

JERZY CZAJKOWSKI
Akademia Morska w Gdyni
Katedra Nawigacji

ALARMOWANIE W SATELITARNYM SYSTEMIE COSPAS-SARSAT

W artykule przedstawiono założenia techniczno-operacyjne systemu COSPAS-SARSAT, będącego jednym z istotnych podsystemów składowych Światowego Morskiego Systemu Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa – GMDSS. System ten zapewnia skuteczne alarmowanie w niebezpieczeństwie wykorzystując do tego celu radiopławy awaryjne EPIRB pracujące na częstotliwościach 406 MHz i 121,5 MHz.

Omówiono strukturę systemu, tj. segment kosmiczny i segment naziemny, przedstawiając jednocześnie zasadę działania i sposób określania pozycji. Ponadto przedstawiono rozbudowę systemu poprzez wprowadzenie satelitów usytuowanych na orbicie geostacjonarnej. Zapoznano się także z trendami rozwojowymi systemu, mającymi na celu zwiększenie jego skuteczności i elastyczności.

WPROWADZENIE

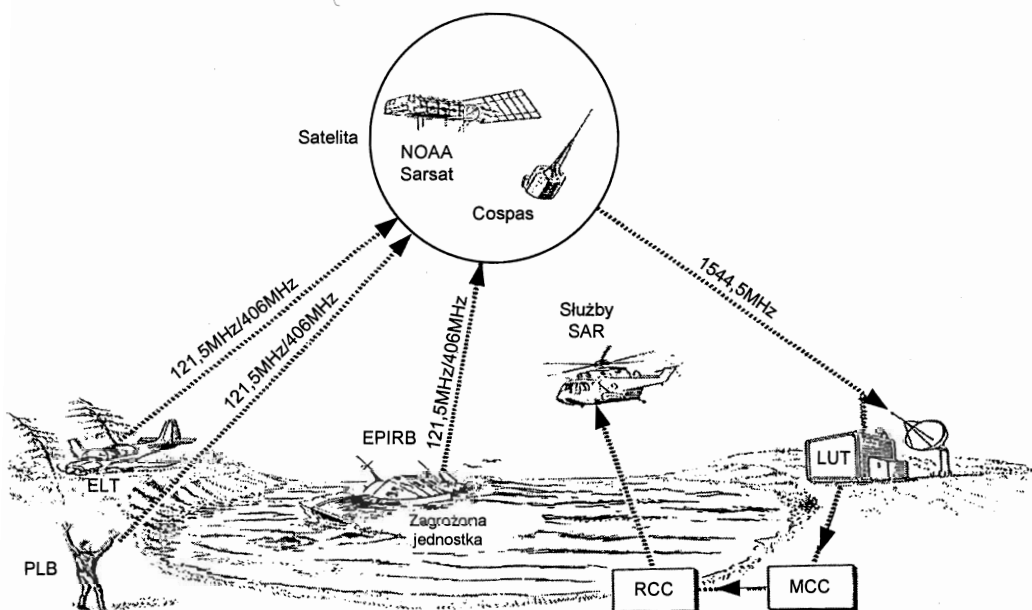
W wielu przypadkach wysyłanie sygnału alarmowego ze statku za pomocą radiostacji statkowej jest niemożliwe. Przyczyn tego stanu rzeczy może być wiele, między innymi uszkodzony system antenowy, awaria zasilania, dym wywołany pożarem, bądź też choroba (zranienie) osoby zdolnej do jej obsługi. Konieczne więc stało się wyposażenie statków w urządzenie radiowe zasilane bateryjnie, przenośne, wodoszczelne i łatwe w obsłudze, będące w stanie automatycznie wysłać sygnały alarmowe na międzynarodowych częstotliwościach alarmowych, umożliwiające ustalenie miejsca katastrofy. Dynamiczny wzrost liczby statków uprawiających żeglugę spowodował konieczność stworzenia globalnego systemu zapewniającego bezpieczeństwo i skuteczne alarmowanie w sytuacjach zagrożenia. Jest nim Światowy Morski System Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa – GMDSS (*Global Maritime Distress and Safety System*). W systemie tym bardzo ważną rolę w zakresie alarmowania odgrywa satelitarny system COSPAS-SARSAT, wykorzystujący do tego celu sygnały radiowe nadawane przez radiopławy EPIRB (*Emergency Position Indication Radio Beacons*) na częstotliwościach 121,5 MHz oraz 406 MHz.

1. ZAŁOŻENIA SYSTEMOWE I OPIS OGÓLNY

System COSPAS–SARSAT jest satelitarnym systemem alarmowania, przeznaczonym do lokalizacji radiopław alarmowych. W sytuacji zaistnienia niebezpieczeństwa na wodzie, w powietrzu lub na lądzie umożliwia on wszystkim organizacjom SAR (*Serach and Rescue*) rozpoczęcie akcji poszukiwania i ratowania [3].

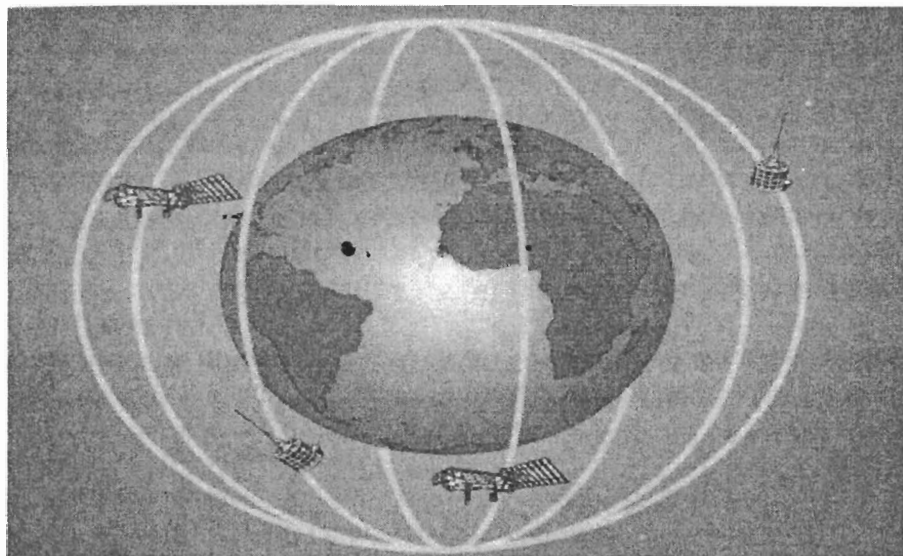
Omawiany system, którego pierwotną koncepcję działania przedstawia rysunek 1, powstał w wyniku połączenia następujących członów:

- COSPAS – „Kosmicheskaya Sistyema Poiska Awariynykh Sudov” – satelitarny system poszukiwania statków utworzony przez były Związek Radziecki,
- SARSAT – satelitarny system wykorzystywany do poszukiwania i ratowania (*Search and Rescue Satellite – Aide Tracking*), utworzony przez USA, Kanadę i Francję [5].



Rys. 1. Schemat działania systemu COSPAS-SARSAT: **ELT** (*Emergency Locator Transmitter*) – radiopława lotnicza pracująca tylko na częstotliwości 121,5 MHz; **EPIRB** (*Emergency Position – Indicating Radio Beacon*) – morska radiopława awaryjna, może pracować na częstotliwości 121,5 MHz; obecnie radiopławy pracują na częstotliwości 406 MHz; **PLB** (*Personal Locator Beacon*) – radiowa lądowa-osobista; **LUT** (*Local User Terminal*) – naziemna stacja systemu COSPAS-SARSAT; **MCC** (*Mission Control Centre*) – centrum sterowania w systemie COSPAS-SARSAT; **RCC** (*Rescue Coordination Centre*) – Ośrodek Koordynacji Ratownictwa; **SAR** (*Search and Rescue*) – poszukiwanie i ratowanie

W systemie tym, w celu uzyskania globalnego pokrycia zastosowano satelity krążące po orbitach biegunowych (rys. 2). Urządzenia radarowe COSPAS są umieszczone na satelitach obiegających Ziemię w przybliżeniu co 105 minut, na wysokości około 999 km, przy nachyleniu orbity względem płaszczyzny równika równym 83° , przy czym do dyspozycji na orbicie pozostają przez cały czas dwa satelity. Natomiast satelity systemu SARSAT obiegają Ziemię w przybliżeniu co 100 minut, na wysokości około 850 km, przy nachyleniu orbity względem płaszczyzny równika równym 99° ; na orbicie przez cały czas znajdują się również dwa satelity.



Rys. 2. Orbitsy polarne satelitów COSPAS-SARSAT

System COSPAS-SARSAT składa się z trzech zasadniczych części:

- segmentu kosmicznego,
- satelitarnej radiopławy zdolnej do przekazywania sygnałów do satelity (radiopławami lotniczymi są radiopławy typu ELT, morskimi – EPIRB, natomiast na lądzie coraz częściej używa się radiopław PLB),
- segmentu naziemnego obejmującego:
 - stacje odbiorcze (LUT) usytuowane w różnych częściach świata, zapewniające odbiór sygnałów z satelitów i określenie na ich podstawie współrzędnych geograficznych miejsca wypadku,
 - centrum kierowania systemem (MCC).

Sygnały radiowe są odbierane przez niskoorbitalne, odpowiednio wyposażone satelity (LEOSAR) krążące po orbitach biegunowych. Stan segmentu kosmicznego satelitów LEOSAR przedstawiono w tabeli 1.

Stan satelitów niskoorbitalnych na dzień 01.12.2006 r.

Oznaczenie	Nazwa satelity	Data wysłania
Cospas -4	Nadezhda-1	lipiec 1989
Cospas -9	Nadezhda-6	czerwiec 2000
Cospas -11	Nadezhda	2007
Sarsat-6	NOAA-14	grudzień 1994
Sarsat-7	NOAA-15	maj 1998
Sarsat-8	NOAA-16	wrzesień 2000
Sarsat-9	NOAA-17	czerwiec 2002
Sarsat-10	NOAA-18	maj 2005
Sarsat-11	NOAA	październik 2006

Odebrany przez satelitę sygnał jest retransmitowany do odbiornika wchodzącego w skład tzw. lokalnej stacji naziemnej (LUT), gdzie podlega obróbce w celu określenia lokalizacji radiopławy. Informacje o katastrofie oraz współrzędne geograficzne radiopławy przekazywane są do Ratowniczego Centrum Koordynacji (RCC) lub odpowiedniej służby poszukiwawczo-ratowniczej w celu rozpoczęcia akcji SAR. Współrzędne radiopławy określa się na podstawie pomiarów satelitarnych dopplerowskiego efektu zmiany częstotliwości sygnału przyjmowanego od EPIRB (ruch względny satelity i radiopławy). Pomiar przeprowadzany jest na częstotliwości nośnej danej radiopławy, co wymaga dużej stabilności częstotliwości nośnej sygnału emitowanego przez radiopławę. Częstotliwość nośna nadajnika jest dostatecznie stabilizowana podczas wzajemnej radiowidzialności pomiędzy EPIRB i satelitą. Obecnie w systemie COSPAS-SARSAT wykorzystuje się radiopławy pracujące na częstotliwości 121,5 MHz; jest to międzynarodowa lotnicza częstotliwość niebezpieczeństwa oraz w zakresie częstotliwości 406,0–406,1 MHz. Radiopławy pracujące w zakresie 406,0–406,1 MHz są bardziej skomplikowane pod względem technicznym, ze względu na możliwość włączenia w skład informacji kodu identyfikacyjnego oraz danych o pozycji wprowadzanych automatycznie lub ręcznie. Przy wprowadzeniu pozycji następuje również jej dopplerowskie wyznaczenie; zgodność uzyskanego wyniku z danymi przekazanymi przez radiopławę znacząco zmniejsza prawdopodobieństwo pomyłki.

Chcąc zapewnić globalne pokrycie systemu, zdecydowano się na zastosowanie satelitów krążących po orbitach biegunowych. Jednak z uwagi na istnienie pasów radiacyjnych, powstał problem wyboru wysokości tych orbit. Z tego względu możliwe były dwie alternatywne orbity: niska o wysokości rzędu 1000 km i wysoka powyżej 10 000 km.

Lepsze pokrycie obszaru całej kuli ziemskiej oraz mniejsze opóźnienia w przekazywaniu sygnałów alarmowych dają systemy o wysokich orbitach, natomiast mała wysokość wpływa na niskie wymagania w stosunku do

emitowanej mocy przez radiopławy, korzystne charakterystyki przesunięcia dopplerowskiego oraz krótkie czasy pomiędzy kolejnymi przejściami satelity (przy odpowiedniej liczbie satelitów).

Według dopplerowskich pomiarów, określenie współrzędnych radiopławy podczas jednego przejścia satelity daje dwie pary współrzędnych po obu stronach trasy przejścia satelity: rzeczywiste i lustrzane współrzędne EPIRB. Zabezpieczenia przed powstałą niejednoznacznością dokonuje się metodami matematycznymi. Przy dostatecznie wysokiej stabilizacji promieniowania częstotliwości EPIRB, co obserwuje się w przypadku wykorzystania EPIRB 406 MHz, rzeczywiste współrzędne EPIRB określa się w czasie jednego przejścia satelity. Przy odbiorze sygnałów od EPIRB 121,5 MHz, niejednoznaczność rozwiązuje się w czasie drugiego przejścia satelity, jeśli tego nie uda się zrobić przy pierwszym przejściu.

W systemie COSPAS–SARSAT do wykrywania sygnałów EPIRB i określenia ich pozycji wykorzystywane są dwa tryby pracy: tryb odbioru i nadawania informacji w rzeczywistym przedziale czasu oraz tryb odbioru z zapamiętywaniem informacji przez satelitę i jego późniejszym nadaniem do stacji odbioru informacji w momencie znalezienia się satelity w strefie radiowidzialności. Radiopławy 121,5 MHz mogą być wykorzystywane tylko w trybie bezpośredniego nadawania, natomiast EPIRB 406 MHz – w obu.

W trybie retransmitowania sygnałów radiopław 121,5 MHz (tryb czasu rzeczywistego), satelita pełni rolę przekaźnika. Urządzenie retransmitująco-przetwarzające wchodzące w skład satelity przekazuje na powierzchnię Ziemi sygnał odebrany na częstotliwości 121,5 MHz, z wykorzystaniem sygnału o częstotliwości wynoszącej 1544,5 MHz, bezpośrednio do stacji odbioru informacji LUT. Jeżeli w momencie odbioru sygnału przez satelitę LUT także znajduje się w zakresie jego widzialności, wówczas sygnał radiopławy może być przyjęty i opracowany przez aparaturę elektroniczną stacji LUT (zasięg lokalny – obszary biegunowe).

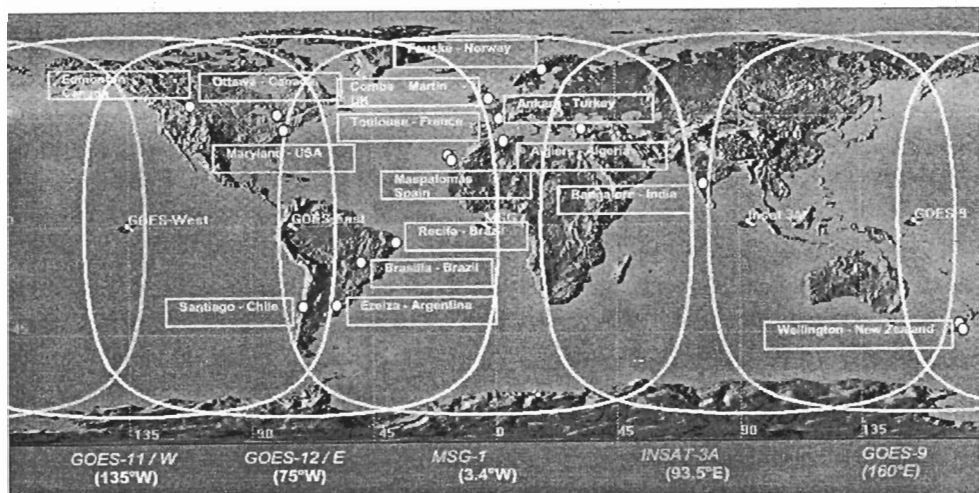
Przy trybie retransmitowania i obróbki radiopław 406 MHz, w przypadku odebrania przez satelitę sygnału radiopławy 406 MHz, dokonywany jest w nim pomiar przesunięcia dopplerowskiego, po czym następuje opracowywanie danych. Pokładowy procesor satelity przeprowadza pomiar dopplerowskiej odchyłki częstotliwości sygnału, a także obróbkę i sortowanie cyfrowej informacji znajdującej się w sygnale. W procesie obróbki sygnału EPIRB, odebranej informacji nadawany jest znacznik czasu, który zmienia się w cyfrowy zapis, przekazywany w rzeczywistym okresie czasu do dowolnego LUT znajdującego się w strefie widzialności satelity. Jednocześnie dana informacja zostaje zapisana w bloku pamięci pokładowego procesora satelity, w celu nadania w czasie późniejszym.

Tryb światowego pokrycia radiopław EPIRB, pracujących na częstotliwości 406 MHz, umożliwia przechowywanie informacji w pamięci dowolnej stacji w celu ewentualnego, późniejszego udostępnienia innej stacji LUT. W ten

sposób każda radiopława może być zlokalizowana przez wszystkie pracujące ośrodki LUT. Dzięki temu zapewniono globalne pokrycie systemu, lecz niestety z dodatkowym opóźnieniem związanym z czasem oczekiwania na wzajemną widzialność satelity i stacji naziemnej.

2. ROZBUDOWANY SYSTEM COSPAS-SARSAT

Od 1995 roku system COSPAS-SARSAT zaczęto rozbudowywać o satelity usytuowane na orbicie geostacjonarnej – GEOSAR. Na rysunku 3 przedstawiono rozmieszczenie satelitów GEOSAR i obszary pokrycia [2]. Stan na dzień 01.12.2006 r. segmentu kosmicznego satelitów GEOSAR przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 3. Obszary pokrycia satelitów GEOSTAR i stacje naziemne GEOLUT

Tabela 2

Segment kosmiczny satelitów GEOSAR

Satelita	Data wystania satelity	Długość geograficzna rzutu satelity na równik
GOES-9	maj 1995	160° E
GOES-10(GOESW)	kwiecień 1997	135° W
GOES-12(GOES-E)	lipiec 2001	075° W
INSAT 3A	kwiecień 2003	093,5° E
MSG-1	sierpień 2002	003,4° W

Satelity te znajdują się na geostacjonarnej orbicie, na wysokości 36 000 km i zapewniają obszar pokrycia od szerokości około 70°N do około 70°S. GEOSTAR nie pozwala na określenie pozycji za pomocą efektu Dopplera,

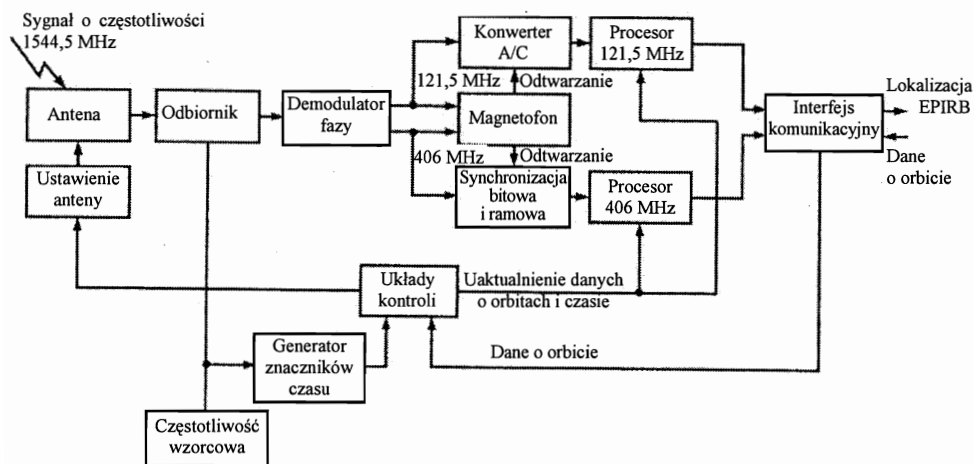
dlatego informacja o pozycji radiopławy musi być wprowadzana przez wewnętrzne lub zewnętrzne urządzenia nawigacyjne.

Obecnie segment naziemny rozbudowanego systemu COSPAS–SARSAT składa się z:

- lokalnych stacji odbiorczych LUT oraz
- centrów sterowania MCC.

Lokalne stacje odbiorcze (LUT)

Konfiguracja i możliwości każdej z lokalnych stacji naziemnych mogą być różne w zależności od indywidualnych potrzeb kraju, w którym dana stacja się znajduje i od tego, w którym z poprzednich systemów (COSPAS lub SARSAT) pracowała, jednak pod warunkiem zapewnienia pełnej kompatybilności każdej z obecnie używanych stacji i każdego satelity, co jest określone wymaganiami systemu COSPAS–SARSAT [5].



Rys. 4. Schemat blokowy stacji LUT systemu COSPAS–SARSAT

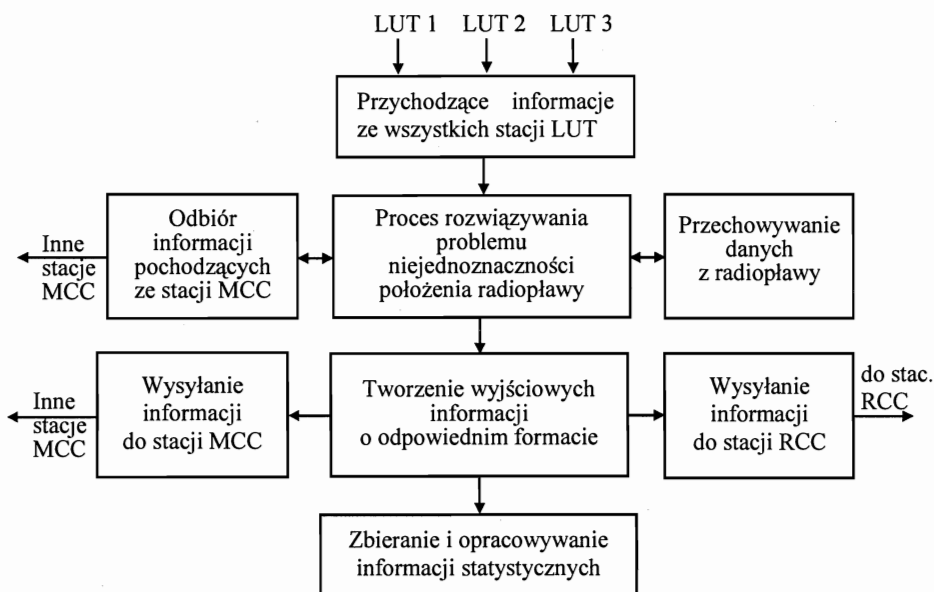
Rysunek 4 przedstawia schemat blokowy typowej lokalnej stacji naziemnej systemu COSPAS–SARSAT. Z anteny przekazywany jest do odbiornika sygnał o częstotliwości 1544,5 MHz, gdzie następuje przemiana częstotliwości. Następnie sygnał o częstotliwości pośredniej zostaje podany do demodulatora fazy. Filtry znajdujące się na wyjściu demodulatora odpowiednio kształtują pasmo sygnału użytecznego, podlegającego obróbce w celu uzyskania informacji o niebezpieczeństwie. Jeżeli odebrany sygnał pochodzi z radiopławy pracującej na częstotliwości 121,5 MHz, wówczas jest on zamieniany w konwerterze analogowo-cyfrowym na sygnał cyfrowy i podawany do procesora, na wyjściu którego pojawiają się żądane informacje. Sygnał z radiopławy 406 MHz podlega najpierw synchronizacji, po czym zostaje przekazany do procesora 406 MHz.

Przeprowadzane w procesorach obliczenia wykorzystują dane o orbicie satelity, które dostarczane są stacji LUT z zewnątrz poprzez specjalny interfejs komunikacyjny. Cały układ jest kontrolowany elektronicznie oraz synchronizowany z wewnętrznego generatora.

Ponieważ w przypadku radiopław 121,6 MHz konieczne jest dokonywanie na stacji LUT pomiaru przesunięcia dopplerowskiego, z którego odczytywane jest położenie radiopławy, obróbka tego typu sygnałów jest dużo dłuższa niż w przypadku radiopław 406 MHz, gdzie wystarczy kilka minut.

Centra sterowania (MCC)

W każdym kraju, w którym pracuje co najmniej jedna stacja odbiorcza LUT, znajduje się także MCC. Głównymi funkcjami centrum sterowania jest zbieranie, przechowywanie i segregowanie informacji uzyskiwanych z lokalnych stacji odbiorczych oraz innych MCC, a także udostępnianie ich dla systemu COSPAS–SARSAT (rys. 5).



Rys. 5. Funkcje stacji MCC

Większość przechowywanych informacji można podzielić na dwie kategorie: informacje o niebezpieczeństwie oraz systemowe. Pierwsze z nich otrzymywane są z pracujących w ramach systemu COSPAS–SARSAT radiopław 406 MHz i 121,5 MHz. Informacje systemowe natomiast służą do utrzymywania sprawności systemu. W skład tych informacji wchodzi między innymi stabelaryzowane dane (szybko się zmieniające, stale uaktualniane)

potrzebne do wyznaczenia położenia radiopław (np. dane o orbitach satelitów) oraz aktualny stan wszystkich podsystemów [5].

Status segmentu naziemnego i kosmicznego na dzień 1 grudnia 2006 [1].

Segment kosmiczny tworzą:

- 7 satelitów na orbitach biegunowych (LEOSAR),
- 5 satelitów na orbicie geostacjonarnej (GEOSAR),
- 2 satelity zapasowe (na orbicie geostacjonarnej).

Segment naziemny składa się z:

- 46 stacji odbiorczych LEOLUT (współpracujących z satelitami LEOSAR),
- 11 stacji odbiorczych GEOLUT (współpracujących z satelitami GEOSAR),
- 26 stacji MCC.

Statystyka akcji SAR i liczba uratowanych osób

W 2005 roku przeprowadzono 435 akcji ratunkowych SAR i uratowano 1666 osób.

Od początku istnienia systemu tj. od września 1982 roku do końca 2005 roku odnotowano 5722 akcji ratunkowych SAR, ratując w tym czasie 20 531 osób.

3. PROGNOZY WZROSTU LICZBY RADIOPLAW W 2010 ROKU

Tabela 3

Prognozowana liczba radiopław EPIRB pracujących na częstotliwości 406 MHz

Rok	2002	2010
Liczba EPIRB 406 MHz	267 833	około 328 000
Liczba ELT/PLB 406 MHz	54 127	około 566 000
Razem	321 960	894 000

Przewiduje się, że do 2010 roku ogólna liczba wszystkich radiopław wzrośnie prawie trzykrotnie, co zwiększa ryzyko, że aktualna, duża pojemność systemu COSPAS–SARSAT może okazać się zbyt mała.

W tabeli 3 nie zamieszczono informacji na temat radiopław EPIRB pracujących na częstotliwości 121,5 MHz, ponieważ Rada COSPAS–SARSAT na posiedzeniu w październiku 2006 r. postanowiła wyłączyć z pracy od 1 lutego 2009 roku radiopławy EPIRB nadające na tej częstotliwości.

4. ZAKOŃCZENIE

System COSPAS–SARSAT stanowi bardzo istotny podsystem Światowego Morskiego Systemu Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa zapewniając realizację jego najistotniejszej funkcji jaką jest alarmowanie. Należy jednak zauważyć, iż, od momentu jego powstania ciągle jest on rozbudowywany, stwarzając coraz bardziej dogodne możliwości realizacji powierzonych mu funkcji. Dlatego też system ten stał się w pewnym sensie konkurentem satelitarnego systemu INMARSAT- E, wykorzystującego satelity geostacjonarne i radiopławy EPIRB pracujące na częstotliwości 1,6 GHz.

Jak wynika z zamieszczonych w artykule informacji, system COSPAS–SARSAT realizuje również odbiór sygnałów alarmowych EPIRB pracujących na częstotliwościach 406 MHz przez satelity geostacjonarne. Satelitarny system INMARSAT- E zawiesił swoją działalność z dniem 01 grudnia 2006 r.; radiopławy EPIRB pracujące na częstotliwości 1,6 GHz zostały wycofane.

COSPAS–SARSAT będzie nadal rozwijany poprzez wprowadzenie satelitów usytuowanych na orbitach o średniej wysokości (MEOSAR), które w zasadniczy sposób mają rozszerzyć efektywność systemu. W systemie tym będą mogły być wykorzystywane satelity amerykańskiego systemu GPS, Federacji Rosyjskiej – GLONASS i systemu europejskiego Galileo.

LITERATURA

1. Status of the COSPAS-SARSAT Programme, SUB-COMMITTEE ON RADIOCOMMUNICATIONS AND SEARCH AND RESCUE, February 2007.
2. Czajkowski J., *Kierunki ewolucji Światowego Morskiego Systemu Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa – GMDSS*, Krajowa Konferencja Radiokomunikacji, Radiofonii i Telewizji, Gdańsk, 13-15 czerwca 2007.
3. Czajkowski J., Korcz K., *GMDSS dla łączności bliskiego zasięgu*, Gdańsk 2006.
4. *COSPAS–SARSAT System Data*, London 2002.
5. Czajkowski J., Pławski W., *Alarmowanie i naprowadzanie na rozbitków w systemie GMDSS*, Gdańsk 1997.

DISTRESS ALERTING IN COSPAS–SARSAT SYSTEM

(Summary)

The paper presents the main technical and operational feature of the COSPAS-SARSAT system – one of the GMDSS – subsystem.

This system is responsible for distress alerting using distress beacons transmitting on the frequencies 121,5 MHz and 406 MHz.

These beacons transmit signals that are detected by COSPAS-SARSAT polar orbiting satellites and geostationary satellites equipped with suitable processors.