

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO

im. generała broni K. Świerczewskiego

39

plk M. GELETA

WYKORZYSTANIE SZTUCZNYCH SATELITÓW ZIEMI  
DLA CEŁÓW ŁĄCZNOŚCI

(Łączność satelitarna)

Opracowanie wstępne



4187

WARSZAWA

LISTOPAD

1968



**A K A D E M I A S Z T A B U G E N E R A L N E G O**  
im. generała broni K. Świerczewskiego

---

39 :

płk M. GEŁETA

**WYKORZYSTANIE SZTUCZNYCH SATELITÓW ZIEMI  
DLA CEŁÓW ŁĄCZNOŚCI**

(Łączność satelitarna)

Opracowanie wstępne



4187

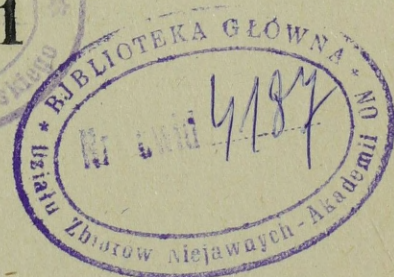
AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

---

39

płk M. G E Ł E T A  
WYKORZYSTANIE SZTUCZNYCH SATELITOW ZIEMI DLA CEŁÓW ŁACZNOŚCI  
/Łączność satelitarna/  
Opracowanie wstępne

631



---

WARSZAWA

Grudzień

1968 r.

T R E Ś Ć

	strona
W s t ę p . . . . .	3
I. PODSTAWOWE ZASADY DZIAŁANIA ŁACZNOŚCI SATELITARNEJ . .	6
1. Niektóre czynniki charakteryzujące systemy łączności satelitarnej . . . . .	6
2. Zasada działania systemu łączności satelitarnej . . .	17
II. SYSTEMY ŁACZNOŚCI SATELITARNEJ I MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA DLA CEŁÓW WOJSKOWYCH . . . . .	20
1. System łączności z satelitami na niskich orbitach..	22
2. System łączności z satelitami na średnich orbitach .	22
3. System łączności z satelitami stacjonarnymi . . . . .	23
4. System łączności z satelitami pasywnymi . . . . .	26
III. SYSTEMY ŁACZNOŚCI SATELITARNEJ SIŁ ZBROJNYCH USA i NATO . . . . .	34

W s t e p :

W minionym 20-leciu opanowano wiele nowych sposobów wymiany informacji na dalekie odległości, jednak połączenie między sobą kontynentów rozdzielonych wielkimi obszarami mórz i oceanów nadal napotyka na ogromne trudności. Doświadczenia wykazują, że problem wielokanałowej łączności dalekosiężnej może być rozwiązany tylko za pomocą sztucznych satelitów Ziemi.

Dążność do wykorzystania sztucznych satelitów Ziemi dla celów dalekosiężnej łączności nie jest przypadkowa. Współczesny rozwój ludzkości oraz różnych form jej działania, wskazuje na potrzebę szerokiej wymiany informacji, której znaczną część należy przekazywać na odległość setek tysięcy kilometrów.

Badania przeprowadzone za granicą wskazują, że jeśli ilość transatlantycznych /między Europą Zachodnią a USA/ dwustronnych rozmów telefonicznych w 1959 r. nie przewyższała 2 milionów, to do 1970 roku potrzeby te wzrosną do 10 milionów, a do 1980 roku do 118 milionów. Należy przy tym mieć na uwadze, że podwodny transatlantyczny kabel może zapewnić wszystkiego 100 telefonicznych kanałów, natomiast dla 118 milionów dwustronnych rozmów należy mieć 11 tysięcy kanałów.<sup>x/</sup>

Wykorzystanie do tego celu radiostacji o zakresie fal długich, średnich i krótkich nie rozwiązuje problemu łączności dalekosiężnej, ponieważ radiostacje pracujące w tym zakresie /o długości fali od 3000 do 10 m/ nie zapewniają skrytości wymiany informacji, mają stosunkową małą przepustowość i nie pozwalają na przekazywanie informacji zajmujących szerokie pasmo częstotliwości /np. obrazy telewizyjne/.

Oprócz tego jakość i trwałość łączności w zakresie fal krótkich w znacznym stopniu zależy od stanu jonosfery, która zmienia swoje właściwości w zależności od pory roku i doby.

x/ Inż. W. Bałakriew. "Awiacja i kosmonawtika" Nr 2/1964  
s. 64 - 70.

Łączność radiowa na falach rozproszonych jonosferycznych i troposferycznych /długość fal poniżej 10 m/ aczkolwiek w dostatecznym stopniu zapewnia skrytość wymiany informacji i w małym stopniu ulega wpływom zewnętrznym, nie zapewnia jednak łączności wysokiej jakości i posiada również ograniczone pasmo przepuszczania nie nadające się do przekazywania programów telewizyjnych. Zasięg łączności przy wykorzystaniu stacji troposferycznych /bez stacji pośrednich/ wynosi około 1000 km, a stacji jonosferycznych około 2000 km. Dlatego też wykorzystanie ich dla zapewnienia łączności przez wielkie przeszkody wodne /morza i oceany/ nie zawsze jest możliwe.

Stosowane w szerokim zakresie zarówno w ZSRR jak i na Zachodzie stacje radioliniowe pracujące w zakresie fal ultrakrótkich, wprawdzie zapewniają skrytość wymiany informacji i możliwości transmisji programów telewizyjnych, jednak dla zapewnienia łączności dalekosiężnej muszą być stosowane stacje pośrednie /retranslacyjne/ w zasięgu bezpośredniej widoczności /co 30-60 km/ co wyklucza możliwość zapewnienia łączności przez ogromne przestrzenie wodne.

Linie kablowe, chociaż posiadają szereg cech dodatnich a w szczególności zapewniają skrytość prowadzonych rozmów, to jednak ze względu na stacjonarny ich charakter nie pozwalają na szybką /w razie potrzeby/ zmianę miejsca rozmieszczenia ośrodków /stacji/ nadawczych i odbiorczych tj. nie zapewniają "elastyczności" systemu łączności. Jednocześnie mogą one szybko ulec zniszczeniu w wyniku ogniowego oddziaływania przeciwnika i dywersji.

System łączności przy wykorzystaniu sztucznych satelitów Ziemi nie tylko umożliwia uzyskanie łączności dalekosiężnej, ale okazuje się również bardziej rentowny niż systemy klasyczne. Według radzieckiego uczonego S.J.Kitajewa koszt 25-letniej eksploatacji satelitarne systemu zapewniającego odbiór programów telewizyjnych na całym terytorium ZSRR jest cztery razy tańszy niż koszt eksploatacji naziemnej sieci telewizyjnych stacji retranslacyjnych. Amerykańscy specjaliści uważają, że sztuczny satelita wykorzystyw<sup>ny</sup> dla celów łączności jest już rentowny jeśli będzie eksploatowany przez okres tylko 2 - 3 lat.<sup>x/</sup>

x/ Inż.pplk Ju.Czubarow. "Swiaż czerez kosmos: wożmożnosti i perspektiwy" Wojennaja Myśl Nr 8/1966 r. s. 46.

Podobnie jak w "łączności cywilnej" wzrastają również potrzeby w łączności wojskowej. Obecnie dalekosiężna łączność wojskowa realizowana jest przy pomocy podziemnych i podwodnych linii kablowych, radiostacji o różnym zakresie częstotliwości i stacji radioliniowych w tym również stacji radioliniowych troposferycznych i jonosferycznych. Dla każdego rodzaju wojsk wydziela się określone kanały łączności, których ilość zależy od ważności i zakresu wykonywanych przez nie zadań. Wykorzystywane dotychczas środki już nie w pełni odpowiadają stale rosnącym wymaganiom stawianym łączności wojskowej.

Wychodząc z założenia, że we współczesnych działaniach wojennych istnieje konieczność dowodzenia siłami zbrojnymi działającymi na lądzie, na morzu i pod wodą, często na odległości wielu tysięcy kilometrów od ośrodków dowodzenia - przy czym wymagane jest szybkie przekazywanie ogromnej ilości komend, rozkazów, meldunków, sygnałów - wymienione wyżej środki nie w pełni zaspokajają potrzeby w tym zakresie.

W tych warunkach rozwój dalekosiężnej łączności wojskowej idzie w kierunku wykorzystania sztucznych satelitów Ziemi.

Zakres wykorzystania sztucznych satelitów Ziemi dla celów łączności wojskowej jest bardzo szeroki i różnorodny. Mogą one być wykorzystywane dla zapewnienia wymiany informacji pomiędzy organami władzy państwowej i wyższymi dowództwami wojskowymi a ośrodkami dowodzenia poszczególnych teatrów działań wojennych, dowództwami poszczególnych teatrów działań wojennych a podległymi wojskami i sztabami dla przekazywania informacji do automatycznych systemów dowodzenia siłami i środkami różnych rodzajów sił zbrojnych.

System strategicznej łączności przy wykorzystaniu sztucznych satelitów Ziemi powinien być uważany jako element składowy automatycznego systemu obrony przeciwlotniczej i przeciwrakietowej, systemu rozpoznania itp.

Sztuczne satelity mogą również znaleźć zastosowanie dla łączności z różnego rodzaju ważnymi obiektami ruchomymi /samoloty, okręty nawodne, podwodne itp./, a także z jednostkami wykonującymi zadania bojowe w dowolnym rejonie globu ziemskiego, w tym również i na terytorium przeciwnika.

## I. PODSTAWOWE ZASADY DZIAŁANIA ŁACZNOŚCI SATELITARNEJ

Postęp nauki i techniki wskazał na realne możliwości stworzenia nowych systemów łączności, które otrzymały nazwę satelitarnych lub kosmicznych.

System łączności satelitarnej polega na tym, że wymiana informacji pomiędzy dwoma punktami na Ziemi odbywa się drogą retranslacji sygnałów radiowych przez sztucznego satelitę Ziemi.

Na pojęcie łączność kosmiczna składają się dwa aspekty: pierwszy - wykorzystanie naturalnych ciał niebieskich i sztucznych satelitów ziemi dla stworzenia globalnego i lokalnych /w tej liczbie wojskowego/ systemów łączności w celu wzajemnej wymiany informacji pomiędzy punktami naziemnymi i drugi - zapewnienie łączności między pojazdami kosmicznymi. Obecnie oba te zadania realizowane są za pomocą aparatury radiowej umieszczonej <sup>zarówno</sup> na Ziemi jak i pojazdach /objektach/ kosmicznych.

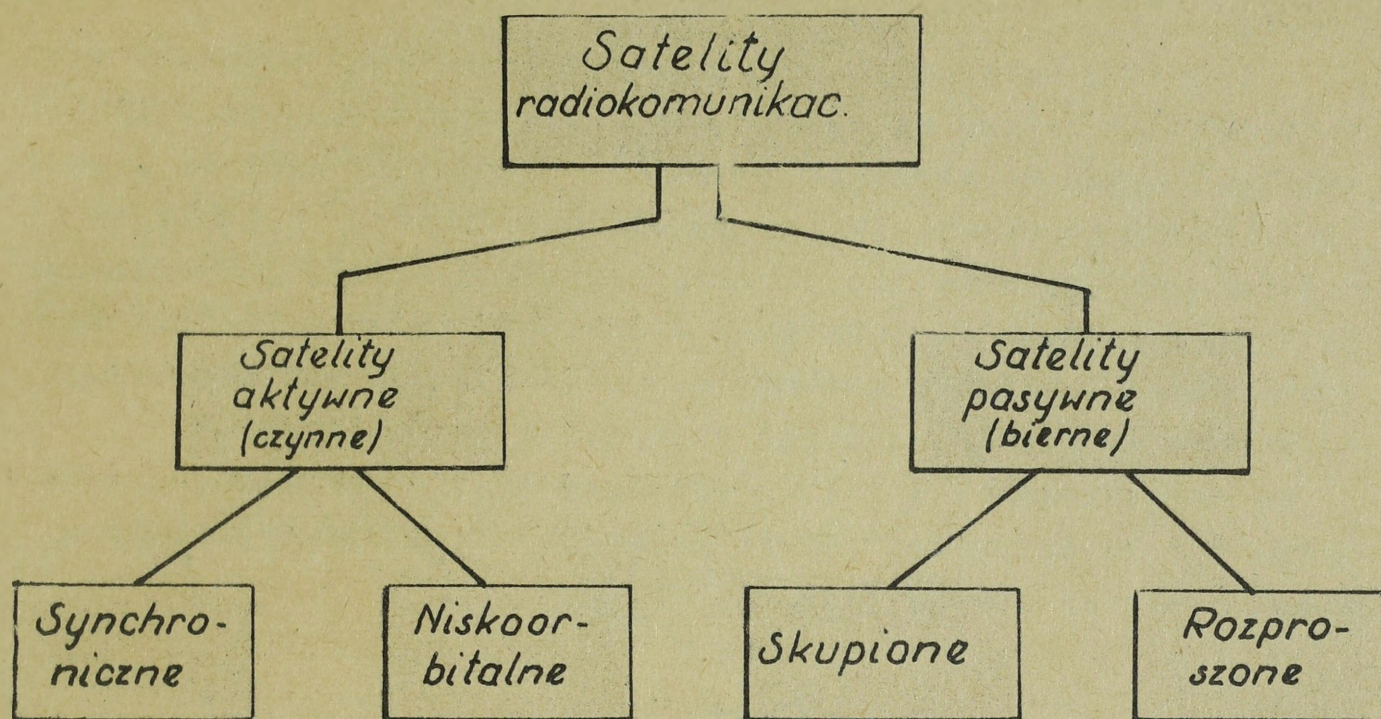
### 1. Niektóre czynniki charakteryzujące systemy łączności satelitarnej.

Systemy łączności satelitarnej charakteryzują się wieloma czynnikami, z których najważniejsze są:

- a/ rodzaj sztucznego satelity;
- b/ stopień jego wyposażenia w urządzenia transmisyjne;
- c/ kształt i odległość orbit od powierzchni ziemi;
- d/ rodzaj transmisji, zakres użytkowanej częstotliwości itp.

#### a/ Rodzaje i charakterystyka satelitów łączności

Sztuczne satelity Ziemi wykorzystywane do utrzymania łączności dalekosiężnej można ogólnie podzielić w sposób podany na rys. 1.



Satelitą aktywnym nazywamy satelitę, na pokładzie którego znajdują się urządzenia nadawczo-odbiorcze i anteny. Satelita taki działa podobnie jak stacja retranslacyjna, tzn. sygnały odebrane z Ziemi, wzmacnia i wysyła w kierunku następnej stacji naziemnej.

W grupie satelitów aktywnych rozróżniamy satelity synchroniczne, niskoorbitalne, średnioorbitalne i satelity z opóźnioną retransmisją.

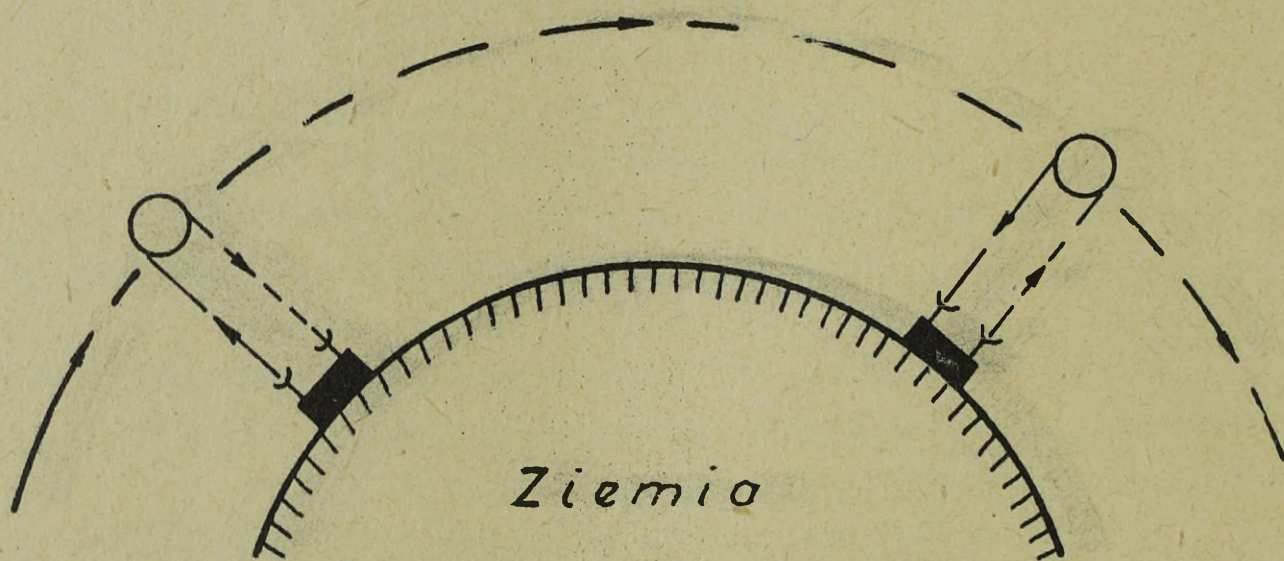
Satelity synchroniczne są to zwykle satelity umieszczone na orbitach równinowych na wysokości około 36000 km, których okres obiegu dookoła kuli ziemskiej wynosi 24 godziny, a ruch ich odbywa się w kierunku zgodnym z obrotem kuli ziemskiej.

Przy takim usytuowaniu na orbicie, gdy prędkość kołowa wynosi 3076 m/sek., obserwatorowi na Ziemi satelita będzie wydawał się nieruchomy lub "synchroniczny."

Nazwy satelitów aktywnych niskoorbitalnych i średnio-orbitalnych wywodzą się od odległości orbity od powierzchni Ziemi.

Satelitą aktywnym o opóźnionej retransmisji nazywamy satelitę, który działa na zasadzie odbioru sygnału, jego akumulacji, ponownego odtworzenia i nadania po upływie pewnego czasu, potrzebnego na przebycie danego odcinka orbity. Przelatując nad daną stacją satelita odbiera sygnały z Ziemi, które zostają "zmagazynowane" w satelicie w postaci zapisu na taśmie magnetofonowej lub innym materiale umożliwiającym ich późniejsze odtworzenie. Przelatując nad stacją dla której sygnały

są przeznaczone, satelita odtwarza je i przekazuje. Przekazywanie rozpoczyna się zwykle na sygnał /rozkaz/ przesłany z Ziemi przez tę stację /Rys.2/.

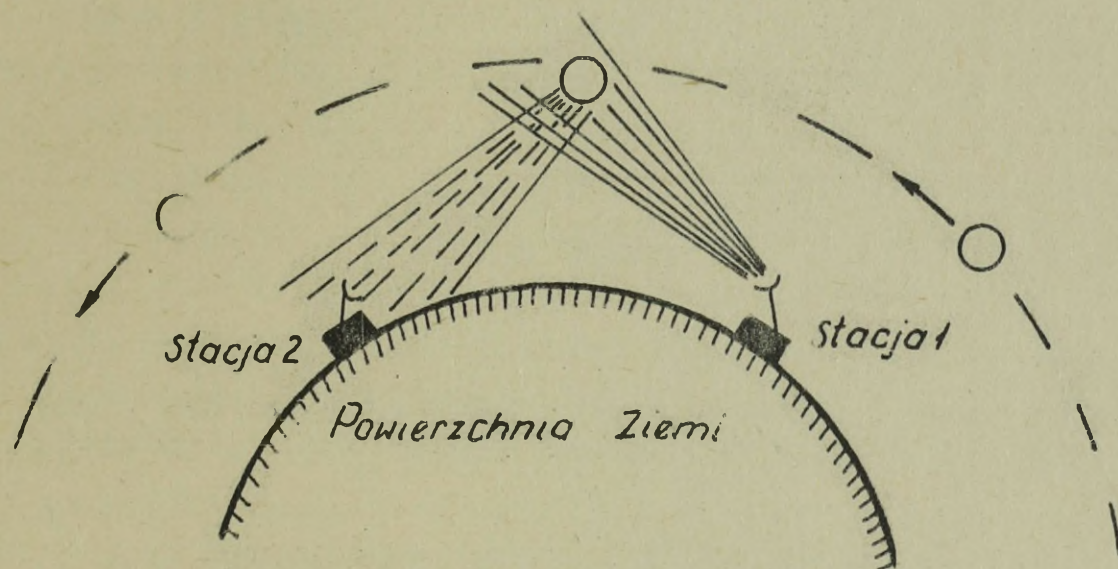


Rys. 2. Łączność za pomocą satelitów aktywnych o opóźnionej retransmisji.

Satelita pasywnym nazywamy satelitę, na pokładzie którego nie ma aparatury nadawczo - odbiorczej. Odgrywa on rolę jedynie stacji przekaźnikowej biernej. Dzięki odpowiednim właściwościom swej zewnętrznej powłoki odbija część skierowanej na

przez antenę kierunkową stacji naziemnej wiązki fal elektromagnetycznych z powrotem w stronę Ziemi - bez uprzedniego wzmocnienia. Z tego też względu w punkcie odbioru na Ziemi niezbędne są odpowiednie urządzenia antenowe, bardzo czułe urządzenia odbiorcze i dużej mocy nadajniki.

Satelita pasywny może być wykorzystany tylko do natychmiastowej retranslacji /bez opóźnienia/, dlatego też powinien on znajdować się w strefie jednoczesnej widzialności z dwóch punktów naziemnych /Rys.3/.



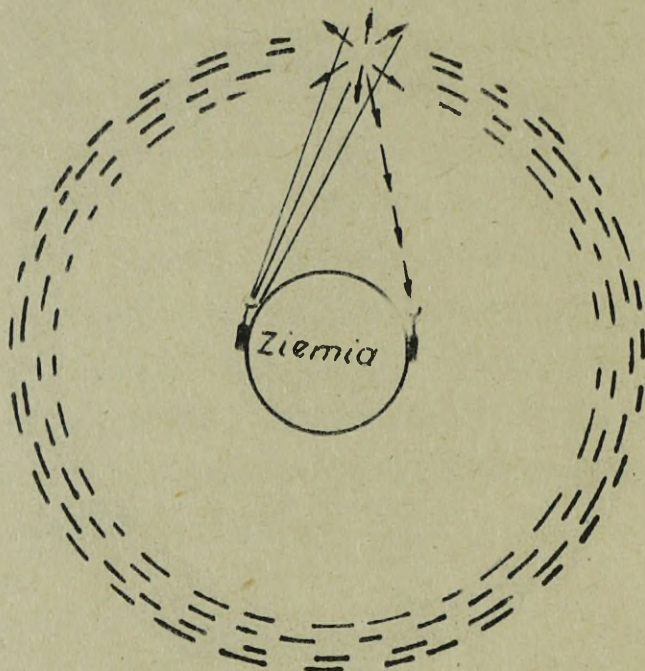
Rys. 3. Łączność za pomocą satelitów pasywnych.

W grupie satelitów pasywnych rozróżniamy satelity skupione /pojedyncze/ i rozproszone /pasy rozrzuconych dipoli/.

Satelity skupione są to takie, których metalizowana powierzchnia ma zdolność odbijania fal elektromagnetycznych. Satelity takie mają zwykle kształt kulistych balonów o dużych średnicach /30 - 40 m/.

Satelity rozproszone charakteryzują się tym, że nie mają jednolitej struktury. Są to pasy odbijające utworzone z ogromnej ilości igiełek /miedzianych lub ołowianych/ stano -

wiących dipole półfalowe przystosowane do częstotliwości na których pracuje dany system łączności satelitarnej /Rys.4/.



Rys.4. Łączność za pomocą odbicia fal od drucików /igłodipoli/ rozproszonych na orbicie okołoziemskiej.

#### / Wyposażenie satelity i stacji naziemnych

Wyposażenie satelity aktywnego przeznaczonego do utrzymania dalekosiężnej łączności między dwoma punktami na Ziemi - ogólnie rzecz biorąc - zbliżone jest do naziemnej stacji retranslacyjnej linii radiowej /stacji radioliniowej/, a więc wyposażony on jest w anteny, odbiornik, nadajnik i urządzenia wzmacniające. Konstrukcja tych urządzeń - ze zrozumiałych względów - odbiega od urządzeń stosowanych na Ziemi. Chodzi bowiem o zmniejszenie do minimum wymiarów i ciężaru urządzeń pokładowych, zapewnienie prostej i zwartej ich budowy oraz małego poboru mocy, a tym samym zmniejszenie wymiarów i ciężaru satelity.

Satelita wyposażony jest ponadto w cały komplet urządzeń nadawczo-odbiorczych przeznaczonych dla celów nawigacyjnych i telemetrycznych.

Budowa stacji naziemnej pracującej w systemie łączności satelitarnej jest również skomplikowana. Najważniejszym elementem z punktu widzenia funkcjonalnego jest antena nadawczo-odbiorcza. Ona decyduje o wymiarach całej stacji naziemnej. Antena ta musi charakteryzować się możliwie dużym "zyskiem", w celu zapewnienia dobrego odbioru sygnałów z pojazdu kosmicznego, musi więc mieć bardzo duże wymiary. Do śledzenia satelitów, anteny naziemne muszą być wyposażone w mechanizmy umożliwiające ich obrót w dwu płaszczyznach jednocześnie. Umożliwia to ciągłe śledzenie lotu od momentu pojawienia się satelity nad horyzontem do momentu jego zniknięcia po drugiej stronie horyzontu. Ze względu na konieczność posiadania rezerwy i dokonywania konserwacji niezbędne jest wyposażenie stacji naziemnej przynajmniej w jeszcze jeden system antenowy, tak że ogółem w skład stacji naziemnej wchodzi jedno urządzenie centralne oraz dwa systemy niezależnych anten obrotowych. W przypadku większej liczby satelitów krążących po tej samej orbicie dojść musi jeszcze jeden system anten obrotowych. Gdy jedna z anten będzie utrzymywała łączność z satelitą zanikającym za horyzontem, druga musi jednocześnie umożliwiać nawiązanie łączności z drugim satelitą, pojawiającym się nad horyzontem z przeciwnej strony. Ze względu na zakres wykorzystywanych częstotliwości oraz wymagane zyski i szerokości wiązek kierunkowych /rzędu 1°, jak również małe promieniowanie steczne, stosuje się jedynie anteny z reflektorem parabolicznym i anteny rogowe.

Systemy antenowe są bardzo duże, ich ciężar wynosi kilkaset ton, a średnica reflektora w przypadku anten parabolicznych 25 - 75 m.

Sterowanie antenami naziemnymi odbywa się automatycznie pod wpływem sygnałów kontrolnych, otrzymywanych za pośrednictwem urządzeń centralnych stacji z systemu automatycznego śledzenia lotu pojazdu kosmicznego, wyposażonego w niezależne układy antenowe.

Wstępne naprowadzanie anten odbywa się na zasadzie przewidywania toru <sup>pojeździ</sup> kosmicznego, a następnie, z chwilą odebrania sygnałów pochodzących z niezależnego nadajnika nawigacyjnego pojazdu, funkcje sterowania przejmuje układ automatycznego śledzenia.

Trzecią zasadniczą częścią składową stacji naziemnej, w przypadku przesyłania sygnałów telefonicznych i telewizyjnych, są szerokopasmowe urządzenia nadawczo-odbiorcze.

c/ Rodzaje orbit dla systemów łączności satelitarnej.

Na jakość systemu łączności poważny wpływ wywiera kształt i odległość orbity od powierzchni Ziemi. Od wysokości orbity zależy bowiem okres widoczności satelity przez punkty naziemne, a w związku z tym czas jego wykorzystania jako retranslatora. Im orbita jest bardziej oddalona od powierzchni Ziemi, tym łatwiejsze staje się śledzenie satelity, tym dłuższy jest czas korzystania z jednego satelity, a w związku z tym potrzebna jest mniejsza ilość satelitów do zapewnienia ciągłości transmisji. Wraz z wysokością orbity wzrasta średnica pola widocznego z satelity, czyli zwiększa się zasięg transmisji. Na przykład gdy wysokość orbity równa się 300 km, średnica pola widocznego z satelity wynosi około 3800 km, natomiast przy wysokości orbity równej 20000 km średnica pola widocznego z satelity <sup>wynosi</sup> około 17300 km. Fakt ten nabiera szczególnego znaczenia w przypadku organizowania systemu łączności z natychmiastową retranslacją. Na przykład w przypadku utrzymywania łączności przez ocean Atlantycki bez wykorzystaniem satelity na kołowej orbicie południkowej wysokości 800 km, czas trwania jego widoczności z brzegów Ameryki Północnej i Europy wynosi średnio 3,5% okresu obrotu satelity wokół Ziemi. Przy zwiększeniu wysokości orbity do 4800 m czas ten zwiększa się do 22% okresu obrotu.

W systemie łączności z zapisem przekazywanej informacji przez urządzenia pokładowe satelity /z opóźnioną retransmisją/, wysokość orbity ma mniejsze znaczenie z punktu widzenia czasu trwania seansu łączności dzięki możliwości automatycznego przekazywania informacji. Jednak zmniejszenie wysokości orbity przy organizacji systemu ciągłej łączności zmusza do zwiększenia ilości satelitów.

Tak więc o wyborze konkretnej orbity decydują głównie takie czynniki, jak położenie obszarów geograficznych między którymi satelita ma zapewnić utrzymanie łączności, czas nieprzerwanej transmisji, jaką musi zapewnić jeden satelita, rodzaj satelity /aktywny czy pasywny/ techniczne możliwości realizacji, a także koszty raket nośnych i urządzeń pokładowych satelity.

Z punktu widzenia odległości od powierzchni Ziemi orbity dzieli się na bliskie, średnie i odległe. Orbity bliskie mieszczą się w zakresie odległości od 1000 - 10 000 km, średnie od 10 000 km do orbity synchronicznej około 36000 km, odległe w obszarach równoważącego się wpływu przyciągania Ziemi i Księżyca /powyżej 36000 km - na razie w sferze rozważań teoretycznych/.

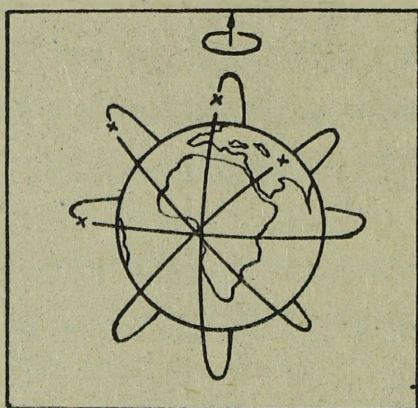
Jakość łączności satelitarnej zależy również od kąta nachylenia płaszczyzny orbity w stosunku do płaszczyzny równika Ziemi.

Przy kącie nachylenia równym  $0^{\circ}$  orbita nosi nazwę równikowej, a przy  $90^{\circ}$  południkowej /Rys.Nr 5/.

Orbity południkowe mogą być kołowe lub eliptyczne w płaszczyznach przechodzących przez oba bieguny. Ponieważ kierunek ruchu satelity jest tu zawsze prostopadły do kierunku obrotu Ziemi, przeto niezależnie od odległości orbity, satelita nigdy nie będzie "wisiał nieruchomo" w stosunku do powierzchni Ziemi, lecz będzie stale przesuwiał się po niebie. Stąd wniosek, że wystąpi tu zawsze konieczność śledzenia lotu satelity przez obrotowe anteny naziemne podobnie jak w przypadku orbit równikowych leżących poniżej orbity stacjonarnej. Jednakże i w tym przypadku najbardziej interesujące będą orbity o dużej odległości od Ziemi, ponieważ w miarę wzrostu tej odległości rośnie obszar objęty zasięgiem łączności.

W Stanach Zjednoczonych dokonano obliczeń orbit południkowych, a mianowicie takich, po których satelita dokonywałby obiegu dookoła kuli ziemskiej w ciągu 2,4 i 12 godzin. Po orbicie 2-godzinnej satelita okręzałaby Ziemię 12 razy na dobę, przy 4-godzinnej - 6 razy itd. Dokonano analizy tej orbity przy założeniu, że idzie o łączność między Stanami Zjednoczonymi a Wielką Brytanią. Okazało się, że satelita poruszający się

po orbicie 2-godzinnej pozwala na łączność między tymi krajami tylko przez 7 minut, podczas gdy orbita 12-godzinna daje już 4,5 godzinny czas trwania łączności.



Rys.5. Różne położenia orbit w stosunku do płaszczyzny równika.

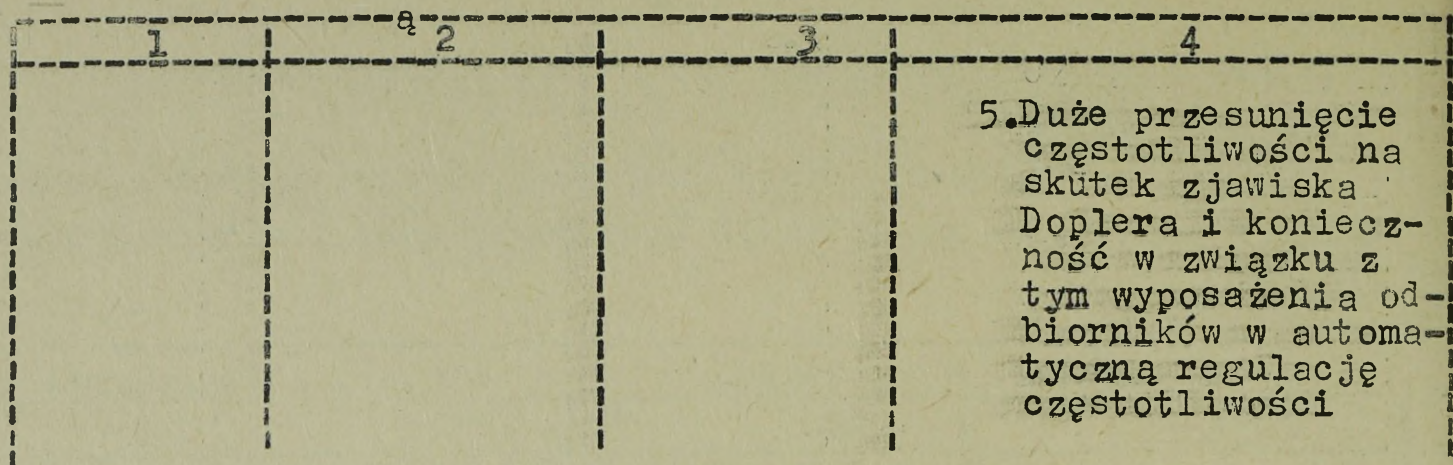
Punktem wyjścia dla rozważań nad różnymi systemami łączności satelitarnej, a równocześnie niejako poziomem odniesienia do oceny zalet i wad różnego rodzaju orbit jest orbita satelitów synchronicznych przebiegająca w płaszczyźnie równika w odległości 35.810 km od powierzchni Ziemi. Pokrycie zasięgiem łączności niemal całej powierzchni kuli ziemskiej /z wyjątkiem obszarów położonych w pobliżu obu biegunów/ zapewniają zaledwie trzy satelity stacjonarne rozmieszczone w odległości katowej co  $120^{\circ}$  /Rys.7/.

Istnieje jeszcze szereg innych koncepcji orbit satelitów przeznaczonych do utrzymania łączności. Jednak - jak wynika z różnych źródeł - w najbliższej przyszłości będą brane pod uwagę /jeśli chodzi o satelity aktywne/ jedynie kołowe orbity synchroniczne i eliptyczne orbity niesynchroniczne, przebiegające znacznie poniżej orbity synchronicznej /aż do odległości kilku tysięcy km nad powierzchnią Ziemi/, przy czym będą one przebiegały albo w płaszczyźnie

równika, albo będą nachylone pod pewnym kątem w stosunku do tej płaszczyzny.

Niżej podano pewne cechy charakterystyczne systemów łączności z satelitami na orbitach synchronicznych i niesynchronicznych.

Orbita synchroniczna		Orbita niesynchroniczna	
Zalety	Wady	Zalety	Wady
1	2	3	4
<p>1. Mała liczba satelitów niezbędna dla zapewnienia łączności globalnej/światowej/.</p> <p>2. Każda stacja naziemna wyposażona tylko w jedną nieruchomą antenę.</p> <p>3. Minimalne przesunięcie częstotliwości na skutek zjawiska Doplera.</p>	<p>1. Mała pewność pracy systemu /uszkodzenie jednego satelity przerywa łączność globalną/światową/.</p> <p>2. Wymagana duża moc nadajników.</p> <p>3. Wymagana stabilizacja pozycji i położenia satelity.</p> <p>4. Duża siła napędowa rakiet nośnych.</p> <p>5. Duże opóźnienie czasowe przesyłanych sygnałów.</p> <p>6. Niemożliwość objęcia zasięgiem łączności obszarów podbiegunowych.</p>	<p>1. Stosunkowo duża prostota urządzeń pokładowych satelity.</p> <p>2. Uszkodzenie jednego z satelitów ma tylko nieznaczny wpływ na przerwy w łączności globalnej/światowej/ze względu na dużą liczbę satelitów krążących po tej samej orbicie.</p>	<p>1. Wymagana duża liczba satelitów, tym większa im mniejsza jest odległość satelity od powierzchni Ziemi.</p> <p>2. Każda ze stacji naziemnych musi być wyposażona w najmniej dwie anteny obrotowe.</p> <p>3. Skomplikowane problemy związane z koniecznością ciągłego automatycznego śledzenia i przełączania anten.</p> <p>4. Większe promieniowanie kosmiczne, co wymaga specjalnego uwzględnienia przy budowie urządzeń pokładowych.</p>



d/ Zakres użytkowanej częstotliwości

Przy organizowaniu systemu łączności satelitarnej szczególnie ważne znaczenie posiada prawidłowy dobór zakresu częstotliwości. Dla łączności z satelitą fale radiowe muszą przejść warstwę atmosfery Ziemi łącznie z troposferą i jonosferą które silnie oddziałują na rozchodzenie się fal radiowych.

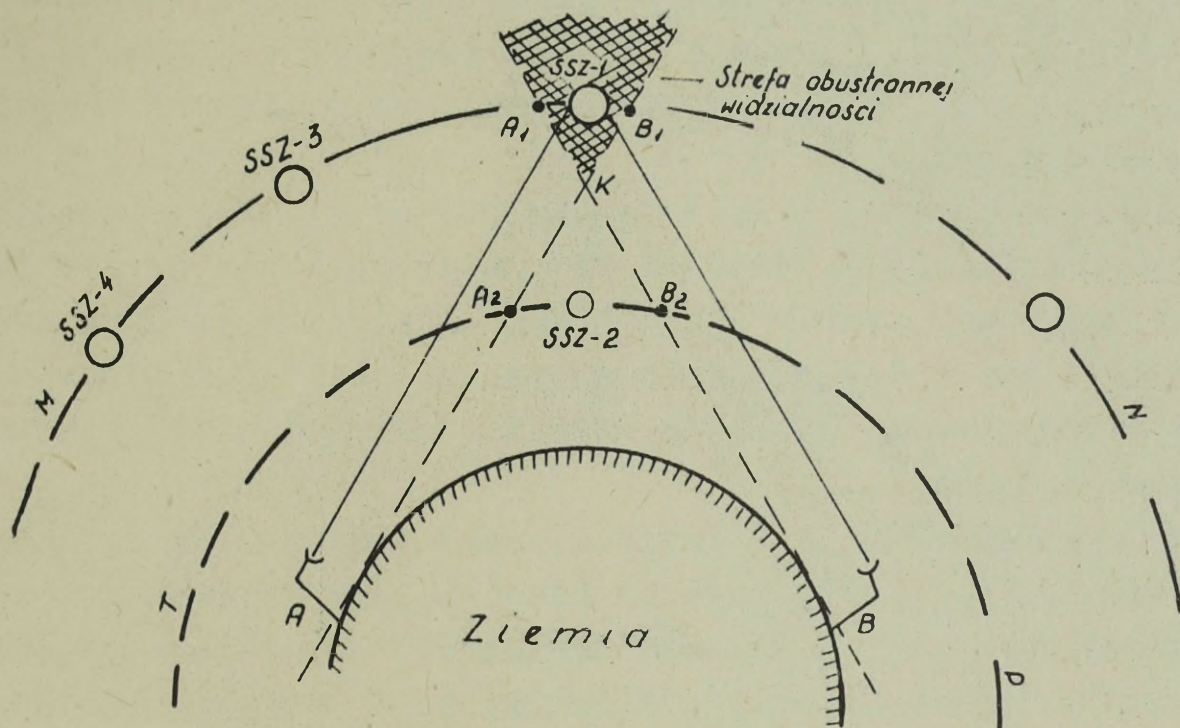
Zakres częstotliwości przydatnych w łączności satelitarnej zaczyna się z reguły w granicach 1 - 10 GHz<sup>x/</sup> długość fali = 3 - 30 cm/. Czyli w łączności satelitarnej wykorzystywane są fale, które mogą swobodnie rozchodzić się w atmosferze. Fale tych zakresów rozchodzą się tylko w zasięgu horyzontu optycznego dlatego łączność dalekosiężną można nawiązywać jedynie między punktami, z których satelita będzie widoczny.

---

x/ G - Giga = 10<sup>9</sup>

## 2. Zasada działania systemu łączności satelitarnej

Zasadę działania systemu łączności satelitarnej pokazano na rys. 6.



Rys.6. Schemat łączności między dwoma punktami naziemnymi z wykorzystaniem sztucznego satelity.

Naziemne punkty łączności /korespondenci/ A i B wyposażone w aparaturę nadawczo-odbiorczą realizują między sobą wymianę korespondencji. Proste  $A_1$  i  $B_1$  - styczne do powierzchni Ziemi w punktach A i B - stanowią linie horyzontu tych punktów łączności. Dlatego też satelita SSZ-1 poruszający się po orbicie MN, może być jednocześnie obserwowany przez korespondentów A i B na odcinku  $B_1 A_1$ . Jeśli w tym czasie z punktu A wysłany zostanie sygnał radiowy w stronę SSZ-1, to w przypadku znajdowania się na

jego pokładzie aparatury retranslacyjnej sygnał ten zostanie odebrany, wzmacniony i skierowany w stronę Ziemi, gdzie zostanie przyjęty w punkcie B. W identyczny sposób może być przekazana informacja z punktu B do A.

Taki system łączności nazywa się systemem z aktywną retransmisją. Jeśli na pokładzie satelity nie będzie aparatury retranslacyjnej, to sygnał radiowy wysłany z punktu A w stronę SSZ-1 odbije się od jego powierzchni w stronę Ziemi i również będzie przyjęty w punkcie B. Będzie on jednak bardziej osłabiony niż w pierwszym przypadku. W tym wypadku będzie to system łączności z pasywną retranslacją.

Patrząc na rys. 6 łatwo zauważyć, że SSZ-2 poruszający się po orbicie TP, która znajduje się niżej punktu K /skrzyżowanie linii horyzontu naziemnych punktów łączności/ na odcinku  $TA_2$  będzie widziany tylko z punktu A, na odcinku  $B_2P$  - tylko z punktu B, a na odcinku  $A_2 B_2$  okaże się nie-widoczny z obu naziemnych punktów łączności.

W tym wypadku SSZ-2 przelatując przez strefę widoczności punktu A /odcinek  $TA_2$ /, przyjmuje od niego sygnały, które po wzmacnieniu są utrwalane przez pokładowe urządzenia zapisujące /na przykład na taśmie magnetofonowej/. Z chwilą kiedy satelita znajdzie się w strefie widoczności punktu B /odcinek  $B_2P$  / jego nadajnik automatycznie /lub na sygnał z punktu B/ włącza się i przekazuje na punkt B przyjęte sygnały.

Taki satelita nosi nazwę satelity - kuriera, a system łączności - "system z opóźnioną retransmisją" /Rys.2/.

Satelita - kurier wykorzystywany jest z zasady na stosunkowo nie-wysokich orbitach, dlatego przekazywane przez niego sygnały będą mniej osłabione niż w przypadku satelity na bardziej wysokich orbitach. W związku z tym aparatura naziemna może być bardziej uproszczona, odbiorniki mogą posiadać mniejszy stopień czułości a nadajniki mniejszą moc.

Z rysunku widać, że łączność między punktami A i B utrzymywana jest tylko w krótkim okresie czasu /odcinek  $B_1 A_1$ / dopóki satelita znajduje się w strefie jednoczesnej widzialności.

Aby przy tym systemie zapewnić ciągłą łączność należy zwiększyć ilość satelitów na orbicie.

Odległość między nimi powinna być mniejsza niż odcinek orbity  $A_1 B_1$  /strefa jednoczesnej widzialności/. Łączność z satelitą znajdującym się w strefie jednoczesnej widzialności utrzymywana jest tylko do granicy strefy. W tym czasie w strefę wejdzie następny satelita /SSZ-3/ i punkt A przejdzie na łączność z punktem B przez SSZ-3 itd.

Taki sposób utrzymania łączności znacznie komplikuje naziemną aparaturę i wymaga odpowiednio większej ilości satelitów.

## II. SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ I MOŻLIWOŚCI ICH WYKORZYSTANIA DLA CELÓW WOJSKOWYCH.

System łączności satelitarnej przewidziany do wykorzystania dla celów wojskowych powinien charakteryzować się pewnością działania oraz umożliwiać ciągłość i skrytość przekazywanych informacji. Powinien również charakteryzować się wysoką elastycznością i odpornością na oddziaływanie przeciwnika.

Pewność działania jest jedną z podstawowych cech wojskowego systemu łączności. Stopień pewności wynika z czasu bezawaryjnego działania wszystkich elementów systemu. Naprawa aparatury pokładowej satelity jest bowiem niemożliwa. Dlatego też stawia się wysokie wymagania technologii przygotowania tej aparatury, z drugiej zaś strony dąży się do jej uproszczenia kosztem większego skomplikowania aparatury naziemnej.

Ciągłość łączności można uzyskać drogą głęboko przemyślanej budowy całego systemu, prawidłowego wyboru kształtu i wysokości orbity a także użycia odpowiedniej ilości satelitów. Ciągłość łączności między dwoma punktami na Ziemi może być zapewniona również i wówczas, jeśli w strefie widoczności tych punktów stale znajduje się tylko jeden satelita. Wielkość strefy wzajemnej widoczności tj. długość obserwacji satelity przez oba punkty zależy od kształtu i wysokości orbity. Dlatego też przy ustalaniu systemu łączności satelitarnej parametry orbit ustala się tak, żeby strefa wzajemnej widoczności była jak największa.

Pod określeniem "elastyczność" systemu łączności należy rozumieć zdolność wykonywania zadań /w zakresie zapewnienia łączności/ w warunkach radykalnych zmian w sytuacji. System łączności będzie odpowiadał tym warunkom jeśli :

a/ rozmieszczenie stacji naziemnych i czas ich pracy nie napotyka na szczególne trudności;

b/ zapewniona jest jednoczesna praca kilku punktów naziemnych /bez konieczności ograniczania w wyborze częstotliwości roboczych i reżimu pracy stacji naziemnych/;

c/ istnieje możliwość realizowania scentralizowanego kierowania odnośnymi stacjami i dokonywania rozdziału kanałów łączności i częstotliwości roboczych odpowiednio do zaistniałych zmian w sytuacji bojowej i potrzeb wojsk.

Elastyczność systemu łączności wyraża się również w możliwości szybkiego dokonywania montażu poszczególnych elementów systemu, a także jego udoskonalania bez potrzeby dokonywania przerw w pracy.

Należy mieć na uwadze, że nieprzyjaciel będzie dążył do naruszenia łączności bądź to drogą niszczenia urządzeń /stacji naziemnych i satelitów/, bądź drogą stosowania zakłóceń. Dlatego też dla podniesienia żywotności łączności należy posiadać taki system, w którym uszkodzone części można szybko zamienić, a stosowanie zakłóceń byłoby utrudnione lub niemożliwe.

Dla podniesienia stopnia żywotności łączności w warunkach działań wojennych mogą być stosowane rezerwowe systemy w rodzaju pasywnych satelitów, których całkowite zniszczenie jest praktycznie nie-możliwe. Dlatego też naziemna aparatura winna być przystosowana do współpracy zarówno z aktywnymi jak i pasywnymi satelitami.

Dotychczasowe rozważania wskazują na możliwość istnienia dwóch podstawowych grup systemów łączności satelitarnej:

- systemy aktywne /czynne/ lub systemy z retransmisją sygnałów;
- systemy pasywne /bierne/ lub systemy z odbiciem sygnałów.

W grupie systemów aktywnych można wyróżnić systemy:

- z aktywnymi satelitami na niskich /do 2000 km/ orbitach;
- z aktywnymi satelitami na średnich /2000 - 30000 km/ orbitach;
- z aktywnymi satelitami na stacjonarnych orbitach.

W każdym z powyższych systemów satelita pełni funkcje stacji przekazującej sygnał odbierany z jednego obszaru powierzchni kuli ziemskiej z powrotem w kierunku innego obszaru tej powierzchni, dlatego też działa podobnie jak stacja przekaźnikowa linii radiowej /pośrednia stacja radiolinowa/.

### 1. System łączności z satelitami na niskich orbitach.

Przy organizowaniu tego rodzaju systemu łączności, najbardziej celowe jest wprowadzanie satelitów na orbity kołowe całymi seriami. Rzecz bowiem w tym, że zasięg łączności z satelitą wprowadzonym na niską orbitę jest ograniczony linią horyzontu. Dlatego też czas trwania seansu łączności wynosi 5 -10 minut. Stąd dla zapewnienia ciągłości łączności konieczna jest większa ilość satelitów. Stwierdzono, że dla zapewnienia ciągłej łączności między Europą i Ameryką z wykorzystaniem satelitów na niskich orbitach potrzeba około 150 satelitów. Wymaga to dużych kosztów i nie każde państwo może sobie na to pozwolić.

Drugą wadą takiego systemu jest to, że wymiana informacji odbywa się drogą zapisu przez urządzenia pokładowe co doprowadza do opóźnienia w przekazywaniu danych. W rezultacie tego, system jest mało elastyczny. Natomiast zaletą tego rodzaju systemu jest prawie całkowita niemożliwość stosowania zakłóceń ze strony nieprzyjaciela i skrytość przekazywanych informacji.

### 2. System łączności z satelitami na średnich orbitach.

Przy organizowaniu tego rodzaju systemu łączności satelity mogą być wprowadzane zarówno na orbity kołowe jak i eliptyczne o wysokości od 2 do 20 - 30 tys. km. Szybkość przelotu tych satelitów jest mniejsza od satelitów niskoorbitalnych, dlatego czas trwania seansów łączności między dwoma punktami na Ziemi może wynosić dziesiątki, a nawet setki minut. Taki system łączności może być bardziej elastyczny i zapewnić większą ciągłość łączności przy mniejszej ilości satelitów i tym samym zapewnić bardziej operatywne dowodzenie wojskami.

System łączności z satelitami na średnich orbitach charakteryzuje się następującymi cechami:

- dla zapewnienia łączności globalnej /światowej/ w tym systemie potrzeba około 20 - 30 satelitów;

- prawdopodobieństwo całkowitej utraty łączności w wypadku zniszczenia /uszkodzenia/ jednego a nawet kilku satelitów

- znikome;

- możliwa jest jednoczesna praca kilku par stacji naziemnych, ponieważ w strefie ich widzialności będzie znajdować się jednocześnie kilka satelitów;

- stosowanie zakłóceń radiowych przez nieprzyjaciela jest utrudnione.

Doświadczenia mające na celu zastosowanie takiego systemu łączności były rozpoczęte w USA przez wprowadzenie na orbitę satelity "TELSTAR", którego przeznaczeniem było sprawdzenie możliwości retranslacji na transoceaniczną odległość jednego programu telewizyjnego, dwustronnych rozmów telefonicznych w 12 kanałach i simpleksowej łączności telefonicznej w 600 kanałach. Satelita był wprowadzony na orbitę eliptyczną której apogeum wynosiło 5630 km a perigeum 950 km. Kąt nachylenia orbity wynosił  $45^{\circ}$ . Dlatego też satelita "TELSTAR" dokonując w ciągu doby nieco więcej jak 9 okrążeń Ziemi tylko na 2 - 3 okrążeniach w ciągu 20 - 30 minut znajdował się w strefie jednoczesnej widzialności stacji naziemnych Europy i Ameryki. Powyższe warunki określały czas trwania seansu łączności telewizyjnej, który nie przekraczał 30 minut. "TELSTAR" jest typowy dla średnioorbitalnych satelitów łączności i wszystkie następne o tym samym przeznaczeniu są podobnie zbudowane.

Rezultaty doświadczeń z satelitą "TELSTAR" wykorzystywane są dla opracowania wojskowych systemów łączności z zastosowaniem średnioorbitalnych satelitów. Na przykład ministerstwo obrony USA przyjęło projekt przejściowego systemu, który przewiduje wprowadzenie 24 - 28 satelitów na orbity równikowe lub południkowe o wysokości 800 - 10000 km.

### 3. System łączności z satelitami stacjonarnymi

Szczególnością takiego systemu łączności jest możliwość nadawania i odbioru sygnałów przez stacje naziemne przy wykorzystaniu anten kierunkowych, co znacznie upraszcza urządzenia naziemne. W przypadku stosowania innych satelitów konieczne jest stosowanie bardziej skomplikowanych urządzeń antenowych a także specjalnej aparatury i urządzeń do śledzenia ruchu satelity.

Ujemną cechą takiego systemu jest to, że "nieruchomość" satelitów stacjonarnych ułatwia przeciwnikowi oddziaływanie na system łączności /stosowanie aktywnych zakłóceń i zniszczenie satelity/. Dlatego w wojskowych systemach łączności z satelitami stacjonarnymi zachodzi potrzeba zwiększenia ich ilości, a także uodpornienia na przeciwdziałanie radiowe zarówno pokładowej jak i naziemnej aparatury.

Drugą ujemną cechą tego systemu jest to, że po pewnym okresie na skutek oddziaływania różnych czynników zmieniają się warunki "stacjonarności" satelity /parametry orbity i inne/ co doprowadza do naruszenia symetrii systemu a także łączności. Taki stan rzeczy wymaga okresowego dokonywania korekty położenia satelitów.

Przykładem satelitów stacjonarnych może być amerykański satelita "EARLY BIRD", którego Amerykanie umieścili nad Atlantykiem 28.6.1965 r. Pozwalał on na jednoczesne prowadzenie 60 rozmów telefonicznych. Umożliwiał również prowadzenie transmisji telewizyjnych oraz przekazywanie wiadomości innych rodzajów.

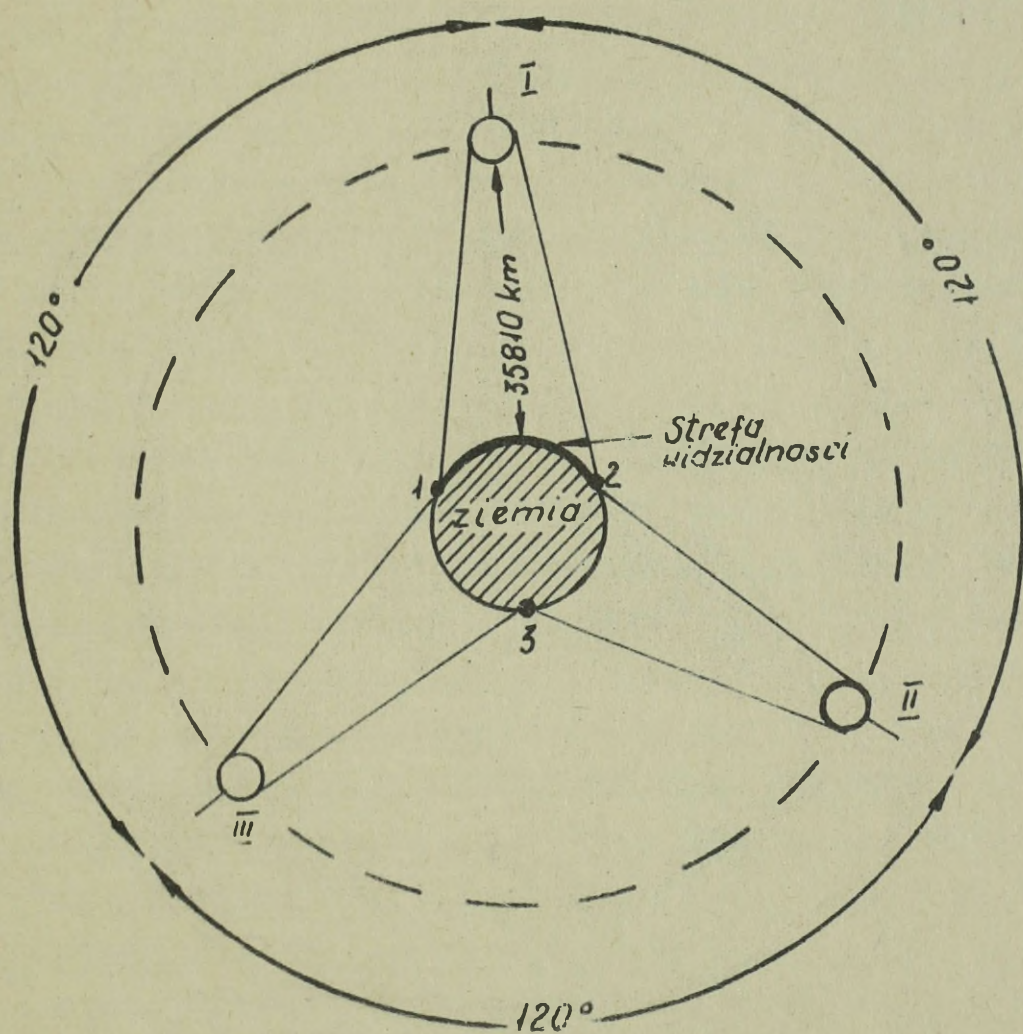
Dla łączności między Europą a Ameryką wystarcza jeszcze taki satelita stacjonarny. Zebrane dane statystyczne wskazują, że łączność telefoniczna przez satelitę jest niemal tak samo dobra jak telefoniczna łączność kablowa, jednak pod warunkiem, że odcinki naziemne drogi telekomunikacyjnej, tj. odcinki zawarte między stacją naziemną a abonentem telefonicznym nie są zbyt długie, gdyż w przeciwnym razie występujące zjawisko tzw. echa elektrycznego utrudnia prowadzenie rozmów.<sup>x/</sup> Do tego typu satelitów należy również amerykański satelita "SYNCOM", nazwany tak od słów "synchroniczny" i "telekomunikacyjny". Doświadczenie z tym satelitą jest kolejnym planem realizacji linii satelitarnej za pomocą satelitów krążących po orbicie synchronicznej. Urządzenie teletransmisyjne satelity SYNCOM jest przystosowane do dwukierunkowego przekazywania sygnałów telefonicznych. Składa się ono z dwóch nadajników i dwóch odbiorników, przy czym jeden nadajnik i odbiornik pełnią funkcję rezerwowych. Urządzenia zasilane są z baterii słonecznych.

---

x/ Prof.dr Witold Nowicki "Telekomunikacja międzykontynentalna".  
Problemy Nr 1/1967 r. s. 18-19.

Przy pomocy sztucznego satelity SYNCOM utrzymywana jest łączność pomiędzy ministerstwem obrony USA a dowództwem wojsk amerykańskich w Wietnamie Południowym i bazami wojskowymi na Hawajach.

Dla objęcia systemem satelitów synchronicznych - stacjonarnych całej powierzchni Ziemi /z wyjątkiem obszarów biegunowych - przy założeniu orbity równikowej/ teoretycznie wystarczą trzy satelity umieszczone w jednakowych odstępach /w podziałce kątowej co  $120^\circ$ /. W ten sposób powstaje globalny /światowy/ system łączności satelitarnej /Rys.7/.



Rys.7. Łączność za pomocą trzech satelitów umieszczonych na orbicie stacjonarnej.

#### 4. System łączności z satelitami pasywnymi.

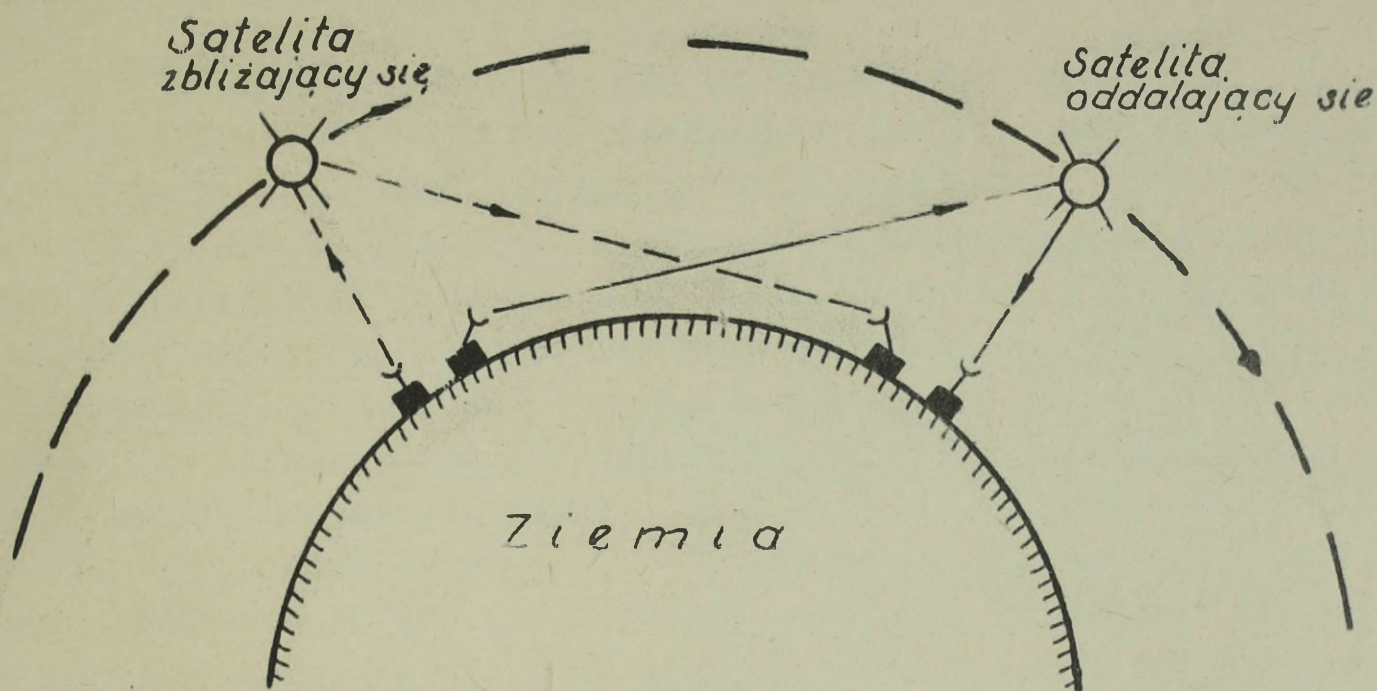
Pomimo zalet aktywnych satelitów łączności są one zbyt kosztowne, nie całkowicie pewne i posiadają ograniczony czas pracy. Dlatego też na równi z nimi zachodzi konieczność wykorzystania satelitów pasywnych, które są przeznaczone do odbijania sygnałów radiowych bez uprzedniego ich wzmocnienia.

Zasadniczą zaletą satelitów pasywnych jest stosunkowo prosta metoda uzyskiwania dużych wymiarów powierzchni odbijających oraz kulisty kształt, który pozwala na rezygnację z kontroli orientacji i położenia satelity na orbicie.

Drugą zaletą systemu łączności z wykorzystaniem satelitów pasywnych jest to, że satelita nie jest wyposażony w urządzenia nadawczo-odbiorcze do transmisji, co pozwala zmniejszyć jego ciężar i uniknąć innych komplikacji w budowie wynikających np. z konieczności stosowania zajmujących duże powierzchnie baterii słonecznych itp. Możliwość ewentualnych uszkodzeń jest więc mniejsza, co przedłuża żywotność satelity i czas jego pracy w eksploatowanym systemie.

Dodatnią cechą jest również fakt, że satelita może służyć za powierzchnię odbijającą fale równocześnie wielu systemom łączności dalekosiężnej pracującym na różnych częstotliwościach i różnych trasach.

Jednakże w celu wykorzystania tego typu satelitów do utrzymania stałej łączności pomiędzy dwoma konkretnymi punktami na powierzchni Ziemi, konieczne jest, aby w zasięgu bezpośredniej widoczności obu tych punktów znajdował się zawsze jeden sztuczny satelita. Dlatego też zmniejszenie odległości orbity od powierzchni Ziemi prowadzi nieuchronnie do zwiększenia liczby satelitów poruszających po tej wspólnej orbicie /Rys. 8/.



Rys. 8. Kolejne wykorzystanie satelitów dla utrzymania ciągłej łączności między dwoma punktami na powierzchni Ziemi.

Najpoważniejszą wadą omawianego systemu jest mała skuteczność odbijania fal elektromagnetycznych. Sygnały radiowe odbite od satelity pasywnego są znacznie słabsze w punkcie odbioru na ziemi od sygnałów pochodzących od satelity aktywnego wyposażonego w retranslator. Fakt ten zmusza do stosowania nadajników o bardzo dużych mocach oraz niezmiernie czułych urządzeń odbiorczych.

Jeszcze jedną niedogodnością systemu łączności za pośrednictwem sztucznych satelitów pasywnych jest ciągła zmienność pozycji satelity. W zależności od położenia satelity względem Ziemi i Słońca ciśnienie promieniowania słonecznego powoduje okresowo spychanie satelity z normalnej orbity określonej działaniem siły ciężkości, w kierunku od lub do powierzchni Ziemi. Utrudnia to określenie kierunku promieniowania anten stacji naziemnych.

Pierwszym sztucznym satelitą pasywnym był balon ECHO I /o średnicy około 30 m/ wystrzelony 12.8.1960 r. na wysokość około 1500 km nad Ziemią. Czas okrążenia Ziemi około 2 godziny. Powłoka balonu wykonana z plastyku z napyłoną warstwą aluminium o grubości kilku mikronów. Satelita wyposażony był w dwa nadajniki o mocy około 50 mW, potrzebne jedynie do dokładnego określania lotu satelity oraz automatycznego sterowania anten stacji naziemnych. Dzięki zastosowaniu miniaturowego sprzętu oraz cienkiej powłoki balonu, ciężar satelity nie przekraczał 60 kg. Balon zwinięty w rulon wystrzelony w przestrzeń kosmiczną w specjalnym zasobniku, z którego został wyrzucony na zewnątrz i napompowany dopiero z chwilą wejścia tego zasobnika na przewidzianą orbitę.

Przeprowadzone doświadczenia potwierdziły teoretyczne przewidywania całkowitej przydatności tego typu satelitów dla wielu rodzajów łączności mimo omówionych wyżej wad. Zasadnicze próby łączności przeprowadzone były na trasie Goldstone /Kalifornia/ i Holmdel /New Jersey/ na odległość około 4000 km.

Ze względu na małe moce nadajników /około 10W/ i stosunkowo małe wymiary powierzchni odbijającej balonu, nie można było przeprowadzić prób przesyłania szerokich pasm, tak że ograniczono się tylko do przesyłania sygnałów jednego kanału telefonicznego lub kanału radiofonicznego. Uzyskane rezultaty były więcej niż zadowalające.

Ponieważ przeprowadzone doświadczenia wykazały przydatność satelitów pasywnych tego typu dla celów łączności, 25.1.1964 r. z bazy Vandenberg w stanie Kalifornia w Stanach Zjednoczonych został wystrzelony sztuczny satelita Ziemi balon - ECHO II. Największa odległość orbity satelity od Ziemi wynosiła około 1300 km, a najmniejsza - około 1000 km. Satelita został wyposażony w dwa nadajniki radiowe /zasilane przez baterie słoneczne/ mające za zadanie ułatwienie radiowego śledzenia lotu satelity oraz przekazywanie na Ziemię danych telemetrycznych dostarczanych przez przyrządy pokładowe mierzące parametry określające warunki przebiegu lotu satelity. Zwiększona średnica balonu /do 40 m/ oraz mocniejsza konstrukcja /w celu utrzymania przez dłuższy czas pożądanego kształtu/ zwiększyły jego ciężar do 230 kg.

Balon ECHO II jest pierwszym satelitą radiokomunikacyjnym, wykorzystywanym przez uczonych amerykańskich, brytyjskich i radzieckich do wzajemnych eksperymentów w zakresie dalekosiężnej łączności radiowej na falach ultrakrótkich.

Pierwsze próby łączności radiowej na trasie Jodrell Bank-observatorium w Ziemiankach w ZSRR zostały przeprowadzone już 21 lutego 1964 roku. Sygnały wysyłane z obserwatorium angielskiego odbiły się od powierzchni balonu i zostały odebrane przez radioteleskop w Ziemiankach. Przebyły one drogę ponad 3000 km. Łączność trwała kilka minut.

Jedną z koncepcji rozwiązania łączności satelitarnej było zastąpienie satelity o stałej strukturze /typu ECHO I, ECHO II/, pasami rozrzuconych dipoli. Są to pasy odbijające utworzone z ogromnej ilości igiełek /miedzianych lub ołowianych/ o średnicy 0,025 - 0,028 mm i długości odpowiadającej długości fali, na których pracuje system. Utworzony w ten sposób "obłok" przesuwający się zgodnie z prawami grawitacji po określonej z góry orbicie. Druciki ustawione pod różnymi kątami względem toru ruchu służyłyby jako elementarne dipole odpromieniowujące energię.

W 1963 r. w USA wystrzelono pojemnik ze wspomnianymi igłodipolami. Zasobnik z zawartością 400 mil. igiełek - dipoli wprowadzony został na przybliżoną do kołowej orbitę w odległości około 3700 km od powierzchni Ziemi.

Całkowite formowanie pasa zakończyło się po dwóch miesiącach od wystrzelenia, kiedy jego długość osiągnęła 64000 km przy szerokości 8 km i grubości 40 km. W wyniku przeprowadzonych doświadczeń uzyskano zasięg łączności na odległość 4300 km przy czasie jej trwania do 6 godzin na dobę.

System ten dla łączności publicznej nie jest wygodny z tego względu, że wymagana jest bardzo skomplikowana aparatura naziemna. Doświadczenia te prowadzone są wyłącznie z myślą zapobieżenia zakłóceniom dalekosiężnej łączności na falach ultrakrótkich dla potrzeb dowodzenia siłami strategicznymi USA. Przewiduje się również, że na podstawie uzyskanych danych Amerykanie zamierzają zastosować system łączności składający się z pasów dipoli i satelitów pasywnych, przeznaczony do zapewnienia łączności dowództwa sił powietrznych w warunkach powstałych po uderzeniach

jądrowym przeciwnika.

Jednak wielu postępowych uczonych świata potępia wyrzucanie w przestrzeń okołoziemską igło-dipoli. Stanowi to bowiem "zaśmiecanie" przestrzeni kosmicznej i poważną przeszkodę w prowadzeniu dalszych jej badań. Szczególne niebezpieczeństwo z tej strony grozi pojazdom kosmicznym z załogą ludzką na pokładzie. Nie patrząc na to, wojskowe koła amerykańskie próbują w dalszym ciągu prowadzić tego rodzaju doświadczenia.

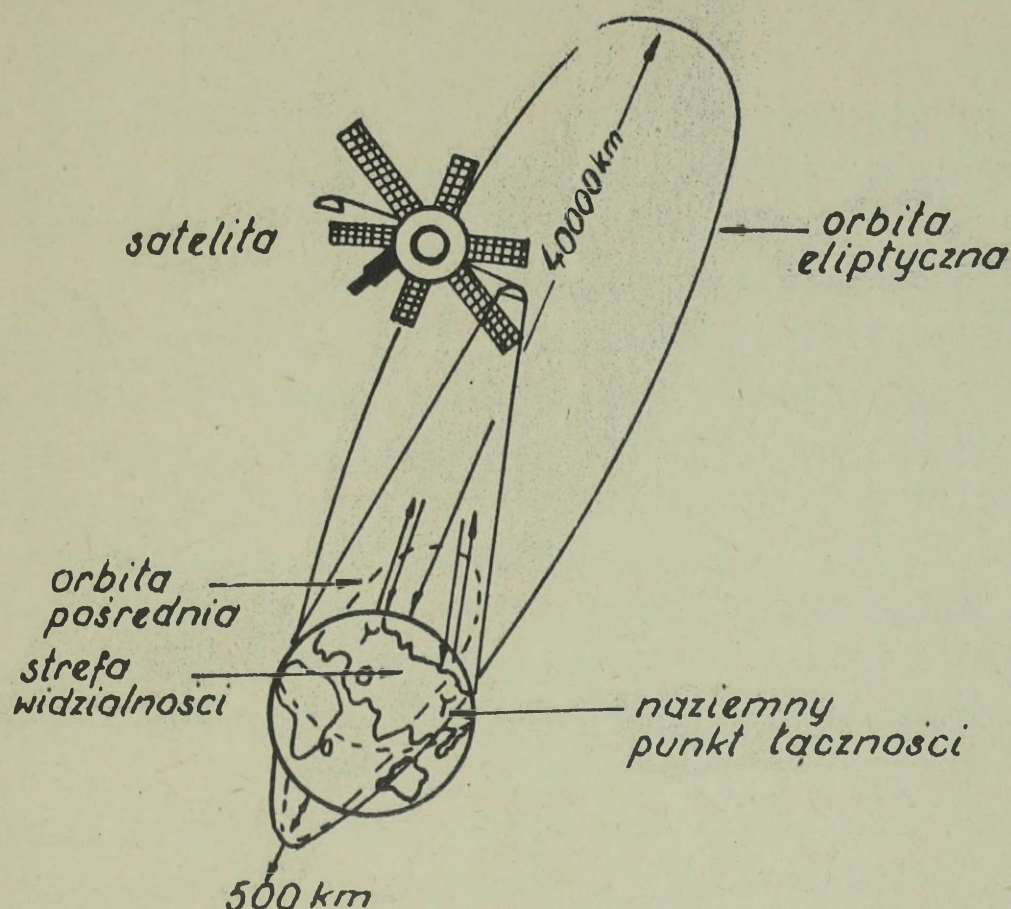
x

x

x

Brak odpowiednich materiałów uniemożliwia szczególne przedstawienie systemu łączności satelitarnej Związku Radzieckiego. Jednak przodująca pozycja Związku Radzieckiego w podboju przestrzeni kosmicznej pozwala sądzić, że posiada on szeroko rozbudowany system łączności kosmicznej. Wskazują na to również nie-liczne materiały ukazujące się w prasie.

W latach 1965 - 1966 w Związku Radzieckim oddane były do eksploatacji trzy satelity typu MOŁNIA-1. Satelita porusza się po wydłużonej orbicie eliptycznej, której apogeum wynosi około 40000 km /nad półkugelą północną/, a perigeum około 550 km /nad półkugelą południową/. Kąt nachylenia orbity  $65^{\circ}$ . Dzięki temu jednoczesna widoczność satelity nad półkugelą północną wynosi 9 - 10 godzin /Rys. 9/.



Rys.9. Orbita satelity MOŁNIA-1.

Satelita MOŁNIA-1 wyposażony był w stację retranslacyjną o mocy wyjściowej nadajnika około 40W i pokładowe anteny kierunkowe. Umożliwiło to zastosowanie na punktach naziemnych bardziej prostych w konstrukcji urządzeń niż to ma miejsce na Zachodzie.

Za pomocą satelity MOŁNIA-1 przekazywany jest jeden program telewizyjny lub dwustronna wielokanałowa łączność telefoniczna, telegraficzna i fototelegraficzna, nie tylko na terytorium Związku Radzieckiego, lecz również do innych krajów Europy, a także eksperymentalne nadawanie kolorowej telewizji z Moskwy do Paryża. Doświadczenia te wykazały wysokie walory techniczne i eksploatacyjne systemu MOŁNIA-1.

Doświadczenia pracy satelitów typu MOŁNIA wykazały także, że kompleksowe wykorzystanie pokładowych urządzeń satelitarnych i naziemnych środków łączności umożliwia budowę wysokoelektywnego systemu łączności dla potrzeb gospo-

darki narodowej.

W Związku Radzieckim powstaje szeroka sieć stacji odbioru centralnego programu telewizyjnego za pomocą satelitów łączności. Stacje te budowane są w Borkucie, Południowo-Sachalińsku, Magedanie, Jakuńsku i innych miejscowościach.

W systemie łączności z satelitą MOŁNIA-1 specjaliści radzieccy widzą prawzór przyszłościowego systemu łączności globalnej.

O szeroko rozbudowanym systemie łączności satelitarnej w Związku Radzieckim świadczy również notatka zamieszczona w Żołnierzu Wolności Nr 271 /5281/ z 17.11.1967 r. pt. "Szkolenie na stepach, praktyka na kosmodromie". Jest to skrót wywiadu pierwszego zastępcy dowódcy strategicznych wojsk raketowych gen. W. Tołubko zamieszczonego w dzienniku "Trud" z okazji wystrzelenia stacji automatycznej WENUS-1.

Mówi on m.in. "Po 10 minutach, kiedy rakietą znalazła się na zaplanowanej orbicie, wojskowi z oddziałów raketowych przekazali pałeczkę sztafetową swym kolegom specjalistom, obsługującym kompleks kierowniczo-obciążeniowy. Składa się on z całej sieci punktów pomiarowo - kontrolnych, rozmieszczonych na olbrzymich przestrzeniach od Moskwy przez Syberię, Daleki Wschód i Oceany: Spokojny i Atlantycki, na które dużo wcześniej wypłynęły specjalne statki. Już ponad 10 lat punkty te współpracują przy wystrzeliwaniu obiektów kosmicznych.

... co parę minut do centralnego punktu dowodzenia operacją napływały meldunki z poszczególnych stacji obserwacyjnych. Nieprzerwanym potokiem napływały informacje dotyczące pomiarów. W momencie gdy punkty te nie mogły już przyjmować napływających z kosmosu sygnałów, funkcje ich przejął ośrodek dalekosiężnej łączności kosmicznej. Jest on wyposażony w unikalną aparaturę radiotechniczną, system potężnych anten zapewniających łączność na przestrzeni setek milionów kilometrów".

- x x -  
x

Oprócz sztucznych satelitów Ziemi dla organizacji łączności dalekosiężnej może być wykorzystany naturalny satelita Ziemi - Księżyc.

Wykorzystanie Księżyca jako pasywnego retranslatora umożliwia wymianę informacji na linii Ziemia - Księżyc - Ziemia. W tym wypadku odbiór bardzo słabych sygnałów odbitych od księżyca może być zrealizowany przez zastosowanie odpowiedniej aparatury wzmacniającej na Ziemi.

W USA, retranslacja telefonicznych sygnałów przez Księżyc była zrealizowana w 1958 roku. Eksperyment ten wykazał, że w pełni możliwe jest wykorzystanie księżyca jako retranslatora w łączności dalekosiężnej. Jednak stosowanie tego systemu dla celów wojskowych jest zbyt utrudnione ze względu na to, że utrudnione jest zapewnienie ukrytości przekazywanych informacji oraz znaczne ograniczenie pasma przepuszczenia co uniemożliwia nadawanie sygnałów szerokopasmowych, ponadto zachodzi zjawisko opóźnienia sygnałów w przybliżeniu około 2,5 sekundy.

### III. SYSTEMY ŁĄCZNOŚCI SATELITARNEJ SIŁ ZBROJNYCH USA I NATO

Z dostępnych publikacji dotyczących wojskowych elektronicznych systemów dowodzenia wynika, że dalekosiężny system łączności wojskowej Stanów Zjednoczonych w poważnej części organizowany jest w oparciu o sztuczne satelity Ziemi. Wynika to z charakterystyki systemów dowodzenia sił powietrznych Stanów Zjednoczonych podanej w Wojskowym Przeglądzie Zagranicznym Nr 5/51/1966 r. W artykule pt.: "Wojskowe elektroniczne systemy dowodzenia sił powietrznych Stanów Zjednoczonych" w części charakteryzującej system dowodzenia dowództwa strategicznych sił powietrznych występujący pod kryptonimem 465 L - mówi się: "System 465 L jest systemem elektronicznym, przeznaczonym dla potrzeb dowódcy strategicznych sił powietrznych w zakresie planowania, dowodzenia i kierowania strategicznymi siłami powietrznymi rozmieszczonymi na całej kuli ziemskiej." W odniesieniu do systemu dowodzenia i kierowania strategicznymi siłami interwencyjnymi /pod kryptonimem 492 L/ - mówi się: "System 492 L jest przeznaczony do zwiększenia pewności dowodzenia i kierowania strategicznymi siłami interwencyjnymi Stanów Zjednoczonych ..... Druga część systemu została opracowana jako pomoc dowódcom połączonych związków taktycznych, które mogą być skierowane w dowolny punkt kuli ziemskiej". I dalej "Do systemów łączności sił powietrznych wchodziją wszystkie rodzaje środków łączności: stacjonarne, ruchome i samolotowe oraz zamontowane na satelitach Ziemi. Zapewniają one siłom powietrznym wykonanie zadań operacyjnych i zadań wsparcia."

W czerwcu 1966 r. uruchomiony został przez Stany Zjednoczone system strategicznej łączności satelitarnej IDCSP.<sup>x/</sup> System ten w ograniczonym stopniu wykorzystywany jest również do celów operacyjnych.

System IDCSP jest systemem doświadczalnym. Głównym jego zadaniem jest dostarczenie danych niezbędnych do projektowania i budowy dalszych ulepszonych systemów łączności strategicznej i taktycznej.

---

x/ IDCSP - Initial Defense Communication Satellite System Program - Wstępny system wojskowej łączności satelitarnej.

Amerykańskie siły zbrojne wykorzystują system IDCSP do utrzymywania łączności między Stanami Zjednoczonymi a Wietnamem, NRF, Filipinami, Hawajami i Etiopią. Dokonywano również prób nawiązania łączności z Wielką Brytanią. W okresie wojny izraelsko-arabskiej w czerwcu 1967 r. system ten był wykorzystywany do wymiany informacji między Stanami Zjednoczonymi a Bliskim Wschodem. Stacja łączności systemu była prawdopodobnie zmontowana na okręcie nasłuchu radioelektronicznego USS Liberty, który prowadził rozpoznanie radioelektroniczne obu walczących stron.

W systemie IDCSP pracuje 19 satelitów. Satelity są umieszczone na orbicie, jednocześnie po kilka, przez pojedynczą rakietę nośną Titan 3C. Pierwszych 7 satelitów było wyrzuconych 16 czerwca 1966 r., a ostatnie cztery - 1 lipca 1967 r. Ogólny czas użytkowania systemu jest przewidziany na trzy lata, to jest do 1969 roku.

Satelita IDCSP jest zbudowany w postaci wielościanu wpisanego w kulę o średnicy 0,8 m. Ciężar satelity wynosi 45 kg. Satelita jest wyposażony w urządzenie retransmisyjne zasilane przez baterie słoneczne i akumulatory, a stabilizowany jest ruchem wirowym przy użyciu pomocniczym silników raketowych.

Satelity IDCSP są umieszczane na równikowych orbitach kołowych o wysokości blisko 34000 km. Po oddzieleniu się od rakiety nośnej, satelity dryfują w przestrzeni kosmicznej uzyskując prawie równomierne rozproszenie wokół kuli ziemskiej.

W stosunku do stacji naziemnej pojedynczy satelita przesuwają się z prędkością 1°/godz., co umożliwia obserwowanie satelity przez około 4,5 dnia.

System IDCSP zabezpiecza łączność przy 12 pracujących satelitach przez około 85% czasu między Waszyngtonem a Londynem oraz przez 98% czasu na mniejszych odległościach między Kalifornią a Hawajami. Przy 19 pracujących satelitach łączność między stacjami pracującymi w ramach NATO jest utrzymywana przez blisko 100% czasu.

We wrześniu 1966 r. Stany Zjednoczone przedłożyły władzom Paktu Północnoatlantyckiego propozycję udostępnienia siłom zbrojnym NATO systemu łączności IDCSP.

Propozycja amerykańska stała się punktem wyjścia dla opracowania programu rozwoju łączności kosmicznej przez dowództwo sił zbrojnych NATO. Program ten został opracowany w ogólnym zarysie jeszcze w 1966 r. Przewiduje on trzy kolejne fazy rozwoju, z których dwie pierwsze zostały zatwierdzone do realizacji w pierwszej połowie 1967 roku.

I faza. Próby przydatności łączności kosmicznej dla potrzeb sił zbrojnych NATO, wykonywane w oparciu o amerykańskie systemy strategicznej łączności kosmicznej IDCSP. Faza ta weszła w stadium realizacji w czerwcu 1967 roku.

II faza. Budowa własnego systemu strategicznej łączności kosmicznej NATO, przewidzianego do uruchomienia w latach 1968-69.

III faza. Budowa taktycznego systemu łączności kosmicznej.

Realizacja tej fazy, w wypadku jej zatwierdzenia, jest przewidziana na lata siedemdziesiąte.

Amerykańska propozycja wykorzystania przez siły zbrojne NATO systemu strategicznej łączności kosmicznej IDCSP została zaakceptowana przez konferencję ministerialną NATO w grudniu 1966 r.

W celu zrealizowania pierwszej fazy programu tworzenia łączności kosmicznej, siły zbrojne NATO zakupiły za blisko 1 mln dol. dwie amerykańskie stacje łączności satelitarnej typu Mascot AN/MSC-54. Stacje te zostały zainstalowane: jedna w Casteau /Belgia/ do obsługi siedziby naczelnego dowództwa sił zbrojnych NATO, druga - w Neapolu, do obsługi dowództwa południowo - europejskiego TDW.

Obie stacje rozpoczęły pracę w czerwcu 1967 r. włączając się do systemu strategicznej łączności kosmicznej IDCSP.

Mascot AN/MSC-54 jest stacją przenośną. Pojedyncza stacja składa się z układu antenowego z anten<sup>a</sup> paraboliczną o średnicy 4,5 m, kabiny z aparaturą nadawczo-odbiorczą i zespołu prądotwórczego. Stacja jest przystosowana do przewozu samolotami transportowymi. Czas rozwijania stacji wynosi 2 godziny, obsługi liczy 6 osób.

Stacja Mascot zabezpiecza łączność dwukierunkową, fonem w jednym kanale, fonem kodowym w 4 kanałach, a telegrafem w 64 kanałach. Pracuje w zakresie częstotliwości - odbiór-7 GHz,

nadawanie - 8 GHz.

Po włączeniu się do sieci łączności IDCSP naczelne dowództwo sił zbrojnych NATO uzyskało stałą i pewną łączność z dowództwem południowo-europejskiego TDW oraz połączenie z Pentagonem. Dotychczasowa łączność z dowództwem południowo-europejskiego TDW była oparta na cywilnej sieci telefonicznej i telegraficznej oraz na wojskowym systemie łączności radiowej /troposferycznej/ Ace High. Łączność ta jest podatna na zakłócenia atmosferyczne, jonosferyczne i inne, lecz najważniejszą jej wadą jest uzależnienie od współpracy z Francją, na której terenie są rozlokowane stacje przekaźnikowe wszystkich dotychczasowych kanałów łączności. Przez uruchomienie stacji pracujących w systemie IDCSP dowództwo sił zbrojnych NATO uniezależniło się od ewentualnej odmowy współpracy ze strony Francji.

Niezależnie od wykorzystania przez siły zbrojne NATO amerykańskiego systemu strategicznej łączności kosmicznej IDCSP, dowództwo NATO planuje rozbudowę własnego systemu strategicznej łączności kosmicznej.

Wstępna decyzja w sprawie budowy przez NATO własnego systemu strategicznej łączności kosmicznej zapadła w grudniu 1966r. na konferencji ministrów NATO. Projekt budowy systemu został zatwierdzony przez komitet polityczny Paktu Północnoatlantyckiego w maju 1967 r.

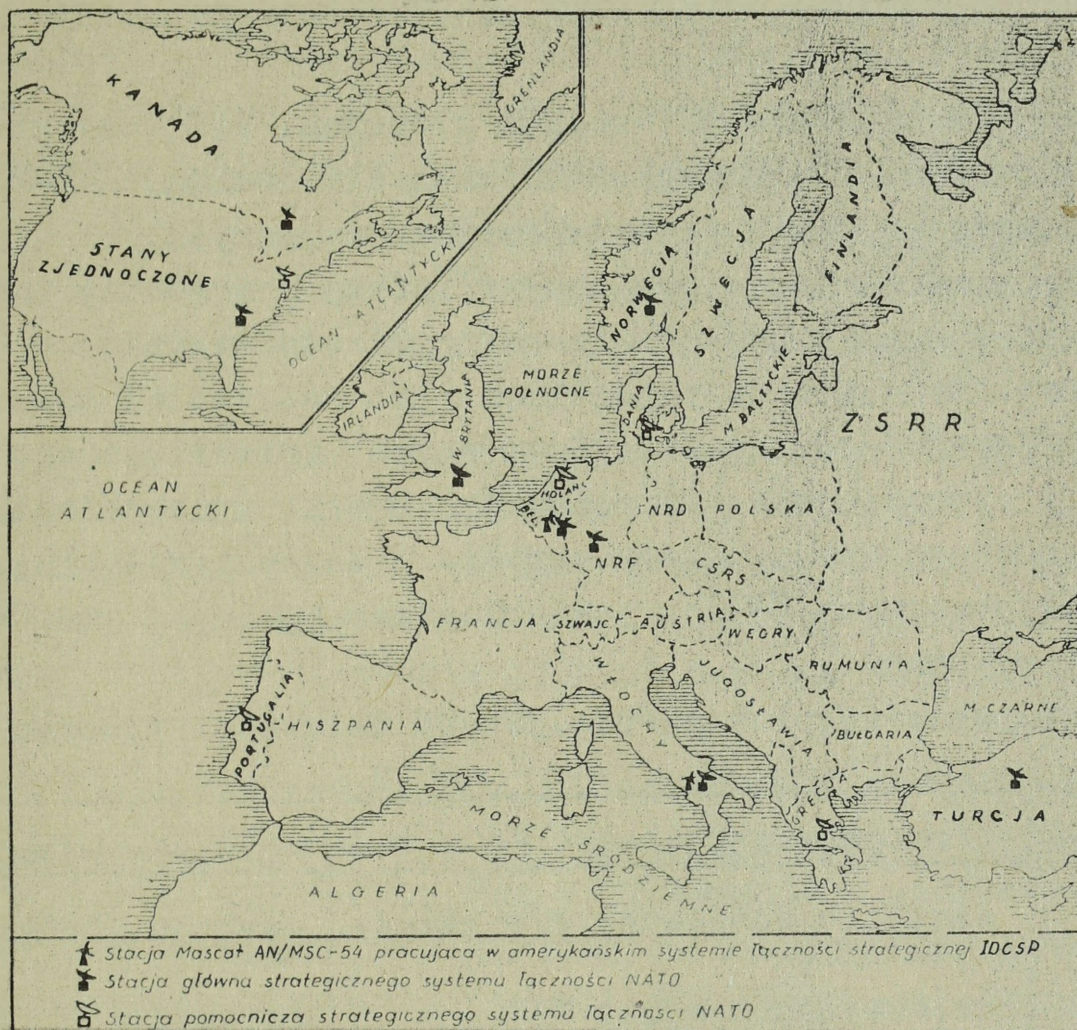
Projekt przewiduje budowę dwóch satelitów oraz 13 stacji naziemnych i pewnej liczby stacji okrętowych. Celem realizacji budowy systemu, w maju 1967 roku przystąpiono do utworzenia konsorcjum handlowego, w którym biorą udział wszystkie państwa członkowskie NATO z wyjątkiem Francji. Francja, która jak wiadomo buduje własnego wojskowego satelitę łączności, nie przystąpiła do konsorcjum, lecz nie jest wykluczone, że uczyni to w przyszłości. Ogólny koszt budowy systemu jest oceniany na około 45 mln dol. Do maja 1967 r. na budowę przeznaczone 900 000 dol. Przewiduje się, że większość elementów systemu będzie zbudowana w Stanach Zjednoczonych.

Satelity systemu strategicznej łączności kosmicznej NATO mają być umieszczone na orbitach synchronicznych o wysokości około 35 000 km przy użyciu amerykańskich rakiet nośnych Thor-Delta. Jeden satelita ma być umieszczony nad Europą Zachodnią,

drugi nad Stanami Zjednoczonymi. Takie rozmieszczenie satelitów umożliwi utrzymanie stałej łączności w ramach NATO oraz między NATO a Stanami Zjednoczonymi.

Pod względem konstrukcyjnym satelity NATO będą podobne do brytyjskiego satelity łączności "Skynet", który stanowi ulepszoną wersję amerykańskich satelitów IDCSP. Umożliwi to zintegrowanie systemu NATO z amerykańskim systemem łączności IDCSP i brytyjskim systemem Skynet. System Skynet przewiduje umieszczenie jednego satelity na orbicie synchronicznej nad Oceanem Indyjskim celem zabezpieczenia łączności między Wielką Brytanią, Australią i Dalekim Wschodem.

W wyniku integracji systemów, państwa członkowskie NATO uzyskują możliwość utrzymania łączności w skali globalnej, z wyjątkiem okolic podbiegunowych. Ponadto każdy z systemów będzie mógł być dublowany przynajmniej częściowo, przez pozostałe systemy.



Rys.10. Aktualne i projektowane rozmieszczenie stacji łączności pracujących w systemie łączności satelitarnej NATO.

Głównym zadaniem systemu NATO ma być zabezpieczenie łączności na szczeblu strategicznym. System ma rozpocząć pracę pod koniec 1968 roku lub na początku 1969 roku

Stacje naziemne systemu strategicznej łączności kosmicznej NATO będą dwóch rodzajów: główne - wyposażone w anteny o średnicy 12 m i pomocnicze - z antenami o średnicy 6 m. Oba rodzaje stacji będą przenośne, niektóre jednak będą wykorzystywane jako stacje stacjonarne.

Stacje główne prawdopodobnie będą zbudowane na bazie amerykańskich stacji AN/MS-46, pracujących obecnie w systemie łączności IDCSP.

Stacja AN/MS-46 zabezpiecza łączność dwukierunkową fonem w 5 kanałach, fonem kodowym w 49 kanałach i telegrafem w 690 kanałach.

Przewiduje się budowę 7 stacji głównych. Będą one przeznaczone do łączności naczelnego dowództwa sił zbrojnych NATO z dowództwami poszczególnych teatrów działań wojennych.

Stacje pomocnicze, wyposażone w anteny o średnicy 6 m, prawdopodobnie będą stacjami nie mającymi odpowiednika w obecnie używanych stacjach amerykańskich. Ich możliwości operacyjne będą znacznie mniejsze od stacji głównych. Przewiduje się budowę 6 stacji pomocniczych. Zadaniem ich będzie uzupełnienie pracy stacji głównych oraz zabezpieczenie łączności naczelnego dowództwa sił zbrojnych NATO z rządami poszczególnych państw członkowskich tego paktu.

Przewidywane rozmieszczenie stacji łączności systemu NATO:

Rodzaj stac.	Kogo obsługuje	Miejsce rozm.
Stacje główne	Naczelne dowództwo sił zbrojnych NATO	Casteau, Belgia NRF
	Środkowoeuropejski TDW	Norwegia
	Północnoeuropejski TDW	
	Południowoeuropejski TDW /dwie stacje/	Włochy/prawdop.rejon Neapolu
	Wschodnioatlantycki TW	Wielka Brytania
	Dowództwo amerykańskich Sił Zbr.	Stany Zjednoczone
Stacje pomocnicze	Rejon Bałtyku	Dania
	Rejon Morza Śródziemnego	Grecja
	Półwysep Iberyjski	Portugalia
	Kraje Beneluksu	Holandia
	Północna część kontynentu amerykańskiego	Kanada
	Stacja wyjściowa do łączności z pływającymi siłami zbrojnymi NATO na Atlantyku	Wschodnie wybrzeże St. Zjednoczonych

Stacje okrętowe systemu strategicznej łączności kosmicznej NATO mają być instalowane na pływających stanowiskach dowodzenia sił zbrojnych NATO. Stacje te będą prawdopodobnie podobne do amerykańskich stacji okrętowych AN/SSC-3. Mają one być wyposażone w anteny o średnicy 1,8 m, stabilizowane żyroskopowo.

System taktycznej łączności kosmicznej NATO, według obecnych przewidywań, ma głównie bazować na amerykańskim systemie łączności taktycznej EAST.<sup>x/</sup> System ten ma wejść do uzbrojenia pod koniec 1969 roku i obsługiwać wszystkie rodzaje amerykańskich sił zbrojnych.

System EAST ma dysponować co najmniej 200 kanałami łączności i umożliwiać łączność do szczebla batalionu.

Odwrotnie niż w systemie łączności strategicznej, w systemie EAST ma być przyjęta zasada maksymalnego uproszczenia sprzętu naziemnego przez wyposażenie satelitów w złożoną aparaturę pokładową.

Satelity systemu EAST mają być rozmieszczone na niskich lub średnich orbitach, co umożliwi retransmitowanie w zakresie bardzo wysokich częstotliwości właściwych dla radiostacji stosowanych na polu walki. Według niektórych danych, nie wyklucza się jednak umieszczenia satelitów na orbitach synchronicznych, stacjonarnych. Wówczas musiałyby jednak dysponować aparaturą retransmisyjną o stosunkowo dużej mocy.

Pierwsze próby mające na celu zbadanie możliwości budowy systemu zostały przeprowadzone w lipcu 1967 roku przy użyciu eksperymentalnego satelity LES-5<sup>xx/</sup> umieszczonego na orbicie 1 lipca 1967 roku razem z 4 satelitami strategicznej łączności kosmicznej IDCSP. W czasie tych prób była nawiązywana łączność między samolotem a okrętem nawodnym, okrętem podwodnym oraz stałymi i ruchomymi stacjami naziemnymi.

---

x/ EAST - Experimental Army Satellite Tactical - Doświadczalny taktyczny system łączności sił lądowych.

xx/ Lincoln Laboratory Satellite Nr 5 - piąty satelita doświadczalny laboratorium Lincolna.

Stacje łączności systemu EAST mają być wyposażone w anteny stałe i zwijane /nadmuchiwane/ o średnicy 1,8 do 2,7 m. Będą to stacje naziemne, okrętowe /w tym i na okrętach podwodnych/ oraz samolotowe. Stacje naziemne przewiduje się umieszczać na samochodach osobowo-terenowych i samochodach ciężarowych 0,75, 1,15 i 2,5 t oraz na przyczepach. Mają one być obsługiwane przez łącznice automatyczne.

Jedna z dotychczas zbudowanych stacji jest wyposażona w antenę nadmuchiwaną w kształcie rury, druga w antenę typu "Yagi".

Gotowość wzięcia udziału w budowie systemu łączności EAST zgłosiło dotychczas 6 państw członkowskich NATO, nie licząc Stanów Zjednoczonych. Są to: NRF, Wielka Brytania, Belgia, Holandia, Włochy i Kanada.

x

x

x

W ten sposób na podstawie dostępnych materiałów - można w ogólnym zarysie przedstawić kierunki rozwoju i zastosowania łączności satelitarnej dla celów wojskowych.

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że przy pomocy sztucznych satelitów można stworzyć system łączności w największym stopniu odpowiadający charakterowi współczesnych działań wojennych.

Jednak nowy sposób łączności nie zastąpi już istniejących. Łączność z wykorzystaniem sztucznych satelitów Ziemi będzie rozwijać się z uwzględnieniem i razem z dalszym doskonaleniem już istniejących i działających naziemnych środków i systemów łączności.

Zastosowanie dalekosiężnej łączności z wykorzystaniem sztucznych satelitów Ziemi razem z naziemnymi liniami radiowymi i kablo-<sup>wa</sup>wymi magistralami przyspieszy proces powstania kompleksowego systemu łączności w poszczególnych krajach, a także powstanie globalnego /światowego/ systemu łączności.

#### Wykorzystane materiały:

1. Janusz Zygierewicz - "Kosmiczna łączność radiowa. Wyd. MON, 1964 r.
2. Inż. ppłk J. Czubarow - "Swiaż czeres kosmos - wozmożnosti i perspektiwy." Wojennaja Myśl Nr 8/1966 r.
3. Inż. W. Bałakiriew - "Radiolinia Ziemia - Kosmos-, Ziemia. Sputniki Swiazi". Awiacja i Kosmonawtika Nr 2/1964/.

4. "Wojskowe elektroniczne systemy dowodzenia i kierowania sił powietrznych Stanów Zjednoczonych." Wojskowy Przegląd Zagraniczny Nr 5/51/ 1966 r.
5. Mgr inż. Kalita /Instytut Łączności/ "Systemy łączności satelitarnej."
6. Prof. dr Witold Nowicki - "Telekomunikacja międzykontynentalna." Problemy Nr 7/1967 rok.
7. Ppłk E.K. "Plany łączności kosmicznej NATO" Wojskowy Przegląd Zagraniczny Nr 1/59/1968 rok.
8. "Awiacja i kosmonawtika" Nr 5/1967 r.  
Wypowiedź ministra łączności ZSRR Mikołaja Demianowicza Psurcewa.
9. Ppłk P. Miedwiediew - "Sistemy kosmiczeskoj swiazi".  
Awiacja i kosmonawtika Nr 6/1966 r.
10. Kmdr por. Jerzy Nowak - "Systemy radiokomunikacji satelitarnej" Wojskowy Przegląd Lotniczy Nr 11/1966 r.
11. J. Bogdanow, W. Dudnikow, K. Ogornikow, W. Ryczka.  
"Dalekosiężna, wielokanałowa, kosmiczna..."  
"Awiacja i kosmonawtika" Nr 5/1967 r.  
Rysunki zamieszczone w tekście pochodzą również z w/w materiałów.

ZEBRAŁ i OPRACOWAŁ :

płk M. G E Ł E T A

Wydrukowano w 52 egz.

Egz. nr 1 Oddział N.B.

Egz. nr 2 Szefostwo Wojsk Łączności

Egz. nr 3-52 Bibl. Szkol. Dział Jawnny

Wyk. płk M. Gełeta

Druk. Cz. B. dn. 22. 12. 1968r.

Nr ks. 2913/3389/WW

Kor. A. J.

Druk. ASG - 0 - XV - 3966

