

# POLITECHNIKA MORSKA W SZCZECINIE

**Wydział:**

Informatyki i Telekomunikacji

Data pobrania tematu .....

Data zdania pracy .....

**Katedra:**

Elektroniki i Telekomunikacji

## PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

<b>Dyplomant</b>	Jakub Gubar	Nr albumu: 29205
<b>Specjalność</b>	Eksploatacja systemów łączności	
<b>Promotor</b>	dr inż. Andrzej Lisaj	<b>Ocena:</b>
<b>Recenzent</b>		<b>Ocena:</b>
<b>Egzamin dyplomowy - data</b>		

**TEMAT:**

**Analiza możliwości współpracy komunikacyjnych systemów  
satelitarnych z Ośrodkami Ratownictwa Morskiego SAR**

Dyplomant

Promotor

Dziekan

.....

.....

.....



**POLITECHNIKA MORSKA W SZCZECINIE**  
**WYDZIAŁ INFORMATYKI**  
**I TELEKOMUNIKACJI**



**Jakub Gubar**

**Analiza możliwości współpracy komunikacyjnych systemów  
satelitarnych z Ośrodkami Ratownictwa Morskiego SAR**

**Analysis of cooperation opportunities between communication  
satellite systems and Maritime Rescue Coordination Centres SAR**

Praca inżynierska napisana  
w Katedrze Elektroniki i Telekomunikacji  
pod kierunkiem  
dra inż. Andrzeja Lisaja

Szczecin 2025



#### Oświadczenie

Oświadczam, że praca została sporządzona samodzielnie, tj. poza niezbędnymi konsultacjami nie korzystano z pomocy osób trzecich, a w szczególności nie zlecano opracowania pracy lub jej części innym osobom, jak również wszystkie wykorzystane podczas pisania pracy źródła literaturowe zostały podane do wiadomości.

Data .....

Podpis .....

#### Oświadczenie

~~Wyrażam zgodę~~ / nie wyrażam zgody\* na udostępnianie mojej pracy w Czytelnii Biblioteki Głównej Politechniki Morskiej w Szczecinie oraz na udostępnianie elektroniczne w sieci BG.

Data .....

Podpis .....

\* niepotrzebne skreślić



## Spis treści

Spis treści .....	7
Wykaz skrótów.....	9
Wstęp.....	14
1. System GMDSS – Kluczowy Element Bezpieczeństwa Morskiego. ....	15
1.1. Obszary morskie GMDSS. ....	17
1.2. Podsystemy składowe GMDSS. ....	19
1.2.1. Radiotelefonia VHF, MF i HF jako systemy łączności głosowej. ....	19
1.2.2. System cyfrowego wywołania selektywnego – DSC. ....	22
1.2.3. EPIRB – radiopława satelitarna. ....	25
1.2.4. COSPAS-SARSAT - Międzynarodowy satelitarny system dla poszukiwania i ratownictwa.....	28
1.2.5. INMARSAT – Globalna sieć łączności satelitarnej. ....	34
1.2.6. Transponder radarowy – SART.....	36
1.2.7. System transmisji ostrzeżeń nawigacyjnych i meteorologicznych NAVTEX. ....	39
1.2.8. System nawigacji satelitarnej – GNSS. ....	41
1.2.9. Nadajnik AIS do lokalizacji w akcjach SAR – AIS-SART.....	43
2. Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa jako polska jednostka SAR.....	45
2.1. Obowiązki służby SAR. ....	45
2.2. Sposoby działań na morzu. ....	46
2.3. Obszar działania polskiego MSPiR. ....	47
2.4. Nasłuchy radiowe prowadzone przez MSPiR. ....	47
3. Ogólnoświatowe systemy satelitarne. ....	49
3.1. GPS jako Globalny System Pozycjonowania. ....	50
3.1.1. Segment kosmiczny. ....	51
3.1.2. Segment naziemny.....	53
3.1.3. Segment użytkownika.....	54
3.2. Galileo – europejski system nawigacji satelitarnej. ....	55
3.2.1. Segment kosmiczny.....	56
3.2.2. Segment naziemny.....	57
3.2.3. Segment użytkownika.....	60
3.3. GLONASS - rosyjski globalny system nawigacji satelitarnej. ....	61
3.3.1. Segment kosmiczny.....	62

3.3.2. Segment naziemny.....	64
3.3.3. Segment użytkownika.....	66
3.4. BeiDou – chiński satelitarny system nawigacyjny.....	67
3.4.1. Segment kosmiczny.....	68
3.4.2. Segment naziemny.....	70
3.4.3. Segment użytkownika.....	71
3.5. Iridium jako system globalnej łączności satelitarnej na morzu.....	74
3.5.1. Segment kosmiczny.....	74
3.5.2. Segment naziemny.....	77
3.5.3. Segment użytkownika.....	79
4. Komunikacja satelitarna jako wsparcie dla służb SAR na morzu.....	83
4.1. Kluczowe znaczenie segmentu kosmicznego dla COSPAS-SARSAT.....	84
4.2. Infrastruktura satelitarna systemu COSPAS-SARSAT.....	85
4.3. System MEOSAR jako fundament współczesnych operacji poszukiwawczo- ratowniczych.....	87
4.4. Analiza wydajności i korzyści wynikających ze współpracy systemów satelitarnych wykorzystywanych w COSPAS-SARSAT.....	89
4.5. Potencjalne drogi rozwoju systemu COSPAS-SARSAT.....	97
Podsumowanie .....	105
Streszczenie w języku polskim .....	106
Bibliografia.....	107
Spis rysunków .....	111
Spis tabel .....	113



## Wykaz skrótów

Skrót	Określenie	
	Język Angielski	Język Polski
AIS	Automatic Identification System	Automatyczny System Identyfikacji
AIS-SART	Automatic Identification System Search and Rescue Transmitter	Nadajnik AIS do poszukiwań i ratownictwa
AOR-E	Atlantic Ocean Region-East	Wschodni Region Oceanu Atlantyckiego
AOR-W	Atlantic Ocean Region-West	Zachodni Region Oceanu Atlantyckiego
AFB	Air Force Base	Baza Sił Powietrznych
AFSCF	Air Force Satellite Control Facility	Wojskowy Ośrodek Kontroli Satelitów
BDS	BeiDou Navigation Satellite System	System Nawigacji Satelitarnej BeiDou
CDMA	Code Division Multiple Access	Wielodostęp z podziałem kodowym
COSPAS-SARSAT	Space System for the Search of Vessels in Distress- Search and Rescue Satellite-Aided Tracking	Kosmiczny System Poszukiwania i Ratownictwa- Satelitarne Wspomaganie Poszukiwań i Ratownictwa
CRS	Coast Radio Station	Nadbrzeżna Stacja Radiowa
CS	Commercial Service	Usługa komercyjna
CTS	Communications and Tracking System	System Komunikacji i Śledzenia
DASS	Distress Alerting Satellite System	Satelitarny System Alarmowania w Niebezpieczeństwie
dB	Decibel	Decybel
DGNSS	Differential Global Navigation Satellite System	Różnicowy Globalny System Nawigacji Satelitarnej
DMA	Defense Mapping Agency	Agencja Mapowania Obronnego
DSC	Digital Selective Calling	Cyfrowe Wywołanie Selektywne
DORIS	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite	Dopplerowska Orbitografia i Radiopozycjonowanie Satelitarne
E	East	Wschód
EGC	Enhanced Group Call	Satelitarny system wywołania grupowego
ELT	Emergency Locator Transmitter	Awaryjny Nadajnik Lokalizacyjny

EPIRB	Emergency Position-Indicating Radio Beacon	Radiopława Awaryjna Wskazująca Pozycję
FDMA	Frequency-Division Multiple Access	Wielodostęp z Podziałem Częstotliwości
FEC	Forward Error Correction	Korekcja błędów przesyłania dalej
FLAM	Flight Location and Monitoring	Lokalizacja i Monitorowanie Lotów
FOC	Full Operational Capability	Pełna Zdolność Operacyjna
FTsP	Frequency and Time Standard Processing	Przetwarzanie Standardów Częstotliwości i Czasu
GCC	Galileo Control Centre	Centrum Kontroli Galileo
GCS	Galileo Control Segment	Segment Kontrolny Galileo
GBAS	Ground-Based Augmentation System	System Wspomagania Naziemnego
GBCC		
GEO	Geostationary Earth Orbit	Geostacjonarna Orbita Ziemi
GEOSAR	Geostationary Search and Rescue	Geostacjonarny System Poszukiwania i Ratownictwa
GLONASS	GLObal NAVigation Satellite System	Globalny Nawigacyjny System Satelitarny
GMDSS	Global Maritime Distress and Safety System	Globalny Morski System Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa
GMS	Ground Mission Segment	Segment Misji Naziemnej
GNSS	Global Navigation Satellite System	Globalny System Nawigacji Satelitarnej
GPS	Global Positioning System	Globalny System Pozycjonowania
GPS JPO	GPS Joint Program Office	Wspólne Biuro Programowe GPS
GRC	Galileo Reference Centre	Centrum Referencyjne Galileo
GRT	Gross Register Tonnage	Tonaż Rejestrowy Brutto
GRSP	Geodetic Reference Service Provider	Dostawca Usług Referencyjnych Geodezyjnych
GSC	Galileo Service Centre	Centrum Usług Galileo
GSM	Global System for Mobile Communications	Globalny System Komunikacji Mobilnej
GSMC	Galileo Security Monitoring Centre	Centrum Monitorowania Bezpieczeństwa Galileo
GSS	Galileo Sensor Stations	Stacja Sensorowa Galileo
GT	Gross Tonnage	Wyporność Brutto
GTRF	Galileo Terrestrial Reference Frame	Układ Odniesienia Ziemskiego Galileo
HAS	High Accuracy Service	Usługa Wysokiej Dokładności

HNS	Hazardous and Noxious Substances	Substancje Niebezpieczne i Szkodliwe
HF	High Frequency	Wysoka Częstotliwość
ICAO	International Civil Aviation Organization	Międzynarodowa Organizacja Lotnictwa Cywilnego
IGSO	Inclined Geosynchronous Orbit	Pochylona Orbita Geosynchroniczna
IMO	International Maritime Organization	Międzynarodowa Organizacja Morska
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization	Międzynarodowa Organizacja Satelitarna
IoT	Internet of Things	Internet Rzeczy
ITRF	International Terrestrial Reference Frame	Międzynarodowy Układ Odniesienia Ziemi
JPL	Jet Propulsion Laboratory	Laboratorium Napędu Odrzutowego
kHz	Kilohertz	Kiloherc
LEO	Low Earth Orbit	Niska Orbita Okołoziemska
LEOSAR	Low Earth Orbit Search and Rescue	Nisko Orbitalny System Poszukiwania i Ratownictwa
LES	Land Earth Station	Lądowa Stacja Nasiemna
LRIT	Long-Range Identification and Tracking	System Identyfikacji i Śledzenia Statków Dalekiego Zasięgu
LUT	Local User Terminal	Lokalny Terminal Użytkownika
MCC	Mission Control Centre	Centrum Kontroli Misji
MCS	Master Control Station	Główna Stacja Kontrolna
MHz	Megahertz	Megaherc
MEO	Medium Earth Orbit	Średnia Orbita Okołoziemska
MEOLUT	Medium Earth Orbit Local User Terminal	Średnio Orbitalny Terminal Użytkownika
MEOSAR	Medium Earth Orbit Search and Rescue	Średnio Orbitalne Poszukiwanie i Ratownictwo
MES	Mobile Earth Station	Mobilna Stacja Nasiemna
MF	Medium Frequency	Średnia Częstotliwość
MID	Maritime Identification Digits	Morskie Cyfry Identyfikacyjne
MPLS	Multiprotocol Label Switching	Wieloprotokółowe Przełączanie Etykiet
MQPSK	Modulation Quadrature Phase Shift Keying	Modulacja Kwadraturowa Kluczowania Fazowego
MRCC	Maritime Rescue Coordination Centre	Morskie Centrum Koordynacji Ratownictwa
MS	Monitoring Stations	Stacje Monitorujące

MSI	Maritime Safety Information	Morskie Informacje Bezpieczeństwa
MSPiR	-	Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa
N	North	Północ
NAV	Navigation	Nawigacja
NAVAREA	Navigation Area	Obszar Nawigacyjny
NavIC	Navigation with Indian Constellation	Indyjski System Nawigacji
NAVTEX	Navigational Text Messages	Nawigacyjny System Teleksowy
NBDP	Narrow Band Direct Printing	Wąskopasmowy system teleksowy o wydruku bezpośrednim
NCS	Network Control Station	Stacja Kontroli Sieci
NE	Northeast	Północny Wschód
NW	Northwest	Północny Zachód
PCS	Phase Control System	System kontroli Fazy
PDOP		
PDOP	Position Dilution of Precision	Rozmycie Dokładności Pozycji
PLB	Personal Locator Beacon	Osobista Radiopława Lokalizacyjna
PNT	Positioning, Navigation and Timing	Pozycjonowanie, Nawigacja i Czas
POR	Pacific Ocean Region	Region Oceanu Spokojnego
PPP	Precise Point Positioning	Precyzyjne Pozycjonowanie Punktowe
PRS	Public Regulated Service	Serwis Regulowany Publicznie
PRN	Pseudorandom Noise	Pseudolosowy Szum
PSTN	Public Switched Telephone Network	Publiczna Przelączana Sieć Telefoniczna
PVT	Position, Velocity, Time	Pozycja, Prędkość, Czas
QoS	Quality of Service	Jakość Usługi
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System	System Satelitarny Quasi-Zenith
RF	Radio Frequency	Częstotliwość Radiowa
RLM	Return Link Message	Wiadomość Zwrotna
RLS	Return Link Service	Usługa Zwrotnego Łącza Komunikacyjnego
RLSP	Return Link Service Provider	Dostawca Usługi Zwrotnego Połączenia
RNSS	Radio Navigation Satellite Service	Satelitarna Usługa Radionawigacyjna

RTK	Real-Time Kinematic	Kinematyka w Czasie Rzeczywistym
SAR	Search and Rescue	Poszukiwanie i Ratownictwo
SBAS	Satellite-Based Augmentation System	Satelitarny System Wspomagania
SES	Ship Earth Station	Stacja Pokładowa
SGDSP	SAR/Galileo Data Service Provider	Dostawca Usług Danych SAR/Galileo
SIS	Signal in Space	Sygnal w Przestrzeni
SLR	Satellite Laser Ranging	Laserowe Namierzanie Satelitarne
SNOC	Satellite Network Operations Center	Centrum Operacji Sieci Satelitarnej
SOLAS	Safety of Life at Sea	Konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu
SoL	Safety of Life Service	Służba Bezpieczeństwa Życia
SPOC	SAR Point of Contact	Punkt Kontaktowy SAR
SPS	Standard Positioning Service	Standardowa Usługa Pozycjonowania
SSAS	Ship Security Alert System	System Alarmowania Bezpieczeństwa Statku
TBD	To Be Determined	Do Ustalenia
TDD	Time Division Duplex	Dupleksowanie z Podziałem Czasu
TDMA	Time Division Multiple Access	Wielodostęp z Podziałem Czasowym
TSP	Time Service Provider	Dostawca Usług Czasowych
TS/US	Time Synchronization/Upload Stations	Stacje Wysyłania Danych/Synchronizacji Czasu
TTAC	Telemetry, Tracking and Control	Telemetria, Śledzenie i Kontrola
TT&C	Telemetry, Tracking and Command	Telemetria, Śledzenie i Sterowanie
UHF	Ultra High Frequency	Ultra Wysoka Częstotliwość
ULS	Uplink Station	Stacja Wysyłania Danych
UPS	Uninterruptible Power Supply	Nieprzerwane Źródło Zasilania
USA	United States of America	Stany Zjednoczone Ameryki
USNO	United States Naval Observatory	Obserwatorium Marynarki Wojennej USA
UTC	Coordinated Universal Time	Uniwersalny Czas Skoordinowany
WAN	Wide Area Network	Rozległa Sieć Komputerowa
WGS-84	World Geodetic System 1984	Światowy System Geodezyjny 1984

## Wstęp

W dzisiejszych czasach, gdy rosnąca liczba jednostek pływających i złożoność operacji morskich stawiają przed służbami ratowniczymi nowe wyzwania, problematyka poszukiwania i ratowania osób nabiera szczególnego znaczenia. Skuteczne działania ratunkowe w sytuacjach kryzysowych są ściśle powiązane z precyzyjnym systemem lokalizacji oraz niezawodną komunikacją, co czyni współpracę systemów satelitarnych z Ośrodkami Ratownictwa Morskiego jednym z kluczowych elementów bezpieczeństwa na morzach.

Celem niniejszej pracy inżynierskiej jest dokonanie kompleksowego zestawienia systemów satelitarnych – takich jak GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS i Iridium – oraz analiza ich możliwości zastosowania w ratownictwie morskim. Praca ma na celu ocenę, w jakim stopniu nowoczesne technologie satelitarne mogą usprawnić operacje ratunkowe, przyczyniając się do zwiększenia efektywności akcji ratowniczych i minimalizacji ryzyka związanego z opóźnieniami w reagowaniu na sytuacje awaryjne.

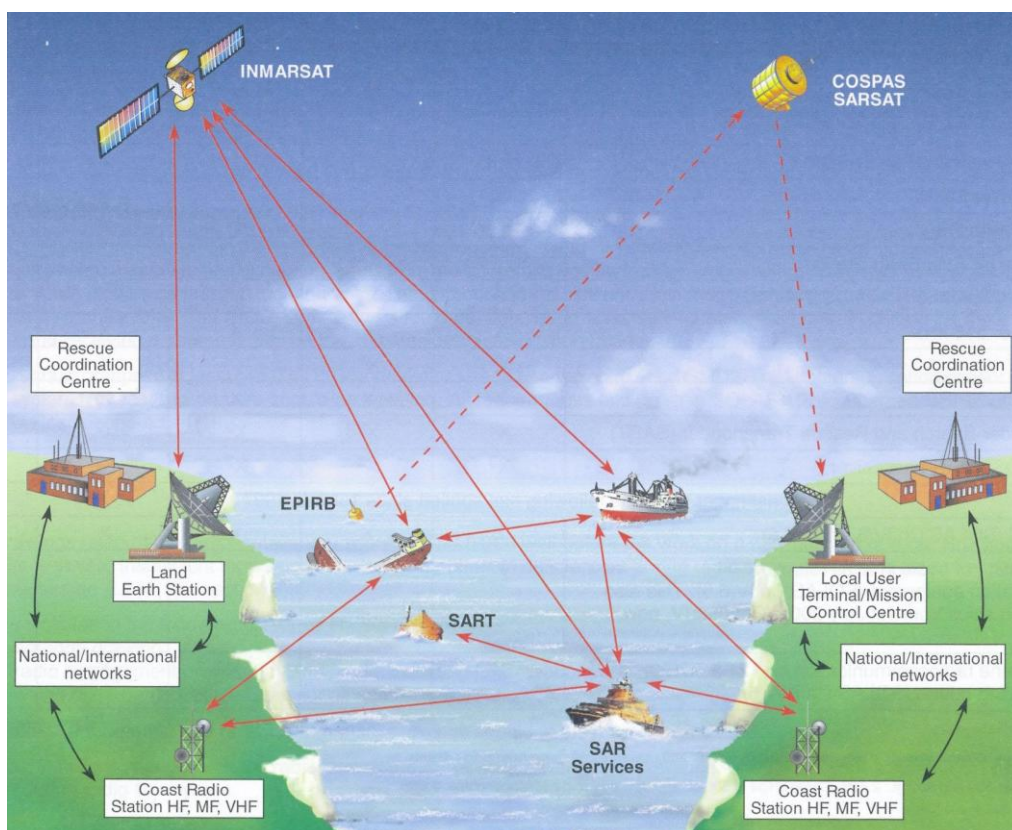
Struktura pracy została podzielona na cztery główne rozdziały. Rozdział pierwszy koncentruje się na GMDSS – systemie stanowiącym fundament międzynarodowych procedur bezpieczeństwa na morzu. W rozdziale drugim przedstawiona zostaje tematyka SAR, ukazująca specyfikę operacji ratowniczych i wyzwania, przed jakimi stoją służby ratownicze. Trzeci rozdział poświęcony jest analizie wybranych systemów satelitarnych, w tym GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS oraz Iridium, wraz z oceną ich zastosowania w ratownictwie morskim. Ostatni, czwarty rozdział, koncentruje się na systemie COSPAS-SARSAT, przedstawiając sposób współpracy systemów GNSS w jego ramach oraz omawiając potencjalne kierunki jego rozwoju.

Praca ta stanowi interdyscyplinarne podejście do zagadnienia ratownictwa morskiego, łącząc teoretyczne podstawy z praktycznymi aspektami nowoczesnych technologii komunikacyjnych. Przedstawione analizy i wnioski mają na celu nie tylko pogłębienie wiedzy na temat możliwości systemów satelitarnych, ale również wyznaczenie kierunków dalszych badań i rozwoju technologicznego w obszarze bezpieczeństwa na morzu.

## 1. System GMDSS – Kluczowy Element Bezpieczeństwa Morskiego.

Każda jednostka pływająca, niezależnie od danej pozycji na morzu, musi spełniać wszystkie funkcje radiokomunikacyjne, które stanowią filar dla zapewnienia wspólnego bezpieczeństwa. System ten zapewnia również radiokomunikację dla celów pilnych i rozpowszechnianie morskich informacji bezpieczeństwa, takich jak ostrzeżenia nawigacyjne, prognozy pogody, ostrzeżenia meteorologiczne i inne pilne informacje.

Wszystkie Administracje Morskie, które zgodziły się na poprawki Konwencji SOLAS dotyczące wprowadzenia systemu radiokomunikacyjnego GMDSS, są zobowiązane do posiadania stosowanej aparatury radiowej w stacjach lądowych w celu zapewnienia skutecznej łączności na poziomie lądowo-morskiej, przebiegającej w dwie strony [4].



Rysunek 1 Koncepcja systemu GMDSS.  
Źródło: [24]

Najważniejsze funkcje systemu GMDSS to [1]:

- **Alarmowanie** – szybkie powiadomienie o niebezpieczeństwie, skierowane do pobliskich statków lub ratowniczych ośrodków koordynacyjnych. Alarm uruchamiany jest ręcznie, a w przypadku tonięcia – automatycznie przez radiopławę EPIRB,
- **Łączność koordynacyjna** – umożliwia organizację działań ratowniczych na morzu i w powietrzu, dostosowaną do wyposażenia jednostek i obszaru akcji,
- **Łączność na miejscu akcji** – prowadzona za pomocą radiotelefonii lub radiotelegrafii na falach pośrednich i VHF,
- **Lokalizacja miejsca wypadku** – wykorzystuje radiopławy nadające sygnały ułatwiające określenie pozycji jednostki w niebezpieczeństwie lub rozbitków,
- **Rozpowszechnianie informacji nawigacyjnych i meteorologicznych** – odbywa się automatycznie za pomocą systemów NAVTEX (fale średnie) i EGC (INMARSAT),
- **Łączność ogólna** – komunikacja między statkami a sieciami lądowymi, np. w celu koordynacji holowania lub zgłoszenia napraw,
- **Łączność między statkami** – bezpośrednia komunikacja między jednostkami, najczęściej przez radiotelefon VHF.

Według Rozdziału IV konwencji SOLAS, każdy statek powinien być wyposażony w systemy umożliwiające:

- Nadawanie alarmu o niebezpieczeństwie na brzeg za pomocą dwóch niezależnych systemów radiokomunikacyjnych,
- Odbiór alarmów o niebezpieczeństwie ze stacji brzegowej,
- Wymianę alarmów o niebezpieczeństwie między statkami,
- Dwukierunkową łączność do koordynacji akcji ratowniczych,
- Komunikację na miejscu wypadku,
- Nadawanie i odbiór sygnałów lokalizacyjnych,
- Odbiór i nadawanie Morskich Informacji Bezpieczeństwa,
- Łączność mostek-mostek między statkami.



### 1.1. Obszary morskie GMDSS.

Dla celów operacyjnych systemu GMDSS morza i oceany zostały podzielone na cztery konkretne obszary: A1, A2, A3 i A4. Podział ten traktuje o zasięgu skutecznej łączności poszczególnych urządzeń radiowych, w które wyposażono jednostki pływające na tychże akwenach [1].

Tabela 1 Zestawienie obszarów morskich GMDSS Obszary A1-A2.

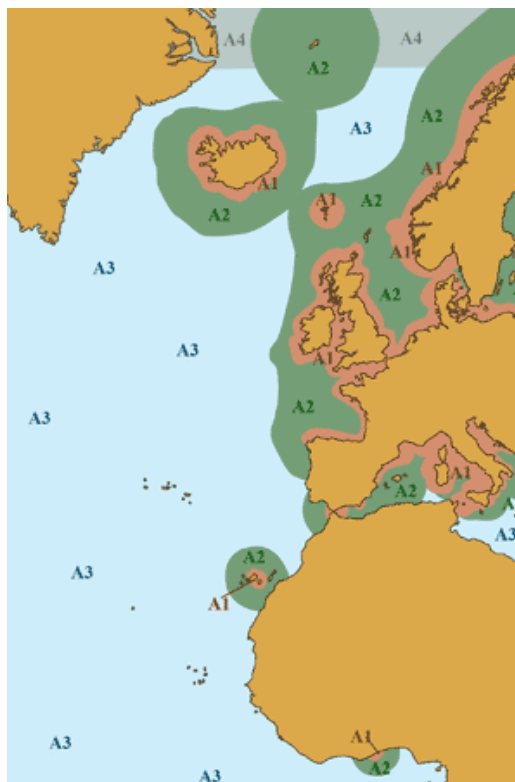
Obszar morski GMDSS	Definicja	Wymagane wyposażenie	Przenośne urządzenia do łączności
<b>A1</b>	Obszar morza w zasięgu radiotelefonicznym co najmniej jednej stacji brzegowej VHF, zapewniającej ciągłą i skuteczną łączność alarmową DSC. Ustalany przez administrację kraju.	Radiotelefon VHF z przystawką DSC,  Odbiornik NAVTEX	Radiopława 406 MHz EPIRB  Transponder SART  Przenośny radiotelefon VHF
<b>A2</b>	Obszar morza poza A1, ale w zasięgu stacji brzegowej MF, z ciągłą i skuteczną łącznością alarmową DSC MF. Ustalany przez administrację kraju.	Radiostacja MF z przystawką DSC, Wyposażenie wymagane w obszarze A1	Radiopława 406 MHz EPIRB  Transponder SART  Przenośny radiotelefon VHF

Źródło: na podstawie [25]

Tabela 2 Zestawienie obszarów morskich GMDSS Obszary A3-A4.

Obszar morski GMDSS	Definicja	Wymagane wyposażenie	Przenośne urządzenia do łączności
<b>A3</b>	Obszar morza poza A1 i A2, w zasięgu satelitów geostacjonarnych INMARSAT, zapewniający ciągłą i skuteczną łączność alarmową.	<p>Radiostacja HF z DSC, terminal INMARSAT lub Iridium LT-3100S.</p> <p>Urządzenie do odbioru Morskich Informacji Bezpieczeństwa (MSI) – EGC (INMARSAT) lub radioteleks HF.</p> <p>Wyposażenie wymagane w obszarach A1 i A2.</p>	<p>Radiopława 406 MHz EPIRB</p> <p>Transponder SART</p> <p>Przenośny radiotelefon VHF</p> <p>INMARSAT C lub Iridium LT-3100S</p>
<b>A4</b>	Jest to obszar morza poza obszarami A1, A2, A3.	<p>Radiostacja HF z przystawką DSC oraz Wyposażenie wymagane w obszarze A1, A2 i A3</p>	<p>Radiopława 406 MHz EPIRB</p> <p>Transponder SART</p> <p>Przenośny radiotelefon VHF</p>

Źródło: na podstawie [25]



Rysunek 2 Rzeczywisty rozkład obszarów A1, A2, A3 i A4.  
Źródło: [27]

## 1.2. Podsystemy składowe GMDSS.

Podstawowym zadaniem systemu jest zapewnienie łączności w sytuacjach zagrożenia oraz alarmowanie. Dodatkowe funkcje obejmują łączność służącą zapewnieniu bezpieczeństwa żeglugi oraz komunikację rutynową. System GMDSS składa się z kilku kluczowych podsystemów [1]:

- Systemy łączności głosowej,
- Cyfrowe wywołanie selektywne,
- Radiopławy awaryjne EPIRB,
- Systemy satelitarne,
- Transpondery radarowe.

### 1.2.1. Radiotelefonia VHF, MF i HF jako systemy łączności głosowej.

Radiotelefon VHF służy do komunikacji radiowej w zakresie bardzo wysokich częstotliwości obejmujących pasmo morskie V. Umożliwia ono bezpieczną i skuteczną komunikację między jednostkami pływającymi, a stacjami brzegowymi. Możemy wyróżnić radiotelefon przenośny oraz stacjonarny [2].



Rysunek 3 Radiotelefon stacjonarny VHF SAILOR 7222 VHF.  
Źródło: [28]



Rysunek 4 Radiotelefon przenośny VHF.  
Źródło: [29]

#### **Podstawowe funkcje radiostacji VHF:**

- Alarmowanie o niebezpieczeństwie oraz wywołanie związane z zapewnieniem bezpieczeństwa statku odbywa się za pomocą cyfrowego selektywnego wywołania na częstotliwości 156,525 MHz (kanał 70).
- Realizowanie łączności radiotelefonicznej w niebezpieczeństwie oraz zapewnienie bezpieczeństwa na częstotliwości 156,8 MHz (kanał 16),
- Komunikacja umożliwiająca wymianę informacji nawigacyjnych między statkami, koordynacja ruchu w pobliżu portów lub w trudnych warunkach nawigacyjnych na częstotliwości 156,65 MHz (kanał 13),

- Realizowanie łączności eksploatacyjnej i publicznej na pozostałych kanałach w paśmie 156 – 162,05 MHz.

Statki objęte wymaganiami Konwencji muszą być wyposażone w radiotelefon VHF z DSC, który umożliwia transmisję oraz automatyczny nasłuch na kanale 70 VHF.

#### **Minimalna liczba radiotelefonów VHF:**

- Statki pasażerskie oraz towarowe  $\geq 500$  GT – co najmniej trzy radiotelefony VHF do dwukierunkowej łączności,
- Statki towarowe od 300 GT do 500 GT – co najmniej dwa radiotelefony VHF do dwukierunkowej łączności.

Radiotelefony muszą spełniać normy techniczno-eksploatacyjne IMO.

Radiostacja MF/HF, zwana radiem SSB, umożliwia transmisję głosową na falach MF/HF przy użyciu modulacji SSB. Wadą klasycznej radiotelefonii jest brak możliwości adresowania korespondencji do konkretnego odbiorcy [1].

Rozwiązaniem tego problemu jest przystawka DSC, która umożliwia:

- selektywne nawiązywanie połączeń dzięki unikalnemu numerowi MMSI,
- cyfrową transmisję danych na częstotliwościach MF/HF,
- działanie podobne do systemu telefonicznego.

Radiostacja MF/HF musi umożliwiać ciągły nasłuch na częstotliwościach DSC:

- 2187.5 kHz (MF) w obszarze A2,
- 8414.5 kHz oraz dodatkowej częstotliwości HF w obszarach A3 i A4,
- 4–6 MHz (noc), 12–16 MHz (dzień) – dostosowanie do propagacji fal.

Radiostacja powinna być umieszczona:

- w miejscu osłoniętym przed warunkami atmosferycznymi i bezpośrednim nasłonecznieniem,

- z dala od źródeł wibracji i hałasu, takich jak maszynownia,
- w pozycji umożliwiającej łatwy odczyt wskazań,
- co najmniej 1 metr od kompasu, aby uniknąć zakłóceń magnetycznych.

### 1.2.2. System cyfrowego wywołania selektywnego – DSC.

DSC to system cyfrowego selektywnego wywołania stosowany w łączności morskiej, stanowiący kluczowy element GMDSS. Umożliwia on szybkie i precyzyjne przesyłanie alarmów oraz wywołań w ustalonych formatach cyfrowych, co pozwala na automatyczne nawiązywanie łączności między jednostkami pływającymi a stacjami brzegowymi.

DSC działa w różnych zakresach częstotliwości radiowych, obejmujących:

- **Pasma krótkofalowe (HF)** – 4 MHz, 6 MHz, 8 MHz, 12 MHz, 16 MHz,
- **Pasmo pośrednio-falowe (MF)** – 2 MHz,
- **Zakres VHF** – 156–174 MHz.

System cyfrowego selektywnego wywołania powinien zapewniać prawdopodobieństwo błędu decyzyjnego na poziomie  $10^{-6}$ , przy prawdopodobieństwie błędu binarnego  $10^{-2}$ . Aby spełnić te wymagania, stosowany jest system synchroniczny z 10-elementowym kodem detekcyjnym, opartym na Międzynarodowym Alfabetie Nr 5, który zawiera 128 możliwych kombinacji znaków. DSC znacząco zwiększa bezpieczeństwo żeglugi, umożliwiając szybkie, niezawodne i selektywne nawiązywanie łączności w sytuacjach alarmowych i operacyjnych [1].

Tabela 3 Ciąg kodowy cyfrowego wywołania.

bit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
waga	$2^0$	$2^1$	$2^2$	$2^3$	$2^4$	$2^5$	$2^6$	$2^2$	$2^1$	$2^0$
Pole informacyjne							Pole kontrolne			

Źródło: na podstawie [1]

System DSC wykorzystuje 10-bitowy ciąg kodowy, który składa się z:

- Części informacyjnej – zawierającej rozwinięcie binarne symbolu, gdzie kolejność wag jest odwrócona (pierwszy bit ma wagę 1, a siódmy – 64),
- Części detekcyjnej – zapewniającej niezawodność transmisji i minimalizującej błędy. Jak wynika z tabeli, w polu informacyjnym zapisane jest rozwinięcie binarne symbolu, przy czym kolejność wag jest odwrócona. Oznacza to, że waga przypisana pierwszemu bitowi wynosi 1, a waga siódmego bitu to 64.

Korzyści wynikające z zastosowania DSC:

- Automatyczny nasłuch na kanale 70 VHF, umożliwiający szybkie wykrywanie wywołań alarmowych,
- Skrócenie czasu potrzebnego na nadanie wywołania,
- Uproszczenie procedury inicjowania łączności alarmowej,
- Ciągłe i automatyczne rejestrowanie wywołań przychodzących i wychodzących, co zwiększa bezpieczeństwo komunikacji na morzu.

Urządzenia DSC wykorzystują cyfrowe kodowanie informacji, gdzie każdy sygnał jest poprzedzony specjalnym kodem, pozwalającym na przypisanie go do odpowiedniej grupy wywołań [1].

Dzięki zastosowaniu specyfikatora formatu, na początku każdej transmisji można jednoznacznie określić jej rodzaj. Wyróżnia się:

- Wywołanie w niebezpieczeństwie – sygnał alarmowy, priorytetowy,
- Wywołanie „do wszystkich statków” – ogólna transmisja dla jednostek znajdujących się w zasięgu,
- Selekttywne wywołanie grupowe – np. dla statków pływających pod jedną banderą,
- Wywołanie indywidualne – skierowane do konkretnej jednostki z DSC,
- Selektywne wywołanie dla obszaru geograficznego – adresowane do statków znajdujących się w określonym rejonie.

W przypadku selektywnego wywołania pojedynczej jednostki lub grupy statków, DSC wykorzystuje unikalne sygnały adresowe. Identyfikatory ruchomych stacji morskich składają się z 9 cyfr, zgodnie z Regulaminem Radiokomunikacyjnym ITU. Pierwsze trzy cyfry to Morskie Cyfry Identyfikacyjne (MID), określające państwową przynależność stacji. Pierwsza cyfra oznacza region geograficzny, a kolejne dwie – konkretny kraj. [1]

Przydział pierwszej cyfry MID:

- 0 – wywołanie grupowe,
- 1 – rezerwa na przyszłe zastosowania,
- 2 – Europa,
- 3 – Ameryka Północna,
- 4 – Azja,
- 5 – Oceania (w tym Azja Południowo-Wschodnia),
- 6 – Afryka,
- 7 – Ameryka Południowa.

Wywołanie selektywne może być również skierowane do jednostek znajdujących się w określonym rejonie geograficznym, gdzie adres składa się z 10 cyfr określających współrzędne tego obszaru. Kolejne cyfry w adresie oznaczają:

- Pierwsza cyfra – sektor kuli ziemskiej, w którym leży punkt odniesienia:
  - Sektor NE – cyfra 0,
  - Sektor NW – cyfra 1,



- Sektor SE – cyfra 2,
- Sektor SW – cyfra 3,
- Druga i trzecia cyfra – szerokość geograficzna punktu odniesienia w dziesiątkach i jednościach stopni,
- Czwarta, piąta i szósta cyfra: długość geograficzna punktu odniesienia w setkach, dziesiątkach i jednościach stopni,
- Siódma i ósma cyfra: współrzędna pionowa (od północy do południa), w wyznaczonym obszarze, w dziesiątkach i jednościach stopni,
- Dziewiąta i dziesiąta cyfra określa współrzędną poziomą (od zachodu do wschodu), w wyznaczonym obszarze, w dziesiątkach i jednościach stopni.

### 1.2.3. EPIRB – radiopława satelitarna.

Rodzaj nadajnika radiowego pozwalającego na ustalenie miejsca położenia w sytuacji zagrożenia. Służy do alarmowania, po uruchomieniu nadaje identyfikację oraz pozycję statku znajdującego się w bezpośrednim niebezpieczeństwie do ośrodków MRCC.

Radiopława nadaje sygnały po zetknięciu z wodą i dzięki swojej wyporności utrzymuje się na powierzchni, zapewniając niezawodne działanie w każdych warunkach pogodowych. W zależności od typu i przeznaczenia może różnić się częstotliwością, mocą, zasilaniem, sposobem aktywacji oraz konstrukcją zewnętrzną, co wynika z ofert różnych producentów [2].



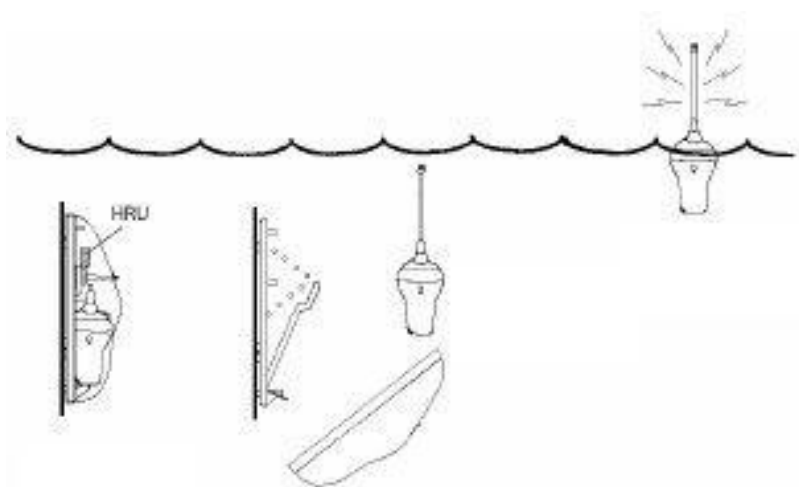
Rysunek 5 Elementy składowe radiopławy EPIRB.

Źródło: [30]

Najważniejszymi elementami urządzenia radiopławy są:

- **Antena** – umożliwia nadawanie sygnałów radiowych,
- **Włącznik automatyczny** – uruchamia radiopławę po zadziałaniu zwalniaka hydrostatycznego,
- **Włącznik ręczny** – pozwala na aktywację urządzenia w sposób manualny,
- **Przycisk/przełącznik testowania** – umożliwia użytkownikowi sprawdzenie gotowości urządzenia do pracy,
- **Sznurek** – służy do mocowania uruchomionej radiopławy do środka ratunkowego,
- **Światło stroboskopowe** – błyska po aktywowaniu radiopławy, ułatwiając jej lokalizację,
- **Wewnętrzna bateria** – zapewnia ciągłą pracę urządzenia przez co najmniej 48 godzin,
- **Odbiornik GPS** – w większości radiopław nie jest wbudowany, lecz w niektórych modelach może być obecny, umożliwiając dokładniejsze określenie położenia.

Zgodnie z wymaganiami Konwencji SOLAS, każda radiopława musi być urządzeniem przenośnym, które może być aktywowane zarówno ręcznie, jak i automatycznie za pomocą zwalniaka hydrostatycznego.



Rysunek 6 Sekwencja automatycznej aktywacji radiopławy.

Źródło: [26]

Kiedy radiopława zostaje uaktywniona, rozpoczyna transmisję sygnału, w którym zawarty jest jej numer identyfikacyjny. Sygnał ten jest wykrywany przez satelity systemu COSPAS-SARSAT, które następnie przekazują go do ośrodka ratownictwa MRCC. Ośrodek ratunkowy dekoduje odebrany sygnał, a dzięki dostępowi do międzynarodowej bazy danych, może odnaleźć dane statku znajdującego się w niebezpieczeństwie oraz osobę, którą należy powiadomić. Jeśli takie informacje nie zostaną odnalezione, może to spowodować opóźnienie w akcji ratunkowej [1].

W systemie COSPAS-SARSAT stosowane są radiopławy nadające sygnały radiowe na częstotliwościach 121,5 MHz oraz 406 MHz. Radiopławy pracujące na częstotliwości 121,5 MHz są wykorzystywane do lokalizacji katastrof i montowane na pokładach samolotów oraz statków. Emisja EPIRB powinna spełniać odpowiednie standardy ustalone przez ICAO.

Typowa wiadomość transmitowana przez radiopławę 406 MHz zawiera następujące informacje:

- **Określenie użytkownika:** rodzaj środka transportu (statek powietrzny, morski lub lądowy),
- **Nazwa państwa:** kod charakterystyczny dla użytkowników danego państwa,
- **Numer identyfikacyjny radiopławy:** każda radiopława posiada unikalny numer identyfikacyjny,
- **Wiadomość o niebezpieczeństwie:** informacja o rodzaju zagrożenia,
- **Dane o pozycji:** kodowana lokalizacja, określona za pomocą odpowiednich urządzeń nawigacyjnych, zgodnie z morskimi protokołami lokalizacji,

Te informacje pozwalają na szybkie zlokalizowanie źródła sygnału oraz ocenę sytuacji w celu przeprowadzenia akcji ratunkowej.

Przy wyborze lokalizacji dla radiopławy należy wziąć pod uwagę następujące kwestie:

- **Łatwy dostęp w każdej sytuacji** – miejsce powinno być łatwo dostępne w przypadku nagłej potrzeby aktywacji urządzenia,

- **Odległość od kompasu magnetycznego** – powinna wynosić co najmniej 1 metr, aby uniknąć zakłóceń w pracy kompasu,
- **Odległość od anteny radaru** – powinna wynosić co najmniej 2 metry, aby zapobiec zakłóceniom w sygnale radaru,
- **Zabezpieczenie przed bezpośrednim uderzeniem fal** – radiopława powinna być zamontowana w miejscu, które zapewni jej ochronę przed bezpośrednim działaniem fal morskich.



Rysunek 7 Przykładowa instrukcja obsługi.

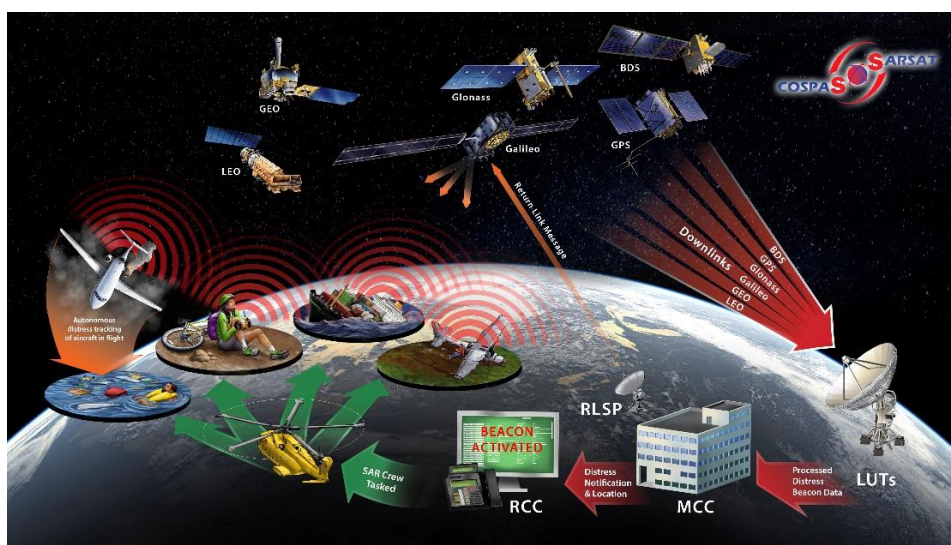
Źródło: [26]

#### 1.2.4. COSPAS-SARSAT - Międzynarodowy satelitarny system dla poszukiwania i ratownictwa.

COSPAS-SARSAT to globalny system satelitarny stworzony w celu wspierania poszukiwań i ratownictwa. Jego początki sięgają 29 listopada 1979 roku, kiedy to w Leningradzie (obecnie Petersburg) cztery kraje – Francja, Kanada, ZSRR i Stany Zjednoczone – podpisały porozumienie, które zostało ratyfikowane w 1980 roku. Porozumienie to miało na celu połączenie narodowych systemów ratowniczych w jeden międzynarodowy system. Dzięki tej integracji możliwe stało się bardziej efektywne wykorzystywanie satelitów do odbioru sygnałów alarmowych nadawanych na częstotliwościach 121,5 MHz i 406 MHz. System COSPAS-SARSAT umożliwia odbiór sygnałów z dowolnego miejsca na świecie, co znacząco poprawia zdolność do szybkiego reagowania w sytuacjach zagrożenia życia [20].

COSPAS-SARSAT jest systemem służącym przekazywaniu, poprzez satelity geostacjonarne i okołobiegunowe, sygnałów alarmowych nadawanych z urządzeń awaryjnych do ośrodków SAR.

System obsługuje trzy typy urządzeń: EPIRB (radiopławy morskie), ELT (lokalizatory lotnicze) i PLB (lokalizatory indywidualne). Urządzenia te nadają sygnał alarmowy na częstotliwości 406 MHz, który jest przekazywany przez satelity systemu COSPAS-SARSAT, następnie do naziemnych stacji odbiorczych LUT oraz centrów kontroli MCC. Stamtąd sygnał trafia do odpowiedniego ośrodka MRCC, który koordynuje akcję ratunkową w regionie, gdzie doszło do zdarzenia [1].



Rysunek 8 System COSPAS-SARSAT: Ogólna zasada działania.

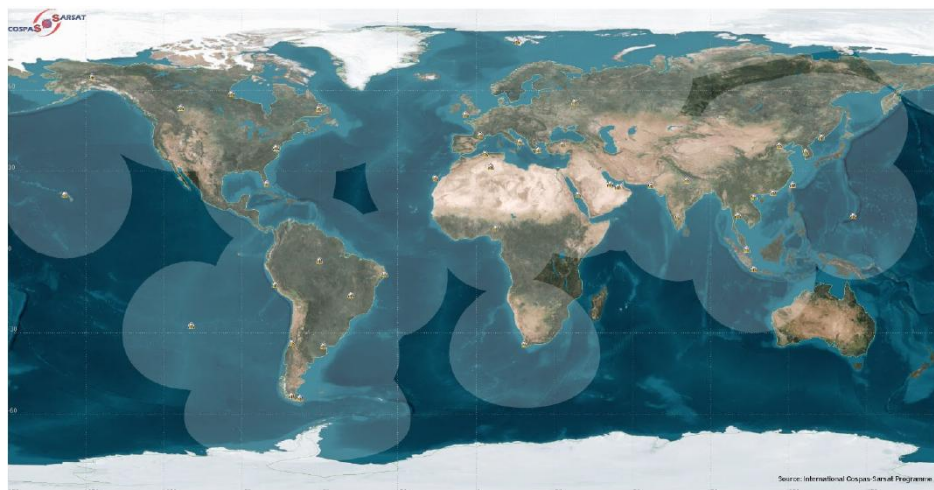
Źródło: [19]

System składa się z trzech segmentów:

- **Radiopława awaryjna** – stanowi urządzenie radiowe przeznaczone do alarmowania oraz określania pozycji obiektu będącego w niebezpieczeństwie,
- **Segment kosmiczny** – składa się z satelitów systemu LEOSAR, GEOSAR oraz MEOSAR,

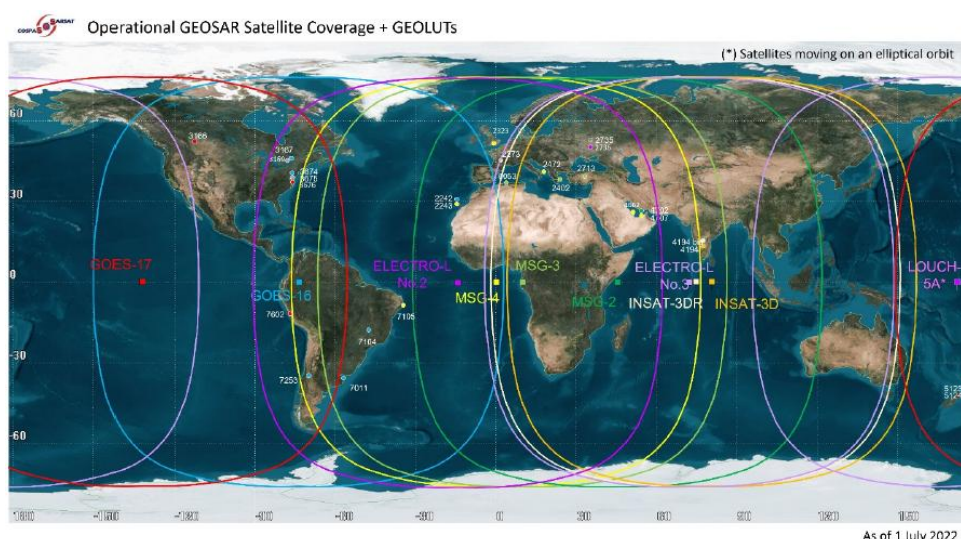
**LEOSAR** - Na orbitach okołobiegunowych znajdują się trzy satelity, które obiegają Ziemię w około 120 minut. Ich orbity zostały zaprojektowane w taki sposób, aby zapewnić pełne pokrycie całej powierzchni naszej planety. Ze względu na parametry orbity czas wykrycia sygnału alarmowego jest dłuższy w rejonach

równikowych, a krótszy w polarnych i wynosi średnio 45 minut. Po wykryciu sygnału satelita, wykorzystując efekt Dopplera, określa położenie urządzenia z dokładnością około 3-5 Mm.



Rysunek 9 Globalne pokrycie kuli ziemskiej przez system LEOSAR.  
Źródło: [11]

**GEOSAR** - część systemu satelitarnego COSPAS-SARSAT, która wykorzystuje satelity geostacjonarne do wspierania działań poszukiwawczo-ratowniczych. Satelity te znajdują się na orbitach geostacjonarnych. Składa się z 13 satelitów, które zapewniają stałe pokrycie obszaru Ziemi.



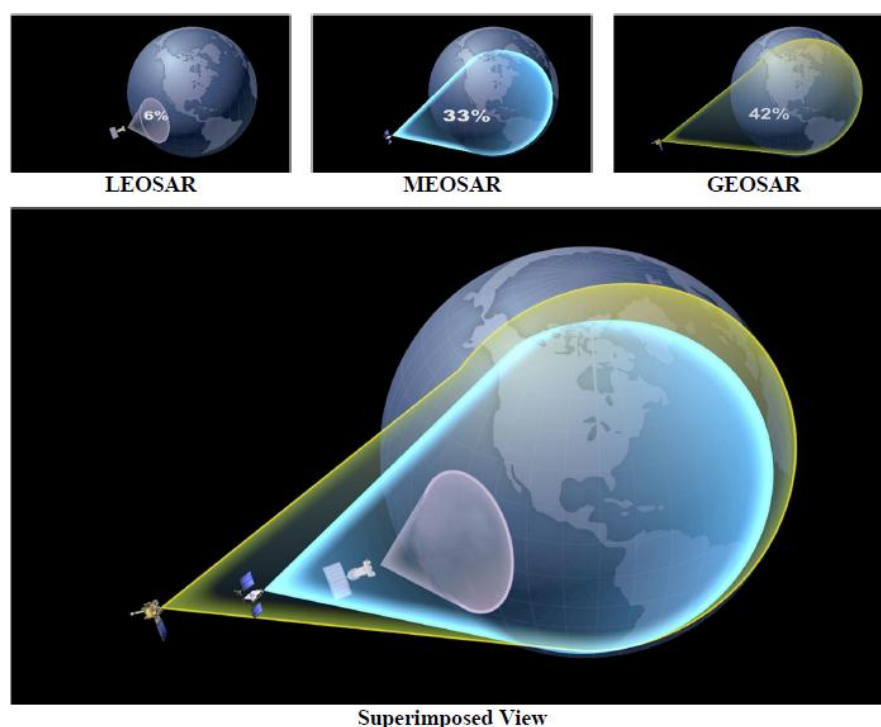
Rysunek 10 Obszar pokrycia i rejony GEOSAR.  
Źródło: [11]



Przez to, iż satelity GEOSAR pozostają w stałej pozycji względem Ziemi, nie występuje efekt Dopplera na odbieranej przez nie częstotliwości, co oznacza, że technika określania pozycji z pomocą efektu Dopplera nie może być użyta do lokalizacji radiopław w sytuacjach alarmowych. Aby przekazać ratownikom informacje o lokalizacji, pozycja radiopławy musi być:

- uzyskana przez urządzenie nadawcze, za pomocą wbudowanego lub zewnętrznego odbiornika nawigacyjnego, i zakodowana w wiadomości nadawczej,
- lub wyliczona za pomocą systemu LEOSAR przy wykorzystaniu przetwarzania Dopplera.

**MEOSAR** - Globalne satelitarne systemy nawigacyjne operują na orbitach wokół Ziemi na wysokości od 19 000 do 23 000 km, co zalicza je do średnich orbit okołoziemskich. Jest on uzupełnieniem dla istniejących systemów LEOSAR i GEOSAR.

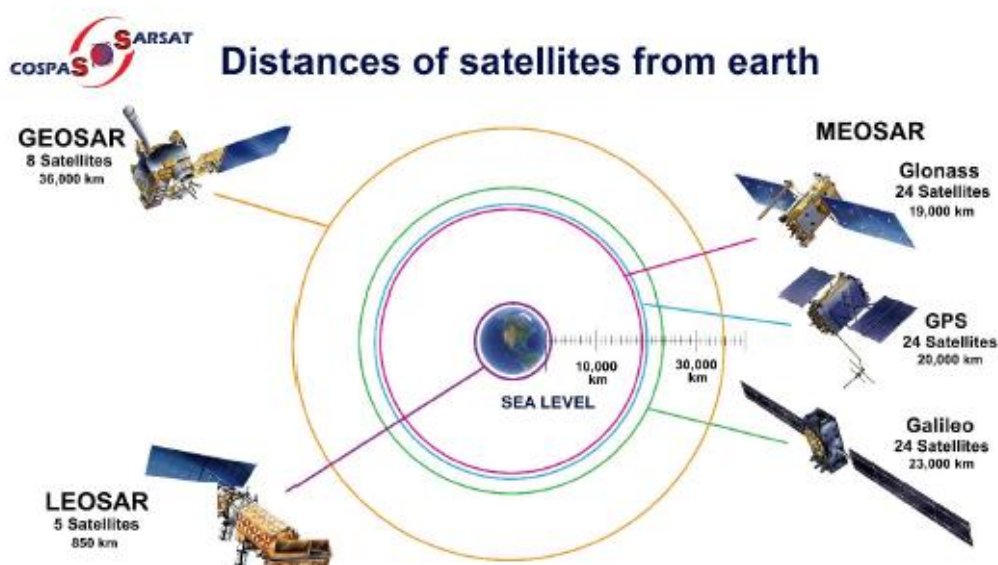


Rysunek 11 Porównanie procentowego pokrycia kuli ziemskiej przez systemy LEOSAR, MEOSAR i GEOSAR.

Źródło: [11]

System MEOSAR skutecznie eliminuje ograniczenia występujące w dotychczasowych systemach LEOSAR i GEOSAR, które służą do wykrywania i lokalizowania nadajników sygnałów ratunkowych. GEOSAR oferuje nieprzerwane pokrycie niemal całej Ziemi, z wyjątkiem rejonów okołobiegunowych i choć może niemal natychmiast odebrać sygnał alarmowy z nadajnika, nie jest w stanie określić jego dokładnej lokalizacji, jeśli nie jest ona zakodowana w komunikacie – na przykład z wbudowanego lub podłączonego odbiornika GNSS. Z kolei system LEOSAR potrafi zlokalizować nadajnik nawet bez przesyłania danych o pozycji, a także potwierdzić lokalizację, jeśli taka informacja została zawarta w komunikacie. Jednak satelity LEOSAR obejmują swoim zasięgiem jedynie niewielki fragment Ziemi w danym momencie, co może powodować opóźnienia w przekazywaniu sygnałów alarmowych do stacji naziemnych.

Po osiągnięciu pełnej operacyjności system MEOSAR połączy zalety systemów LEOSAR i GEOSAR, eliminując jednocześnie ich dotychczasowe ograniczenia. Zapewni zarówno transmisję sygnału alarmowego, jak i niezależne określenie lokalizacji nadajnika, oferując niemal natychmiastowe pokrycie całego świata [11].



Rysunek 12 Opis orbit systemów przynależących do COSPAS-SARSAT.  
Źródło: [11]



MEOSAR umożliwi również wdrożenie nowych funkcji w systemie COSPAS-SARSAT, takich jak transmisja zwrotna, dzięki której użytkownik nadajnika otrzyma potwierdzenie, że sygnał alarmowy został odebrany.

Duża liczba satelitów MEOSAR na orbicie sprawi, że każdy sygnał alarmowy będzie jednocześnie przekazywany przez kilka satelitów do wielu anten naziemnych. To znacząco zwiększy prawdopodobieństwo wykrycia sygnału oraz precyzję ustalenia jego położenia.

- **Segment naziemny** – składa się z kilku kluczowych elementów odpowiedzialnych za odbiór, przetwarzanie i dystrybucję sygnałów alarmowych nadawanych przez radioboje ratunkowe. Tymi elementami są Lokalne Stacje Odbiorcze LUT oraz Centra Sterowania MCC. Jego głównym zadaniem jest szybkie przekazywanie informacji o zagrożeniu do odpowiednich służb ratowniczych, co pozwala na skuteczne przeprowadzanie akcji poszukiwawczo-ratowniczych.

**Lokalne stacje odbiorcze LUT** - W systemie COSPAS-SARSAT wyróżnia się dwa typy stacji odbiorczych LUT: LEOLUT – przeznaczone do współpracy z satelitami konstelacji LEOSAR oraz GEOLUT – obsługujące satelity systemu GEOSAR.

Możliwości stacji LEOLUT zależą głównie od liczby kanałów satelitarnych LEOSAR, które zostały zaprojektowane do obsługi. W zależności od śledzonego satelity mogą być dostępne do przetwarzania maksymalnie dwa kanały. Niektóre satelity obsługują wszystkie wymienione kanały, podczas gdy inne mają ograniczony ich zakres.

GEOLUT to naziemna stacja odbiorcza systemu COSPAS-SARSAT, która przetwarza sygnały alarmowe 406 MHz przekazywane przez satelity geostacjonarne. Dzięki szerokiemu zasięgowi zapewnia niemal natychmiastowe powiadomienia o zagrożeniu. Jednak ze względu na brak ruchu satelity względem nadajnika nie może określać jego pozycji metodą Dopplera. W tym celu nadajniki 406 MHz z protokołem lokalizacji przesyłają współrzędne w komunikacie, umożliwiając szybkie powiadomienie z danymi o pozycji.

**Centra sterowania MCC** - W większości krajów posiadających co najmniej jedną stację LUT funkcjonują MCC. Ich główne zadania to:

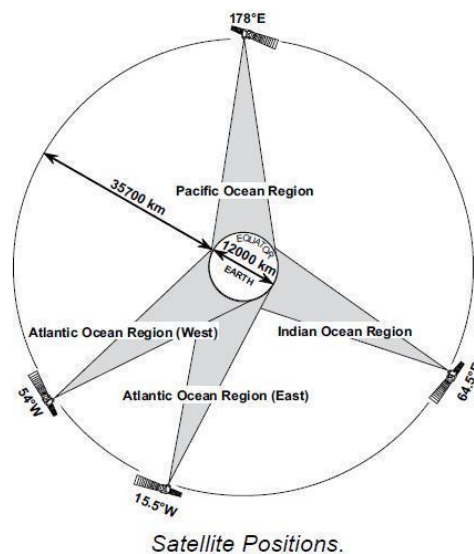
- gromadzenie, przechowywanie i sortowanie danych z LUT oraz innych MCC,
- wymiana danych w ramach systemu COSPAS-SARSAT,
- przekazywanie informacji alarmowych i lokalizacyjnych do odpowiednich lub SPOC.

Dane przetwarzane przez MCC dzielą się na dane alarmowe i informacje systemowe. Dane alarmowe obejmują informacje z sygnałów 406 MHz wysyłanych przez nadajniki ratunkowe, w tym ich lokalizację oraz zakodowane dane identyfikacyjne. Informacje systemowe zapewniają efektywność działania systemu COSPAS-SARSAT i dokładność danych alarmowych. Obejmują dane efemerydalne, kalibrację czasu, status systemu oraz komunikaty koordynacyjne [11].

#### **1.2.5. INMARSAT – Globalna sieć łączności satelitarnej.**

INMARSAT to satelitarny system komunikacji wykorzystywany nie tylko przez statki, lecz także przez innych użytkowników. System ten jest integralną częścią GMDSS, dlatego znajduje zastosowanie na statkach objętych konwencją SOLAS, jak również na wielu innych jednostkach. W ramach GMDSS INMARSAT służy do alarmowania w obszarze morskim A3. Chociaż w obszarach A1 i A2 możliwe jest korzystanie z systemu INMARSAT do celów alarmowych, GMDSS oferuje w tych rejonach bardziej efektywne rozwiązania.

System radiokomunikacji morskiej INMARSAT wykorzystuje satelity geostacjonarne umieszczone na wysokości około 36 000 km nad Ziemią. Każdy satelita znajduje się nad określonym obszarem oceanicznym, zapewniając niezawodną łączność na morzu [1].



Rysunek 13 Orbita satelitów INMARSAT 36000 km n.p.m..  
Źródło: [48]

**Naziemne Stacje Łączności** – Każdy region oceaniczny obsługiwany przez system INMARSAT posiada wiele naziemnych stacji LES, które zapewniają interfejs między statkami na morzu a lądowymi sieciami telekomunikacyjnymi. Funkcjonowanie tych stacji jest w pełni zautomatyzowane, co sprawia, że są one praktycznie „niewidoczne” z punktu widzenia użytkownika systemu. Australijska stacja LES znajduje się w Perth, w Zachodniej Australii i obsługuje regiony Oceanu Indyjskiego i Spokojnego. Stacja LES w Perth jest częścią globalnej sieci INMARSAT, która wykorzystuje także stację LES w Burum w Holandii, zapewniając łączność dla regionów Atlantyku i Oceanu Indyjskiego. Wcześniej stacje LES były znane jako brzegowe stacje łączności – CES [2].

**Stacje Koordynacyjne Sieci** – Każdy region oceaniczny w systemie INMARSAT posiada stację NCS, która odpowiada za zarządzanie częstotliwościami, sygnalizacją oraz ruchem telekomunikacyjnym w swoim regionie. Funkcja NCS jest zintegrowana z jedną ze stacji LES. W każdym regionie oceanicznym istnieją oddzielne stacje NCS dedykowane dla każdej usługi INMARSAT, z wyjątkiem FleetBroadband.

**Stacje Pokładowe** – Urządzenia INMARSAT instalowane na statkach określane są jako stacje pokładowe SES lub mobilne stacje naziemne MES. Sprzęt

INMARSAT montowany jest na różnorodnych jednostkach, od łodzi rybackich po bardzo duże statki handlowe i okręty wojenne.

INMARSAT jest globalnym liderem w dostarczaniu usług bezprzewodowej transmisji danych, opartych na wszechstronnych i niezawodnych sieciach satelitarnych. Działając na rynku od 1979 roku, firma opracowała szereg standardów systemowych, które przyczyniły się do jej dominującej pozycji w branży. Oto kilka przykładów [1]:

- **INMARSAT-A** – Był pierwszym systemem satelitarnym oferującym szerokopasmową łączność głosową i transmisję danych. Umożliwiał dwukierunkowe rozmowy telefoniczne, przesyłanie faksów oraz transmisję danych z prędkością do 9,6 kbps. Ze względu na duże rozmiary i wysokie koszty eksploatacji, został wycofany w 2007 roku.
- **INMARSAT-B** – Stanowił ulepszoną wersję systemu INMARSAT A, oferującą lepszą jakość połączeń i niższe koszty eksploatacji. Zapewniał transmisję głosu, faksu oraz danych z większą efektywnością. Obsługiwał prędkości transmisji do 64 kbps, co było istotnym postępem w porównaniu do swojego poprzednika.
- **INMARSAT-C** – uzupełnił system INMARSAT-A, oferując globalną, niedrogą dwukierunkową komunikację danych za pomocą małych terminali, które można instalować zarówno na dużych, jak i małych jednostkach. Mimo że nie obsługuje komunikacji głosowej, pozwala na wysyłanie i odbieranie wiadomości tekstowych, danych oraz e-maili za pomocą techniki „store-and-forward”, wymagającej wcześniejszego przygotowania wiadomości przez użytkownika. Dzięki globalnemu zasięgowi, transmisjom MSI i funkcji alarmowej, system INMARSAT-C został uznany przez IMO za spełniający wymogi GMDSS.

#### **1.2.6. Transponder radarowy – SART.**

SART (Search and Rescue Transponder) to aktywny transponder radarowy stosowany w systemie GMDSS, przeznaczony do lokalizacji jednostek znajdujących się w niebezpieczeństwie. Urządzenie to zwiększa szanse odnalezienia tratw ratunkowych, szalup lub statków w sytuacjach awaryjnych, odbijając sygnał radarowy

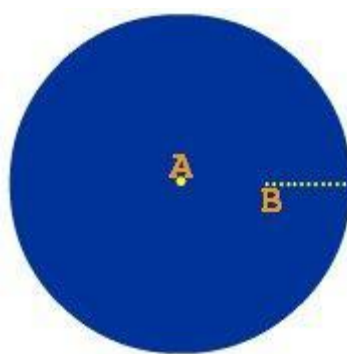
i wyświetlając swoją pozycję na ekranach radarów statków ratowniczych oraz jednostek poszukiwawczych [49].



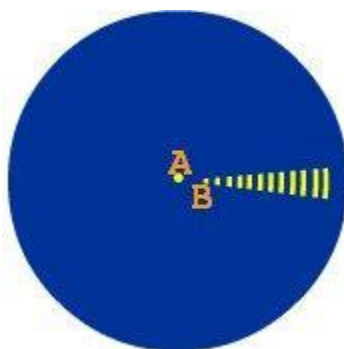
Rysunek 13 Przykładowy transponder radarowy.  
Źródło: [31]

Transponder SART aktywuje się ręcznie lub automatycznie po zetknięciu z wodą. Po aktywacji pozostaje w trybie czuwania, nasłuchując sygnałów radarowych w paśmie X (9 GHz). Gdy wykryje fale radarowe, natychmiast wysyła serię sygnałów odpowiedzi, które na ekranach radarów jednostek poszukiwawczych pojawiają się jako charakterystyczna linia 12 kropek, ułatwiając lokalizację rozbitków.

Sposób wyświetlania sygnału wezwania pomocy na ekranie radaru pracującego w paśmie X zależy od odległości między transponderem SART (pozycja B) a jednostką odbierającą sygnał, taką jak statek, helikopter lub samolot (pozycja A).



Rysunek 14 Oznaczenie pozycji transpondera na radarze.  
Źródło: [49]



Rysunek 15 Oznaczenie pozycji transpondera na radarze.  
Źródło: [49]



Rysunek 16 Oznaczenie pozycji transpondera na radarze.  
Źródło: [49]

Gdy odległość między jednostką a transponderem SART przekracza 1 milę morską, na ekranie radaru pojawi się 12 równomiernie rozmieszczonych kropek. W miarę zbliżania się statku do urządzenia, około 1 mili morskiej, kropki zaczynają przekształcać się w łuki.

Transponder zazwyczaj zamocowany jest w tratwie ratunkowej, jednak najczęściej znajduje się w łatwo dostępnym miejscu na statku, aby można go było szybko zabrać na środek ratunkowy w przypadku konieczności opuszczenia jednostki. Zwykle umieszczony jest nieopodal wyjścia awaryjnego lub na mostku. Transponder nie może być zamontowany w bezpośrednim sąsiedztwie (co najmniej 1 metr) kompasu magnetycznego oraz na głównej linii transmisji wiązki radarowej własnego radaru.

Statki objęte wymogami Konwencji SOLAS, o pojemności poniżej 500 GRT, muszą być wyposażone w jeden transponder. Statki pasażerskie oraz jednostki o pojemności 500 GRT i więcej muszą być wyposażone w dwa transpondery SART. Promy natomiast powinny posiadać jeden transponder na każde cztery środki ratunkowe. Zgodnie z wymaganiami Konwencji, transpondery muszą mieć baterie

zapewniające 96 godzin pracy w trybie oczekiwania oraz 8 godzin w trybie aktywnej odpowiedzi [4].

#### **1.2.7. System transmisji ostrzeżeń nawigacyjnych i meteorologicznych NAVTEX.**

System NAVTEX to zautomatyzowany system służący do przekazywania statkom kluczowych informacji związanych z bezpieczeństwem żeglugi MSI. Obejmuje on ostrzeżenia meteorologiczne, nawigacyjne, prognozy pogody oraz inne pilne komunikaty. Do transmisji informacji w systemie NAVTEX stosuje się NBDP, działającą w trybie korekcji błędów FEC. Dzięki temu zapewniona jest niezawodność oraz czytelność przesyłanych danych [1].

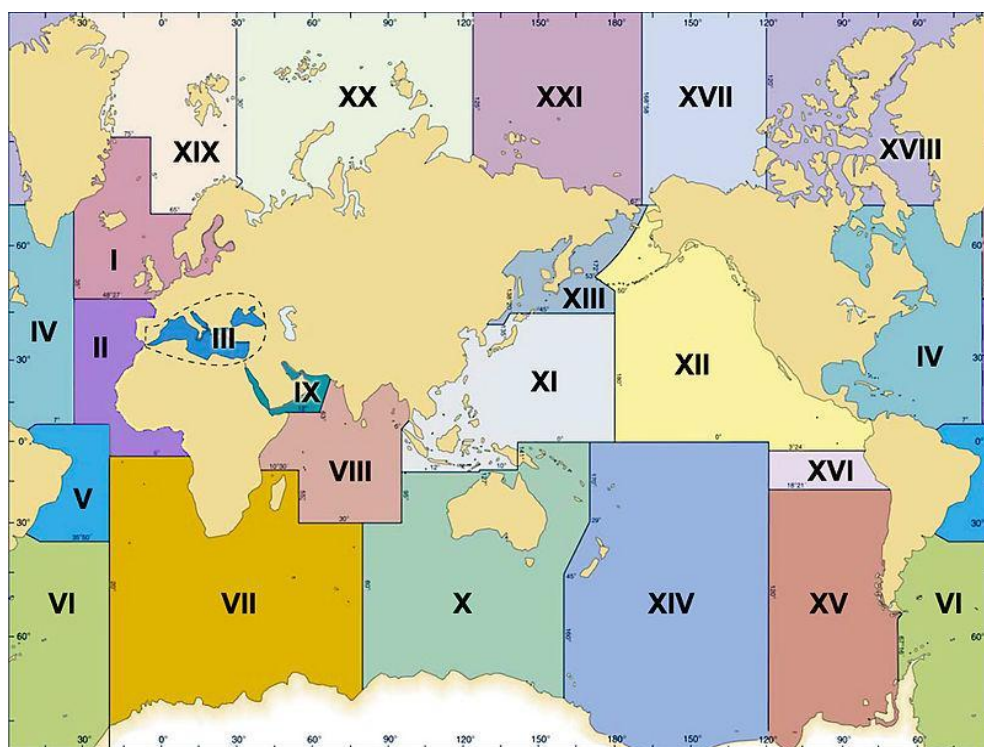
Komunikaty systemu NAVTEX są przesyłane za pośrednictwem radiotelegrafii przez nadajniki zlokalizowane na stacjach brzegowych CRS na różnych częstotliwościach, dostosowanych do specyficznych potrzeb użytkowników i warunków odbioru:

- **518 kHz (fale MF)** – międzynarodowy NAVTEX, na którym wiadomości są transmitowane w języku angielskim, służąc żeglarzom na wodach międzynarodowych,
- **490 kHz (fale MF)** – narodowy NAVTEX, na którym wiadomości MSI oraz inne lokalne informacje są transmitowane w językach narodowych, głównie z myślą o mniejszych jednostkach żeglugowych,
- **4209,5 kHz (fale HF)** – częstotliwość używana w regionach tropikalnych, gdzie fale średnie mogą mieć ograniczoną skuteczność odbioru ze względu na specyficzne warunki atmosferyczne i propagacyjne.

Odbiorniki systemu NAVTEX są zaprojektowane tak, aby umożliwiały zaprogramowanie ich do odbioru wyłącznie żądanych komunikatów od wybranych stacji nadawczych. Pozwala to żeglarzom na precyzyjne dostosowanie odbioru informacji do ich potrzeb oraz obszaru żeglugi.

Lista wszystkich stacji nadawczych dla poszczególnych obszarów NAVAREA jest dostępna w publikacji nautycznej **Admiralty List of Radio Signals, vol. 5**. Dokument ten zawiera szczegółowe dane o zasięgu stacji, harmonogramach

nadawania oraz identyfikatorach stacji, co ułatwia efektywne korzystanie z systemu NAVTEX.



Rysunek 17 Mapa wszystkich obszarów NAVAREA.

Źródło: [32]

Automatyczna segregacja wiadomości w systemie NAVTEX jest możliwa dzięki zastosowaniu specjalnego formatu wiadomości, który ułatwia ich klasyfikację i identyfikację. Każda wiadomość NAVTEX składa się z dwóch głównych części [1]: **nagłówka i treści wiadomości.**

Struktura wiadomości NAVTEX składa się z kilku kluczowych elementów, które umożliwiają skuteczne przekazywanie informacji nawigacyjnych i meteorologicznych. Typowa wiadomość NAVTEX zawiera:

- **Nagłówek wiadomości:**
  - Znacznik startu – oznaczenie początku transmisji (ZCZC).
  - Identyfikator stacji nadawczej – pojedyncza litera (A-Z) przypisana do danej stacji NAVTEX.
  - Klasa wiadomości – litera określająca kategorię treści (np. A – ostrzeżenia nawigacyjne, B – prognozy pogody, D – informacje o systemach radionawigacyjnych).



- Numer wiadomości – unikalny numer pozwalający uniknąć odbierania tej samej informacji więcej niż raz.
- **Treść wiadomości:**
  - Zawartość właściwa, np. ostrzeżenia nawigacyjne, prognozy pogody, informacje o zagrożeniach itp.
  - Język wiadomości – standardowo angielski, jednak w niektórych przypadkach mogą być używane języki lokalne.
- Znacznik końca wiadomości
  - Oznaczony jako NNNN, sygnalizuje zakończenie transmisji danej wiadomości.

Dzięki tej strukturze system NAVTEX zapewnia przejrzystość i łatwość filtrowania wiadomości przez odbiorniki, eliminując zbędne duplikaty i umożliwiając skuteczną komunikację na morzu. Taki standardowy format gwarantuje niezawodność i czytelność transmisji oraz umożliwia łatwą automatyzację odbioru i zarządzania wiadomościami.

#### **1.2.8. System nawigacji satelitarnej – GNSS.**

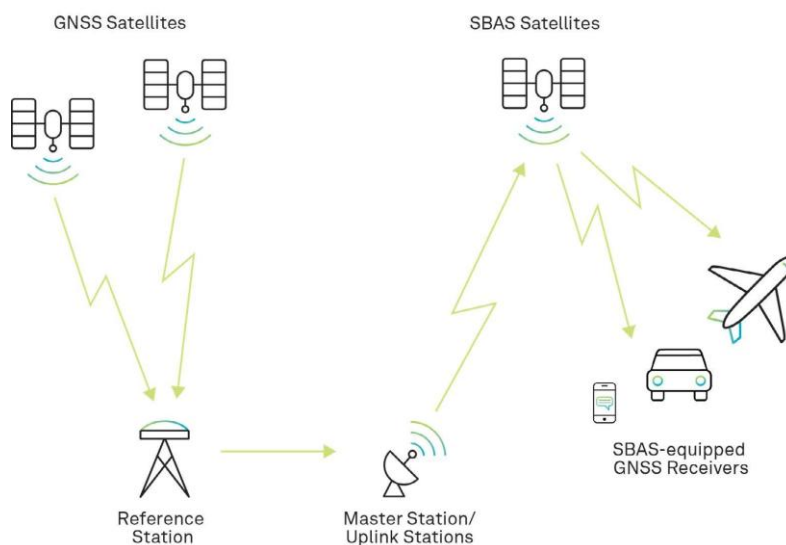
Globalny System Nawigacji Satelitarnej to zbiór satelitarnych systemów umożliwiających precyzyjne określanie położenia obiektów na całym świecie. Działanie GNSS opiera się na pomiarze czasu, jaki sygnał radiowy potrzebuje, aby dotrzeć od satelity do odbiornika, co pozwala na wyznaczenie współrzędnych geograficznych [3].

##### **Segmenty GNSS:**

1. **Segment kosmiczny** – Obejmuje konstelację satelitów rozmieszczonych na orbitach okołoziemskich, które nieustannie nadają sygnały nawigacyjne.
2. **Segment kontrolny** – Składa się z naziemnych stacji monitorujących, które śledzą i kontrolują działanie satelitów. Ośrodek Dowodzenia oraz stacje monitorujące zapewniają aktualizację pozycji satelitów i synchronizację ich zegarów, co jest kluczowe dla dokładności systemu.
3. **Segment użytkownika** – Obejmuje wszystkie odbiorniki GNSS, które odbierają sygnały z satelitów i przetwarzają je w celu określenia dokładnej pozycji, prędkości oraz czasu.

Pozycja wyznaczana na podstawie sygnałów GNSS jest zawsze obciążona różnymi błędami, takimi jak opóźnienia jonosferyczne i troposferyczne, efekt wielotorowości, zakłócenia, a także błędy orbitalne i zegara. Niektóre z tych błędów można zmierzyć i skorygować zarówno w czasie rzeczywistym, jak i po zakończeniu pomiarów, co pozwala zwiększyć ich dokładność. W tym celu opracowano różne systemy wspomagające, które minimalizują wpływ zakłóceń i poprawiają precyzję nawigacji. Można je podzielić na dwie grupy [3]:

- **Satelitarne Systemy Wspomagające** – rozwiązanie transmitujące poprawki dla sygnałów GNSS za pośrednictwem jednego lub kilku satelitów geostacjonarnych, zwykle będących częścią systemów telekomunikacyjnych. Korekty są obliczane na podstawie danych z kilkunastu do kilkudziesięciu stacji pomiarowych, przesyłane do satelity SBAS, a następnie retransmitowane na Ziemię. Niektóre systemy SBAS dodatkowo dostarczają informacji o wiarygodności nawigacji, zwiększając jej precyzję i bezpieczeństwo.



Rysunek 18 Przykładowy schemat działania systemu SBAS.  
Źródło: [33]

- **Naziemne systemy wspomagania satelitarnego** – W porównaniu do SBAS, systemy te mają znacznie mniejszy zasięg, ale oferują większą dokładność pomiarów i większą elastyczność. Działają w trybie rzeczywistym lub postprocessingu – w pierwszym przypadku wykorzystują techniki DGNSS lub bardziej precyzyjne RTK.

Transmisja danych odbywa się za pośrednictwem fal radiowych UHF/VHF, internetu lub sieci GSM.

#### 1.2.9. Nadajnik AIS do lokalizacji w akcjach SAR – AIS-SART.

AIS-SART to samodzielne urządzenie radiowe używane do lokalizowania środków ratunkowych lub jednostek w niebezpieczeństwie poprzez wysyłanie aktualizowanych raportów pozycji za pomocą standardowego systemu Automatycznej Identyfikacji Statków. Pozycja i synchronizacja czasu AIS-SART są uzyskiwane dzięki wbudowanemu odbiornikowi GNSS.

AIS-SART co minutę emituje serię ośmiu identycznych komunikatów z informacją o pozycji: cztery na częstotliwości 161,975 MHz i cztery na 162,025 MHz. Taki układ transmisji zwiększa szanse na odebranie przynajmniej jednego komunikatu, nawet w trudnych warunkach morskich, np. na szczyście fali.

Urządzenie ma zazwyczaj cylindryczny kształt i jaskrawe kolory, co ułatwia jego szybkie zauważenie. Przykładowy model AIS-SART mierzy około 25 cm wysokości i waży 450 g, co czyni go lekkim i poręcznym w użyciu.



Rysunek 19 Nadajnik AIS-SART firmy WeatherDock AG.  
Źródło: [50]

W porównaniu do radarowego SART, który odpowiada na sygnały radarowe statków, generując serię punktów na ekranie radaru wskazujących pozycję rozbitków, AIS-SART wykorzystuje system AIS do przesyłania informacji o pozycji, co pozwala

na dokładniejsze śledzenie i identyfikację jednostki w niebezpieczeństwie. Oba systemy różnią się technologią transmisji i sposobem prezentacji lokalizacji, dostosowują swoje zastosowanie do różnych potrzeb w operacjach ratunkowych [1].

## **2. Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa jako polska jednostka SAR.**

SAR (Search and Rescue) to system poszukiwań i ratownictwa, który ma na celu ochronę życia ludzkiego w sytuacjach zagrożenia na morzu, w powietrzu i na lądzie. SAR obejmuje szeroki zakres działań, takich jak poszukiwanie osób zaginionych, udzielanie pomocy medycznej, transport rannych lub chorych, gaszenie pożarów, holowanie statków, a także reagowanie na wypadki, katastrofy naturalne czy zanieczyszczenia środowiska.

W ramach systemu SAR wykorzystywane są różne technologie, takie jak satelity, radary, systemy komunikacji, a także jednostki ratunkowe, takie jak statki, helikoptery, łodzie, samoloty i zespoły ratownicze. Działania SAR odbywają się na całym świecie, w tym na obszarach morskich, w strefach górskich, w trudnych warunkach atmosferycznych i w innych miejscach, gdzie występuje zagrożenie życia.

Koordinacja operacji SAR jest realizowana przez wyspecjalizowane centra ratownicze, które monitorują sytuację, otrzymują informacje o wypadkach oraz organizują odpowiednie zasoby do przeprowadzenia działań ratunkowych.

Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa to polska państwowa jednostka budżetowa podlegająca ministrowi właściwemu ds. gospodarki morskiej. Powstała 1 stycznia 2002 roku. Jej głównym zadaniem jest niesienie pomocy oraz eliminowanie zagrożeń na obszarze polskiej strefy odpowiedzialności morskiej [34].



Rysunek 20 Krzyż Maltański.  
Źródło: [34]

### **2.1. Obowiązki służby SAR.**

Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa realizuje zadania związane z zapewnieniem bezpieczeństwa na morzu oraz ochroną środowiska morskiego przed

zagrożeniami i zanieczyszczeniami olejowymi i chemicznymi. Do jej kluczowych obowiązków należą:

- utrzymywanie ciągłej gotowości do przyjmowania i analizowania zawiadomień o zagrożeniu życia oraz wystąpieniu zagrożeń i zanieczyszczeń na morzu,
- planowanie, prowadzenie i koordynowanie akcji poszukiwawczych, ratowniczych oraz zwalczania zagrożeń i zanieczyszczeń,
- utrzymywanie w gotowości sił i środków ratownictwa życia oraz zwalczania zagrożeń i zanieczyszczeń na morzu,
- współdziałanie podczas akcji poszukiwawczych, ratowniczych oraz zwalczania zagrożeń i zanieczyszczeń z innymi jednostkami organizacyjnymi,
- współdziałanie z innymi systemami ratowniczymi funkcjonującymi na obszarze kraju,
- współdziałanie z odpowiednimi służbami innych państw, w zakresie realizacji zadań statutowych.

Służba SAR realizuje swoje zadania w oparciu o **"Plan akcji poszukiwawczych i ratowniczych"** oraz **"Krajowy plan zwalczania zagrożeń i zanieczyszczeń środowiska morskiego"**.

Granice obszaru poszukiwania i ratownictwa, w którym Służba SAR działa, oraz zasady współpracy w zakresie ratowania życia i zwalczania zagrożeń oraz zanieczyszczeń na morzu są określone w porozumieniach międzynarodowych zawieranych pomiędzy rządami zainteresowanych państw.

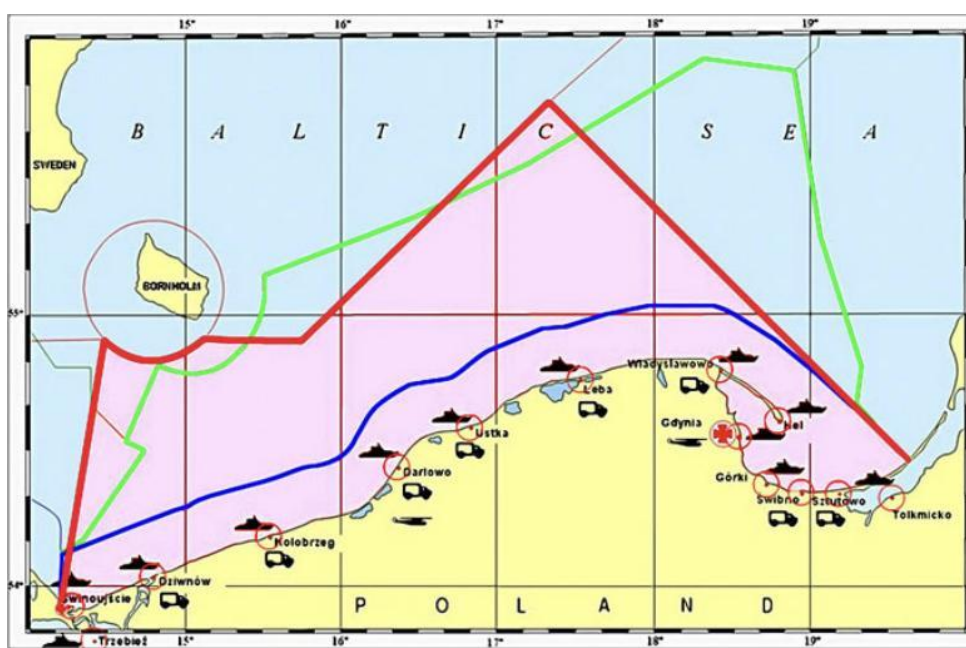
## **2.2. Sposoby działań na morzu.**

Ratowanie życia ludzkiego na morzu obejmuje poszukiwanie i podejmowanie rozbitków, udzielanie pomocy medycznej, transport poszkodowanych na ląd, gaszenie pożarów na statkach oraz holowanie ratunkowe, a także zwalczanie zagrożeń i zanieczyszczeń środowiska morskiego, w tym usuwanie rozlewów ropy i niebezpiecznych substancji chemicznych oraz koordynowanie działań związanych z poszukiwaniem i wydobywaniem zagubionych substancji niebezpiecznych.

### 2.3. Obszar działania polskiego MSPiR.

Obszar działania Służby SAR obejmuje polską strefę odpowiedzialności za poszukiwanie i ratowanie oraz polskie obszary morskie, określone w ustawie o obszarach morskich Rzeczypospolitej Polskiej i Administracji Morskiej. W skład tych obszarów wchodzi:

- Morskie wody wewnętrzne,
- Morze terytorialne,
- Polska wyłączna strefa ekonomiczna na Morzu Bałtyckim.



Rysunek 21 Obszar działania MSPiR.

Źródło: [51]

### 2.4. Nasłuchy radiowe prowadzone przez MSPiR.

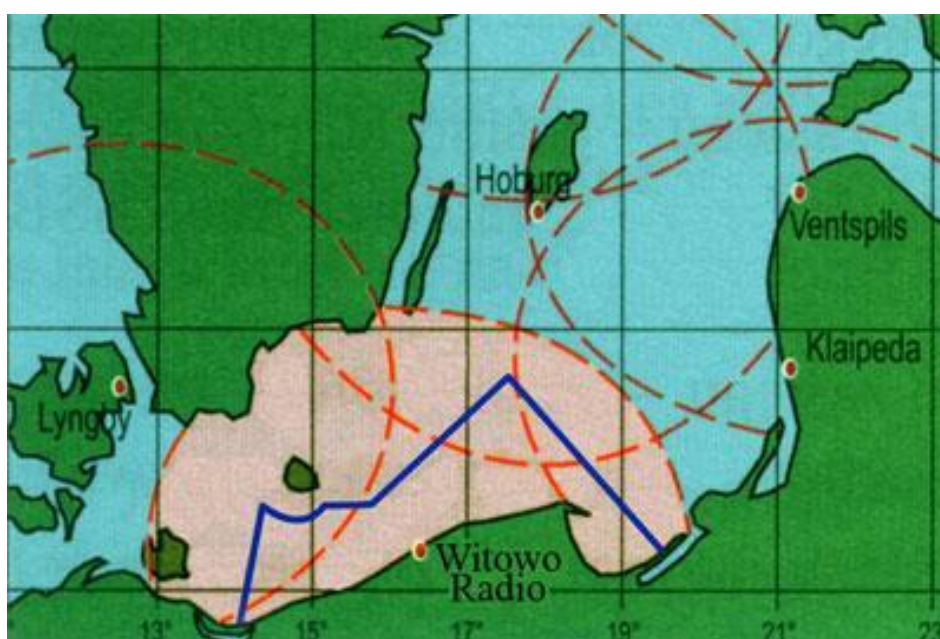
Zgodnie z rozporządzeniem rady ministrów z dnia 3 lipca 2012 r. w sprawie nasłuchu radiowego oraz osłony meteorologicznej na potrzeby Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa, do odbioru sygnałów o niebezpieczeństwie nadawanych z polskich obszarów morskich mają służyć stacje brzegowe działające w następujących pasmach częstotliwości między:

- 156 MHz a 174 MHz,
- 1605 kHz a 4000 kHz.

Stacje nadbrzeżne odpowiedzialne za nasłuch w Światowym Morskim Systemie Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa, zwanym dalej „GMDSS”, utrzymują ciągły, automatyczny nasłuch sygnałów cyfrowego selektywnego wywołania o niebezpieczeństwie na następujących częstotliwościach dla:

- Obszaru morza A1 na kanale 70 VHF na częstotliwości 156,525 MHz,
- Obszaru morza A2 na częstotliwości 2187,5 kHz.

Stacje nadbrzeżne utrzymują również ciągły nasłuch sygnałów radiotelefonicznych na kanale 16 VHF na częstotliwości 156,8 MHz.



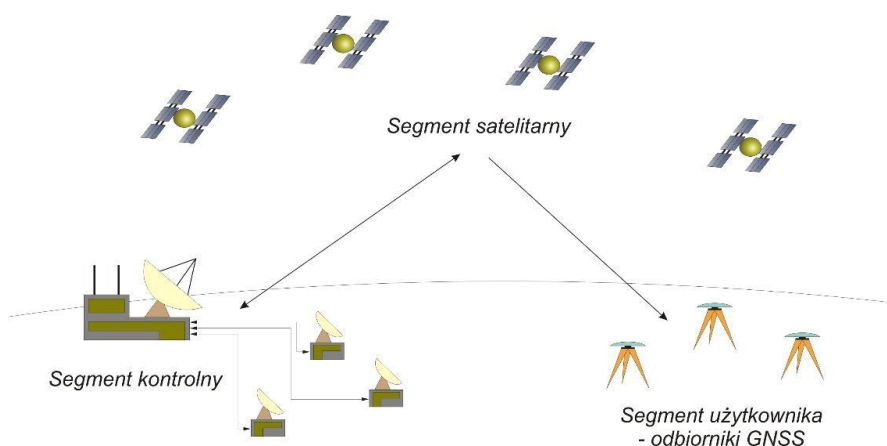
Rysunek 22 Zasięg radiowy stacji Witowo Radio (strefa A2 systemu GMDSS).  
Źródło: [35]



### 3. Ogólnosiwiatowe systemy satelitarne.

Ogólnosiwiatowe systemy satelitarne to zaawansowane sieci satelitów umieszczonych na orbicie Ziemi, które umożliwiają globalną komunikację, nawigację oraz monitorowanie naszej planety. Jednym z najbardziej znanych systemów jest GPS, wykorzystywany do precyzyjnego określania lokalizacji. Oprócz niego istnieją inne systemy nawigacyjne, takie jak europejski Galileo, rosyjski GLONASS czy chiński BeiDou. Systemy satelitarne odgrywają kluczową rolę w telekomunikacji, meteorologii oraz obserwacji Ziemi, przyczyniając się do rozwoju technologii i poprawy jakości życia na całym świecie.

Systemy nawigacji satelitarnej, umożliwiające precyzyjne określenie pozycji na mapie, składają się z trzech segmentów: satelitarnego, naziemnego i użytkownika. Segment satelitarny obejmuje satelity krążące na orbicie, które przesyłają sygnały wykorzystywane do wyznaczania lokalizacji. Zgodnie z obliczeniami matematycznymi, do dokładnego określenia pozycji w dowolnym miejscu na świecie wymagane są sygnały z co najmniej czterech satelitów. Segment naziemny, jak w przypadku systemu GPS, składa się z 12 stacji rozmieszczonych równomiernie wzdłuż równika. Stacje te, zarządzane przez służby wojskowe lub wywiadowcze, odpowiadają za przetwarzanie danych i wykonywanie kluczowych obliczeń związanych z lokalizacją. Ostatni segment to odbiorniki użytkowników, które odbierają i interpretują sygnały satelitarne, umożliwiając określenie położenia na mapie [6].



Rysunek 23 Schemat głównych elementów systemów nawigacyjnych.  
Źródło: [36]

### **3.1. GPS jako Globalny System Pozycjonowania.**

Obecnie system GPS jest w pełni operacyjny i spełnia kryteria ustalone w latach 60. XX wieku dla optymalnego systemu pozycjonowania. System ten dostarcza użytkownikom wyposażonym w odpowiednie odbiorniki dokładne, ciągłe i globalne informacje o położeniu trójwymiarowym oraz prędkości. GPS umożliwia również dystrybucję UTC.

GPS jest systemem podwójnego zastosowania, oferującym odrębne usługi dla użytkowników cywilnych i wojskowych. Są to SPS dla użytkowników cywilnych oraz PPS przeznaczona dla autoryzowanych użytkowników wojskowych i wybranych agencji rządowych USA.

GPS zrewolucjonizował funkcjonowanie świata, szczególnie w zakresie operacji morskich, takich jak nawigacja, poszukiwania i ratownictwo. Zapewnia on najszybszy i najdokładniejszy sposób określania pozycji, pomiaru prędkości oraz wyznaczania kursu, co znacząco zwiększa bezpieczeństwo i efektywność żeglugi na całym świecie.

W nawigacji morskiej kluczowe jest, aby oficer statku znał jego dokładną pozycję zarówno na otwartym morzu, jak i w zatłoczonych portach czy drogach wodnych. Precyzyjne dane dotyczące lokalizacji, prędkości i kursu pozwalają na bezpieczne, ekonomiczne i terminowe dotarcie do celu. Szczególne znaczenie ma to w momencie wypływania z portu lub do niego zawijania, gdy zwiększone zagęszczenie ruchu i liczne przeszkody nawigacyjne utrudniają manewrowanie, zwiększając ryzyko kolizji [3].



Rysunek 24 Satelita GPS III.

Źródło: [37]

System GPS składa się z trzech segmentów: konstelacji satelitów, naziemnej sieci kontroli i monitorowania oraz odbiorników użytkowników. Oficjalne terminy programowe GPS JPO dla tych komponentów to odpowiednio segment kosmiczny, segment kontroli oraz segment użytkownika.

Konstelacja satelitów to zbiór satelitów znajdujących się na orbicie, które dostarczają sygnały pomiarowe i dane nawigacyjne do odbiorników użytkowników. Segment kontroli odpowiada za śledzenie i utrzymanie satelitów w przestrzeni. CS monitoruje stan techniczny satelitów, integralność sygnałów oraz konfigurację orbitalną. Ponadto CS aktualizuje korekty zegarów satelitarnych i efemerydy oraz szereg innych parametrów kluczowych dla określania pozycji, prędkości i czasu użytkownika.

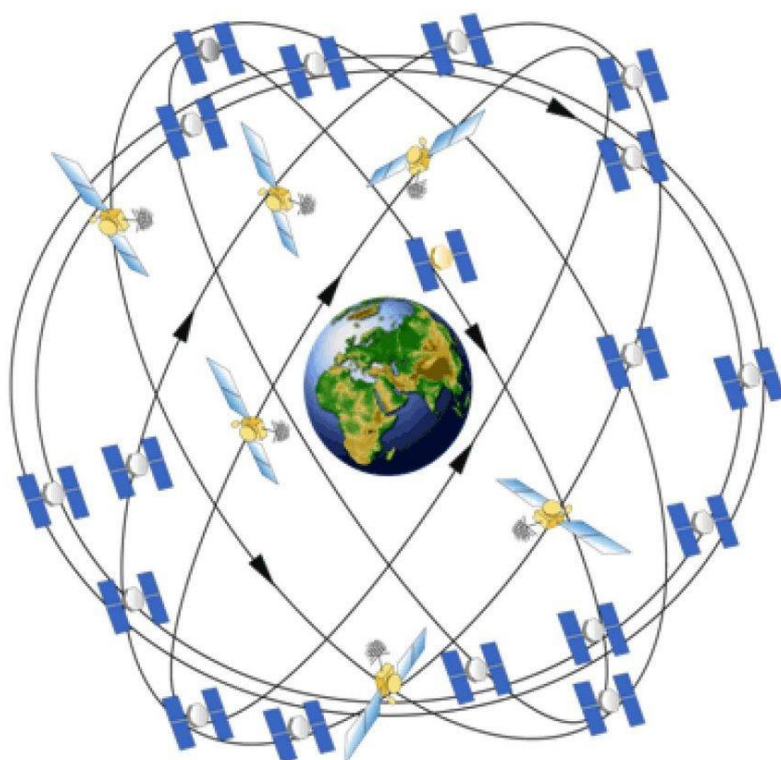
Ostatnim elementem systemu GPS jest segment użytkownika, czyli odbiorniki użytkowników. Te urządzenia odpowiadają za nawigację, synchronizację czasu oraz inne powiązane funkcje, takie jak geodezja i pomiary [6].

### **3.1.1. Segment kosmiczny.**

Podstawowa konfiguracja konstelacji GPS określona przez rząd USA składa się z 24 satelitów. Są one rozmieszczone w sześciu płaszczyznach orbitalnych wokół Ziemi, po cztery satelity w każdej płaszczyźnie. Nominalny okres obiegu satelity GPS wynosi połowę doby gwiazdowej, czyli 11 godzin i 58 minut. Orbity mają kształt

niemal kołowy i są równomiernie rozmieszczone wokół równika w odstępach co  $60^\circ$ , przy nachyleniu względem płaszczyzny równikowej wynoszącym nominalnie  $55^\circ$ .

Promień orbity, czyli odległość satelity od środka masy Ziemi, wynosi około 26 600 km. Taka konfiguracja satelitów umożliwia globalną, całodobową nawigację oraz precyzyjne określanie czasu. Aby zobrazować układ orbit, często przedstawia się je w rzucie płaskim względem konkretnego punktu odniesienia w czasie.



Rysunek 25 Konstelacja satelitów GPS.

Źródło: [38]

Lokalizację płaszczyzn orbitalnych względem Ziemi są określane przez długość geograficzną węzła wstępującego, natomiast położenie satelity w obrębie płaszczyzny orbitalnej jest definiowane przez anomalię średnią. Długość geograficzna węzła wstępującego to punkt przecięcia danej płaszczyzny orbitalnej z płaszczyzną równika. Jako punkt odniesienia przyjmuje się południk Greenwich, gdzie długość węzła wstępującego wynosi zero.

Anomalia średnia określa kątowe położenie satelity na orbicie, przy czym jako punkt odniesienia (wartość zerowa anomalii) przyjmuje się równik Ziemi. Można zaobserwować, że względna faza między większością satelitów na sąsiednich orbitach wynosi około  $40^\circ$  [6].

### **3.1.2. Segment naziemny.**

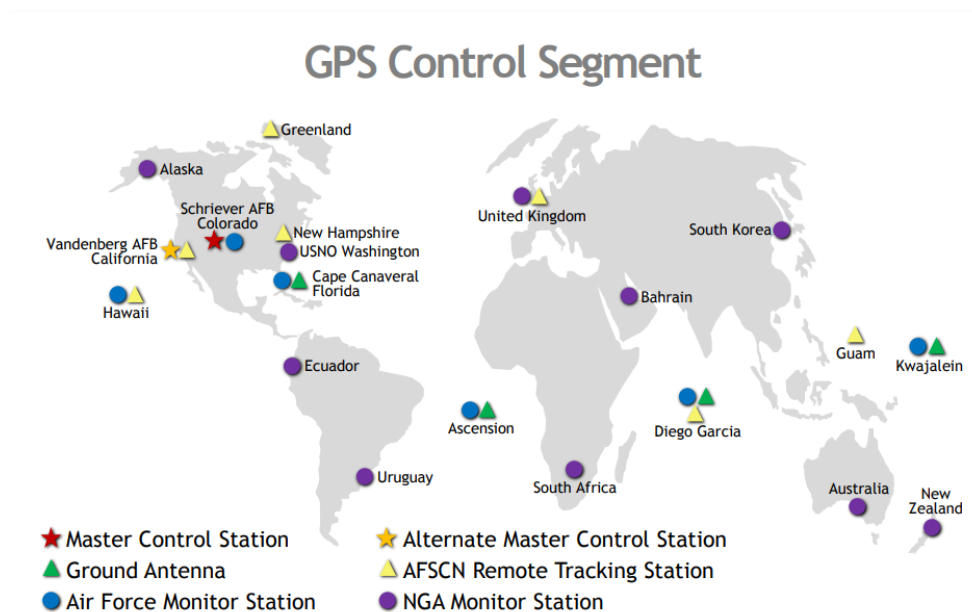
Segment kontrolny jest odpowiedzialny za monitorowanie, sterowanie i zarządzanie konstelacją satelitów GPS. Funkcjonalnie CS nadzoruje sygnały nawigacyjne pasma L na łączu zstępującym, aktualizuje komunikaty nawigacyjne oraz rozwiązuje anomalie satelitarne.

Dodatkowo segment kontrolny monitoruje stan techniczny każdego satelity, zarządza manewrami utrzymania pozycji orbitalnej i ładowania baterii oraz w razie potrzeby, steruje ładunkami satelitarnymi.

Segment naziemny systemu GPS składa się z 12 stacji nadzoru rozmieszczonych równomiernie w pobliżu równika, co umożliwia ciągłą obserwację każdego satelity przez co najmniej dwie stacje przez całą dobę. Jego głównym zadaniem jest utrzymanie sprawności technicznej systemu, zapewniając niezawodność i wysoką dokładność sygnału odbieranego przez użytkowników.

Główna stacja nadzoru znajduje się w bazie sił powietrznych Shriever AFB w Colorado Springs, USA. Pozostałe stacje nadzoru prowadzone przez Siły Powietrzne USA zlokalizowane są na Hawajach, Cape Canaveral, Wyspie Wniebowstąpienia, wyspie Diego Garcia oraz Atolu Kwajalein.

Dodatkowo, sześć stacji zarządzanych przez National Geospatial-Intelligence Agency znajduje się w: Waszyngtonie, Ekwadorze, Argentynie, Londynie, Bahrajnie i Australii. Wszystkie stacje pełnią funkcję monitorowania ruchu satelitów i przesyłania zebranych danych do głównej stacji nadzoru, gdzie obliczane są nowe parametry ich orbit. Prognozowane efemerydy są następnie wysyłane do satelitów co najmniej raz na 48 godzin i przez nie retransmitowane [6].



Rysunek 26 Mapa przedstawiająca rozłożenie segmentu kontrolnego na Ziemi.  
Źródło: [22]

W funkcjonowanie systemu GPS zaangażowane są także inne instytucje wspierające jego działanie, w tym:

- **Centrum Kontroli Satelitów Sił Powietrznych USA – AFSCF** – odpowiedzialne za nadzór nad wszystkimi satelitami USA,
- **Obserwatorium Marynarki Wojennej USA – USNO** — wyznaczające wzorce czasu UTC,
- **Wojskowe Biuro Kartograficzne USA – DMA** – określające dane niezbędne do wyznaczania orbit satelitów,
- **JPL** – zajmujące się obserwacją ciał niebieskich, takich jak Słońce i Księżyc, których wpływ ma znaczenie dla położenia satelitów.

### 3.1.3. Segment użytkownika.

Podobnie jak Internet, GPS stał się kluczowym elementem globalnej infrastruktury informacyjnej. Jego darmowy, otwarty i niezawodny charakter przyczynił się do powstania setek aplikacji, które wpływają na niemal każdy aspekt współczesnego życia. Technologia GPS jest dziś wszechobecna – znajduje się nie tylko w telefonach komórkowych i zegarkach, ale także w buldożerach, kontenerach transportowych czy bankomatach.

Odbiornik GPS, czyli urządzenie odbierające sygnały w paśmie L transmitowane przez satelity, przetwarza je w celu określenia pozycji, prędkości i czasu. Postęp technologiczny w zakresie miniaturyzacji komponentów oraz masowej produkcji przyczynił się do upowszechnienia tanich modułów odbiorników GPS. Obecnie są one wbudowywane w wiele urządzeń codziennego użytku.

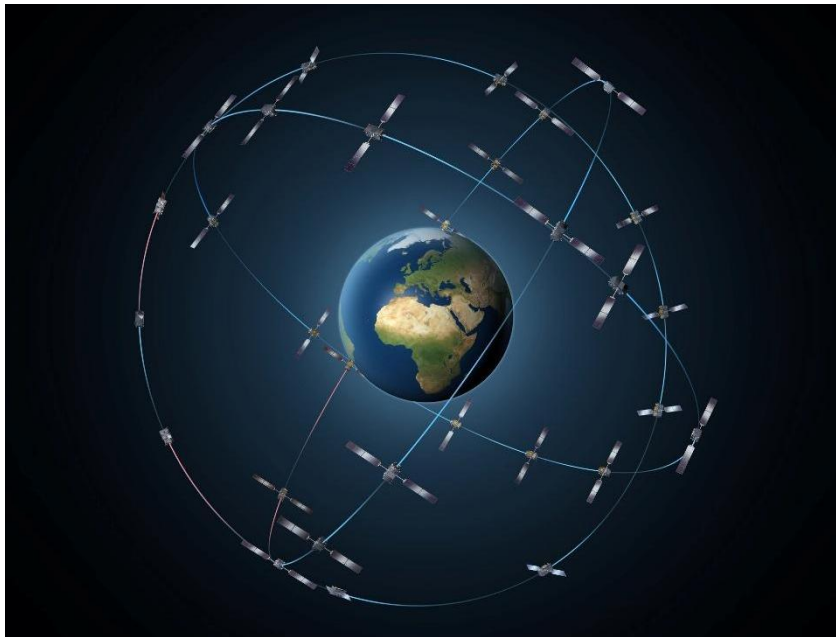
Współczesne odbiorniki przyjmują różne formy, w tym chipy, urządzenia przenośne oraz karty zgodne ze standardem ISA. W szczególności pojawiły się jednoukładowe odbiorniki GPS, które wykorzystują technologie BiCMOS o niskim napięciu oraz zaawansowane zarządzanie energią, spełniając wymagania dotyczące kompaktowych rozmiarów i niskiego zużycia baterii w urządzeniach mobilnych.

Wybór odpowiedniego odbiornika GPS zależy od konkretnej aplikacji użytkownika, np. zastosowań cywilnych lub wojskowych, dynamiki platformy oraz warunków pracy, takich jak wstrząsy i wibracje. Po omówieniu głównych komponentów typowego odbiornika przedstawione zostaną kluczowe kryteria jego wyboru [6].

### **3.2. Galileo – europejski system nawigacji satelitarnej.**

Galileo to europejski system nawigacji satelitarnej, który działa od grudnia 2016 roku. Zapewnia precyzyjne i niezawodne dane dotyczące lokalizacji i czasu, wykorzystywane nie tylko w smartfonach, ale także w sektorach takich jak kolejnictwo, lotnictwo, rolnictwo i żegluga.

System zakłada 30 satelitów orbitujących Ziemię na wysokości 23 000 km. Jego sygnały są dostępne bezpłatnie dla wszystkich urządzeń zdolnych do ich odbioru, w tym smartfonów. Galileo oferuje trzykrotnie większą dokładność niż GPS, osiągając precyzję do jednego metra i wspierając szeroki zakres zastosowań.



Rysunek 27 Konstelacja systemu Galileo.

Źródło: [18]

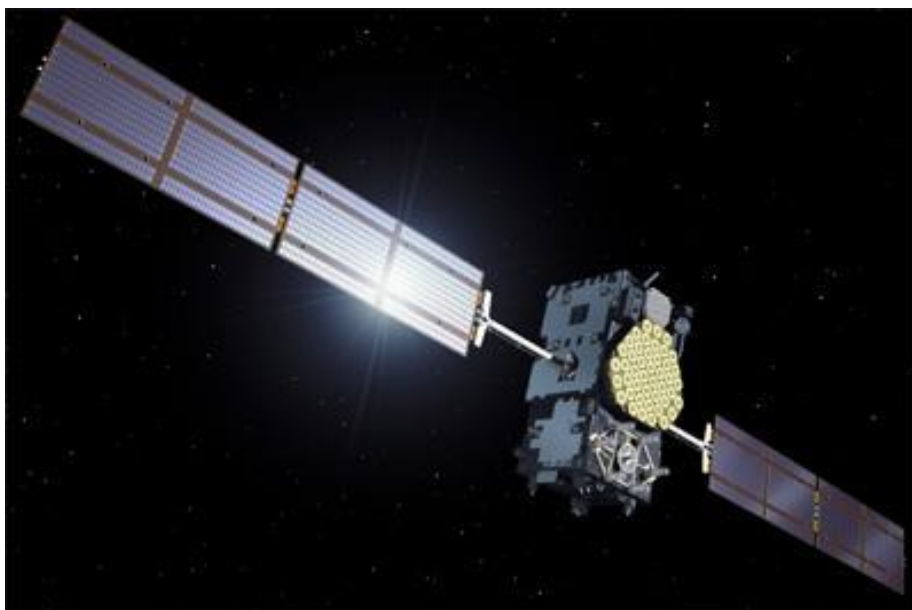
System GALILEO został zaprojektowany tak, aby spełniać różnorodne potrzeby użytkowników. Zidentyfikowano szereg kluczowych usług, które stanowią podstawę jego konstrukcji i definiują jego główne funkcje.

Możliwości systemu pozwalają jednak na realizację znacznie szerszego zakresu usług, wykraczających poza te początkowo określone. Ponadto jego architektura jest elastyczna i skalowalna, co umożliwia dostosowanie do przyszłych potrzeb użytkowników [9].

### **3.2.1. Segment kosmiczny.**

Segment kosmiczny systemu Galileo składa się z konstelacji Walker 24/3/1: 24 satelity na orbicie MEO rozmieszczone w 3 płaszczyznach orbitalnych, z węzłami wznoszącymi oddalonymi o  $120^\circ$  i nachyleniem  $56^\circ$  względem równika. Obecnie na orbitach znajduje się jednak 27 aktywnych satelitów. Konstelację mogą uzupełniać dodatkowe satelity Galileo, zajmujące niestandardowe pozycje orbitalne, które nie są z góry określone.





Rysunek 28 Galileo-IOV.  
Źródło: [43]

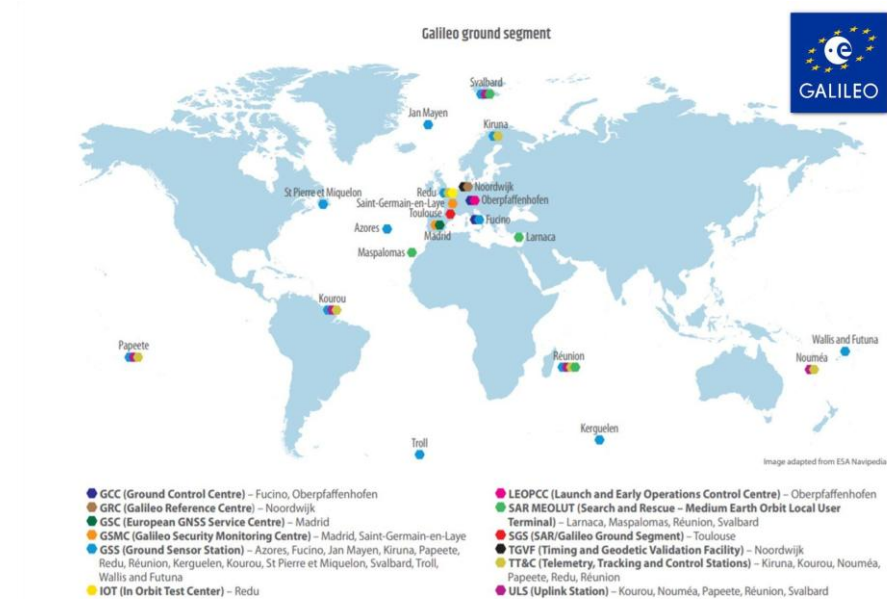
Wysokość orbity Galileo wynosząca 23 222 km została dobrana tak, aby konstelacja powtarzała cykl 10 orbit co 17 dni. Jest to na tyle krótki okres, by zapewnić powtarzalność pomiarów, a jednocześnie wystarczająco długi, by uniknąć rezonansów grawitacyjnych. Dzięki temu, po początkowej optymalizacji orbity, satelity nie będą wymagały manewrów korygujących przez cały okres eksploatacji [6].

### 3.2.2. Segment naziemny.

Segment naziemny GALILEO składa się z dwóch głównych systemów: **GCS** oraz **GMS**. Jego struktura obejmuje [18]:

- Globalną sieć **GSS**, które wykonują jednostronne pomiary odległości, monitorują sygnał satelitów w przestrzeni kosmicznej oraz odpowiadają za wyznaczanie orbit, synchronizację czasu, ocenę integralności systemu i nadzór nad świadczonymi usługami,
- Globalną sieć **stacji TT&C**, które zarządzają kontrolą satelitów i całej konstelacji,
- Globalną sieć **stacji nadawczych ULS**, które przesyłają dane misji w czasie rzeczywistym, w tym informacje nawigacyjne, integralnościowe oraz dotyczące systemu poszukiwań i ratownictwa,
- Wydajną sieć komunikacyjną zapewniającą połączenia między poszczególnymi elementami systemu,

- Dwa **geograficznie redundantne centra kontroli GALILEO GCC** odpowiedzialne za centralne przetwarzanie, monitorowanie i zarządzanie systemem.



Rysunek 29 Mapa stacji naziemnych Galileo.

Źródło: [45]

Kilka wyspecjalizowanych ośrodków uzupełnia podstawową infrastrukturę systemu GALILEO:

**Europejskie Centrum Usług GNSS – GSC** – zlokalizowane w Torrejón w Hiszpanii, stanowi łącznik między społecznością użytkowników Galileo Initial OS, a w przyszłości HAS, a systemem Galileo.

- **Dostawca Usług Referencyjnych Geodezyjnych – GRSP** – odpowiada za przetwarzanie danych wspierających centra kontroli Galileo w realizacji GTRF, zgodnie z Międzynarodowym Układem Odniesienia – ITRF,
- **Dostawca Usług Czasowych – TSP** – wspiera centra GCC w synchronizacji Galileo System Time z czasem UTC,
- **Centrum Monitorowania Bezpieczeństwa Galileo – GSMC** – zlokalizowane w St. Germain-en-Laye i Madrycie, odpowiada za nadzór nad bezpieczeństwem systemu,
- **Dostawca Usług SAR/Galileo – SGDSP** – zlokalizowany w Tuluzie we Francji, koordynuje operacje związane z usługą SAR/Galileo. W

ramach centrum SAR/Galileo działa również ośrodek koordynacji śledzenia MEOLUT,

- **Centrum Referencyjne Galileo – GRC** – znajdujące się w Noordwijk w Holandii, zajmuje się monitorowaniem i oceną wydajności usług Galileo. Jest niezależne od głównej infrastruktury i jej operacji.

**GCS** – odpowiada za zarządzanie i kontrolę konstelacji satelitów Galileo. Obejmuje nadzorowanie satelitów i ich ładunków użytkowych, planowanie oraz automatyzację operacji, zapewniając ich bezpieczne i prawidłowe funkcjonowanie. Obsługuje również operacje ładunków użytkowych za pomocą łączy TT&C. GCS pełni funkcje telemetryczne, telekomendowe i kontrolne dla całej konstelacji, a jego elementy funkcjonalne są rozmieszczone w GCC oraz sześciu globalnie rozmieszczonych stacjach TT&C.

Aby skutecznie zarządzać systemem, GCS wykorzystuje stacje TT&C do komunikacji z każdym satelitą, realizując regularne, zaplanowane kontakty, długoterminowe testy oraz komunikację awaryjną.

**GMS** – składa się z infrastruktury rozmieszczonej w dwóch Centrach Kontroli Galileo oraz sieci naziemnych stacji nadawczych ULS i stacji GSS, zlokalizowanych na całym świecie.

GMS odpowiada za określanie oraz przesyłanie danych nawigacyjnych niezbędnych do zapewnienia precyzyjnych informacji o pozycjonowaniu i czasie. W tym celu wykorzystuje globalną sieć stacji sensorowych GSS, które nieprzerwanie monitorują sygnały nawigacyjne wszystkich satelitów. Dane są przesyłane przez rozbudowaną sieć komunikacyjną, korzystającą zarówno z komercyjnych satelitów, jak i połączeń kablowych, przy czym każde łącze jest zdublowane w celu zapewnienia redundancji.

Komunikacja z satelitami Galileo odbywa się za pośrednictwem globalnej sieci stacji nadawczych ULS, rozmieszczonych w pięciu lokalizacjach. Każda z nich jest wyposażona w kilka anten o średnicy 3 metrów, pracujących w paśmie 5 GHz, przeznaczonym dla satelitarnych systemów radionawigacyjnych.

### 3.2.3. Segment użytkownika.

GALILEO będzie oferować użytkownikom na całym świecie różne poziomy usługi. Planowanych jest pięć głównych usług [6]:

- **Serwis otwarty – OS** – dostępna bezpłatnie dla wszystkich użytkowników,
- **Serwis komercyjny – CS** – zapewniająca wysoką precyzję pozycjonowania oraz dodatkowe, wartościowe dane,
- **Serwis bezpieczeństwa życia – SoL** – przeznaczona dla użytkowników wymagających niezawodności w sytuacjach krytycznych,
- **Serwis regulowany publicznie – PRS** – dostępna wyłącznie dla uprawnionych instytucji rządowych, oferująca zwiększoną odporność na zakłócenia i zagłuszanie,
- **Serwis poszukiwania i ratowania – SAR** – wspomagające działania w zakresie ratownictwa i lokalizacji zagrożonych osób.

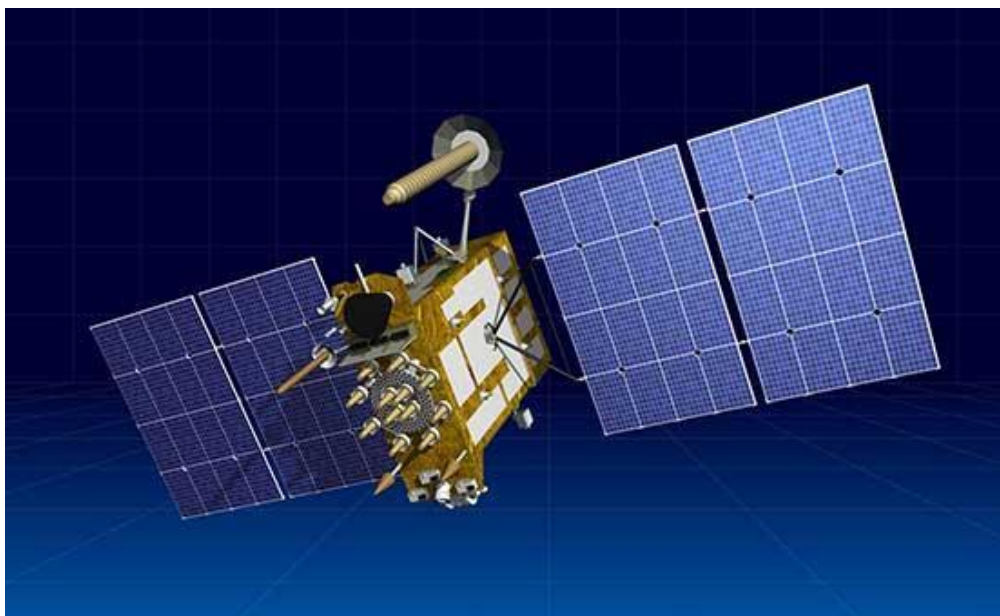
Usługi SAR systemu GALILEO zapewnią ulepszone funkcjonalności i znaczące usprawnienia, obejmujące:

- Skrócenie czasu wykrywania, lokalizacji i potwierdzania sygnału alarmowego,
- Rozszerzoną wiadomość alarmową zawierającą dodatkowe informacje wspomagające operacje ratunkowe,
- Pokrycie sygnałem wielu satelitów jednocześnie, eliminujące problem przesłonięcia terenu w trudnych warunkach,
- Zwiększoną dostępność segmentu satelitarnego SAR,
- Nową usługę zwrotnego łącza komunikacyjnego RLS umożliwiającą wysyłanie potwierdzenia z centrum ratunkowego RCC do sygnalizatora alarmowego,
- Łącze do transmisji w przód za pośrednictwem dedykowanego ładunku SAR, wykorzystującego specjalne anteny nadawczo-odbiorcze,
- Integrację zwrotnego łącza komunikacyjnego z wiadomościami nawigacyjnymi w paśmie L1 (do sześciu wiadomości na minutę), przesyłanymi przez naziemny segment systemu GALILEO.

### 3.3. GLONASS - rosyjski globalny system nawigacji satelitarnej.

GLONASS to rosyjski odpowiednik amerykańskiego systemu GPS. Podobnie jak GPS, Rosjanie zaprojektowali GLONASS, aby dostarczać informacje o PVT użytkownikom cywilnym i wojskowym posiadającym odpowiedni sprzęt.

Zaprojektowana konstelacja GLONASS składa się z 21 satelitów plus 3 zapasowe. Segment wsparcia naziemnego obejmuje szereg stacji rozmieszczonych w całej Rosji, które kontrolują, śledzą i przesyłają dane, takie jak efemerydy, informacje o czasie i inne dane do satelitów. Każdy satelita przesyła obecnie dwa sygnały na pasmach L. Rosjanie opracowują różnorodny sprzęt użytkowy zarówno do zastosowań cywilnych, jak i wojskowych. Inne podmioty spoza Rosji również opracowują sprzęt cywilny do obsługi systemu GLONASS [6].



Rysunek 30 Satelita GLONASS-K.

Źródło: [21]

Poziom udoskonalenia możliwości GLONASS jest determinowany przez szereg kierunków rozwoju, z których najważniejsze są następujące:

1. Rozwój struktury konstelacji orbitalnej GLONASS.
2. Przejście na wykorzystanie satelitów nawigacyjnych nowej generacji „GLONASS-K” o rozszerzonych możliwościach.
3. Rozwój segmentu kontroli naziemnej GLONASS, w tym ulepszenie orbity i segmentu zegara GLONASS.
4. Projektowanie i rozwój rozszerzeń:

- System korekcji różnicowej i monitoringu,
- Globalny system precyzyjnego określania nawigacji, orbity i informacji o zegarze w czasie rzeczywistym dla użytkowników cywilnych.

Rozwój systemu GLONASS na rzecz rosnących wymagań użytkowników i konkurencyjności systemu jest w większości determinowany przez możliwości segmentu kosmicznego GLONASS [8].

### 3.3.1. Segment kosmiczny.

Konstelacja GLONASS składa się z 21 aktywnych satelitów oraz 3 aktywnych satelitów rezerwowych znajdujących się na orbicie. Wszystkie 24 satelity są rozmieszczone równomiernie w trzech płaszczyznach orbitalnych, oddalonych od siebie o  $120^\circ$  w rektascensji.



Rysunek 31 Mapa rozmieszczenia satelitów GLONASS na orbitach ziemskich.  
Źródło: [47]

Konstelacja złożona z 21 satelitów zapewnia ciągłą widoczność co najmniej 4 satelitów nad 97% powierzchni Ziemi. Natomiast pełna konstelacja 24 satelitów umożliwia jednoczesną obserwację co najmniej 5 satelitów nad ponad 99% powierzchni planety. W ramach systemu 21 aktywnych satelitów wydajność całej konstelacji (24 satelitów) jest monitorowana przez kontrolerów GLONASS, którzy

wybierają najlepsze 21 jednostek do aktywacji. Pozostałe trzy są utrzymywane w rezerwie jako zapasowe. Okresowo przeprowadzana jest ponowna ocena układu, a jeśli zajdzie taka potrzeba, zestaw 21 najlepszych satelitów jest redefiniowany.

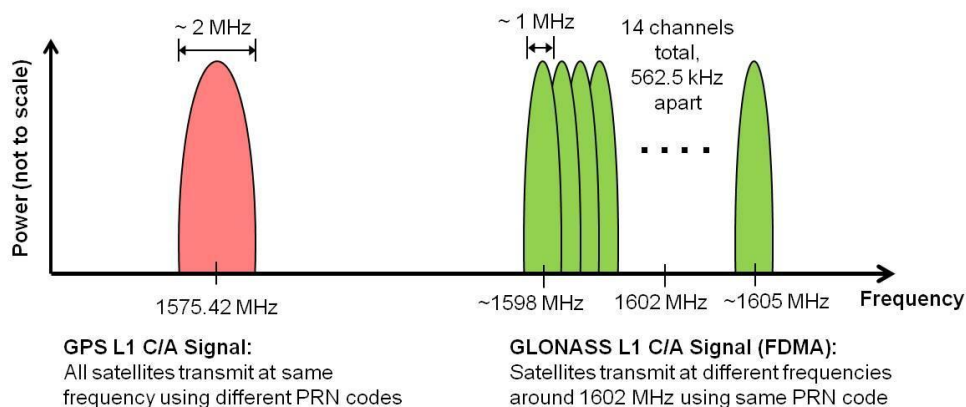
Po ustaleniu stałej konfiguracji 21 operacyjnych oraz 3 rezerwowych satelitów awaria pojedynczego satelity nie obniży prawdopodobieństwa poprawnego określenia pozycji poniżej 94,7%.

Każdy satelita GLONASS znajduje się na orbicie kołowej o wysokości 19 100 km względem powierzchni Ziemi i nachyleniu  $64,8^\circ$ . Okres obiegu wynosi 11 godzin i 15 minut. Aktualna konfiguracja orbitalna oraz ogólny projekt systemu zapewniają użytkownikom nawigację na wysokościach do 2000 km nad powierzchnią Ziemi [21].

W przeciwieństwie do systemu GPS, w którym każdy satelita transmituje unikalną parę kodów PRN-C/A oraz P(Y) na tej samej częstotliwości w formacie CDMA, każdy satelita GLONASS nadaje tę samą parę kodów PRN na innej częstotliwości. Ten proces, znany jako FDMA, jest podobny do metody stosowanej w komercyjnych stacjach radiowych i telewizyjnych. Odbiornik GLONASS „dostraja się” do konkretnego satelity w taki sam sposób, w jaki użytkownik dostraja radio do wybranej stacji, regulując częstotliwość przypisaną do danego satelity.

Wybór FDMA zamiast CDMA był świadomym kompromisem projektowym. FDMA ma pewne zalety w zakresie odporności na zakłócenia. Źródło zakłóceń wąskopasmowych, które zakłóciłoby tylko jeden sygnał FDMA, mogłoby jednocześnie zakłócić wszystkie sygnały CDMA. Dodatkowo FDMA eliminuje konieczność uwzględniania wpływu interferencji między wieloma kodami sygnałowymi (tzw. zakłócenia krzyżowe). Dzięki temu system GLONASS oferuje lepszą odporność na zakłócenia bazujące na częstotliwościach niż GPS i posiada bardziej uproszczone kryteria doboru kodów [6].





Rysunek 32 Wykres przedstawiający różnice między sygnałem systemu GPS, a GLONASS.

Źródło: [21]

Każdy satelita GLONASS transmituje sygnały na dwóch oddzielnych częstotliwościach nośnych w paśmie L. Każda z tych częstotliwości jest modulowana przez sumę modulo-2 jednej z dwóch sekwencji kodów PRN o częstotliwości 511 kHz lub 5,11 MHz oraz sygnału danych o szybkości 50 bps. Ten sygnał danych zawiera ramki nawigacyjne i jest określany jako wiadomość nawigacyjna.

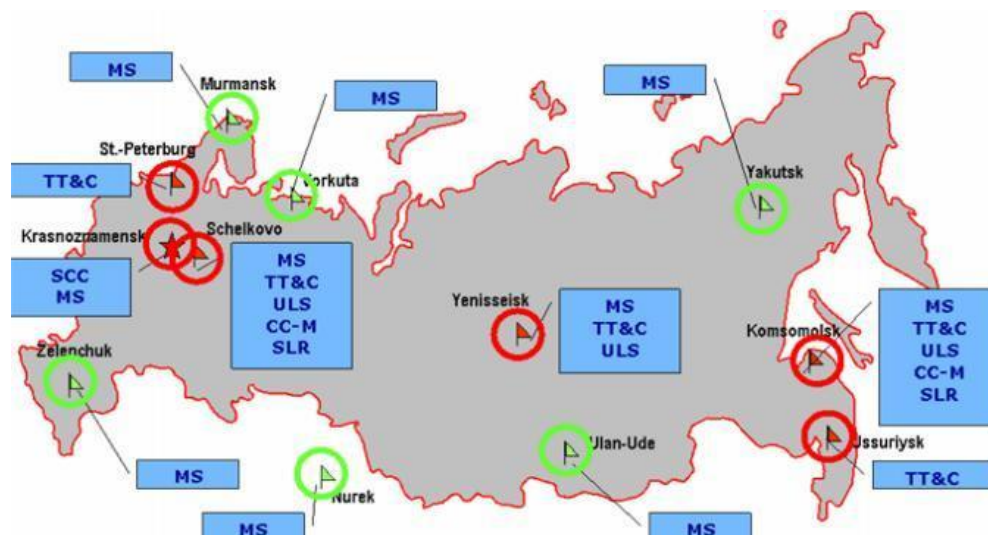
### 3.3.2. Segment naziemny.

Segment naziemny GLONASS, znany także jako Segment Kontrolny lub Operacyjny System Kontroli, odpowiada za prawidłowe funkcjonowanie systemu GLONASS. Podobnie jak w przypadku GPS, segment kontrolny GLONASS monitoruje stan satelitów, wyznacza ich efemerydy oraz poprawki zegarów satelitarnych, a także dwa razy dziennie przesyła dane nawigacyjne do satelitów [46].

Naziemny kompleks kontrolny (GBCC) odpowiada za następujące funkcje:

- Pomiar i przewidywanie efemeryd poszczególnych satelitów,
- Przesyłanie przewidywanych efemeryd, poprawek zegarowych oraz informacji almanachowych do każdego satelity GLONASS w celu ich późniejszego uwzględnienia w wiadomości nawigacyjnej,
- Synchronizację zegarów satelitarnych z czasem systemu GLONASS,
- Obliczanie różnicy między czasem systemu GLONASS a UTC,
- Wydawanie poleceń, kontrolę, obsługę techniczną oraz śledzenie statków kosmicznych.





Rysunek 33 Mapa przedstawiająca segment naziemny systemu GLONASS.  
Źródło: [46]

Segment naziemny systemu GLONASS składa się z kluczowych elementów, które wspólnie zapewniają jego prawidłowe funkcjonowanie i zarządzanie. Do głównych komponentów należą:

- Główne Centrum Kontroli Systemu,
- Sieć pięciu centrów TT&C,
- Główny zegar systemowy,
- Trzy stacje przesyłu danych,
- Dwie stacje laserowego pomiaru odległości,
- Sieć czterech stacji monitorowania i pomiarów,
- Sześć dodatkowych stacji monitorowania i pomiarów.

Współdziałanie tych elementów zapewnia precyzyjne funkcjonowanie systemu, bieżącą aktualizację danych oraz korekcję ewentualnych błędów w transmisji sygnałów nawigacyjnych.

Centralny synchronizator odpowiada za generowanie czasu systemowego GLONASS. Jego sygnały są przekazywane do systemu kontroli fazy (PCS), który monitoruje czas i fazę zegarów satelitarnych na podstawie sygnałów nawigacyjnych.

PCS określa odchyłki czasu i fazy satelitów poprzez pomiar odległości technikami radarowymi (dokładność 3–4 m) oraz porównanie sygnałów nawigacyjnych z naziemnym wzorcem o wysokiej stabilności. Różnica tych pomiarów

pozwała na korekcję zegara satelitarne, która jest przesyłana przez stację naziemną. Analiza błędów odbywa się co najmniej raz dziennie.

Stacje dowodzenia i śledzenia (CTS) monitorują trajektorie poszczególnych satelitów oraz przesyłają do nich dane sterujące i nawigacyjne.

- **Śledzenie trajektorii** odbywa się co 10–14 orbit i obejmuje 3–5 sesji pomiarowych, trwających od 10 do 15 minut każda,
- **Pomiar odległości do satelity** realizowany jest za pomocą technik radarowych, z maksymalnym błędem od 2 do 3 metrów,
- **Efemerydy** są przewidywane z 24-godzinnym wyprzedzeniem i aktualizowane raz dziennie, natomiast parametry korekcji zegara satelitarne odnawiane są dwa razy dziennie.

Błędy zegara satelitarne mogą powodować błąd pomiaru pseudoodległości na poziomie 5–6 metrów. Zakłócenia w pracy segmentu naziemnego wpływają na dokładność sygnałów GLONASS. Testy wykazały, że zegary pokładowe satelitów mogą utrzymać akceptowalną dokładność ( $1 \text{ na } 5 \times 10^{13}$ ) maksymalnie przez 2–3 dni autonomicznej pracy, mimo że centralny procesor satelity jest zdolny do pracy autonomicznej przez 30 dni. Ograniczona stabilność zegara pozostaje kluczowym czynnikiem wpływającym na autonomiczne działanie systemu GLONASS [6].

Wysoka precyzja pomiarów laserowych stacji pomiarów odległości umożliwia wykorzystanie ich jako jedyne źródła danych kalibracyjnych do wyznaczania efemeryd GLONASS, co pozwala na rozwiązanie następujących problemów:

- Szacowanie dokładności i kalibracja radiowych metod pomiaru orbit satelitów GLONASS,
- Współrzędne stacji SLR stanowią geodezyjną bazę odniesienia dla układu współrzędnych GLONASS,
- Dane SLR są wykorzystywane do zapewnienia deklarowanej precyzji efemeryd.

### 3.3.3. Segment użytkownika.

Rosyjski segment użytkowników systemu GLONASS jest niewielki i skoncentrowany głównie w Rosji. Przemysł rosyjski opracował wiele różnych typów urządzeń użytkowych obsługujących GLONASS oraz GPS-GLONASS, które są dostępne na rosyjskich platformach internetowych.

Jednak od połowy lat 90. rosyjska prasa wielokrotnie zwracała uwagę na brak rozwoju segmentu użytkowników GLONASS, co przejawia się niewielką liczbą odbiorców. Poza Rosją produkowanych jest jedynie kilka rodzajów urządzeń GPS-GLONASS, głównie do precyzyjnych zastosowań geodezyjnych. Według prognoz liczba cywilnych użytkowników GLONASS ma wzrosnąć, ale poza Rosją pozostanie znacznie mniejsza niż w przypadku GPS.

GLONASS odgrywa kluczową rolę w systemie COSPAS-SARSAT, który jest międzynarodowym systemem satelitarnym wykorzystywanym do wykrywania i lokalizowania sygnałów alarmowych nadawanych przez radioboje ratunkowe [8].

### **3.4. BeiDou – chiński satelitarny system nawigacyjny.**

System Nawigacji Satelitarnej BeiDou został opracowany i rozwijany zgodnie ze strategią „trzech etapów”.

Budowa BDS-1 rozpoczęła się w 1994 roku, a system został uruchomiony w 2000 roku. Wykorzystywał on aktywny schemat pozycjonowania, zapewniając użytkownikom w Chinach usługi lokalizacji, synchronizacji czasu, szerokopasmowej korekcji różnicowej oraz komunikacji krótkich wiadomości.

Prace nad BDS-2 rozpoczęto w 2004 roku, a system wszedł do użytku w 2012 roku. Oprócz zachowania kompatybilności technicznej z BDS-1, BDS-2 wprowadził pasywny schemat pozycjonowania, umożliwiając użytkownikom w regionie Azji i Pacyfiku korzystanie z usług pozycjonowania, pomiaru prędkości, synchronizacji czasu oraz komunikacji krótkich wiadomości.

Budowę BDS-3 rozpoczęto w 2009 roku, a jej pełne ukończenie nastąpiło w 2020 roku. Znacząco poprawiono wydajność usług i rozszerzono ich funkcjonalność. System oferuje globalnym użytkownikom usługi pozycjonowania, nawigacji, synchronizacji czasu, globalnej komunikacji krótkich wiadomości oraz międzynarodowych operacji poszukiwawczo-ratowniczych. Ponadto, dla użytkowników w Chinach i sąsiednich regionach BDS-3 zapewnia usługi wspomagania satelitarnego i naziemnego, precyzyjnego pozycjonowania punktowego oraz regionalnej komunikacji krótkich wiadomości [6].



Rysunek 34 Logo BeiDou.

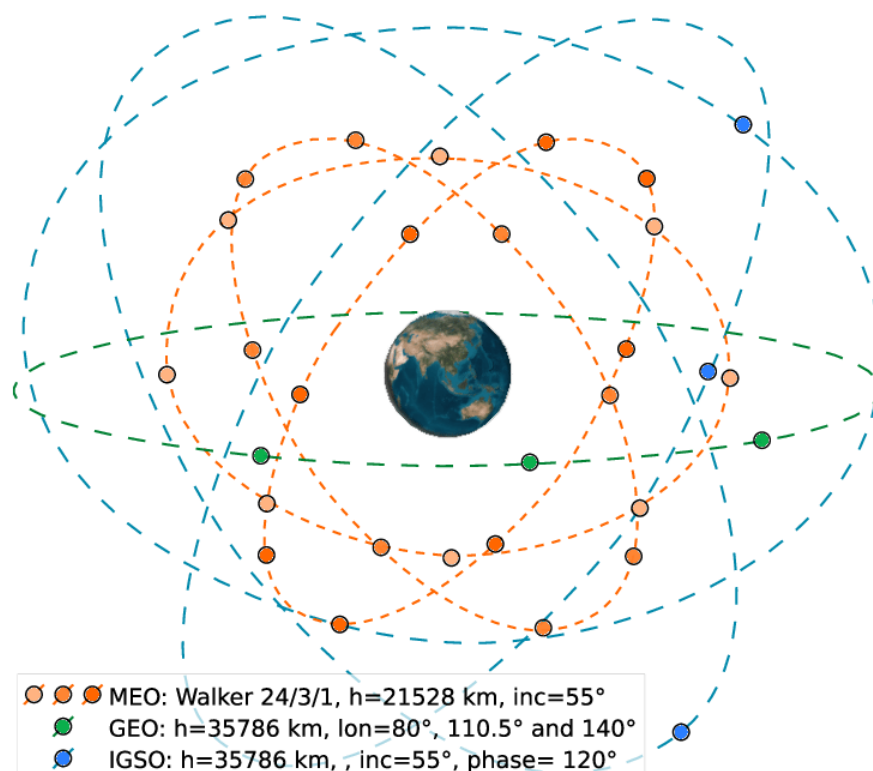
Źródło: [7]

#### 3.4.1. Segment kosmiczny.

Nominalna konstelacja BDS-3 składa się z 3 satelitów GEO, 3 satelitów IGSO oraz 24 satelitów MEO.

- **Satelite GEO** – operują na orbitach o wysokości 35 786 km i znajdują się na długościach geograficznych 80°E, 110,5°E i 140°E,
- **Satelite IGSO** – znajdują się na orbitach o wysokości 35 786 km, a ich płaszczyzny orbitalne są nachylone pod kątem 55° względem równika,
- **Satelite MEO** – operują na wysokości 21 528 km, z nachyleniem płaszczyzn orbitalnych 55° względem równika i są rozmieszczone w konstelacji Walker 24/3/1.

Dodatkowe satelity rezerwowe na orbicie będą rozmieszczane w razie potrzeby [7].



Rysunek 35 Konstelacja satelitów systemu BeiDou.

Źródło: [52]

Usługa odnosi się do satelitarnej usługi radionawigacyjnej, która wykorzystuje otwarte sygnały B1C, B2a, B2b, B1I i B3I nadawane przez system BDS do określania pozycji, prędkości i czasu użytkownika.

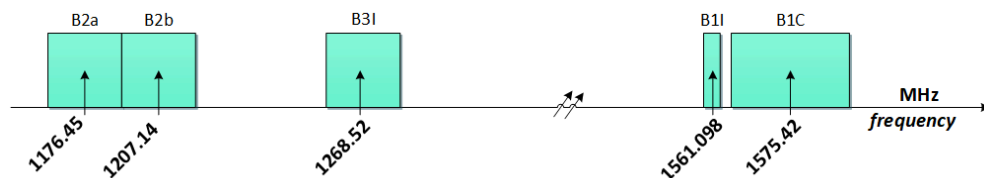
Główne standardy usług obejmują:

- **Dokładność sygnału SIS,**
- **Integralność, ciągłość i dostępność sygnału,**
- **Dokładność PNT,**
- **Dostępność usługi.**

Obecnie usługi RNSS są wspólnie świadczone przez konstelacje BDS-2 i BDS3.

BDS-2 Udostępnia trzy sygnały publiczne B1I, B2I i B3I w trzech pasmach częstotliwości: B1 (1561,098 MHz), B2 (1207,140 MHz) i B3 (1268,520 MHz).

BDS-3 - Udostępnia pięć sygnałów publicznych B1I (1561,098 MHz), B1C (1575,420 MHz), B2a (1176,450 MHz), B2b (1207,140 MHz) i B3I (1268,520 MHz) w trzech pasmach częstotliwości: B1, B2 i B3. Środkowe częstotliwości wynoszą:



Rysunek 36 Wykres przedstawiający zakres częstotliwości systemu BeiDou.

Źródło: [39]

### 3.4.2. Segment naziemny.

Segment naziemnej kontroli odpowiada za operacje i zarządzanie systemem BDS. Składa się on głównie z głównej stacji kontrolnej, stacji synchronizacji czasu i wysyłania danych oraz stacji monitorujących [7].

**Główna stacja kontrolna – MCS** – Pełni rolę centrum operacyjnego i zarządzania systemem BDS. Do jej głównych zadań należą:

- zbieranie danych obserwacyjnych sygnałów NAV ze stacji TS/US i MS, przetwarzanie tych danych oraz generowanie i wysyłanie komunikatów nawigacyjnych do satelitów,
- planowanie misji, harmonogramowanie oraz zarządzanie operacjami systemu,
- obserwacja i obliczanie błędów zegarów satelitarnych,
- monitorowanie ładunków satelitarnych i analiza ewentualnych anomalii.

**Stacje synchronizacji czasu i wysyłania danych – TS/US** – Ich głównym zadaniem jest pomiar błędów zegarów satelitarnych oraz wysyłanie komunikatów nawigacyjnych do satelitów.

**Stacje monitorujące – MS** – Odpowiadają za ciągłe monitorowanie sygnałów nawigacyjnych satelitów i dostarczanie danych w czasie rzeczywistym do głównej stacji kontrolnej.

Dodatkowo system obsługuje usługę komunikacji krótkich wiadomości, umożliwiającą wymianę wiadomości między stacją a użytkownikami. Obecnie segment naziemny obejmuje jedną stację MCS, dwie stacje US oraz 30 stacji MS.

### 3.4.3. Segment użytkownika.

Chińczycy opracowują i promują przenośne, mobilne i zintegrowane zestawy użytkownika zarówno do zastosowań wojskowych, jak i cywilnych. Początkowo wydano zestaw norm branżowych obejmujących 11 typów zestawów użytkownika, podzielonych na pięć klas:

- **Klasa mobilna ogólna** – do pozycjonowania, komunikacji i zarządzania flotą,
- **Klasa komunikacyjna** – przeznaczona do przesyłania wiadomości tekstowych,
- **Klasa synchronizacji czasu** – do jednokierunkowego i dwukierunkowego transferu czasu,
- **Klasa zarządzania flotą** – dla systemów zarządzania flotą o małej skali, które nie wymagają połączenia z siecią WAN,
- **Klasa multimodalna** – łącząca system BeiDou z GPS i GLONASS.
- Obecnie wiele firm oferuje różne typy urządzeń użytkownika na rynku.

Terminale użytkownika systemu BeiDou mogą być wykorzystywane w różnych dziedzinach – cywilnych, wojskowych i naukowych. Przykłady zastosowań obejmują:

- **Rybolówstwo** – zapewnienie bezpieczeństwa rybaków, ochrona zasobów oceanicznych i gospodarczych oraz suwerenności terytorialnej. Do tej pory zgłoszono 14 000 użytkowników systemu BeiDou, a ponad 500 jednostek ratowniczych i systemów alarmowych na wybrzeżu zostało wyposażonych w terminale BeiDou.
- **Zapobieganie i łagodzenie skutków katastrof** – poprawa reakcji ratowniczych i procesu podejmowania decyzji dzięki szybkim i precyzyjnym alertom. System wspiera akcje ratunkowe poprzez zarządzanie operacjami i szybkie przesyłanie informacji.
- **Synchronizacja czasu** – urządzenia wielosystemowe BeiDou/GPS zapewniają dokładność synchronizacji lepszą niż 100 ns.

- **Inne zastosowania**, takie jak transport, zarządzanie wodą, meteorologia, zapobieganie pożarom lasów, monitorowanie gleby i bezpieczeństwo w kopalniach węgla.

System BDS zapewnia międzynarodowe usługi poszukiwania i ratownictwa z funkcją zwrotnego łącza, wykorzystując sygnał o częstotliwości 406 MHz, zgodny ze standardem COSPAS-SARSAT, oraz sygnał BDS B2b. Razem z innymi systemami poszukiwania i ratownictwa działającymi na średniej orbicie, BDS tworzy globalny system satelitarny, który umożliwia użytkownikom na całym świecie otrzymywanie ostrzeżeń o zagrożeniu oraz potwierdzeń alarmów dzięki funkcji zwrotnego łącza.

Usługa SAR jest realizowana przez sześć satelitów MEO, wyposażonych w ładunki poszukiwawczo-ratownicze, w ramach konstelacji BDS-3. Usługa MEOSAR korzysta z systemu współrzędnych WGS-84, zgodnie z odpowiednimi standardami COSPAS-SARSAT. Przesunięcie między systemem WGS-84 a BDCS jest znacznie mniejsze niż dopuszczalny błąd w ramach usługi SAR.

Usługa ta jest dostępna dla wszystkich użytkowników na powierzchni Ziemi oraz w obszarach bliskich Ziemi, sięgających do 50 km nad powierzchnią, pod warunkiem, że prędkość ruchu nadajnika ratunkowego nie przekracza 1 Macha [7].



Tabela 4 Standardy wydajności usługi SAR systemu BDS.

<b>Charakterystyka wydajności</b>	<b>Standard wydajności</b>	<b>Ograniczenia</b>
<b>Dokładność pozycjonowania</b>	$\leq 5 \text{ km}$	Może być używany wspólnie z innymi systemami MEOSAR; terminal użytkownika zgodny ze standardem C/S T.001 lub C/S T.018.
<b>Prawdopodobieństwo wykrycia</b>	$\geq 99\%$	MEOLUT zgodny ze standardem C/S T.019 „COSPAS-SARSAT MEOLUT PERFORMANCE SPECIFICATION AND DESIGN GUIDELINES”; okres statystyczny nie krótszy niż 3 miesiące.
<b>Dostępność</b>	$\geq 99\%$	—
<b>Opóźnienie zwrotnego łącza</b>	$\leq 2 \text{ min}$	Terminal użytkownika zgodny ze standardem C/S T.001 lub C/S T.018 i obsługujący zwrotne łącze BDS.
<b>Skuteczność zwrotnego łącza</b>	$\geq 95\%$	—

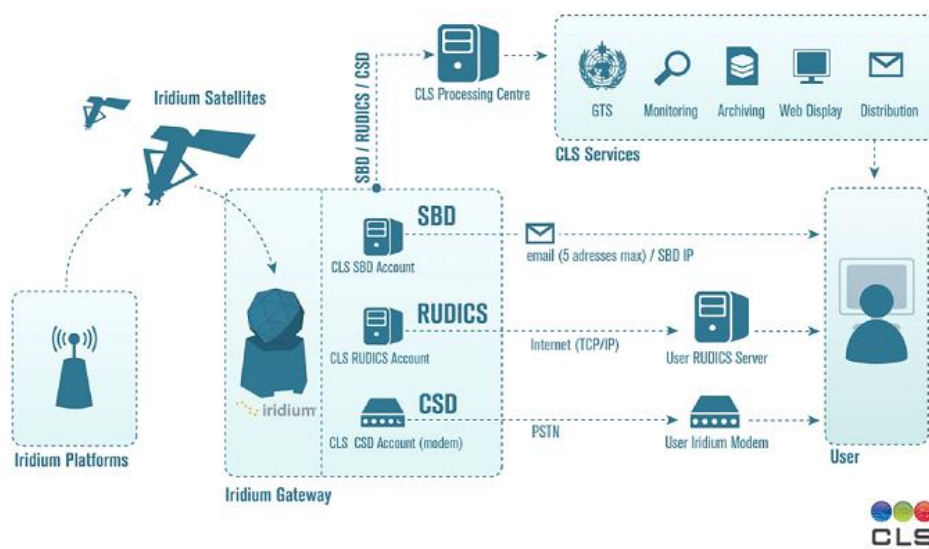
Źródło: na podstawie [7]

### 3.5. Iridium jako system globalnej łączności satelitarnej na morzu.

Iridium, składający się z 66 satelitów na niskiej orbicie okołoziemskiej, jest największą komercyjną konstelacją satelitarną na świecie.

System, należący do firmy Iridium Communications Inc., to satelitarny system łączności bezprzewodowej, zapewniający niezawodne usługi transmisji danych w niemal każdym miejscu na Ziemi. Składa się z trzech głównych elementów: sieci satelitarnej, naziemnej infrastruktury oraz urządzeń abonenckich, w tym platform wyposażonych w modemy Iridium.

Dzięki unikalnej architekturze sieci Iridium połączenia danych mogą być przekazywane z satelity na satelitę, aż dotrą do satelity znajdującego się nad terminalem użytkownika, który następnie przesyła sygnał z powrotem na Ziemię. System Iridium zapewnia globalny zasięg, obejmujący również obszary podbiegunowe.

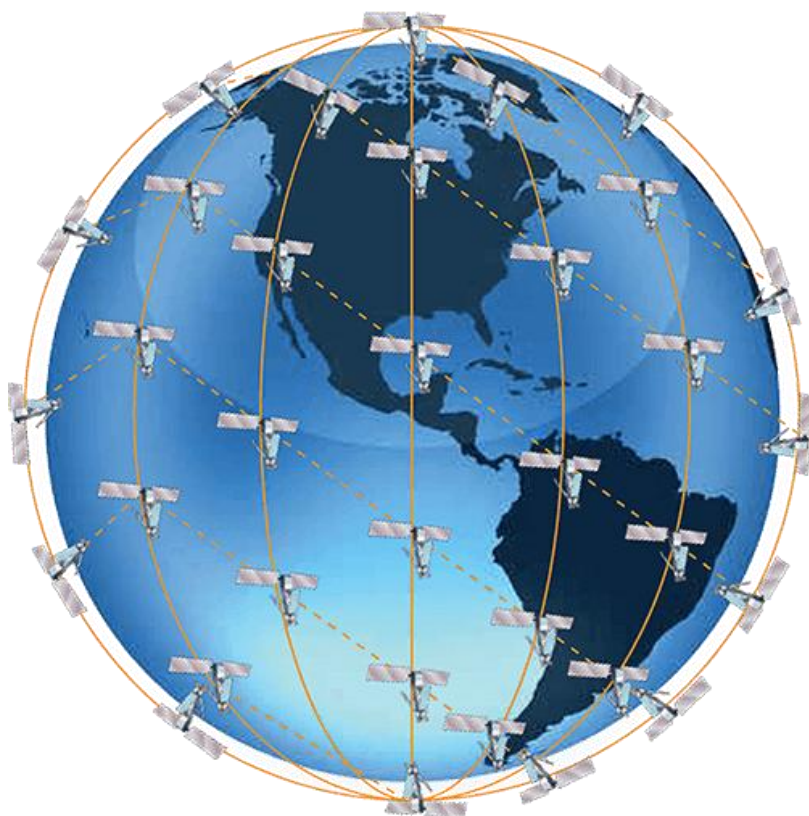


Rysunek 37 Schemat działania systemu Iridium.

Źródło: [40]

#### 3.5.1. Segment kosmiczny.

Iridium posiada największą konstelację satelitarną spośród wszystkich sieci tego typu. Składa się z w pełni połączonej sieci 66 satelitów na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO), rozmieszczonych w sześciu płaszczyznach polarnych, oraz 9 zapasowych satelitów na orbicie, gotowych do zastąpienia jednostek wyłączonych z eksploatacji.



Rysunek 38 Konstelacja satelitarna Iridium.  
Źródło: [41]

Każda z sześciu płaszczyzn orbitalnych zawiera 11 satelitów pełniących rolę węzłów w sieci telekomunikacyjnej. Dzięki temu system Iridium zapewnia pełne globalne pokrycie, gwarantując, że w każdym momencie każda część Ziemi znajduje się w zasięgu przynajmniej jednego satelity.

Satelity Iridium poruszają się po quasi-polarnych orbitach na wysokości 780 km nad powierzchnią Ziemi. Okrążają planetę co 100 minut, osiągając prędkość 27 000 km/h.

Każdy satelita Iridium jest połączony z czterema innymi satelitami – dwoma w tej samej płaszczyźnie orbitalnej oraz dwoma w sąsiedniej. Dzięki tym połączeniom sieć Iridium tworzy dynamiczną strukturę w przestrzeni kosmicznej, umożliwiając przesyłanie połączeń między satelitami bez konieczności łączenia się z naziemną infrastrukturą.

Takie rozwiązanie zapewnia wyjątkowo bezpieczne i niezawodne połączenia. Dzięki systemowi połączeń krzyżowych sieć Iridium jest również odporna na klęski żywiołowe, takie jak huragany, tsunami czy trzęsienia ziemi, które mogą uszkadzać naziemne systemy łączności bezprzewodowej.



### 3.5.2. Segment naziemny.

Konstelacja satelitów Iridium na niskiej orbicie okołoziemskiej jest wspierana przez rozbudowaną infrastrukturę naziemną. Zapewnia ona połączenia z sieciami naziemnymi dla rozmów głosowych i transmisji danych, a także zarządzanie siecią, monitoring oraz wsparcie techniczne.

**Centrum Operacyjne Sieci Satelitarnej – SNOC** – SNOC to centralny ośrodek zarządzania systemem Iridium oraz jego infrastrukturą naziemną. Jest połączony dedykowaną siecią światłowodową, wykorzystującą technologię MPLS oraz łącza satelitarne. Dzięki temu system kieruje i przekazuje dane do zdalnych anten oraz innych stacji naziemnych.



Rysunek 40 Stacja naziemna Iridium w Svalbard.

Źródło: [42]

SNOC zapewnia całodobowy monitoring i kontrolę wszystkich elementów sieci, w tym satelitów, stacji naziemnych oraz połączeń. Zespół SNOC przeprowadza analizy wydajności, sporządza codzienne i tygodniowe raporty dotyczące planowania misji oraz wyznaczania orbit. Oferuje także bieżące wsparcie techniczne dla satelitów i sieci.

**Gateway – Bramka komunikacyjna** – Gateway jest kluczowym punktem dostępowym dla komercyjnego ruchu głosowego i danych przesyłanych przez satelity. Zapewnia połączenia z publiczną siecią telefoniczną oraz Internetem. Operatorzy sieci



i inżynierowie stale monitorują system alarmowy i powiadomień, utrzymując bezpieczne połączenie ze SNOC oraz innymi stacjami naziemnymi.

**Stacje naziemne** – Infrastruktura naziemna Iridium obsługuje główne punkty dostępu dla systemu Iridium OpenPort, a także stanowi zapasowy punkt dla ruchu komercyjnego. Transmisja danych do głównej bramki odbywa się za pomocą dedykowanych łączy światłowodowych. Stacje te mogą również pełnić funkcję lokalizacji do śledzenia, telemetrii i kontroli – TTAC.

**Stacje TTAC** – Stacje TTAC przesyłają dane dotyczące stanu i bezpieczeństwa satelitów do SNOC, umożliwiają także przesyłanie poleceń sterujących do satelitów. Odpowiadają za przekazywanie kluczowych danych telemetrii kosmicznej oraz dostarczają precyzyjne sygnały czasowe, niezbędne do prawidłowego funkcjonowania sieci. Wyposażone są w dedykowane anteny do śledzenia satelitów i odbioru danych.



Rysunek 41 Stacja naziemna Iridium na Alasce.

Źródło: [42]

**Centrum Wsparcia Technicznego** – jest obsługiwane przez zespół inżynierów i specjalistów technicznych, którzy posiadają zaawansowaną wiedzę o wszystkich aspektach systemu Iridium. Do ich zadań należą:

- testowanie integracji systemów sieciowych,
- monitoring jakości usług,

- analiza wydajności i rozwiązywanie anomalii,
- testowanie systemów „over-the-air”,
- rozwój oprogramowania dla satelitów i infrastruktury naziemnej,
- certyfikacja produktów partnerów Iridium.

Zespół ten ma dostęp do w pełni funkcjonalnych satelitów Iridium, bramek komunikacyjnych i stacji TTAC, co pozwala na testowanie oprogramowania przed jego wdrożeniem oraz diagnostykę i usuwanie ewentualnych problemów.

Aby zapewnić nieprzerwaną pracę systemu, Iridium wdrożyło liczne systemy zapasowe, w tym:

- Zapasowe centrum dowodzenia, które posiada pełną funkcjonalność operacyjną,
- Systemy zasilania awaryjnego – każda stacja naziemna ma nieprzerwane źródło zasilania (UPS) oraz niezależny generator diesla, zdolny do podtrzymania pracy przez długi czas,
- Redundantne łącza światłowodowe – sieć Iridium jest połączona z wieloma operatorami PSTN i Internetu, co minimalizuje ryzyko awarii w przypadku problemów u jednego dostawcy,
- Ciągłe monitorowanie jakości usług (QoS) – analiza trendów i anomalii pozwala na szybkie reagowanie na ewentualne problemy,
- Regularne testy systemów – Iridium stosuje ściśle harmonogramy testowania infrastruktury, zgodnie z zaleceniami producentów,
- Modernizacja infrastruktury – trwa rozbudowa bramek komunikacyjnych i stacji TTAC, co zwiększa wydajność i niezawodność sieci,
- Inwestycje w Iridium NEXT – system jest przygotowywany do obsługi nowej generacji satelitów Iridium NEXT, co zapewni jeszcze wyższą jakość usług.

### **3.5.3. Segment użytkownika.**

Segment użytkownika systemu Iridium obejmuje wszystkie urządzenia, które umożliwiają komunikację za pośrednictwem satelitów Iridium. Użytkownicy systemu mogą korzystać z różnych platform, które umożliwiają przesyłanie danych i głosu w

dowolnym miejscu na Ziemi, w tym na obszarach, gdzie tradycyjne sieci telekomunikacyjne są niedostępne, np. na morzu, w powietrzu czy w regionach polarnych.

Rodzaje urządzeń użytkownika:

- **Telefon satelitarny Iridium** – To urządzenie podobne do tradycyjnych telefonów komórkowych, ale działające dzięki połączeniu z satelitami Iridium. Umożliwia wykonywanie połączeń głosowych oraz przesyłanie danych w miejscach poza zasięgiem konwencjonalnych sieci telefonicznych. Dzięki temu telefon satelitarny Iridium jest często wykorzystywany przez marynarzy, lotników, osoby pracujące w ekstremalnych warunkach lub na obszarach o słabej infrastrukturze telekomunikacyjnej.
- **Modem Iridium** – Urządzenia te umożliwiają przesyłanie danych, w tym e-maili, tekstów oraz aplikacji, które wymagają połączenia internetowego. Modemy Iridium są często wykorzystywane w transporcie morskim i lotniczym, a także w zastosowaniach ratunkowych i militarnych.
- **Iridium OpenPort** – To platforma przeznaczona do łączności szerokopasmowej, wykorzystywana głównie w transporcie morskim. Umożliwia dostęp do internetu oraz przesyłanie danych w wysokich prędkościach. Dzięki OpenPort, jednostki morskie mogą korzystać z różnych usług, takich jak e-mail, przesyłanie plików czy prowadzenie wideokonferencji.
- **Urządzenia IoT z modulem Iridium** – Iridium oferuje także urządzenia IoT, które umożliwiają monitorowanie i przesyłanie danych z różnych sensorów, maszyn czy pojazdów. System Iridium pozwala na połączenie tych urządzeń w trudno dostępnych lokalizacjach, takich jak obszary polarne, oceany, a także w regionach, gdzie brak jest infrastruktury komórkowej.
- **Urządzenia do śledzenia i monitoringu** – Iridium oferuje również systemy śledzenia w czasie rzeczywistym, które są wykorzystywane do monitorowania lokalizacji statków, samolotów, pojazdów, a także



zwierząt czy towarów. Dzięki globalnemu zasięgowi satelitów Iridium, śledzenie odbywa się bez względu na miejsce, nawet na oceanach czy w trudnych warunkach terenowych.

W 2020 roku IMO zatwierdziła wprowadzenie nowego urządzenia do systemu GMDSS – terminalu IRIDIUM GMDSS. Jest to satelitarny terminal komunikacyjny, który zapewnia łączność na wszystkich obszarach morskich, gwarantując globalny zasięg i niezawodność w trudnych warunkach.



Rysunek 42 LT-3100S GMDSS System.  
Źródło: [55]

Wybrane funkcje terminalu Iridium:

- Alarm o niebezpieczeństwie – może zostać aktywowany poprzez naciśnięcie przycisku DISTRESS na przedniej części jednostki sterującej. Wiadomość o alarmie zostanie wysłana do bramy komunikacyjnej Iridium GMDSS i natychmiast przekazana do RCC.
- **Safety Voice** – System LT-3100S GMDSS obsługuje zarówno połączenia głosowe w trybie priorytetowym, jak i standardowe. Terminal może zostać skonfigurowany tak, aby automatycznie nawiązywał priorytetowe połączenie alarmowe z Centrum Koordynacji Ratownictwa Morskiego po aktywacji przycisku alarmowego.
- **SSAS** – Po aktywacji alert SSAS jest nieprzerwanie wysyłany do wyznaczonych odbiorców, dopóki nie zostanie zresetowany lub dezaktywowany. Zgodnie z wymaganiami państwa bandery statku, odbiorcami alertu mogą być:

- właściciel statku,
- zewnętrzny podmiot zarządzający systemem SSAS,
- administracja państwa bandery statku.

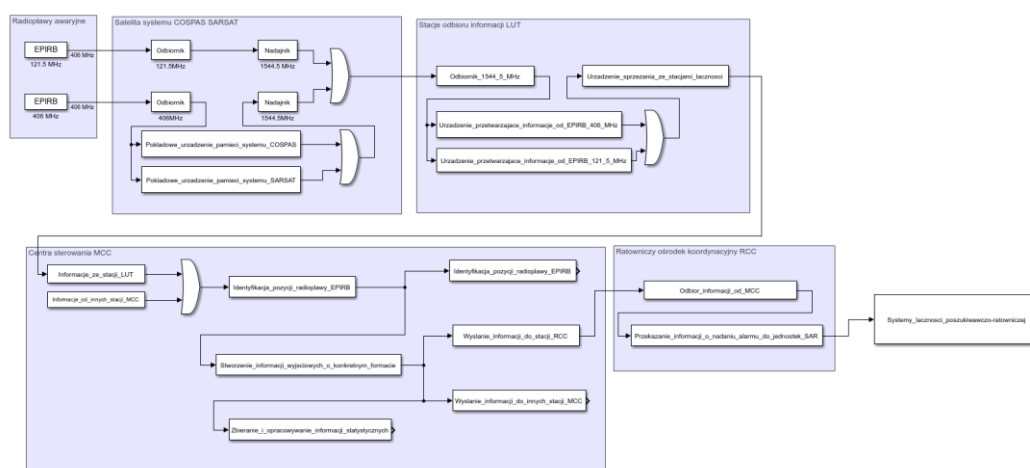
Odbiorcy lądowi mają obowiązek powiadomić odpowiednie władze krajowe lub państwa przybrzeżne, na których wodach znajduje się statek. W zależności od sytuacji mogą zostać skierowane odpowiednie służby wojskowe lub organy ścigania w celu zapewnienia bezpieczeństwa jednostki.

- **LRIT** – to globalny system satelitarny umożliwiający identyfikację oraz śledzenie statków w czasie rzeczywistym. Statki automatycznie przesyłają swoje położenie co najmniej co sześć godzin, a na żądanie mogą raportować aktualną lokalizację. Informacje systemu LRIT trafiają do administracji państwa bandery statku i są zarządzane przez dostawcę usług aplikacyjnych przy użyciu centrów danych, aby spełnić wymagania systemu.

## 4. Komunikacja satelitarna jako wsparcie dla służb SAR na morzu.

Ratownictwo morskie odgrywa kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa na morzu, a skuteczna komunikacja jest jednym z fundamentów sprawnych operacji poszukiwawczo-ratowniczych. W dobie nowoczesnych technologii systemy satelitarne stanowią nieocenione wsparcie dla ośrodków SAR, umożliwiając szybki przepływ informacji, precyzyjną lokalizację jednostek w potrzebie oraz koordynację działań ratowniczych na dużych akwenach.

W niniejszym rozdziale omówione zostaną możliwości współpracy komunikacyjnych systemów satelitarnych z służbami SAR oraz ich wpływ na efektywność operacji ratunkowych.



Rysunek 43 Schemat blokowy stworzony w programie MATLAB przedstawiający zasadę działania systemu COSPAS-SARSAT.

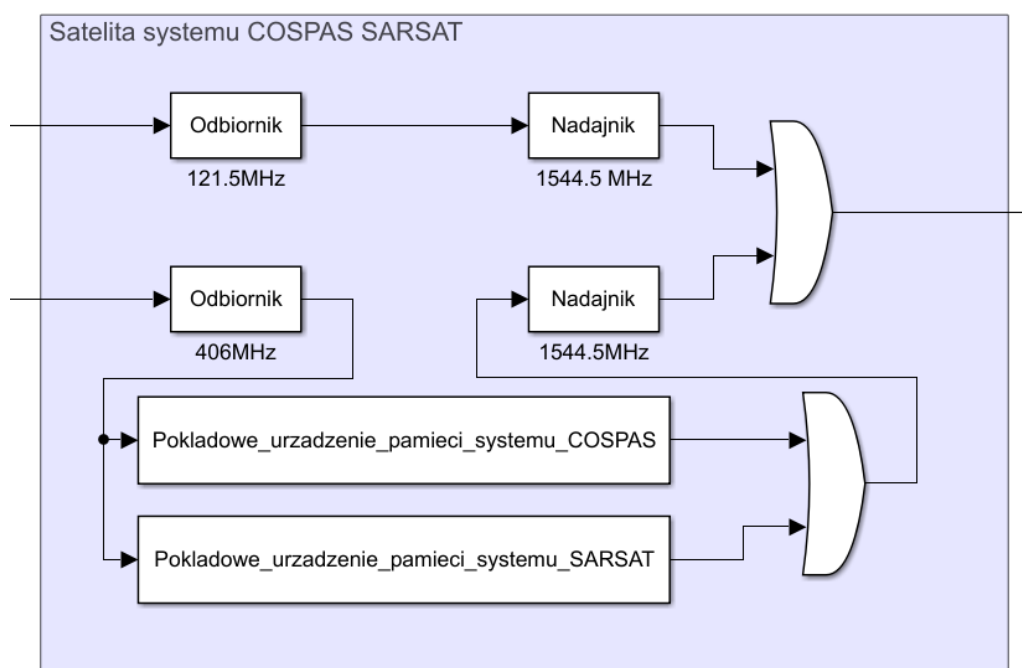
Źródło: na podstawie [1]

Jednym z najbardziej kluczowych systemów, które pozwalają na udzielenie pomocy w niebezpieczeństwie jest system COSPAS-SARSAT. Tak jak przedstawiono to na powyższym schemacie, każdy jego segment pełni równie ważną rolę co pozostałe, przy czym wszystkie są ze sobą ściśle związane i nie mogłyby funkcjonować w przypadku braku jednego z nich.

Tak jak zostało to opisane w rozdziale pierwszym, nadanie sygnału o pomoc zaczyna się od włączenia radiopławy EPIRB. Następnie sygnał dociera do jednego z satelitów COSPAS-SARSAT, który odpowiednio przetwarza dany sygnał i przekazuje go do stacji odbioru informacji LUT. Kolejno informacje są przekazywane do centrów sterowania MCC, a potem do ratowniczych ośrodków koordynacyjnych RCC, które przesyłają informacje bezpośrednio do swoich jednostek ratowniczych [11].

#### 4.1. Kluczowe znaczenie segmentu kosmicznego dla COSPAS-SARSAT.

Segment kosmiczny systemu COSPAS-SARSAT pełni kluczową funkcję w globalnym systemie poszukiwawczo-ratowniczym. Jego zadaniem jest wykrywanie i lokalizowanie sygnałów alarmowych nadawanych przez radioboje ratunkowe w sytuacjach zagrożenia życia na lądzie, morzu i w powietrzu.



Rysunek 44 Schemat blokowy stworzony w programie MATLAB przedstawiający zasadę działania segmentu kosmicznego systemu COSPAS-SARSAT.

Źródło: na podstawie [1]

Tworzą go satelity umieszczone na różnych orbitach, które odbierają sygnały nadawane przez radioboje ratunkowe i przekazują je do segmentu naziemnego w celu dalszego przetwarzania. W ramach segmentu kosmicznego wyróżnia się trzy główne komponenty [11]:

**Satelity LEO** - Satelity te odbierają sygnały alarmowe i analizują je z wykorzystaniem efektu Dopplera, co pozwala na precyzyjne określenie lokalizacji nadajnika. Zapewniają szybkie wykrycie sygnału, jednak ze względu na ruch po orbitach biegunowych ich pokrycie jest ograniczone w danym momencie.

**Satelity GEO** - Znajdują się w stałej pozycji względem Ziemi, co umożliwia ciągłe monitorowanie rozległych obszarów. Nie pozwalają jednak na określenie lokalizacji sygnału za pomocą efektu Dopplera. Ich główną funkcją jest natychmiastowe wykrywanie sygnałów alarmowych.

**Satelity MEO** - W ramach programu MEOSAR satelity te łączą zalety systemów LEO i GEO – zapewniają zarówno szybkie wykrycie sygnału, jak i precyzyjną lokalizację, bez konieczności oczekiwania na przelot satelity nad nadajnikiem.

Segment kosmiczny systemu COSPAS-SARSAT zapewnia:

- **Globalne pokrycie** – satelity umożliwiają odbiór sygnałów ratunkowych z dowolnego miejsca na Ziemi, w tym z obszarów oceanicznych i trudno dostępnych rejonów,
- **Szybkie wykrywanie sygnałów** – satelity geostacjonarne pozwalają na niemal natychmiastowe wykrycie alarmów,
- **Precyzyjną lokalizację** – satelity na niskiej i średniej orbicie precyzyjnie określają położenie nadajnika, co skraca czas reakcji służb ratunkowych,
- **Wsparcie dla służb ratowniczych** – przekazując dokładne dane o lokalizacji sygnału do centrum koordynacyjnego, segment kosmiczny znacząco zwiększa skuteczność akcji ratunkowych.

#### **4.2. Infrastruktura satelitarna systemu COSPAS-SARSAT.**

System COSPAS-SARSAT korzysta z różnych globalnych systemów nawigacyjnych oraz własnych satelitów do odbioru i przekazywania sygnałów alarmowych. W skład systemu COSPAS-SARSAT wchodzi satelity z czterech globalnych systemów nawigacyjnych oraz dedykowane satelity COSPAS-SARSAT (LEOSAR, GEOSAR). Kluczową rolę w nowoczesnym systemie odgrywa MEOSAR, który łączy satelity GPS, Galileo, GLONASS oraz BeiDou [10].

Tabela 6 Porównanie cech systemów pracujących w COSPAS-SARSAT.

Cecha	LEOSAR	GEOSAR	MEOSAR
<b>Typ orbity</b>	Niska orbita (~800–1 400 km)	Geostacjonarna (~35 786 km)	Średnia orbita (~19 000–24 000 km)
<b>Prędkość względem Ziemi</b>	Niska orbita (~800–1 400 km)	Brak (pozostaje w stałej pozycji)	Średnia (~12 godzin na pełen obieg)
<b>Pokrycie Ziemi</b>	Cała Ziemia, ale w ograniczonym czasie	Stałe pokrycie dużych obszarów, ale brak na biegunach	Cała Ziemia, stałe pokrycie
<b>Czas wykrycia sygnału</b>	Może wymagać oczekiwania na przelot satelity	Natychmiastowe	Bardzo szybkie, zbliżone do GEOSAR
<b>Możliwość lokalizacji nadajnika</b>	Tak (efekt Dopplera)	Nie	Tak (pomiar czasu sygnału z wielu satelitów)
<b>Dokładność lokalizacji</b>	Wysoka (0,5–5 km)	Brak (tylko wykrycie sygnału)	Bardzo wysoka (do 100 m)
<b>Dwukierunkowa komunikacja</b>	Nie	Nie	Tak (w systemie Galileo)
<b>Zalety</b>	Precyzyjna lokalizacja dzięki efektowi Dopplera	Natychmiastowe wykrycie sygnału	Połączenie zalet LEOSAR i GEOSAR – szybkie wykrycie i dokładna lokalizacja
<b>Wady</b>	Opóźnienie w lokalizacji sygnału	Brak możliwości lokalizacji sygnału	Wymaga dużej liczby satelitów dla pełnej efektywności
<b>Wykorzystywane satelity</b>	COSPAS-SARSAT	GOES, Elektro-L, INSAT	GPS, Galileo, GLONASS, BDS

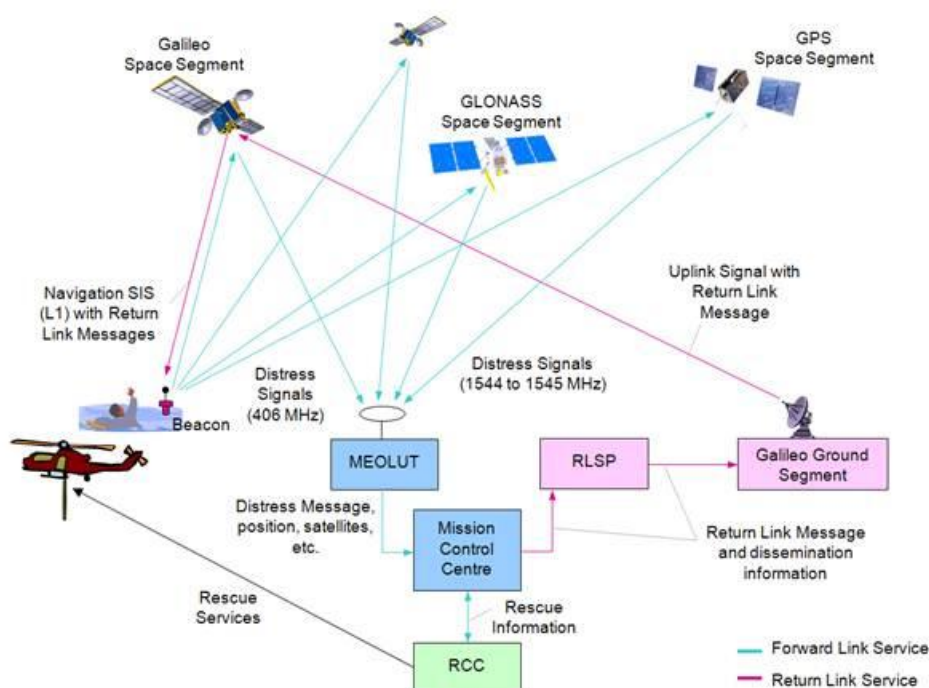
Źródło: na podstawie [6] i [14]

Jak można wywnioskować z informacji umieszczonych w powyższej tabeli, to właśnie MEOSAR stanowi przyszłość systemu COSPAS-SARSAT zapewniając szybkie wykrywanie sygnałów i dokładne określanie ich położenia.

#### 4.3. System MEOSAR jako fundament współczesnych operacji poszukiwawczo-ratowniczych.

Wykorzystując sieci instrumentów SAR na satelitach oraz stacje przetwarzania naziemnego, system MEOSAR będzie odbierał, dekodował i lokalizował sygnały z nadajników alarmowych 406 MHz na całym świecie.

Wszystkie cztery konstelacje MEOSAR będą w pełni kompatybilne z nadajnikami alarmowymi COSPAS-SARSAT 406 MHz, zgodnie ze specyfikacją zawartą w dokumencie „*C/S T.001 Specification for COSPAS-SARSAT 406 MHz Distress Beacons*”.



Rysunek 45 Koncepcja systemu COSPAS-SARSAT.  
Źródło: [20]

System MEOSAR zapewni ulepszoną zdolność do wykrywania sygnałów alarmowych, charakteryzującą się:

- niemal natychmiastowym globalnym wykrywaniem i niezależnym lokalizowaniem nadajników alarmowych COSPAS-SARSAT na częstotliwości 406 MHz,

- wysoką redundancją oraz dostępnością zarówno segmentu kosmicznego, jak i naziemnego,
- niezawodnymi łączami komunikacyjnymi między nadajnikiem a satelitą,
- wieloma dynamicznie zmieniającymi się połączeniami między nadajnikiem a satelitami, co zapewnia większą odporność na zakłócenia oraz elastyczność w przypadku przeszkód blokujących sygnał,
- możliwością zastosowania łącza zwrotnego do nadajnika 406 MHz.

Każdy satelita MEOSAR obejmuje swoim zasięgiem znaczną część powierzchni Ziemi. Dzięki dużej liczbie satelitów w każdej konstelacji oraz odpowiednio dobranym płaszczyznom orbitalnym, systemy DASS, SAR/BDS, SAR/Galileo i SAR/GLONASS mogą indywidualnie zapewniać ciągłe pokrycie całej planety, pod warunkiem dostępności odpowiednio rozmieszczonych naziemnych terminali MEOLUT.

Głównym zadaniem satelitów w czterech konstelacjach MEOSAR jest obsługa globalnych systemów nawigacji satelitarnej: BDS, GPS, Galileo i GLONASS [14].

Tabela 7 Charakterystyka konstelacji satelitarnej systemu MEOSAR Część 1.

	Parametr	SAR/BDS	DASS	SAR/Galileo	SAR/GLONASS
Liczba satelitów	<b>Całkowita</b>	24	27	30	24
	<b>Aktywna</b>	TBD	24	27	24
	<b>Rezerwowa na orbicie</b>	6	3	3	TBD
	<b>Z modułami MEOSAR</b>	6	Wszystkie satelity GPS-III	TBD	Wszystkie satelity Glonass-K

Źródło: na podstawie [14]



Tabela 8 Charakterystyka konstelacji satelitarnej systemu MEOSAR Część 2.

	Parametr	SAR/BDS	DASS	SAR/Galileo	SAR/Glonass
Plaszczyzny orbitalne	Liczba plaszczyzn	3	6	3	3
	Liczba satelitów na plaszczyznę	8	4	9	8
	Nachylenie plaszczyzny	55°	55°	56°	64,8°
	Okres orbitalny	775 min	718 min	845 min	676 min

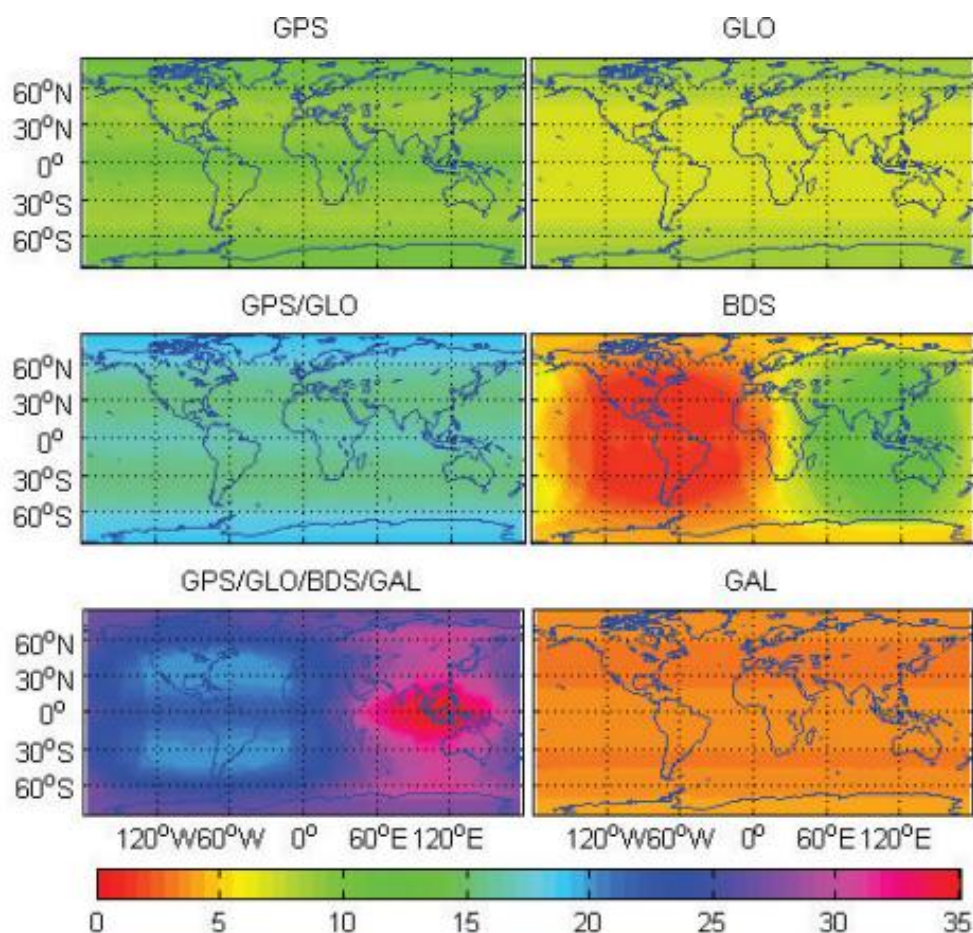
Źródło: na podstawie [14]

#### 4.4. Analiza wydajności i korzyści wynikających ze współpracy systemów satelitarnych wykorzystywanych w COSPAS-SARSAT.

Skuteczność systemu ratunkowego zależy od jego szybkości działania, niezawodności oraz precyzji lokalizacji sygnałów alarmowych. W przypadku COSPAS-SARSAT kluczowe jest, aby każda zgłoszona sytuacja awaryjna była wykrywana i przekazywana do odpowiednich służb w jak najkrótszym czasie.

Wykorzystanie systemów MEOSAR pozwala na jego wzbogacenie o funkcje dedykowane dla konkretnych systemów oraz uzyskanie lepszych statystyk i osiągnięć, które znacznie przyczynią się do wydajności działań jednostek poszukiwawczych:

1. **Zwiększenie powierzchni pokrycia Ziemi** – dzięki istnieniu i współpracy kilku globalnych systemów nawigacyjnych jesteśmy w stanie pokryć znaczną powierzchnię naszej planety [16].



Rysunek 46 Zestawienie map przedstawiające średnią liczbę widocznych satelitów dla systemów GNSS.

Źródło: [16]

Powyższy rysunek przedstawia średnią liczbę widocznych satelitów dla sześciu różnych kombinacji systemów nawigacyjnych. W obszarach obejmujących szerokości geograficzne od  $15^{\circ}\text{N}$  do  $60^{\circ}\text{N}$  oraz od  $15^{\circ}\text{S}$  do  $60^{\circ}\text{S}$  liczba widocznych satelitów GPS wynosi od 8,5 do 9,4. W innych rejonach wartość ta jest nieco wyższa i mieści się w przedziale 9,2–10,5. Liczba widocznych satelitów GLONASS wzrasta wraz ze wzrostem szerokości geograficznej, osiągając wartości od 6,6 do 8,4.

Połączenie systemów GPS i GLONASS znacząco zwiększa widoczność satelitów, a trend zmian liczby satelitów jest zgodny z przypadkiem, w którym uwzględniono wyłącznie GPS. Odpowiednia liczba widocznych satelitów wynosi od 15,2 do 17,4 dla jednej strefy szerokości geograficznych oraz od 15,8 do 18,9 dla drugiej.

W przypadku systemu BeiDou obszary o ograniczonej widoczności satelitów tworzą rozległą eliptyczną strefę, której środek znajduje się w punkcie o długości geograficznej  $70^{\circ}\text{W}$  na równiku. Strefa ta rozciąga się na  $155^{\circ}$  długości i  $122,5^{\circ}$

szerokości geograficznej. W jej obrębie można zaobserwować jedynie od 1,4 do 2,9 satelitów BeiDou. Natomiast w obszarach usługowych BeiDou liczba widocznych satelitów wynosi od 8,8 do 14,7.

W przypadku systemu Galileo w obszarach średnich szerokości geograficznych można śledzić od 3,1 do 3,6 satelitów, natomiast w innych regionach liczba ta wynosi od 3,2 do 4,0.

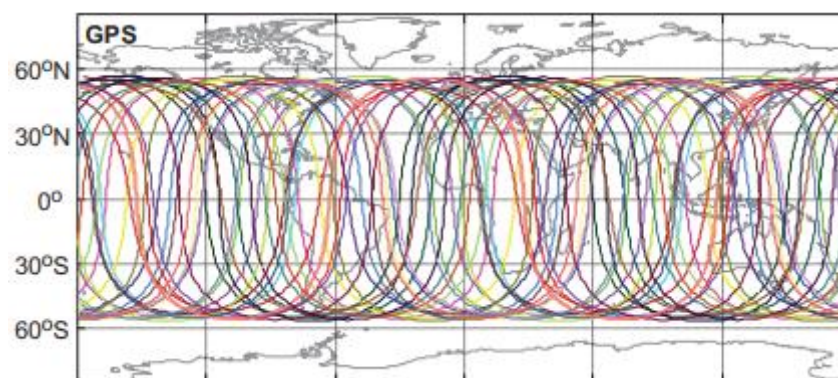
Najlepsze pokrycie pod względem widoczności satelitów na skalę globalną zapewnia integracja czterech konstelacji – GPS, GLONASS, BeiDou i Galileo. W takim przypadku liczba widocznych satelitów mieści się w przedziale od 19,7 do 35,0.

Wynika to z ułożenia konstelacji podanych poprzednio systemów satelitarnych.



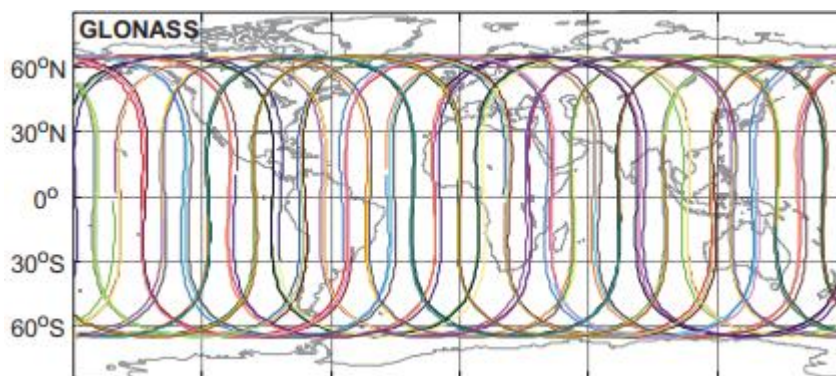
Rysunek 47 Mapa śladów naziemnych systemu BeiDou.

Źródło: [16]



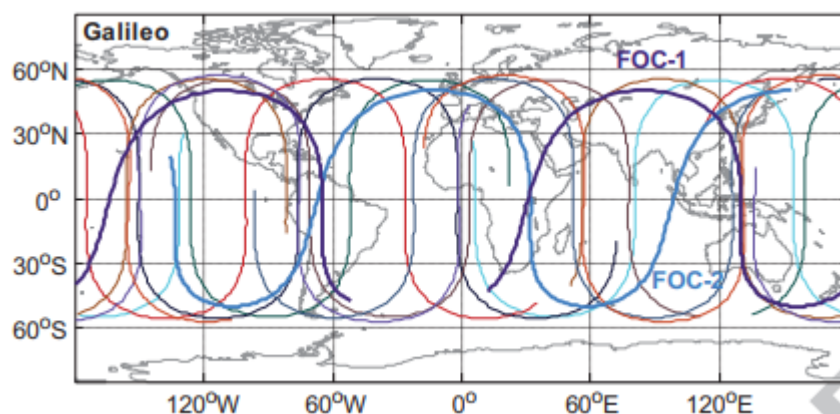
Rysunek 48 Mapa śladów naziemnych systemu GPS.

Źródło: [16]



Rysunek 49 Mapa śladów naziemnych systemu GLONASS.

Źródło: [16]



Rysunek 50 Mapa śladów naziemnych systemu Galileo.

Źródło: [16]

Rysunki przedstawione powyżej ukazują 24-godzinny ślad naziemny satelitów czterech systemów nawigacyjnych. Różne kolory odpowiadają różnym satelitom. Wszystkie satelity średniej orbity ziemskiej, w tym satelity GPS, GLONASS, BeiDou MEO oraz Galileo, zapewniają pełne globalne pokrycie. Ślady naziemne tych satelitów są ograniczone do zakresów szerokości geograficznych:  $56,8^{\circ}\text{S} - 56,8^{\circ}\text{N}$  dla GPS,  $65,6^{\circ}\text{S} - 65,6^{\circ}\text{N}$  dla GLONASS,  $56,1^{\circ}\text{S} - 56,1^{\circ}\text{N}$  dla BDS MEO oraz  $57,2^{\circ}\text{S} - 57,2^{\circ}\text{N}$  dla Galileo.

Ślady naziemne ośmiu satelitów BeiDou IGSO mieszczą się w przedziale szerokości geograficznych  $57,5^{\circ}\text{S} - 57,5^{\circ}\text{N}$  oraz długości geograficznych  $76,2^{\circ}\text{E} - 138,0^{\circ}\text{E}$ . Satelity IGSO tworzą dwie pętle w kształcie ósemki z różnicą długości geograficznej wynoszącą około  $30^{\circ}$ , dzięki czemu wschodnie i zachodnie regiony Chin oraz sąsiednie obszary są skutecznie pokrywane sygnałem.

Orbity satelitów GPS są rozmieszczone w sposób zapewniający ciągłą widoczność co najmniej czterech satelitów w dowolnym miejscu na Ziemi, co jest kluczowe dla dokładnego pozycjonowania. Dzięki stabilnemu globalnemu pokryciu i

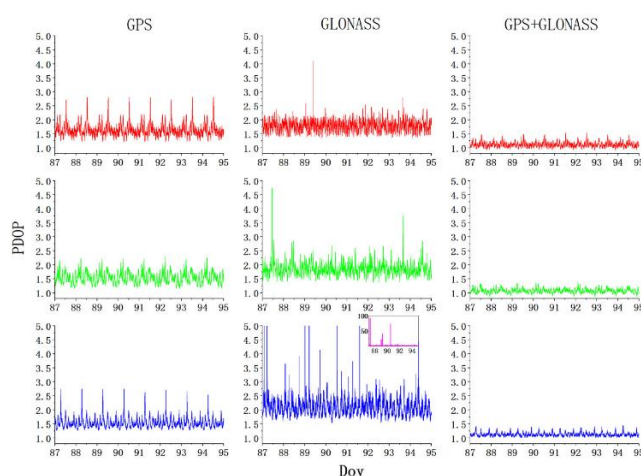


optymalnej wysokości orbity, system GPS oferuje wysoką niezawodność i precyzję, co czyni go fundamentalnym narzędziem w nawigacji.

Satelity GLONASS charakteryzują się najszerszym pokryciem w zakresie szerokości geograficznych dzięki większemu kątowi nachylenia orbity, co sprzyja zastosowaniom satelitarnym na obszarach o wysokich szerokościach geograficznych.

Ślady naziemne satelitów Galileo FOC-1 i FOC-2 mają asymetryczny kształt. Orbity tych satelitów mają nachylenie o  $5^\circ$  mniejsze od nominalnego, co prowadzi do obniżonych maksymalnych wartości szerokości geograficznej [16].

**2. Potencjalne zmniejszenie PDOP** – parametr opisujący siłę aktualnej konfiguracji satelitów, czyli ich geometrię oraz jej wpływ na dokładność danych zbieranych przez odbiornik GNSS w danym momencie. Jest to miara precyzji pozycji w trzech wymiarach. Niskie wartości PDOP, mieszczące się w zakresie 4,0 lub mniej, wskazują na dobrą geometrię satelitarną, natomiast wartości powyżej 7,0 oznaczają słabą geometrię, co sprawia, że dane są mniej wiarygodne.



Rysunek 51 PDOP dla systemów GPS, GLONASS oraz GPS+GLONASS w regionach wysokich, średnich i niskich szerokości geograficznych.

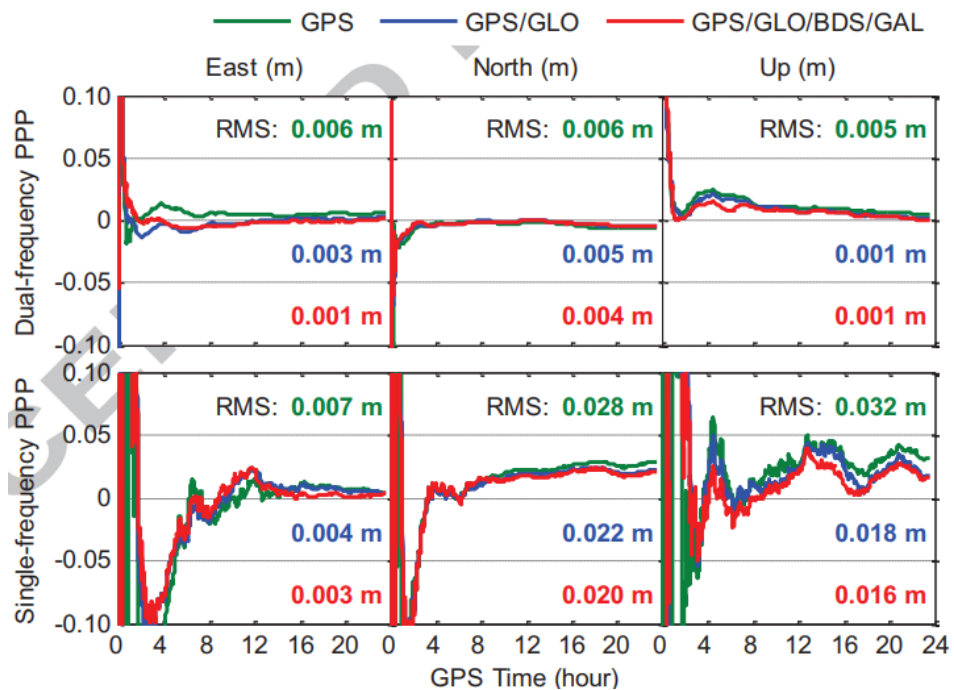
Źródło: [15]

Powyższe wykresy pokazują, że wartości PDOP dla systemu GPS we wszystkich trzech regionach są mniejsze niż 3,0, przy czym najbardziej stabilne wartości PDOP występują w obszarach o średnich szerokościach geograficznych, co wskazuje na najlepszą geometrię obserwacyjną GPS w tym rejonie. Ponadto wartości PDOP GPS wykazują okresową zmienność w ciągu dnia we wszystkich trzech

regionach. System GLONASS charakteryzuje się najbardziej stabilnym PDOP na wysokich szerokościach geograficznych, jednak wartości PDOP dla GLONASS wyraźnie rosną wraz ze spadkiem szerokości geograficznej, a w regionach niskich szerokości geograficznych mogą osiągać nieprawidłowo wysokie wartości.

Wartości PDOP dla połączonego systemu GPS+GLONASS wykazują lepsze parametry niż oba systemy osobno. Chociaż w regionach wysokich szerokości geograficznych PDOP GPS w niektórych okresach może wynosić nawet 2,80, to wartości PDOP dla GPS+GLONASS pozostają stabilne i nie przekraczają 1,55. Podobnie, mimo że PDOP GPS w niektórych momentach na niskich szerokościach geograficznych osiąga wartość 2,75, a wartości PDOP GLONASS są miejscami bardzo wysokie, to w przypadku systemu GPS+GLONASS wartości te pozostają stabilne i nie przekraczają 1,44. Połączenie konstelacji GPS i GLONASS przynosi największą poprawę geometrii obserwacyjnej w regionach niskich szerokości geograficznych [15].

**3. Bardziej dokładny PPP** – to metoda pozycjonowania w systemach nawigacji satelitarnej GNSS, umożliwiającą obliczanie bardzo dokładnych pozycji, z błędami sięgającymi zaledwie kilku centymetrów w sprzyjających warunkach. PPP łączy kilka zaawansowanych technik poprawy dokładności GNSS, które mogą być stosowane nawet z urządzeniami bliskimi poziomowi konsumenckiemu, zapewniając wyniki zbliżone do jakości pomiarów geodezyjnych.



Rysunek 52 Wykresy przedstawiające błędy statycznego pozycjonowania w dla jedno- i dwuczęstotliwościowego PPP danych systemów na stacji JFNG w dniu 12 września 2016 roku.

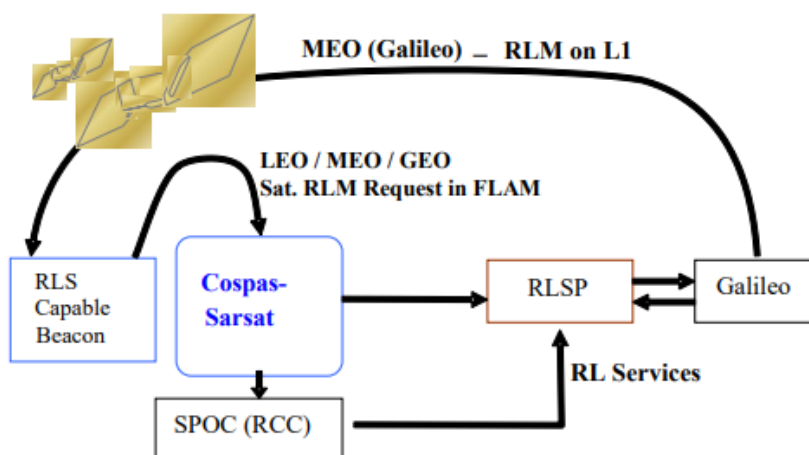
Źródło: [16]

Powyższe wykresy przedstawiają błędy statycznego pozycjonowania w dla jedno- i dwuczęstotliwościowego PPP w różnych konfiguracjach systemów GPS, GPS/GLONASS oraz GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo na stacji JFNG w dniu 12 września 2016 roku.

W porównaniu do przypadku wykorzystującego wyłącznie GPS, konfiguracja z dwiema konstelacjami zapewnia lepszą wydajność procesu konwergencji, szczególnie w komponentie wschodnim dla PPP dwuczęstotliwościowego oraz w komponentie pionowym dla PPP jednoczęstotliwościowego. Dodatkowe uwzględnienie pomiarów z systemów BeiDou i Galileo jeszcze bardziej skraca czas konwergencji. Zanim rozwiązanie pozycji osiągnie stabilność, PPP jednoczęstotliwościowe wymaga znacznie więcej czasu niż PPP dwuczęstotliwościowe. Po długim czasie obserwacji PPP dwuczęstotliwościowe może osiągnąć dokładność na poziomie milimetrów, podczas gdy PPP jednoczęstotliwościowe zapewnia precyzję rzędu centymetrów [16].

#### 4. Możliwość wykorzystania funkcji Return Link Service – Projekt Galileo MEOSAR obejmuje Return Link Service, czyli zwrotny kanał

komunikacyjny do radiolatarni 406 MHz, umożliwiający przesyłanie informacji do nadajnika alarmowego za pośrednictwem sygnału Galileo L1. Usługa RLS jest realizowana przez dedykowaną jednostkę RLSP, która działa jako interfejs między systemem COSPAS-SARSAT a systemem Galileo.



Rysunek 53 Schemat RLS w systemie COSPAS SARSAT.

Źródło: [14]

Dostępne bity danych w sygnale L1 Galileo, przeznaczone dla systemu SAR, są wykorzystywane do przesyłania RLM do radiolatarni, co umożliwia świadczenie usług uzupełniających istniejący Forward Link Alert Service. Takie dodatkowe funkcje mogą obejmować potwierdzenie odbioru sygnału alarmowego lub bardziej zaawansowane zastosowania, takie jak możliwość zdalnej aktywacji konkretnej radiolatarni.

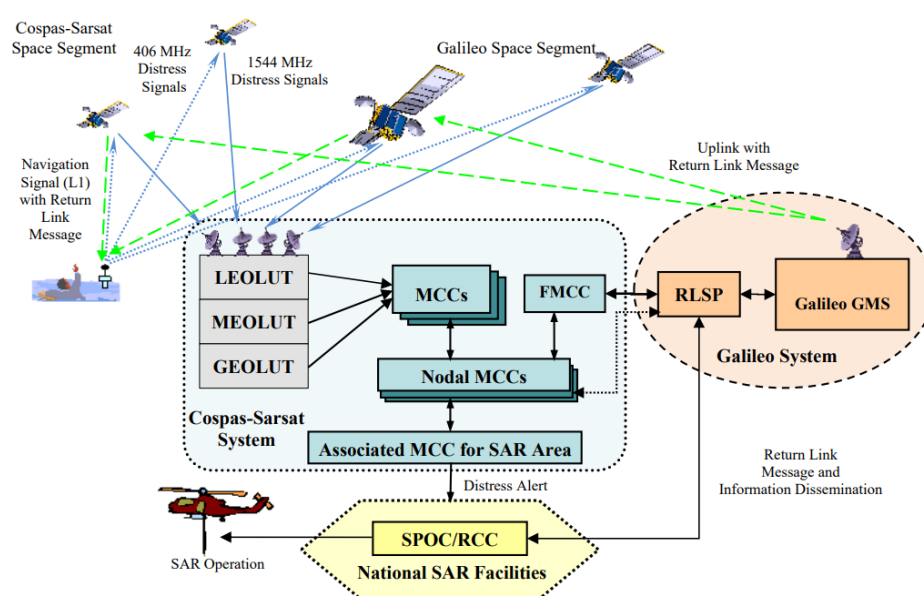
Przed pełnym wdrożeniem Return Link Service konieczne jest przeprowadzenie szczegółowych testów i prób w celu dokładnej oceny wpływu tej technologii na działalność służb poszukiwawczo-ratowniczych oraz systemu COSPAS-SARSAT, aby w pełni zademonstrować jej potencjalne korzyści operacyjne.

Usługa potwierdzenia przez RLS umożliwia osobie w niebezpieczeństwie na otrzymanie informacji, że jej sygnał alarmowy został wykryty i zlokalizowany, a także – potencjalnie – że akcja ratunkowa jest rozpoczęta. Aby to umożliwić, EPIRB przesyła we FLAM żądanie wiadomości zwrotnej. W wyniku analizy zdefiniowano dwa rodzaje potwierdzeń:



- **Typ 1** – Galileo automatycznie wysyła wiadomość zwrotną przez RLSP po wykryciu i zlokalizowaniu sygnału oraz odebraniu żądania, co gwarantuje szybką reakcję,
- **Typ 2** – wiadomość zwrotna jest wysyłana dopiero po autoryzacji przez RCC, co opóźnia potwierdzenie, ale informuje użytkownika, że sytuacja jest oceniana przez służby ratunkowe.

Usługa typu 1 jest prosta w implementacji, natomiast typ 2 wymaga dokładnych testów i oceny implikacji operacyjnych, m.in. roli SPOC i RCC, wpływu na standardy MCC oraz specyfikacji latarni 406 MHz [14].



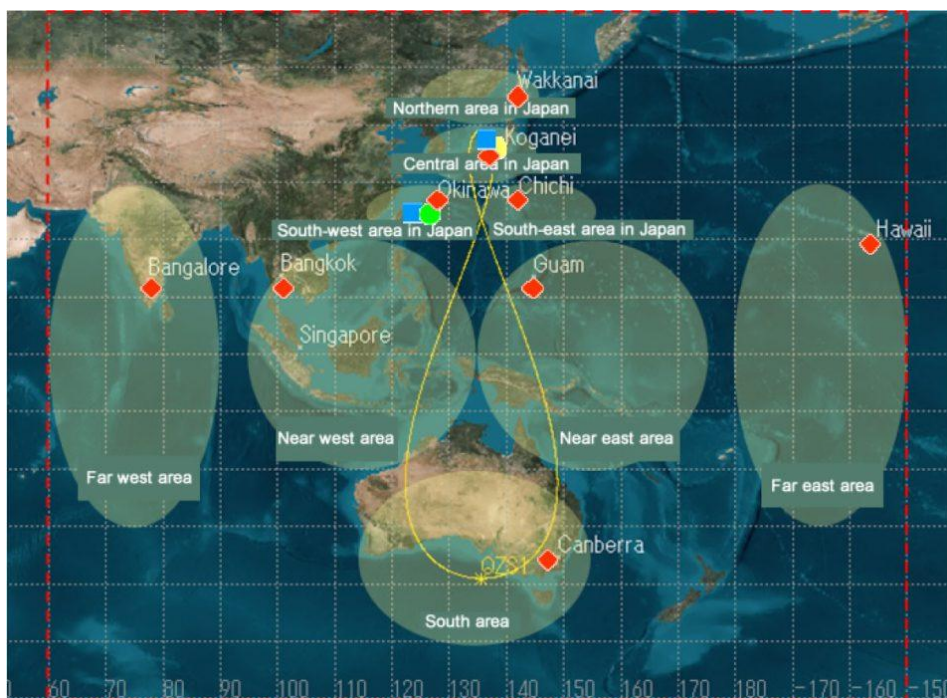
Rysunek 54 Architektura systemu RLS.

Źródło: [14]

#### 4.5. Potencjalne drogi rozwoju systemu COSPAS-SARSAT.

Rozwój systemu COSPAS-SARSAT nie ustaje, a kluczowym kierunkiem modernizacji jest rozbudowa podsystemu MEOSAR. Jedną z możliwych opcji rozwoju jest poszerzenie istniejącej infrastruktury satelitarnej o inne istniejące już systemy służące do globalnej lub lokalnej nawigacji. Istnieje również ścieżka progresji, która obejmuje modernizację już wykorzystywanych technologii satelitarnych lub implementację zupełnie nowych, ułatwiających pracę jednostek ratunkowych.

Jednym z prostszych rozwiązań, które mogłyby znacząco wpłynąć na jeszcze lepsze osiągi jest rozszerzenie o już istniejące systemy satelitarne, które będą w stanie współgrać z systemami GPS, Galileo, GLONASS, BDS. Na świecie istnieje wiele takich systemów, są to między innymi francuski DORIS, japoński QZSS, czy też indyjski NavIC.



Rysunek 55 Mapa przedstawiająca orbitę systemu QZSS.  
Źródło: [23]

Warunkiem koniecznym przypisania takiego systemu do zespołu systemów MEOSAR, byłoby spełnienie przez niego wymagań określonych w „*COSPAS-SARSAT 406 MHz MEOSAR IMPLEMENTATION PLAN C/S R.012*”.

Minimalnym wymogiem dla systemu MEOSAR jest zapewnienie kompatybilności z istniejącymi systemami COSPAS-SARSAT – LEOSAR i GEOSAR oraz wzajemnej kompatybilności między sobą. Oznacza to, że nie powinny one zakłócać pracy istniejących systemów ani innych konstelacji MEOSAR działających w tych samych pasmach częstotliwości. Ponadto system MEOSAR musi być zdolny do przetwarzania sygnałów nadajników 406 MHz spełniających wymagania COSPAS-SARSAT dotyczące pracy w systemach LEOSAR i GEOSAR [14].

Dodatkowo istotne jest zapewnienie, że terminale MEOLUT będą mogły przetwarzać sygnały nadawcze wszystkich konstelacji MEOSAR, co przynosi istotne korzyści operacyjne.

Międzynarodowa umowa COSPAS-SARSAT została ustanowiona w celu zapewnienia ciągłości międzynarodowej współpracy, która doprowadziła do wdrożenia globalnego satelitarnego systemu alarmowego wykorzystującego różnorodne komponenty segmentów naziemnego i kosmicznego. Chociaż istnieją pewne różnice między ładunkami satelitarnymi w systemie LEOSAR, są one zasadniczo interoperacyjne, co oznacza, że ta sama architektura segmentu naziemnego pozwala terminalowi użytkownika na śledzenie, odbiór i przetwarzanie danych z obu serii satelitów.

Podobnie, mimo że charakterystyki wydajności różnych ładunków satelitarnych w systemie GEOSAR mogą się różnić, terminale GEOLUT muszą spełniać wspólne kryteria wydajności, co zapewnia spójność działania systemu alarmowego. Zalety interoperacyjnych systemów obejmują:

- solidny segment naziemny zapewniający redundancję oraz szybsze wykrywanie i lokalizowanie nadajników sygnałów alarmowych,
- bardziej efektywne zarządzanie systemem dzięki jednolitym wymaganiom dotyczącym wydajności segmentów kosmicznego i naziemnego,
- obniżenie kosztów tworzenia terminali użytkownika LUT dzięki konkurencji i efektowi skali,
- zachęcanie innych państw do wnoszenia dodatkowego wyposażenia do wspólnego systemu, co wzmacnia międzynarodową akceptację interoperacyjnych systemów.

Te same zasady mają zastosowanie do systemu MEOSAR, a jednym z podstawowych celów dostawców usług MEOSAR na częstotliwości 406 MHz jest zapewnienie maksymalnej interoperacyjności wszystkich jego komponentów.

Głównym celem proponowanego systemu MEOSAR jest zapewnienie niezawodnej usługi alarmowej dla nadajników 406 MHz, co zwiększy skuteczność systemów COSPAS-SARSAT LEOSAR i GEOSAR. Ponadto, aby system MEOSAR mógł zostać włączony do systemu COSPAS-SARSAT, jego komponenty powinny być

dostarczane i zarządzane zgodnie z zasadami regulującymi Program COSPAS-SARSAT [13].

Te zasady określają następujące wymagania:

- Usługi MEOSAR powinny być świadczone bezpłatnie dla użytkowników znajdujących się w sytuacji zagrożenia,
- System MEOSAR nie powinien generować zakłóceń wpływających na działanie systemów COSPAS-SARSAT LEOSAR i GEOSAR,
- System MEOSAR musi być w pełni kompatybilny z nadajnikami alarmowymi COSPAS-SARSAT 406 MHz,
- Łąca zwrotne MEOSAR powinny być ogólnodostępne i bezpłatne dla wszystkich dostawców segmentu naziemnego COSPAS-SARSAT na całym świecie,
- System MEOSAR musi spełniać minimalne poziomy wydajności uzgodnione przez Radę COSPAS-SARSAT.

Ze względu na szeroki zasięg satelitów MEOSAR oraz liczbę satelitów w każdej konstelacji, system MEOSAR ma potencjał do osiągnięcia wydajności przewyższającej minimalne wymagania określone powyżej. COSPAS-SARSAT oraz dostawcy systemu MEOSAR uzgodnili, że jego wydajność nie powinna być ograniczona jedynie do wymogów kompatybilności z COSPAS-SARSAT. Zamiast tego należy podejmować wszelkie działania w celu opracowania systemu, który zapewni maksymalne korzyści dla służb poszukiwawczo-ratowniczych. Oto przykłady:

- **Wymóg globalnego zasięgu** – odzwierciedla możliwości systemu COSPAS-SARSAT LEOSAR, który zapewnia pełne pokrycie całego globu, w tym obszarów polarnych, dla nadajników alarmowych 406 MHz. System LEOSAR osiąga tę wydajność dzięki przetwarzaniu wiadomości z nadajników oraz przechowywaniu danych bezpośrednio na pokładzie satelitów,
- **Wymóg pojemności** – umożliwiający obsługę populacji przekraczającej 3,8 miliona nadajników, opiera się na prognozowanym wzroście liczby nadajników oraz strategii przydziału kanałów przyjętej

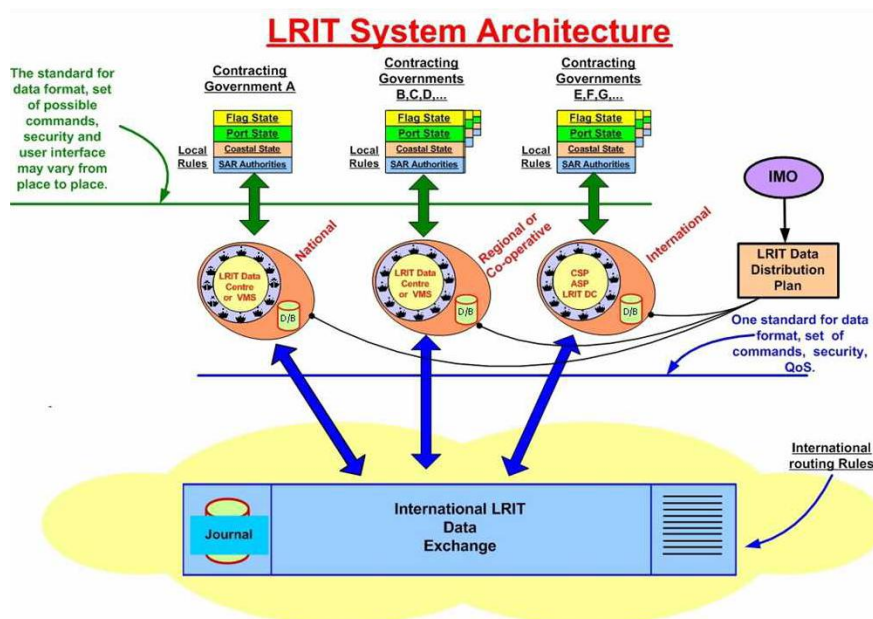
przez COSPAS-SARSAT w celu optymalizacji pojemności systemów LEOSAR i GEOSAR,

- **Wymóg prawdopodobieństwa wykrycia** – Systemy MEOSAR, dzięki dużej liczbie satelitów, ich zmiennym pozycjom orbitalnym oraz szerokim polom widzenia, mogą znacząco zredukować lub całkowicie wyeliminować te ograniczenia, zwiększając prawdopodobieństwo wykrycia sygnału nadajnika alarmowego.

Dodatkowym, a także użytecznym systemem mogącym poprawić skuteczność komunikacji w sytuacjach kryzysowych na morzu, jest system Iridium. Z perspektywy zwiększenia efektywnego zasięgu komunikacyjnego systemu COSPAS-SARSAT, system Iridium mógłby okazać się rewolucyjny. Mimo iż jest to system, który funkcjonuje na orbicie LEO, jego globalne pokrycie pozwoliłoby na znaczne poprawienie zasięgu komunikacyjnego z jednostką w niebezpieczeństwie, wszystko dzięki zastosowaniu ogromnej ilości satelitów pokrywających planetę aż po bieguny.

Ponadto dzięki technologii połączeń krzyżowych między satelitami, dystrybucja informacji o niebezpieczeństwie byłaby o wiele szybsza i wydajniejsza, ponieważ nie byłaby ciągle uzależniona od widoczności stacji naziemnych [54].

Wykorzystać można również funkcje takie jak LRIT, które ten system gwarantuje. System LRIT pozwala na automatyczne i cykliczne przekazywanie informacji o pozycji GNSS, czasie oraz identyfikatora pokładowego urządzenia nadawczego. Taka informacja powinna być przekazywana przez dane urządzenie co 6 godzin [56].



Rysunek 56 Architektura systemu LRIT.  
Źródło: [43]

Kolejną ścieżką rozwoju może być dopracowanie działania istniejącej i już wykorzystywanej technologii RLS od Galileo. Jego implementacja w systemie COSPAS-SARSAT pozwoliła na znaczące poprawienie skuteczności akcji ratowniczych jednostek SAR. Rozbudowa tej usługi może przynieść jeszcze lepsze osiągi i korzyści, które przyczynią się do ratowania wielu ludzkich istnień.

RLS może w przyszłości również służyć do zdalnego sterowania komunikacją nadajników nowej generacji na częstotliwości 406 MHz. Może to być szczególnie przydatne w sytuacjach takich jak:

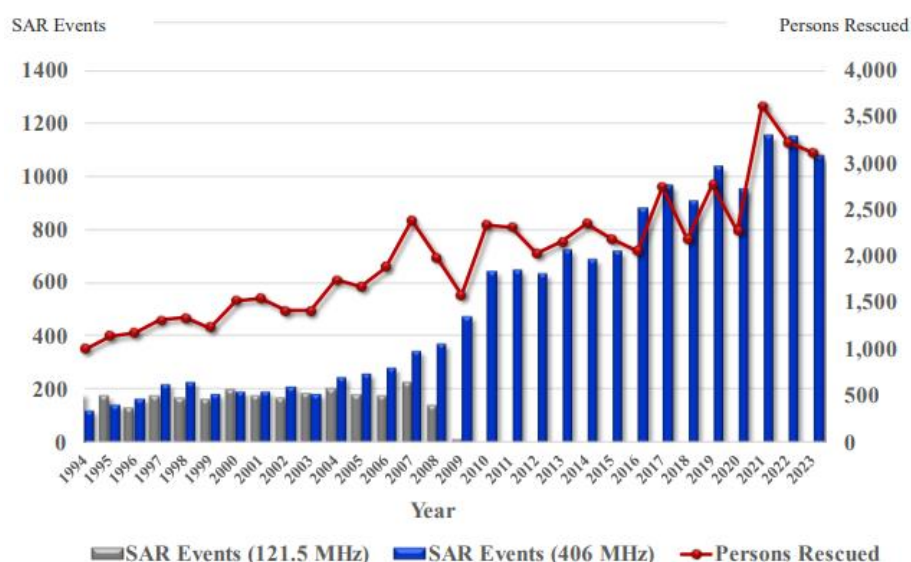
- aktywacja nadajników na zagubionych statkach i samolotach,
- wyłączenie transmisji po zakończeniu misji SAR, gdy ręczne wyłączenie nie jest możliwe,
- dostosowanie częstotliwości nadawania po odebraniu alarmu i precyzyjnym określeniu lokalizacji, co pozwala oszczędzać energię baterii i zmniejszać obciążenie systemu satelitarnego.

Innym potencjalnym sposobem, który mógłby poprawić efektywność wykrywania jednostek w niebezpieczeństwie jest opracowanie nowego rodzaju radiolaterni nawigacyjnej. Wstępne badania przeprowadzone przez Francję i Stany Zjednoczone wskazują, że możliwe są zmiany w kodowaniu kanału 406 MHz (np.

kodowanie wykrywania i korekcji błędów) w celu poprawy zysku przetwarzania. Zwiększony zysk przetwarzania zmniejszyłby ogólny współczynnik błędu bitowego, co z kolei zwiększyłoby prawdopodobieństwo poprawnego dekodowania wiadomości z nadajnika [14].

Rozważaną opcją są również możliwe zmiany w treści wiadomości nadawanych przez nadajniki, które mogłyby zwiększyć skuteczność systemu MEOSAR lub uprościć wymagania dotyczące kodowania nadajników.

Wydajne kodowanie kanałowe związane z modulacją QPSK poprawi margines łącza na trasie nadajnik–satelita–LUT o kilka dB. Taka poprawa może być szczególnie korzystna dla systemu MEOSAR, gdzie większa odległość między satelitą a segmentem naziemnym skutkuje gorszym marginesem łącza w porównaniu do systemów LEOSAR.



Rysunek 57 Liczba zdarzeń SAR wraz z liczbą uratowanych osób przy pomocy systemu COSPAS-SARSAT w latach 1994-2023.  
Źródło: [17]

Na powyższym wykresie można zauważyć, jak bardzo zmiana częstotliwości nadajnika z 121.5 MHz na 406 MHz i jego ciągła adaptacja do najnowszych technologii wpłynęły na ilość wykrywania zdarzeń SAR oraz redukcję ofiar ludzkich.

Wszelkie nowe specyfikacje nadajników lub zmiany w istniejących specyfikacjach powinny [14]:

- zostać zatwierdzone przez Radę COSPAS-SARSAT i skoordynowane z odpowiednimi organizacjami międzynarodowymi,

- charakteryzować się taką samą efektywnością spektralną jak obecne nadajniki 406 MHz,
- być poparte szczegółową analizą i szeroko zakrojonymi testami,
- obejmować odpowiednie wymagania dotyczące homologacji.



## Podsumowanie

Praca inżynierska koncentruje się na roli komunikacji satelitarnej jako wsparcia dla służb poszukiwawczo-ratowniczych na morzu. W dobie nowoczesnych technologii systemy satelitarne odgrywają kluczową rolę w zapewnianiu szybkiego przepływu informacji, precyzyjnej lokalizacji jednostek w niebezpieczeństwie oraz koordynacji akcji ratunkowych.

Omówiono w niej szczegółowo funkcjonowanie systemu COSPAS-SARSAT, który jest globalnym systemem wykorzystywanym do lokalizowania sygnałów alarmowych nadawanych przez radioboje ratunkowe. Opisano segmenty systemu – satelity na orbitach LEO, GEO i MEO – oraz ich wpływ na skuteczność wykrywania sygnałów alarmowych. Szczególną uwagę poświęcono systemowi MEOSAR, który łączy zalety niskoorbitowych i geostacjonarnych satelitów, zapewniając szybkie i precyzyjne lokalizowanie nadajników.

Dodatkowo przedstawiono potencjalne kierunki rozwoju systemu COSPAS-SARSAT, takie jak integracja z nowymi systemami satelitarnymi czy udoskonalenie technologii Return Link Service, umożliwiającej przesyłanie zwrotnych komunikatów do nadajników alarmowych. Analiza wydajności poszczególnych systemów wykazała, że rozwój segmentu MEOSAR oraz implementacja nowych rozwiązań mogą znacząco zwiększyć skuteczność działań ratowniczych i skrócić czas reakcji służb SAR.

Wnioski płynące z pracy podkreślają znaczenie ciągłej modernizacji systemów satelitarnych oraz ich interoperacyjności, co pozwoli na jeszcze lepsze wsparcie służb ratowniczych i zwiększenie bezpieczeństwa na morzu.

## **Streszczenie w języku polskim**

Praca inżynierska porusza zagadnienie komunikacji satelitarnej jako kluczowego wsparcia dla morskich służb SAR. Omówiono w niej system GMDSS jako podstawowy element globalnego systemu łączności alarmowej i bezpieczeństwa na morzu. Szczegółowo przedstawiono jego podsystemy, takie jak radiostacje VHF, system DSC, radiopławy EPIRB, COSPAS-SARSAT, INMARSAT, SART, NAVTEX oraz nawigacyjne systemy satelitarne GNSS i AIS-SART.

Kolejna część pracy skupia się na funkcjonowaniu polskiej Morskiej Służby Poszukiwania i Ratownictwa, jej obowiązkach, metodach działania, obszarze operacyjnym oraz prowadzonych nasłuchach radiowych.

W dalszej części omówiono globalne systemy satelitarne, takie jak GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou i Iridium, opisując ich segmenty oraz zasady działania, które mają kluczowe znaczenie w operacjach ratowniczych.

Najważniejszym elementem pracy jest analiza roli komunikacji satelitarnej w operacjach SAR, umieszczona w rozdziale czwartym. Przedstawiono jego infrastrukturę, znaczenie segmentu kosmicznego oraz działanie nowoczesnego systemu MEOSAR, który znacząco zwiększa skuteczność i szybkość reagowania na sygnały alarmowe. Dokonano także analizy wydajności oraz potencjalnych kierunków rozwoju systemu COSPAS-SARSAT, w tym integracji z nowymi technologiami, ulepszenia komunikacji zwrotnej oraz poszerzenia współpracy międzynarodowej.

Wnioski zawarte w pracy podkreślają rosnącą rolę satelitarnych systemów nawigacyjnych w działaniach SAR oraz konieczność ich dalszego rozwoju w celu zwiększenia bezpieczeństwa na morzu.

## **Bibliografia**

### Literatura:

1. Czajkowski J., Korcz K., GMDSS dla łączności bliskiego zasięgu, Skryba, Gdańsk 2006
2. Czarnomska M., Podręcznik radiooperatora, Wydawnictwo Nautica, 2023
3. Januszewski J., NAWIGACYJNY SYSTEM SATELITARNY GPS DZISIAJ I W PRZYSZŁOŚCI, Akademia Morska w Gdyni, Gdynia 2010
4. Czajkowski J., Nowoczesne systemy GMDSS, Uniwersytet Morski w Gdyni, Gdynia 2015
5. International Maritime Organization, SOLAS CHAPTER IV Radiocommunications, 2024
6. Kaplan E. D., Hegarty C. J., Understanding GPS, Wydawnictwo Artech House, Massachusetts 2005
7. China Satellite Navigation Office, BeiDou Navigation Satellite System Open Service Performance Standard (Version 3.0), 2021
8. Information and Analysis Center for Positioning, Navigation and Timing, GLONASS - Open Service Performance Standard Edition 2.2, Ministerstwo Obrony Federacji Rosyjskiej, Roskosmos, 2020
9. Europejska Agencja Kosmiczna, GALILEO OPEN SERVICE PERFORMANCE ANALYSIS REPORT, New Jersey 2024
10. International COSPAS-SARSAT Programme, COSPAS-SARSAT SYSTEM MONITORING AND REPORTING C/S A.003 Issue 3 – Revision 7, 2024
11. International COSPAS-SARSAT Programme, INTRODUCTION TO THE COSPAS-SARSAT SYSTEM C/S G.003 Issue 8, 2022
12. International COSPAS-SARSAT Programme, HANDBOOK ON DISTRESS ALERT MESSAGES FOR RESCUE COORDINATION CENTRES (RCCs), SEARCH AND RESCUE POINTS OF CONTACT (SPOCs) AND IMO SHIP SECURITY COMPETENT AUTHORITIES C/S G.007 Issue 3 – Revision 3, 2024
13. International COSPAS-SARSAT Programme, OPERATIONAL REQUIREMENTS FOR COSPAS-SARSAT SECOND-GENERATION 406-MHz BEACONS C/S G.008 Issue 1 - Revision 3, 2014

14. International COSPAS-SARSAT Programme, COSPAS-SARSAT 406 MHz MEOSAR IMPLEMENTATION PLAN C/S R.012 Issue 1 – Revision 17, 2023
15. Zheng Y., Zheng F., Yang C., Nie G., Li S., Analyses of GLONASS and GPS+GLONASS Precise Positioning Performance in Different Latitude Regions, 2022
16. Pan L., Zhang X., Li X., Li X., Lu C., Liu J., Wang Q., Satellite availability and point positioning accuracy evaluation on a global scale for integration of GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo, Advances in Space Research, 2017
17. International COSPAS-SARSAT Programme, COSPAS-SARSAT SYSTEM DATA No.50, 2024

Strony www:

18. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Galileo\\_General\\_Introduction](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=Galileo_General_Introduction) (dostęp z 15.01.2025)
19. <https://cospas-sarsat.int/en/search-and-rescue/system-graphics-en> (dostęp z 15.01.2025)
20. <https://cospas-sarsat.int/en/system-overview/cospas-sarsat-system> (dostęp z 15.01.2025)
21. [https://glonass-iac.ru/en/about\\_glonass/](https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/) (dostęp z 16.02.2025)
22. <https://www.gps.gov/systems/gps/control/> (dostęp z 17.02.2025)
23. <https://gpsbeam.com/quasi-zenith-satellite-system-qzss/> (dostęp z 12.03.2025)
24. <https://www.icseelectronics.co.uk/support/info/gmdss> (dostęp z 05.01.2025)
25. <https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/page/view.php?id=436> (dostęp z 05.01.2025)
26. <https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/page/view.php?id=485> (dostęp z 05.01.2025)
27. <http://host168-89-206-43.limes.com.pl/gmdss/filesprawo/solas.html#rys2> (dostęp z 05.01.2025)
28. <https://elcome.com/shop/sailor-7222-vhf-dsc-class-a-radio/> (dostęp z 06.01.2025)
29. [https://cirspb.ru/equipment-and-service/snyatye\\_s\\_proizvodstva/sp3515/](https://cirspb.ru/equipment-and-service/snyatye_s_proizvodstva/sp3515/) (dostęp z 06.01.2025)
30. <https://jotron.com/solution/how-does-an-epirb-work/> (dostęp z 10.01.2025)

31. <https://sklepwind.pl/pl/p/Transponder-radarowy-SART-McMurdo-S4-Rescue/3875> (dostęp z 11.01.2025)
32. <https://en.wikipedia.org/wiki/NAVAREA> (dostęp z 12.01.2025)
33. <https://novatel.com/an-introduction-to-gnss/resolving-errors/sbas> (dostęp z 19.01.2025)
34. <https://www.sar.gov.pl/pl/rys-historyczny> (dostęp z 25.01.2025)
35. <http://host168-89-206-43.limes.com.pl/gmdss/filessar/witowo.html> (dostęp z 13.01.2025)
36. <https://www.geomatyka.lasy.gov.pl/krotko-o-gps> (dostęp z 14.01.2025)
37. [https://en.wikipedia.org/wiki/GPS\\_Block\\_III](https://en.wikipedia.org/wiki/GPS_Block_III) (dostęp z 14.01.2025)
38. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=GPS\\_Space\\_Segment](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=GPS_Space_Segment) (dostęp z 14.01.2025)
39. <https://www.csno-tarc.cn/en/system/introduction> (dostęp z 16.02.2025)
40. <https://www.cubic-i.co.jp/en/iridium/system.html> (04.03.2025)
41. <https://www.iridium.com/media-center/satellites-network/> (dostęp z 04.03.2025)
42. <https://www.iridium.com/media-center/facilities/> (dostęp z 04.03.2025)
43. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/LRIT.aspx> (dostęp z 17.03.2025)
44. [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2012/03/Galileo\\_satellite\\_with\\_search\\_and\\_rescue\\_antenna](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2012/03/Galileo_satellite_with_search_and_rescue_antenna) (dostęp z 12.02.2025)
45. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=GALILEO\\_Ground\\_Segment](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=GALILEO_Ground_Segment) (dostęp z 20.02.2025)
46. [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=GLONASS\\_Ground\\_Segment](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php?title=GLONASS_Ground_Segment) (dostęp z 20.02.2025)
47. <https://glonass-iac.ru/en/map/> (dostęp z 20.02.2025)
48. <https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/page/view.php?id=2114> (dostęp z 06.01.2025)
49. <https://www.egmdss.com/gmdss-courses/mod/page/view.php?id=2172> (dostęp z 06.01.2025)
50. <https://en.wikipedia.org/wiki/AIS-SART> (dostęp z 12.01.2025)
51. [https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Morska\\_S%C5%82u%C5%BCba\\_Poszukiwania\\_i\\_Ratownictwa](https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Morska_S%C5%82u%C5%BCba_Poszukiwania_i_Ratownictwa) (dostęp z 25.01.2025)

52. [https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_di\\_posizionamento\\_BeiDou](https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_posizionamento_BeiDou) (dostęp z 15.01.2025)
53. [https://www.researchgate.net/figure/D-communication-coverage-of-Iridium-satellites-at-the-ground-cyan-circles-and-500-km\\_fig1\\_364094831](https://www.researchgate.net/figure/D-communication-coverage-of-Iridium-satellites-at-the-ground-cyan-circles-and-500-km_fig1_364094831) (dostęp z 05.03.2025)
54. [https://www.researchgate.net/publication/345652840\\_A\\_Reevaluation\\_of\\_Selected\\_Mobile\\_Satellite\\_Communications\\_Systems\\_Ellipso\\_Globalstar\\_IRIDIUM\\_and\\_Odyssey](https://www.researchgate.net/publication/345652840_A_Reevaluation_of_Selected_Mobile_Satellite_Communications_Systems_Ellipso_Globalstar_IRIDIUM_and_Odyssey) (dostęp z 05.03.2025)
55. <https://www.iridium.com/products/lt-3100s-gmdss-system/> (dostęp z 05.03.2025)
56. <https://www.iridium.com/long-range-identification-tracking/> (dostęp z 11.03.2025)

## Spis rysunków

Rysunek 1 Koncepcja systemu GMDSS.....	15
Rysunek 2 Rzeczywisty rozkład obszarów A1, A2, A3 i A4. ....	19
Rysunek 3 Radiotelefon stacjonarny VHF SAILOR 7222 VHF. ....	20
Rysunek 4 Radiotelefon przenośny VHF.....	20
Rysunek 5 Elementy składowe radiopławy EPIRB. ....	25
Rysunek 6 Sekwencja automatycznej aktywacji radiopławy.....	26
Rysunek 7 Przykładowa instrukcja obsługi. ....	28
Rysunek 8 System COSPAS-SARSAT: Ogólna zasada działania. ....	29
Rysunek 9 Globalne pokrycie kuli ziemskiej przez system LEOSAR. ....	30
Rysunek 10 Obszar pokrycia i rejony GEOSAR. ....	30
Rysunek 11 Porównanie procentowego pokrycia kuli ziemskiej przez systemy LEOSAR, MEOSAR i GEOSAR. ....	31
Rysunek 12 Opis orbit systemów przynależących do COSPAS-SARSAT.....	32
Rysunek 13 Orbitę satelitów INMARSAT 36000 km n.p.m.....	35
Rysunek 14 Oznaczenie pozycji transpondera na radarze. ....	37
Rysunek 15 Oznaczenie pozycji transpondera na radarze. ....	38
Rysunek 16 Oznaczenie pozycji transpondera na radarze. ....	38
Rysunek 17 Mapa wszystkich obszarów NAVAREA. ....	40
Rysunek 18 Przykładowy schemat działania systemu SBAS.....	42
Rysunek 19 Nadajnik AIS-SART firmy WeatherDock AG. ....	43
Rysunek 20 Krzyż Maltański. ....	45
Rysunek 21 Obszar działania MSPiR. ....	47
Rysunek 22 Zasięg radiowy stacji Witowo Radio (strefa A2 systemu GMDSS).....	48
Rysunek 23 Schemat głównych elementów systemów nawigacyjnych. ....	49
Rysunek 24 Satelita GPS III. ....	51
Rysunek 25 Konstelacja satelitów GPS. ....	52
Rysunek 26 Mapa przedstawiająca rozłożenie segmentu kontrolnego na Ziemi. ....	54
Rysunek 27 Konstelacja systemu Galileo.....	56
Rysunek 28 Galileo-IOV.....	57
Rysunek 29 Mapa stacji naziemnych Galileo. ....	58
Rysunek 30 Satelita GLONASS-K. ....	61
Rysunek 31 Mapa rozmieszczenia satelitów GLONASS na orbitach ziemskich. ....	62

Rysunek 32 Wykres przedstawiający różnice między sygnałem systemu GPS, a GLONASS. ....	64
Rysunek 33 Mapa przedstawiająca segment naziemny systemu GLONASS.....	65
Rysunek 34 Logo BeiDou. ....	68
Rysunek 35 Konstelacja satelitów systemu BeiDou. ....	69
Rysunek 36 Wykres przedstawiający zakres częstotliwości systemu BeiDou. ....	70
Rysunek 37 Schemat działania systemu Iridium.....	74
Rysunek 38 Konstelacja satelitarna Iridium.....	75
Rysunek 39 Mapa przedstawiająca pokrycie Ziemi przez system Iridium. ....	76
Rysunek 40 Stacja naziemna Iridium w Svalbard.....	77
Rysunek 41 Stacja naziemna Iridium na Alasce. ....	78
Rysunek 42 LT-3100S GMDSS System. ....	81
Rysunek 43 Schemat blokowy stworzony w programie MATLAB przedstawiający zasadę działania systemu COSPAS-SARSAT. ....	83
Rysunek 44 Schemat blokowy stworzony w programie MATLAB przedstawiający zasadę działania segmentu kosmicznego systemu COSPAS-SARSAT. ....	84
Rysunek 45 Koncepcja systemu COSPAS-SARSAT.....	87
Rysunek 46 Zestawienie map przedstawiające średnią liczbę widocznych satelitów dla systemów GNSS.....	90
Rysunek 47 Mapa śladów naziemnych systemu BeiDou.....	91
Rysunek 48 Mapa śladów naziemnych systemu GPS.....	91
Rysunek 49 Mapa śladów naziemnych systemu GLONASS.....	92
Rysunek 50 Mapa śladów naziemnych systemu Galileo. ....	92
Rysunek 51 PDOP dla systemów GPS, GLONASS oraz GPS+GLONASS w regionach wysokich, średnich i niskich szerokości geograficznych. ....	93
Rysunek 52 Wykresy przedstawiające błędy statycznego pozycjonowania w dla jedno- i dwuczęstotliwościowego PPP danych systemów na stacji JFNG w dniu 12 września 2016 roku.....	95
Rysunek 53 Schemat RLS w systemie COSPAS SARSAT. ....	96
Rysunek 54 Architektura systemu RLS. ....	97
Rysunek 55 Mapa przedstawiające orbitę systemu QZSS. ....	98
Rysunek 56 Architektura systemu LRIT.....	102
Rysunek 57 Liczba zdarzeń SAR wraz z liczbą uratowanych osób przy pomocy systemu COSPAS-SARSAT w latach 1994-2023. ....	103



## Spis tabel

Tabela 1 Zestawienie obszarów morskich GMDSS Obszary A1-A2. ....	17
Tabela 2 Zestawienie obszarów morskich GMDSS Obszary A3-A4. ....	18
Tabela 3 Ciąg kodowy cyfrowego wywołania. ....	23
Tabela 4 Standardy wydajności usługi SAR systemu BDS. ....	73
Tabela 5 Zakres częstotliwości pasma K wykorzystywanych w Iridium. ....	76
Tabela 6 Porównanie cech systemów pracujących w COSPAS-SARSAT. ....	86
Tabela 7 Charakterystyka konstelacji satelitarnej systemu MEOSAR Część 1. ....	88
Tabela 8 Charakterystyka konstelacji satelitarnej systemu MEOSAR Część 2. ....	89