąder helu) i promieniowania elektromagnetycznego (X i gamma). Źródłem promieniowania kosmicznego są najbardziej energetyczne zjawiska we Wszechświecie, m.in. rozbłyski słoneczne, wybuchy supernowych, pulsary, aktywne jądra galaktyk.

Radiator:

element systemu termicznego oddający nadmiar ciepła w postaci promieniowania. W próżni jest to jedyny sposób chłodzenia satelity, bo nie działa ani konwekcja, ani przewodzenie.

Rozdzielczość przestrzenna:

najmniejszy szczegół terenu, który można odróżnić na obrazie.

Segment naziemny:

infrastruktura na Ziemi obsługująca misję: stacje łączności z antenami, centrum kontroli misji oraz systemy IT do odbioru, archiwizacji i przetwarzania danych.

Sensor aktywny/pasywny:

sensor aktywny wytwarza własne promieniowanie i mierzy echo (radar SAR), a sensor pasywny rejestruje promieniowanie pochodzące z zewnątrz, np. odbite światło słoneczne (kamera optyczna).

Sentinel:

rodzina satelitów europejskiego programu Copernicus obrazujących według z góry ustalonego planu obserwacji; dane są publicznie dostępne. Sentinel-1 to radar SAR, Sentinel-2 to sensor optyczny.

Speckle:

ziarnisty wzór jasnych i ciemnych pikseli na obrazie radarowym wynikający z nakładania się fal odbitych od wielu punktów w obrębie jednego piksela. Cecha metody, nie usterka obrazu.

Systemy GNSS:

konstelacje satelitów rozmieszczone zazwyczaj na średnich orbitach okołoziemskich (MEO), których podstawową funkcją fizyczną jest ciągła emisja zakodowanych sygnałów radiowych zawierających precyzyjny czas odmierzony przez pokładowe zegary atomowe oraz efemerydy (dane o pozycji satelity). Wyznaczanie współrzędnych odbiornika na Ziemi opiera się na metodzie pomiaru czasu propagacji fal radiowych z minimum czterech satelitów jednocześnie.

Systematic Observation Strategy:

model pozyskiwania danych, w którym satelita obrazuje wyznaczone obszary według stałego, ustalonego z góry planu, niezależnie od bieżących zamówień. Zapewnia porównywalność kolejnych zobrażeń i rosnące archiwum.

Śmieci kosmiczne:

nieczynne satelity, człony rakiet i odłamki pozostające na orbicie i stanowiące ryzyko kolizji.

Świadomość sytuacyjna:

aktualny i wiarygodny obraz tego, co dzieje się na danym obszarze, budowany m.in. na podstawie regularnych obserwacji satelitarnych.

Teledetekcja optyczna:

obejmuje rejestrację promieniowania elektromagnetycznego w zakresie widzialnym (VIS) oraz podczerwonym (IR). Obrazowanie hiperspektralne stanowi zaawansowaną podklasę teledetekcji optycznej, charakteryzującą się bardzo wysoką rozdzielczością spektralną (rejestracja sygnału w dziesiątkach lub setkach wąskich, ciągłych kanałów częstotliwości). Pozwala to na identyfikację sygnatury spektralnej materiałów i dokładną analizę chemiczną oraz biologiczną obiektów na powierzchni Ziemi.

Teledetekcja satelitarna:

technika pozyskiwania informacji o obiektach lub obszarach na powierzchni Ziemi bez bezpośredniego kontaktu fizycznego, realizowana poprzez rejestrację promieniowania elektromagnetycznego (odbitego lub emitowanego) przez sensory umieszczone na platformach orbitalnych.

Telemetria:

dane o stanie satelity przesyłane na Ziemię (zasilanie, temperatury, orientacja, stan łączny), na podstawie których operatorzy oceniają jego kondycję.

Termosfera:

warstwa atmosfery obejmująca wysokości typowe dla LEO; jej gęstość rośnie przy wzmożonej aktywności słonecznej, co zwiększa opór atmosferyczny.

Tryby obrazowania:

kompromis między rozdzielczością, szerokością pasa obserwacji i czasem obserwacji jednego miejsca. Spot: mały obszar i bardzo duża szczegółowość. Strip: długi pas terenu i zrównoważone parametry. Scan: bardzo szeroki obszar i mniejsza szczegółowość. Dwell – rozwiązanie ICEYE: dłuższa obserwacja tego samego fragmentu terenu.

Wdrożenie (commissioning):

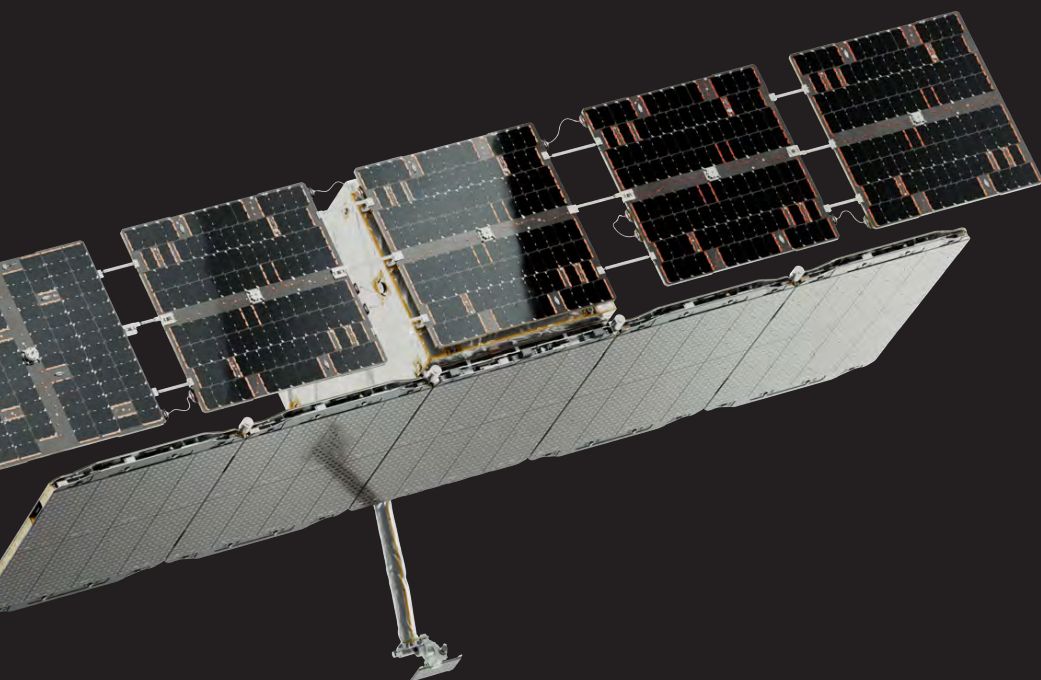
etap po LEOP, w którym satelita i instrument są kalibrowane i doprowadzane do pełnej gotowości operacyjnej.

Zadaniowanie (tasking):

zlecenie satelicie konkretnej obserwacji: wybór obszaru, okna przelotu i trybu obrazowania, a następnie przesłanie komend przy najbliższym kontakcie ze stacją naziemną.

Zrzut danych (downlink):

przesłanie zapisanych na pokładzie danych do stacji naziemnej podczas przelotu w jej zasięgu.



Powered
by **ICEYE**

