

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI

KIERUNEK: Telekomunikacja

SPECJALNOŚĆ: TSI

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

Projekt systemu łączności radiowej dla statku
kosmicznego w obszarze pozaziemskim.

Design of radio communications system for spaceship in
the area extraterrestrial.

AUTOR :Marcin Głowacz

PROWADZĄCY PRACĘ :

Dr.Inż. Andrzej Zygmunt, W-4

OCENA PRACY :

WROCŁAW 14.02.2018

Spis treści

Rozdział 1	5
Wprowadzenie	5
Zagadnienia	5
Rozdział 2	7
Przegląd technik	7
Rozdział 3	11
Projekt stanowiska	11
Segment naziemny	11
Segment kosmiczny	18
Komunikacja głosowa	19
System ARPS	19
Schemat funkcjonalnego systemu	20
Opis działania poszczególnych elementów w segmencie	20
Bilans energetyczny anten w amatorskiej oraz profesjonalnej stacji	21
Tłumienie spowodowane warunkami pogodowymi	22
Tłumienie wolnej przestrzeni	23
Tłumienie spowodowane gazami atmosferycznymi	23
Tłumienie spowodowane opadami	25
Tłumienie spowodowane chmurami	27
Czułość progowa odbiornika	29
Bilans energetyczny	30
Zysk anteny	31
Moc odebrana	32
Rozdział 4	34
Kosztorys	34
Specyfikacja	34
Rozdział 5	41
Podsumowanie	41
Bibliografia	43

ROZDZIAŁ 1

1.1 Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach istnieje wielu krótkofalowców. Niestety spora część entuzjastów ogranicza się do kierowania wiązki pola elektrycznego swojej anteny w stronę satelitów za pomocą własnych rąk licząc na to, że antena „trafi” na sygnał. Celem projektu jest opracowanie zautomatyzowanego amatorskiego systemu łączności, opisu każdego komponentu oraz objaśnienie ich roli w systemie amatorskim.

Projekt zawiera amatorski sprzęt, a rozwiązania problemów które napotkano podczas realizacji projektu, były inspirowane profesjonalnymi zastosowaniami. Podczas realizacji projektu pojawił się problem w nakierunkowaniu anteny stacji amatorskiej w wiązkę anteny zamontowanej na obiekcie, dlatego szczególnie ważnym elementem w projekcie było zastosowanie systemu śledzącego antenę na obiekcie, oraz opisu jego działania.

Projekt dodatkowo rozbudowano o możliwość podłączenia kilku anten odbierających sygnał z obiektu zamieszczonym w kosmosie.

Ostatnim elementem projektu jest obliczenie bilansu energetycznego segmentu naziemnego stacji amatorskiej. Bilans energetyczny składał się z wyliczenia czynników wpływających na tłumienie sygnału na trasie ziemia-satelita :

- zysk energetyczny anteny,
- tłumienie całkowite dodatkowe,
- tłumienie swobodnej przestrzeni,
- moc odebrana,

Każdy z tych czynników został policzony dla anteny YAGI-Uda (amatorskiej).

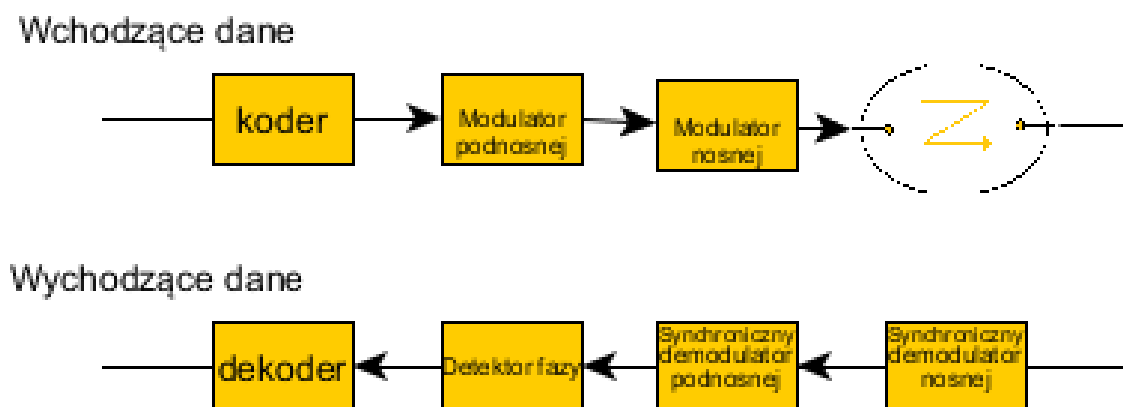
1.2 Zagadnienia

Telemetria

Schemat łącza telemetrycznego przedstawiono na rys.1. Telemetria obejmuje przekazywanie danych w kierunku Ziemi na temat stanu wartości pomiarowych oraz stanu technicznego załogi uzyskanych z otoczenia ze względu na dużą liczbę (rozmiar danych) i ich duże znaczenie dla powodzenia misji żąda się, by wierność i szybkość transmisji były jak największe.

Zwykle najniższa akceptowalna stopa błędu wynosi $P_e=10^{-5}$, wymagana przepływność sięga 100 kb/s i więcej. Telemetria wykorzystuje podstawowe elementy łączy śledczych i sterujących, w tym źródło częstotliwości odniesienia.

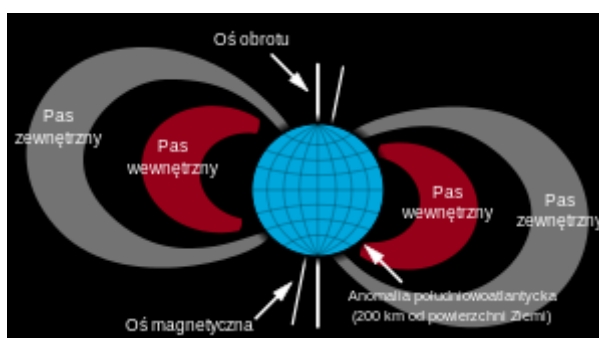
W procesie przetwarzania sygnałów szeroko stosowane są nowoczesne zaawansowane metody detekcji i kodowania. Niekiedy wykorzystywany jest również odbiór zbiorczy. Dane łącza telemetrycznego po wyjściu ze źródła poddawane są specjalistycznemu kodowaniu transmisyjnemu, oraz protekcyjnemu.



Rys.1. Schemat blokowy łącza kosmicznego telemetrycznego. Źródło [11]

Strefa Van Allen'a

Obszar intensywnego promieniowania kosmicznego, który znajduje się na orbicie MEO. Obszar ten składa się z naładowanych cząstek :elektronów i protonów o wielkiej energii, które znajdują się w polu magnetycznym ziemi. Ze względu na destrukcyjny wpływ tych cząsteczek na elektroniczne komponenty rzadziej można tam spotkać satelity niż w pozostałych orbitach, np. :LEO.



Rys.2. Przedstawia pasy Van Allen'a.

ROZDZIAŁ 2

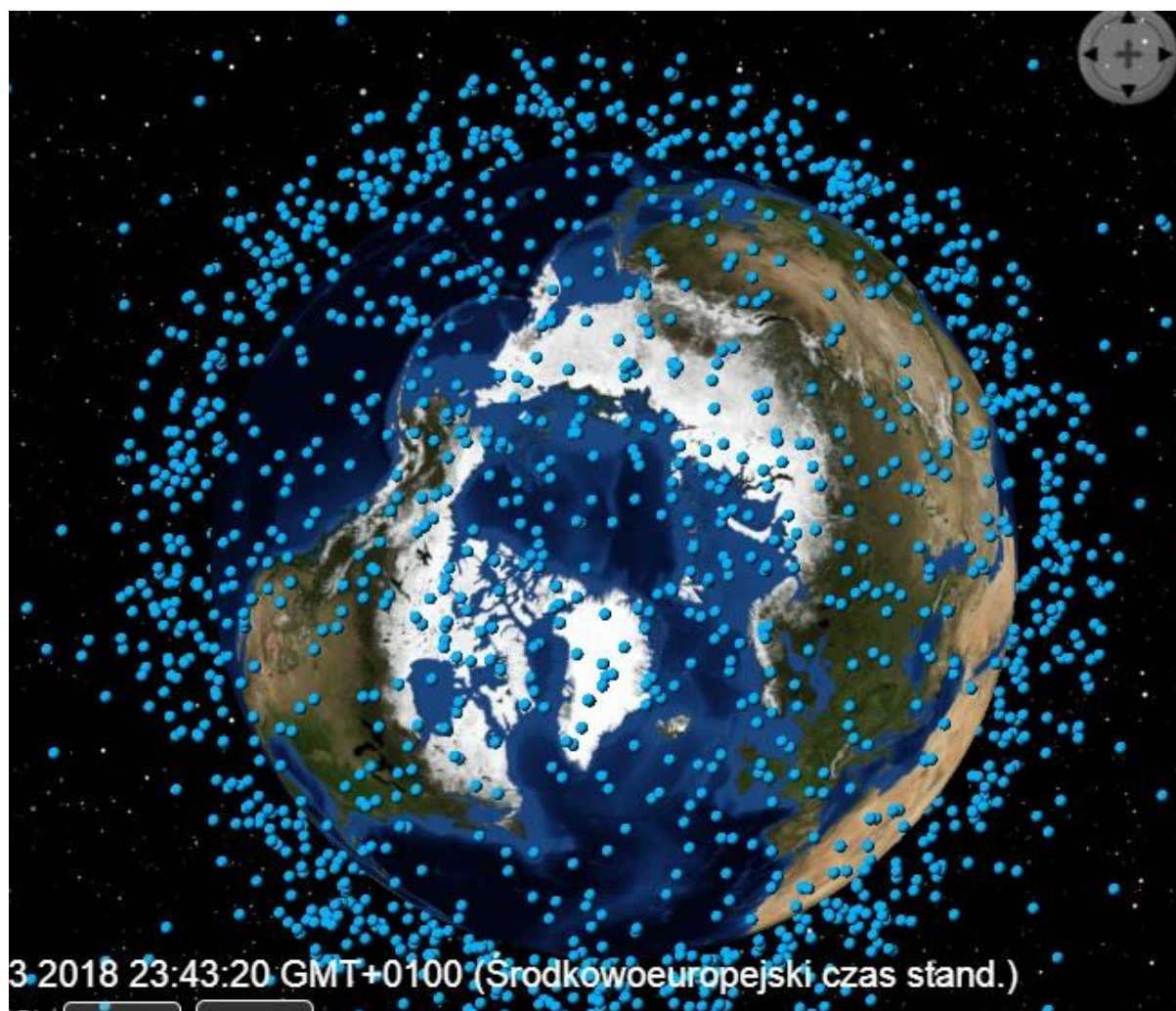
2.1 Przegląd technik łączności o dużym zasięgu

Systemy pracujące w niskoorbitalnej łączność radiowej

- ISS (international space station)

Jedna z największych obiektów zbudowanych przez ludzi w poza powierzchnią ziemi, zarazem jedna z pierwszych międzynarodowych stacji kosmicznych zbudowanych przy pomocy wielu krajów. Składa się z 15 głównych modułów (docelowo 16). Pierwsze moduły zostały połączone i wzniesione w przestrzeń kosmiczną w 1998 roku, natomiast pierwsza stała załoga zamieszkała na niej w 2000 roku, orbita stacji ISS znajduje się około 330 km nad powierzchnią ziemi, natomiast jej orbita z czasem stale się obniża, zatem

wymagane są korekcje za pomocą silników odrzutowych. Od 2009 roku stacje są w stanie pomieścić 6 członków załogi, (wcześniej liczba członków załogi nie wynosiła więcej niż 3). Od 2012 roku system ISS, transmituje na żywo obraz z orbity, jest narzędziem do przeprowadzania badań w środowisku kosmicznym. Od 2018 system ISS ma zostać przedsięwzięciem komercyjnym.



Rys. 1 Rozmieszczenie satelitów na niskiej orbicie z dnia 13.02.2018.

Systemy pracujące na orbicie MEO łączności radiowej

System Odyssey w porównaniu do systemu TELEDESIC system, w którym satelity wykorzystują zjawisko retransmisji^[2]. System opiera się na 12 satelitach znajdujących się na wysokości około 10 500 km i inkilacji 56° , pracującym w wąskim paśmie umożliwiającym transmisję danych w postaci głosu. Jako, że system pracuje na orbicie MEO, opóźnienia transmisji pomiędzy satelitą a anteną wynosi około 40 ms, +/- 5ms. Założeniem jest tutaj ciągła widoczność satelitów na „zakładkę”, z tego powodu często zdarzało się, że w

centrum odbioru łączyły się jednocześnie dwa satelity jednocześnie. Połączenia realizowane są tutaj przy kącie elewacji 20° . System wykorzystywał metodę dostępu do medium CDMA^[3] w pasmach :

- łączy terminal-satelita - 1.61-1.6265 GHz,
- łączy satelita-terminal - 2.4835-2.5 GHz,
- łączy satelita-stacja naziemna - 19.7-20.2 GHz,
- łączy stacja naziemna-satelita - 29.5-30 GHz,

VSAT – Very small aperture terminal

Techniki telekomunikacyjne wyposażone w małe lub bardzo małe anteny, wykorzystujące terminale abonenckie. Anteny w systemie VSAT odbierają sygnał z satelitów geostacjonarnych za pomocą transponderów, które wzmacniają modulują oraz odpowiadają na sygnał. Technologie VSAT wykorzystywane są w różnych usługach telekomunikacyjnych potrzebnych np. do transmisji dźwięku lub obrazu, lub dwukierunkowej komunikacji głosowej (przykładem jest tutaj komunikacja wojskowa pomiędzy bazą a polem bitwy). W przypadku w którym infrastruktura naziemna nie jest w stanie zapewnić korzystania z łączy o standardowych parametrach technicznych. Wynika to z podstawowej zalety VSAT'u – elastyczności, która pozwala na zestawienie połączeń typu punkt-punkt.



Rys.2 Zastosowanie VSAT w technologii militarnej.

IRIDIUM

„Iridium jest systemem satelitarnym typu LEO. Opracowany w latach 1987-90, uruchomiony został w listopadzie 1998 roku. Po uruchomieniu okazało się, że w rzeczywistości zainteresowanie tego typu systemem jest nikłe, co spowodowało upadłość konsorcjum Iridium i wykupienie całego majątku przez osobę prywatną. Obecnie Iridium nadal dostępne jest do osobistego użytku, ale największym klientem pozostaje rząd USA. Satelity Iridium poruszają się na wysokości ok. 780 km n.p.m. (inklinacja 86,40), pokrywając swoim zasięgiem całą powierzchnię kuli ziemskiej. Na system składa się sieć 66 satelitów (plus 6 zapasowych), ułożonych w 6 płaszczyznach orbitalnych (11 satelitów na każdej). Orbity oddalone są od siebie o 31,20 km, oprócz poruszających się przeciwległe orbity pierwszej i szóstej, które są oddalone o 220 km, Okres obiegu satelitów wynosi ok. 100 minut. Z danego punktu na powierzchni Ziemi można obserwować jednego satelitę przez 10 minut. Jak łatwo obliczyć, satelity pokrywają dany punkt „na zakładkę” – zanim jeden satelitów zniknie nad horyzontem, następny już jest widoczny. Minimalna elewacja, jaką bierze się pod uwagę, to $8,20^\circ$. Każdy z satelitów posiada na pokładzie trzy zestawy anten, każda z nich generuje 16 wiązek tworzących komórki o średnicy 600 km. Biorąc pod uwagę liczbę satelitów możemy obliczyć, że teoretyczna liczba komórek wynosi 3168. Praktycznie jednak utworzonych jest 2150 komórek (ze względu na mniejszą wymaganą liczbę komórek na dużych szerokościach geograficznych). Każda komórka ma przyporządkowane 20 kanałów radiowych. Jeden kanał o przepływności 50 kbit/s pozwala na utworzenie czterech duplexowych połączeń. Innymi słowy, w komórce o promieniu 600 km może być obsłużonych 80 użytkowników. Pojedynczy satelita natomiast jest w stanie przetworzyć 1100 jednoczesnych rozmów. Istotną cechą systemu jest fakt, iż przetwarzanie danych (komutacja) zachodzi na pokładzie satelity, bez łączności ze stacją naziemną. Łączność taka jest potrzebna tylko w dwóch wypadkach: podczas zestawiania połączenia (kiedy trzeba sprawdzić dane abonenta), oraz podczas łączenia się z inną siecią telekomunikacyjną. Aby było to możliwe, satelity muszą utrzymywać połączenia między sobą – tzw. ISL (Intersatellite Link). Każdy z satelitów utrzymuje 4 takie połączenia (2 z satelitami z tej samej orbity, 2 z satelitami z sąsiednich orbit – oczywiście nie dotyczy to satelitów z orbity 1 i 6, które łączą się z trzema sąsiadami). Wypada jeszcze zauważyć, że ISL z sąsiednimi orbitami utrzymywane są prawdopodobnie tylko w pewnym zakresie szerokości geograficznej, ze względu na trudności w pozycjonowaniu anteny przy dużej względnej prędkości kątowej między dwoma satelitami.” [9]

ROZDZIAŁ 3

3.1 Projekt stanowiska oraz przegląd technik

Poniżej przedstawiono projekt stanowiska, a w nim koncepcję projektową, danego systemu, schemat funkcjonalnego systemu, opis działania poszczególnych elementów w segmencie naziemnym, przegląd technik łączności o dużym zasięgu, bilans łączności energetycznego.

3.2 Koncepcja projektowa

Koncepcja była inspiracją do profesjonalnych stacji w segmencie naziemnym. Rozwiązanie problemu śledzenia anteny, polega na ukierunkowaniu wiązki pola elektrycznego za pomocą oprogramowania śledzącego ruch obiektu w przestrzeni kosmicznej. Do zapewnienia odbioru oraz nadawania danych, użyto dwóch anten, jedna służy do nadawania sygnału (pasmo 144,8 MHz), druga do odbioru danych (pasmo 430 MHz), koncepcja zakłada iż na obiekcie znajdującym się w kosmosie zamontowano te same anteny, które działają na tych samych pasmach jak w segmencie naziemnym (Rys.11). Pomimo że anteny komunikują się między sobą na tych samych pasmach, segment naziemny rozbudowano o konwerter częstotliwości, który umożliwi kompatybilność systemu w przypadku zmiany anteny która będzie pracować w innym zakresie częstotliwości niż antena zastosowana w projekcie.

3.2.1 Segment naziemny

Segment naziemny składa się z zespołu urządzeń zdolnych do implementacji kilku anten, małe niekomercyjne anteny np. YAGI wykorzystują darmowe pasmo amatorskie. Poniższa tabela przedstawia pasma, w jakich działają poszczególne satelity :

Zakresy częstotliwości systemów satelitarnych

Oznaczenie pasma satelitarnego	Częstotliwości przekazu „w górę” / „w dół” [GHz]
L	1,6 / 1,5
C	6 / 4
X	8 / 7
Ku	14 / 12
K	17 / 12
Ka	30 / 20

Pasmo	Częstotliwości [MHz]
VHF	30 – 300
UHF	300 – 3GHz

5

Tabela.1 Zakres częstotliwości pracy dla anten. Przedstawiono zakresy pracy w satelita-ziemia down-link i w kierunku (ziemia-satelita) up-link.

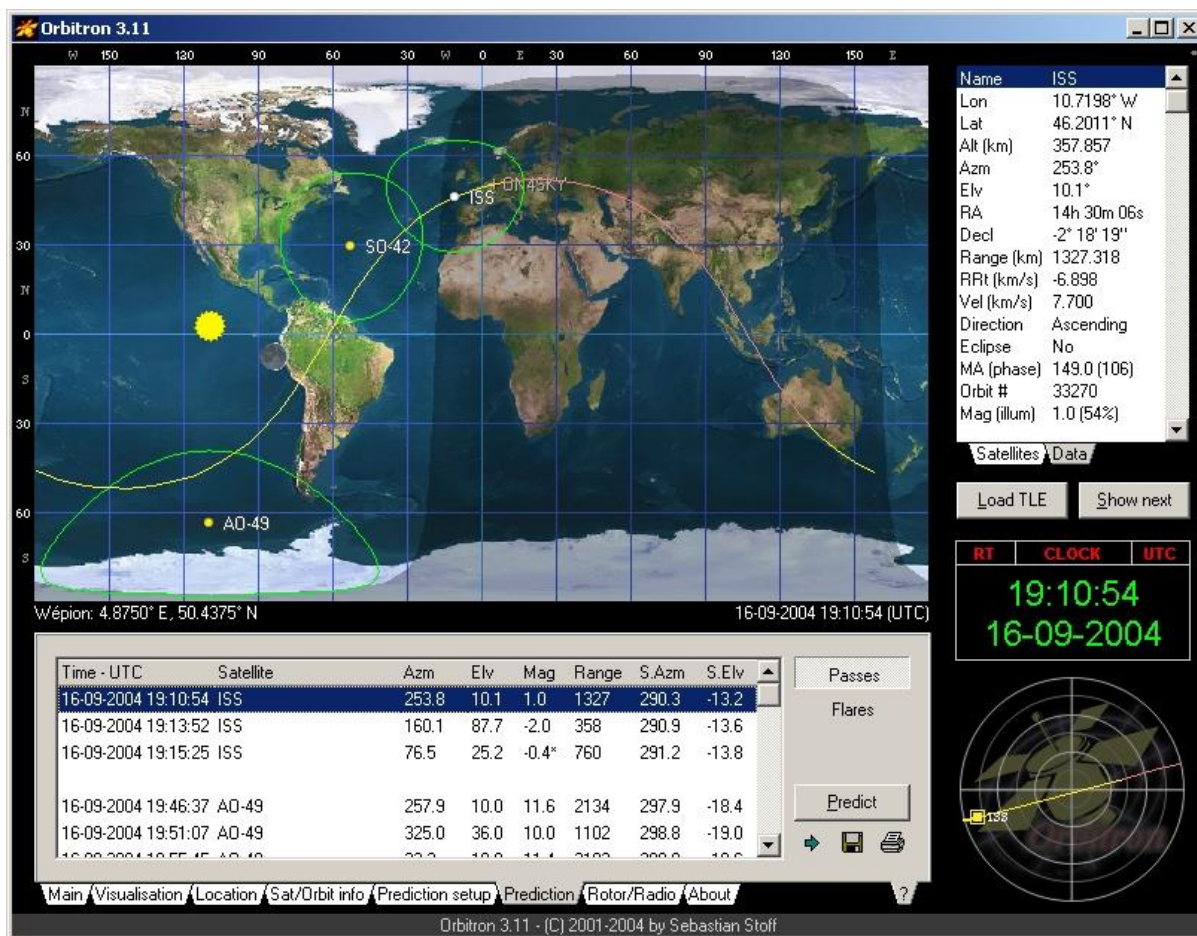
W projekcie założeniem jest praca anteny YAGI w paśmie 430 MHz i 144,8 MHz. Dla pasma 2.4 GHz stosowane są małe anteny paraboliczne. W pasmach do zastosowań profesjonalnych 2 GHz, 10 GHz bądź 21 GHz stosuje się już duże anteny paraboliczne. W naszym przypadku jako że obiekt będzie znajdować się w kosmosie, zastosowaniem są anteny typu YAGI działające w paśmie amatorskim 430 MHz i 144,8 MHz. Ze względu na to, iż obiekt ma poruszać się w przestrzeni kosmicznej, zastosowany będzie w antenie rotor, który naprowadzi antenę w celu komunikacji z obiektem. Trasą ziemia-kosmos będzie sterować oprogramowanie które posiada odpowiedni model matematyczny^[3] który wyznacza położenie satelity na orbicie i steruje rotorem w taki sposób, aby antena znajdująca się na ziemi „widziała” się z anteną zamontowaną na satelicie. Przykładami takiego oprogramowania są aplikacje Orbitron oraz Predict. Sygnał będzie nadawany na konkretnej częstotliwości up-link 430 MHz.



Rys.2. Antena YAGI do zastosowań amatorskich.



Rys.3. Rotor sterujący anteną YAGI.



Rys.4. Aplikacja ORBITRON śledząca obiekty w przestrzeni kosmicznej.

Kolejną istotną częścią systemu jest transceiver, w przypadku projektu do komunikacji satelitarnej potrzebne są wyspecjalizowane transceiver'y, posiadające tryb pracy, w którym po pierwsze kompensowany będzie efekt Dopplera^[4], a po drugie transmisja będzie nadawana dwukieunkowo (duplex). Transceiver ten musi mieć możliwość korelacji częstotliwości pracy w paśmie amatorskim (około 400 MHz), podłączony do komputera daje efekt zautomatyzowanego doboru częstotliwości oraz korekcji przy użyciu modelu matematycznego orbity satelity.

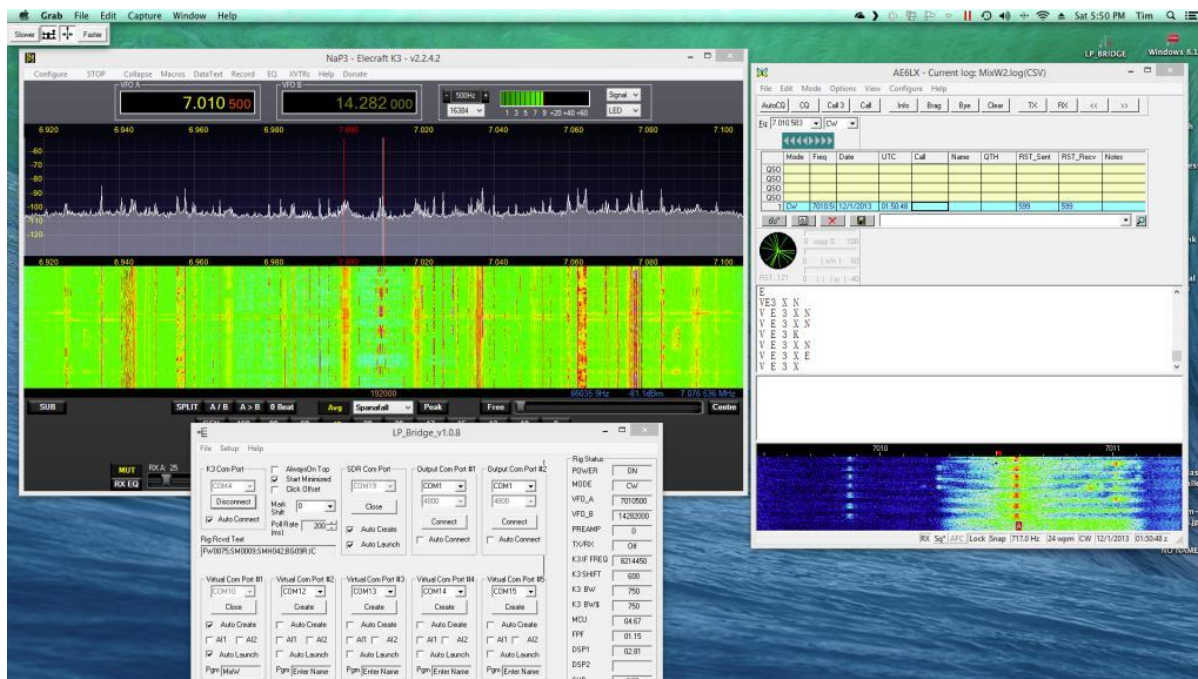


Rys.5. Radio ICOM 910H transceiver.

Zdekodowany sygnał w postaci audio trafia następnie do modemu. Zastosowanie modemu w projekcie ma na celu zakodowanie sygnału audio i przedstawienie go w postaci danych cyfrowych. Jego realizacja może być sprzętowa, bądź w postaci aplikacji która wykorzystuje możliwości karty muzycznej np.(MixW). W projekcie użyto wersji hardware'owej.



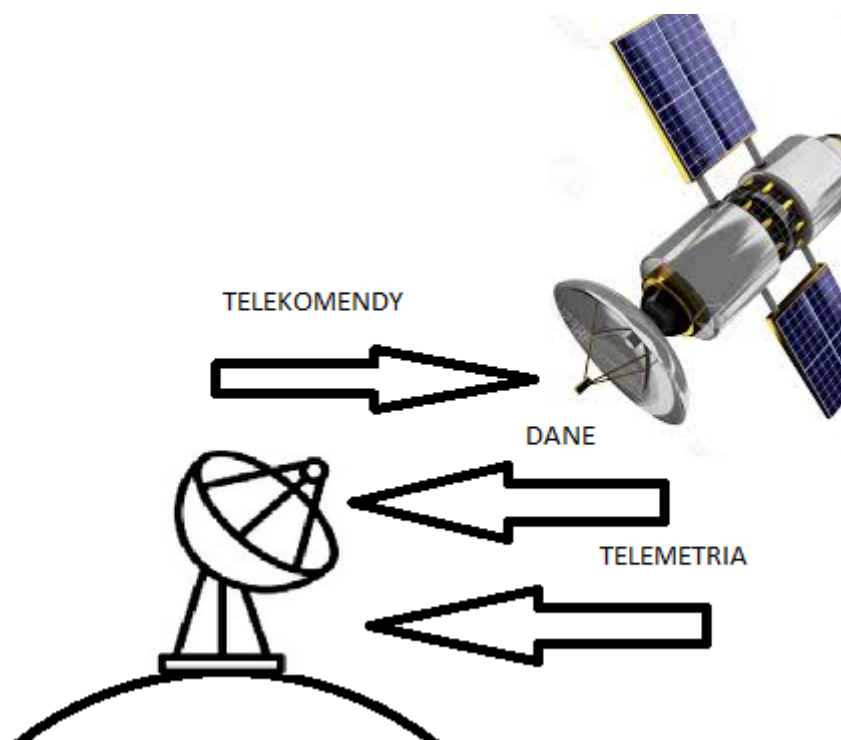
Rys.6. Przedstawia model modemu packet-radio DSP-232+ TNC



Rys.7. Aplikacja mixW.

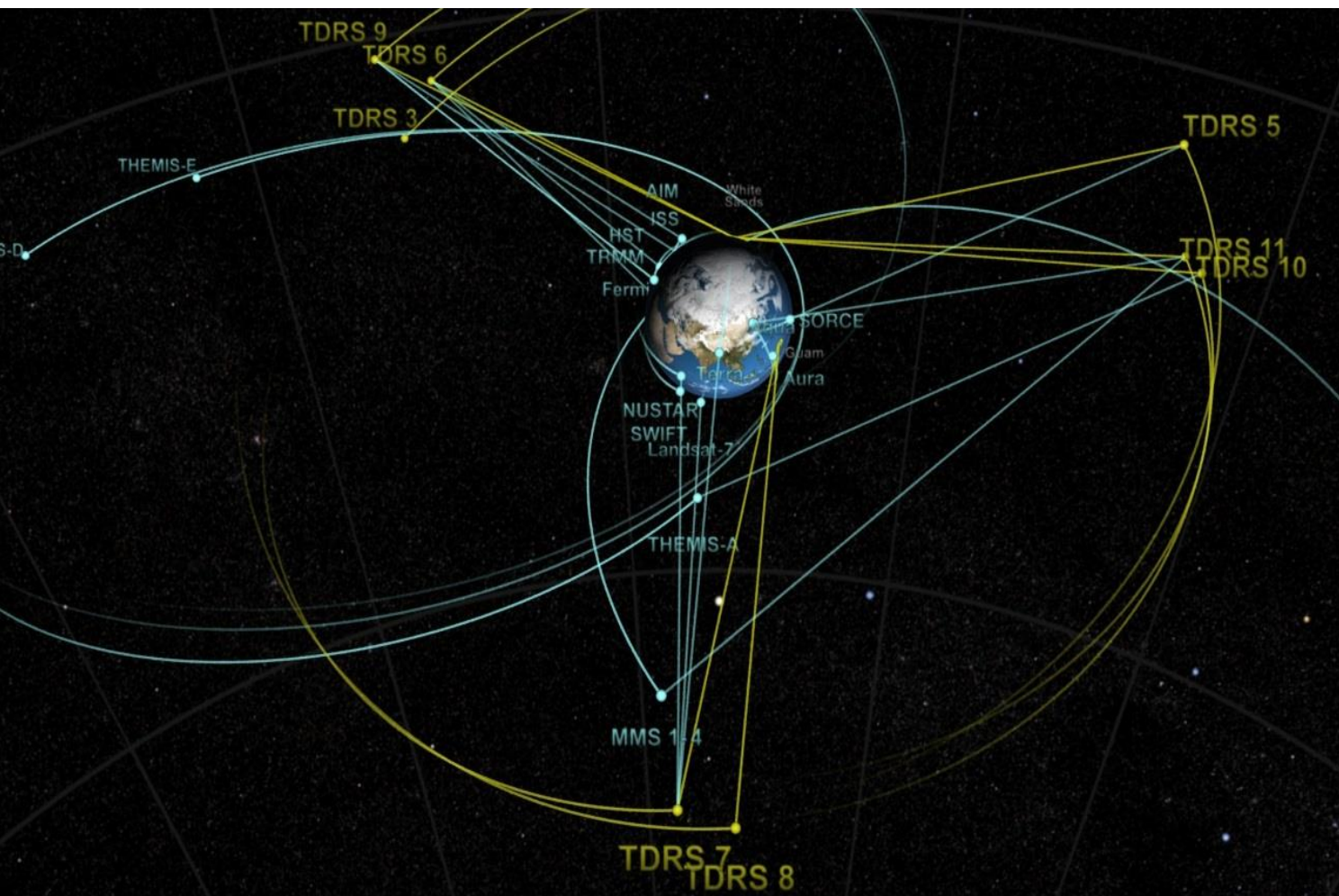
3.2.2 Segment kosmiczny

Obiekty w segmencie kosmicznym do komunikacji potrzebują energii. rozwiązaniem są tutaj baterie słoneczne zamontowane na obiekcie. Warto wspomnieć że architektura systemu amatorskiego kwalifikuje się jako VSAT (Very small Aperture) po polsku jest to system z małymi terminalami, takowe systemy zapewniają transmisję z przepustowością łączy od 64 kb/s do 2 Mb/s. Jako że w segmencie naziemnym użyto anteny YAGI działającej w przedziale częstotliwości 125 MHz 425 MHz które kwalifikuje się do pasma UHF (Ultra High frequency) oraz VHF (Very high frequency), w segmencie kosmicznym proponuje się te same anteny, działające na tym samym paśmie. System komunikacji satelitarnej satelita – ziemia – satelita składa się z systemu telemetrycznego.



Rys.8. Łączność pomiędzy anteną a satelitą.

W późnych latach siedemdziesiątych satelity takie jak Nimbus 7 komunikowały się ze stacjami naziemnymi NASA rozmieszczonymi na całym świecie by zapewnić komunikację sieciową. To rozwiązanie mogło zapewnić komunikację na poziomie 15% długości czasu obiegu orbity satelity. Wraz z zwiększaniem się floty satelitów oraz załogowych lotów NASA było zobowiązane zadbać o zwiększenie ilości satelitów okrążających ziemię w celu rozwoju i zapewnienia bardziej dostępnej komunikacji dla ludzi na arenie międzynarodowej. W 1983 NASA dołączyło do jednej z pierwszych serii nowych satelitów służących do komunikacji oraz nawigacji, którym zapewniały nieprzerwany zasięg. Dane śledzenia i przekazywania TDRS (tracking and DataRelay Satellites System) są to satelity które komunikują się z dwoma stacjami naziemnymi. Satelity te znajdują się na wysokości około 35000 km nad powierzchnią ziemi, zatem ich pole widzenia Ziemi jest dużo większe niż w przypadku satelity Nimbus 7. Dzisiaj flota statków kosmicznych i urządzeń służących do łączności są w stanie komunikować się oraz śledzić za pomocą TDRS, przykładowym celem takiej komunikacji jest przewidywanie występowania opadów tropikalnych. To zapewnia ciągłą komunikację pomiędzy segmentem naziemnym oraz kosmicznym w projekcie. Stacja przekaźnikowa TRDS przyjmuje sygnały z Ziemi i przekazuje je w kierunku do wahadłowca. Tutaj dokonywany jest proces odwrotny :kompresja widma, dekodowanie deszyfryzacja i demultipleksacja. Ważną rolę odgrywają procesy synchronizacji.



3.2.3 Komunikacja głosowa

Transmisja danych opiera na ciągłej kontroli odbieranych pakietów, a w przypadku stwierdzenia błędów przekaz jest wielokrotnie powtarzany, aż do uzyskania oczekiwanego efektu oraz pełnej zgodności. W efekcie transmisja jest całkowicie pozbawiona błędów, a odebrany tekst jest wiernie odzwierciedlony na maszynie odbiorcy.

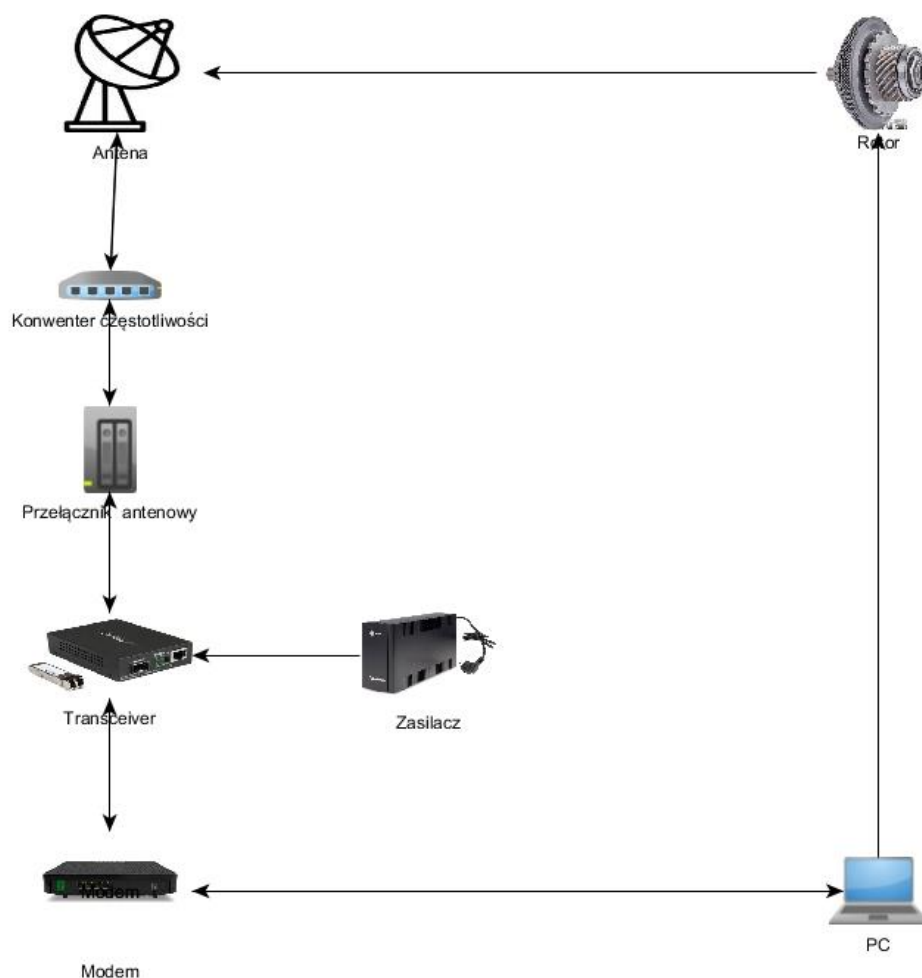
3.2.4 System ARPS

Jednym z systemów które mogą współpracować z Packet Radio, jest system ARPS (Automatic Position Reporting System) system automatycznego raportowania pozycji. Twórcą tego systemu jest Bob Bruning, jego celem było zaprojektowanie systemu do przesyłania informacji o swoim położeniu między radioamatorami. Dodatkowo jest on zoptymalizowany tak, aby mógł on dawać informacje na temat lokalizacji stacji, które poruszają się. W projekcie jest on kompatybilny z oprogramowaniem, które steruje rotorem w celu uzyskania transmisji.

Podstawowym wariantem pracy łącza polega na przyjęciu sygnałów z Ziemi. Tą drogą określa się następnie częstotliwość nośną wg. Stosunku 240/211.

3.2.5 Schemat funkcjonalnego systemu

Antena typu YAGI, z aplikacją (Rys.4) która pobiera dane dotyczące położenia obiektu i koryguje nastawienie względem satelity w celu poprawienia jakości łączności. (System antenowy śledzący położenie satelity za pomocą zainstalowanego rotora w antenie). Rotorem steruje komputer za pomocą oprogramowania APRS (automatyczny system raportowania pozycji). W rys. 10. przedstawiono segment naziemny funkcjonalnego systemu.



Rys.10. Segment naziemny proponowanego systemu radiokomunikacji.

3.3 Opis działania poszczególnych elementów w segmencie naziemnym

Transceiver – jest urządzeniem umożliwiającym komunikację pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. W projekcie użyto transceiver’a full-duplex, zdolnego nadawać oraz odbierać sygnał jednocześnie. Transceiver w projekcie posiada opcję korygowania częstotliwości w celu uzyskania komunikacji pomiędzy segmentem naziemnym a kosmicznym.

Modem – zdemodulowany sygnał trafia do modemu, po czym modem moduluje w celu zakodowania informacji cyfrowych w ten sposób, aby równocześnie informacje mogłyby być przesyłane w medium transmisyjnym.

PC – pełni rolę obserwatorium, na którym zainstalowane jest oprogramowanie wymagane do obsługi komponentów elektronicznych oraz trakcji (Rys. 4) obiektu zamieszczonego w kosmosie.

Przełącznik antenowy – pozwoli na przełączanie kanałów w przypadku gdy ilość używanych anten w segmencie naziemnym służących do komunikacji z satelitą będzie większa niż 1.

Antena – jest pośrednikiem w nadawaniu i odbieraniu strumienia danych. Umożliwia komunikację bezprzewodową zatem pomiędzy segmentem naziemnym a segmentem kosmicznym.

Rotor – jest narzędziem (Rys.3) umożliwiającym sterowanie ruchem anteny w elewacji i azymuncie, za pośrednictwem oprogramowania (Rys. 4).

Konwerter częstotliwości SINGIEL – „Najsilniejsze tłumienie jest, gdy polaryzacja fali jest obrócona o 90 stopni w stosunku do płaszczyzny polaryzacji sondy” Konwerter ma za zadanie dostarczenie sygnału z satelity do odbiornika, za pomocą przesunięcia i wzmocnienia sygnałów odbitych od lustra anteny na częstotliwość pracy 125-425 MHz.

3.4 Bilans energetyczny anten w amatorskiej oraz profesjonalnej stacji

Poniżej przedstawiono bilans energetyczny anteny dla amatorskiej stacji – przykładem użytym została tutaj antena kierunkowa typu – YAGI działająca w paśmie częstotliwości 125 MHz oraz 430MHz. Przykładem porównawczym dla anteny YAGI jest wyliczenie bilansu energetycznego dla anteny profesjonalnej parabolicznej, której średnica wynosi około 34 metry, anteny tego typu stosowane są do łączy z systemem TRDSS, a przykładową jej lokalizacją jest Madryt.

3.4.1 Tłumienie wolnej przestrzeni

Aby określić tłumienie wolnej przestrzeni należy określić odległość, jaka znajduje się pomiędzy antenami, które zamieszczone są w segmencie na ziemnym i na obiekcie w strefie pozaziemskiej oraz częstotliwość w której anteny pracują.

A_w - tłumienie wolnej przestrzeni [dB],

d – odległość pomiędzy antenami zamieszczonymi na segmencie naziemnym oraz na obiekcie w strefie pozaziemskiej [km],

$f_{ns,nz}$ – częstotliwość nadawania/odbierania sygnału [Hz],

λ – długość fali [m],

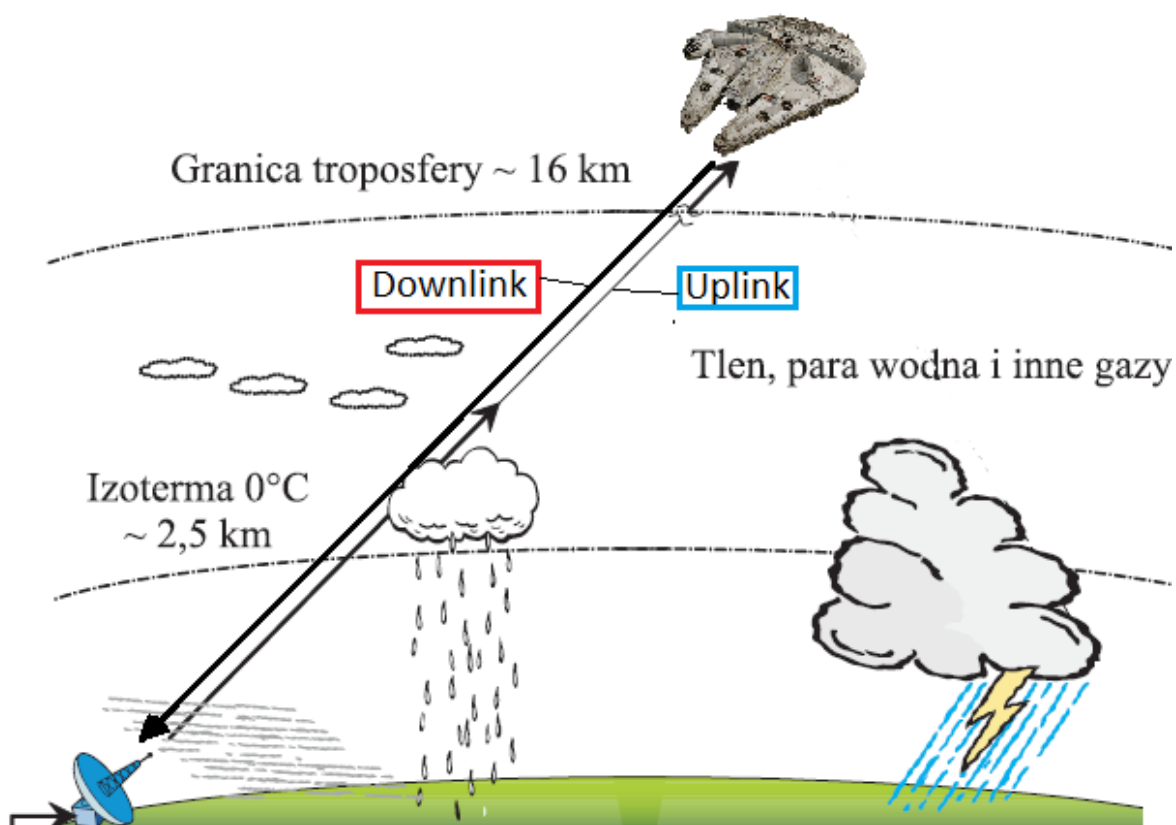
$$A_w = 20 \log \left(\frac{(4\pi d)}{\lambda} \right)$$

Tabela.2. Tłumienie wolnej przestrzeni oraz Długości fali wyliczonej na podstawie częstotliwości pasma $f_{nz}=140,8$ MHz (trasa ziemia-satelita) $f_{ns}=430$ MHz (trasa ziemia-obiekt).

		Obiekt – ziemia (downlink)	Ziemia – obiekt (uplink)	
Odległość od pow. Ziemi d	km	100	100	
Długość fali λ	m	2,04	0,747	
f_{ns}	MHz	145,8	f_{nz} [MHz]	430
Tł.wolnej przestrzeni A_w	dB	115,77	124,565	
Typ anteny - YAGI				

3.4.2 Tłumienie spowodowane warunkami pogodowymi

Bardzo ważnym czynnikiem w określeniu bilansu energetycznego jest określenie całkowitego tłumienia dodatkowego, które jest sumą tłumienia wywołanego **chmurami, gazami atmosferycznymi oraz opadami**. Na podstawie rekomendacji ITU-R, można określić prawdopodobieństwo występowania opadów atmosferycznych. Tłumienie swobodnej przestrzeni uwzględnia również występowanie gazów, oraz bierze pod uwagę zachmurzenie. Wszystkie te 3 czynniki **gazy, zachmurzenie** oraz opady **atmosferyczne** mają wpływ na wartość tłumienia w docieraniu sygnału na trasie ziemia-satelita.



Rys.11 Czynniki wpływające na tłumienie na trasie downlink/uplink.

3.4.3 Tłumienie spowodowane gazami atmosferycznymi

Jak wiadomo powietrze, którym oddychamy jest mieszaniną różnych gazów, min. azot, tlen lub hel. Każdy z tych gazów powoduje straty w przesyłanym sygnale. A tłumienie spowodowane gazami atmosferycznymi możemy określić za pomocą wzoru.

$$A_g = \frac{h_o * \gamma_o + h_w * \gamma_w}{\sin(\theta)}$$

h_o – długość warstwy pary wodnej [km]

h_w - długość warstwy powietrza suchego [km]

γ_o – tłumienie spowodowane przez suche powietrze [dB/km]

γ_w – tłumienie spowodowane przez parę wodną [dB/km]

A_g – tłumienie gazów atmosferycznych [dB]

θ – kąt elewacji anteny

Straty spowodowane przez gazy występujące w ziemskiej atmosferze są zależne od średniej temperatury, częstotliwości pracy aparatury, kąta elewacji anteny, koncentracji pary wodnej, temperatury oraz ciśnieniu oraz koncentracji pary wodnej, przyjęto tutaj wartość na podstawie rekomendacji ITU-R - $7.5(\frac{g}{m^3})$. Do obliczenia tłumienia zastosowano rekomendację ITU-R, Rec. P.676-5 w której procedura polega na obliczeniu wartości tłumienia poprzez obliczenie tłumienia suchego powietrza, tłumienia pary wodnej. Na podstawie tych danych można przystąpić do obliczenia tłumienia spowodowanego gazami atmosferycznymi.

Tabela.3. Tłumienie wywołane gazami atmosferycznymi dla minimalnego kąta elewacji 5° i maksymalnego kąta elewacji 90°.

Dla anteny typu YAGI.

	Warstwa suchego powietrza		Warstwa pary wodnej		Tł. Wywołane dwoma warstwami	Cz. Pasma f	Kąt elewacji θ	Tłumienie gazów atmosferyczn ych A_g
	Długość trasy h_w	Tłumie nie jednost kowe γ_o	Długość trasy h_o	Tłumienie jednostkowe γ_w				
Obiekt- Ziemia (Downlink)	km	dB/km	km	dB/km	dB	MHz	°	dB
	5,721	0,018	1,649	0,017	0,136	145,8	5	0,130
Ziemia- Obiekt (Uplink)	5,721	0,018	1,648	0,017	0,135	430		0,129
Obiekt- Ziemia (Downlink)	10,935	0,018	1,649	0,017	0,146	145,8	90	1,503
Ziemia- Obiekt (Uplink)	10,935	0,018	1,648	0,017	0,147	430		1,503

3.4.4 Tłumienie spowodowane opadami

Tłumienie wywołane opadami atmosferycznymi to jeden z najbardziej istotnych czynników w wyliczaniu dodatkowego tłumienia. Wyliczenie strat jest zależne tutaj o częstotliwości, intensywności opadów jak i ich długości w czasie, mianowicie mało intensywny deszcz daje efekt niewielkich zakłóceń lecz długotrwałych, w przypadku bardzo intensywnych opadów rzędu 90-110 mm/h, występują tłumienia osiągające wartość około 40 dB natomiast, w okresie czasu są krótkie.

Aby obliczyć tłumienia dla opadów atmosferycznych względem częstotliwości do 50 [12] GHz i lokalizacji [12] wykonuje się poszczególne kroki :

- Określenie średniej izotermy dla 0°C względem wysokości nad poziomem morza, którą można wyliczyć, bądź odczytać korzystając z mapy znajdującej się w rekomendacjach ITU- R-REC-P.839-4.
- Określenie intensywności opadów deszczu dla okresu 0,01% roku, w którym te opady są największe, które można wyczytać z map zamieszczonych w rekomendacji ITU-R, Rec. P.837-6 – 35.
- Określenie tłumienia jednostkowego γ_r , uzyskując poprzez wyliczenie współczynników regresji α , k .

Tłumienie spowodowane opadami atmosferycznymi wyliczamy ze wzoru :

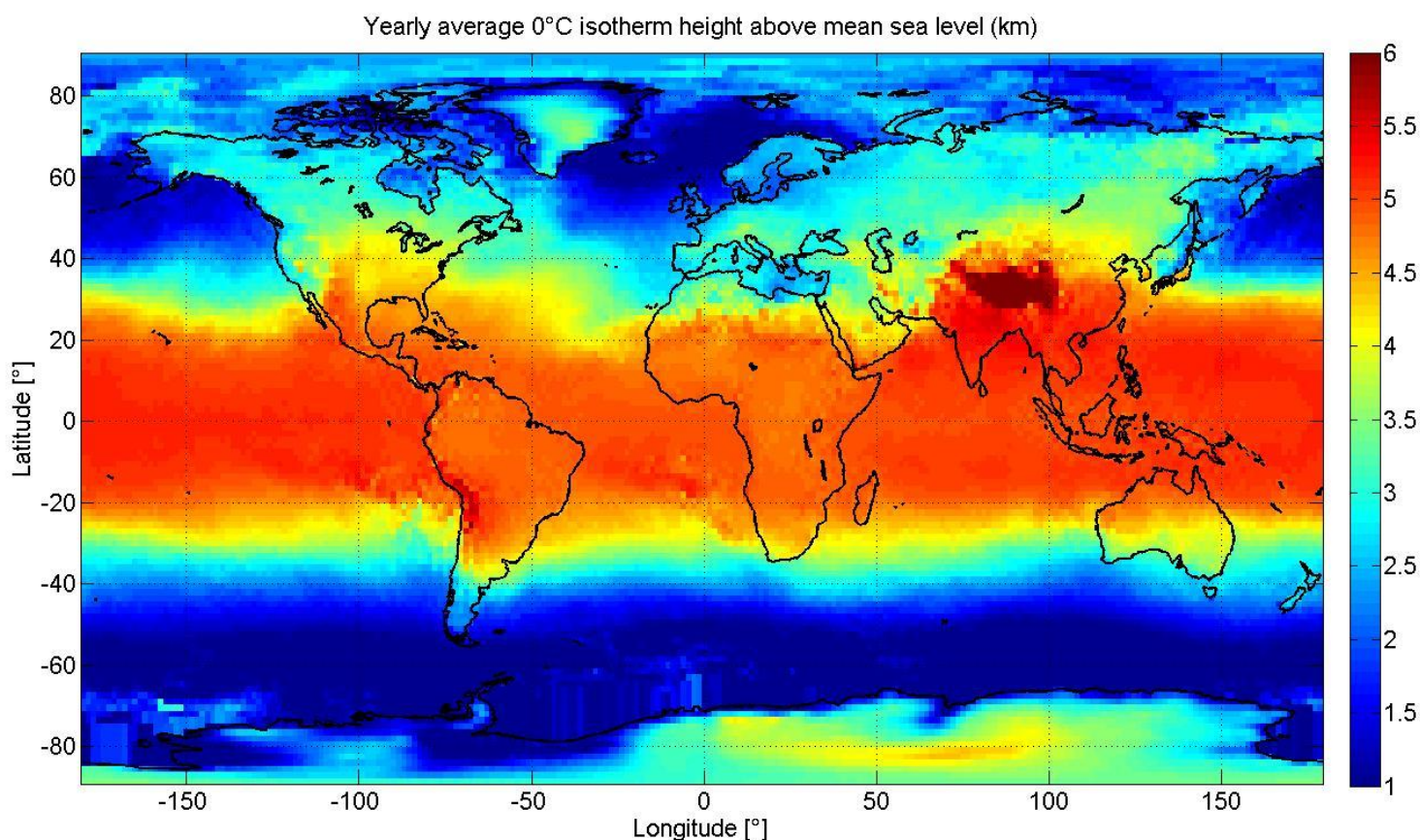
$$R(0,01) = \gamma_r \cdot Le \text{ [dB]}$$

$R(001)$ – największe opady dla 0,01% czasu w roku [dB],

Le – długość trasy [km]

Tabela.4. Starty w sygnale na trasie ziemia-satelita, satelita-ziemia dla anteny YAGI. Tłumieniem dodatkowym, jest tutaj tłumienie wywołane opadami atmosferycznymi

	Średnia izoterma dla 0° <i>h_o</i>	Długość trasy sygnału w deszczu <i>L_e</i>	Intensywność deszczu dla 0,01% czasu dla cyklu rocznego <i>R(001)</i>	Tłumienie spowodowane opadami deszczu <i>A_d</i>	Miejsce :	Cz. Pasma <i>f</i>	Kąt elewacji <i>θ</i>
	km	km	$\frac{mm}{h}$	dB		MHz	°
Obiekt-Ziemia (Downlink)	3,25	2,247	35	2,76	Góra Słęża	145,8	90
Ziemia-Obiekt (Uplink)	3,25	2,247	35	2,761		430	
Obiekt-Ziemia (Downlink)	3,25	5,438	35	3,415	Wysokość m.n.p.m	145,8	5
Ziemia-Obiekt (Uplink)	3,25	5,438	35	3,415	717,5	430	
Typ anteny – YAGI.							



Rys.12 Średnia izoterma w skali roku.

3.4.5 Tłumienie spowodowane chmurami

Tłumienie chmur przynoszą relatywnie małe straty na sygnale, woda która występuje w stanie ciekłym przynosi znacznie większe wartości tłumienia niż woda występująca w chmurach w stanie stałym – są to tak zwane chmury śniegowe. Tłumienie chmur w częstotliwości pracy, dla anten zawartych w projekcie jest znikome, jednak w przypadku anten pracujących w zakresie częstotliwości 21-32 GHz, tłumienie to sięga kilka dB.

$$A_{ch} = \frac{L * K_l}{\sin(\theta)}$$

L – największa ilość wody w chmurze w 0,1% czasu oku [kg/m²]

K_l – współczynnik tłumienia, według rozkładu Rayleigha

θ – kąt elewacji anteny [°]

Tabela.5 Starty w sygnale na trasie ziemia-satelita, satelita-ziemia dla anteny YAGI spowodowane chmurami.

	Ilość wody w chmurze w 0,1% czasu w roku L	Tłumienie wywołane chmurami A_{ch}	Miejsce :	Cz. Pasma f	Kąt elewacji θ
Obiekt- Ziemia (Downlink)	$\frac{kg}{m^2}$	dB			MHz
	2	0,084	Góra Słęża	144,8	90
Ziemia- Obiekt (Uplink)	2	0,084		430	
Obiekt- Ziemia (Downlink)	2	0,091	Wysokość h	144,8	5
			m.n.p.m		
Ziemia- Obiekt (Uplink)	2	0,091	717,5	430	
Typ anteny – YAGI.					

3.4.6 Tłumienie międzyantenowe

Obliczenia w przypadku amatorskiej łączności na drodze ziemia-satelita mają na celu pokazanie wartości dotyczących tłumienności systemów łączności z obiektami poza ziemią znajdujących się w kosmosie w odległości ok. 100 km nad powierzchnią ziemi. Do wyliczenia tłumienia potrzeba :

EIRP – zastępcza moc promieniowania,

A_w – tłumienie wolnej przestrzeni,

G_0 – zysk anteny odbiorczej/nadawczej,

N – czułość progowa odbiornika (minimalny odbieralny sygnał),

A_P – tłumienie dodatkowe (w tym przypadku tłumienie wywołane pogodą, chmurami, opadami atmosferycznymi i gazami)

3.4.7 Czułość progowa odbiornika

Dla obiektu które znajduje się w kosmosie, wyliczono czułość progową w zależności od temperatury otoczenia oraz szerokości pasma, ważnym czynnikiem jest też również stała Boltzmana^[5]. Wartości zostały uzyskane z artykułu inż. Jana Boguckiego[12]. Jest to wzór zwiększony o wartość 3dB, względem szumów. Ponieważ minimalny stosunek sygnał/szum wynosi 2.

$$N = 10 \log(T * B * k) = 10 \log(T) + 10 \log(B) + 10 \log(k)$$

B – szerokość pasma [Hz]

K - stała Boltzmana ($k = 1,38 * 10^{-23} * \frac{J}{K}$)

T – temperatura otoczenia [K]

$$P_{sz} = T * B * k$$

P_{sz} – moc szumów [dB]

<https://en.wikipedia.org/wiki/Thermosphere>

Tabela.6. Zakres częstotliwości pracy anten zaprojektowanych dla obiektu w kosmosie. Zakres pracy dla trasy ziemia-obiekt to góra Ślęza.

	Obiekt-Ziemia (Downlink)			Ziemia-Obiekt (Uplink)
Odległość od pow. Ziemi d	km	100		
Stała Boltzmana		$k = 1,38 * 10^{-23}$		
Sz. Pasma f	MHz	2		
Temperatura otoczenia T	K		210	
Czułość progowa N	dBm	-138,96		
Częstotliwość pasma f	MHz	144,8		
Moc szumów P_{sz}	dB	-141,96		

3.5 Bilans energetyczny :

Tabela.7. Bilans energetyczny dla anteny YAGI umiejscowionej na górze zwanej „Ślęza” na wysokości 717,5 m.n.p.m. Dla różnych kątów nachyleń anteny w elewacji.

	Tł. Spowodowane chmurami A_{ch}	Tł. Spowodowane opadami A_p	Tł. Spowodowane Gazami atmosferycznymi A_g	Całkowite tłumienie dodatkowe A_c	Tł. W wolnej przestrzeni A_w	Cz. Pasma f	Kąt elewacji θ
Obiekt-Ziemia (Downlink)	dB	dB	dB	dB	dB	MHz	°
	0,084	2,76	0,130	3,022	115,77	145,8	90
Ziemia-Obiekt (Uplink)	0,084	2,761	0,130	3,019	124,565	430	
Obiekt-Ziemia (Downlink)	0,091	3,415	1,503	3,851	115,77	144,8	5
Ziemia-Obiekt (Uplink)	0,091	3,415	1,503	3,886	124,565	430	

3.5 Zysk anteny

Zysk anteny jest stosunkiem gęstości mocy wypromieniowanej w danym kierunku, aby obliczyć minimalną moc, która jest odbierana przez antenę należy obliczyć jej zysk energetyczny. Do tego potrzebne są między innymi takie dane jak np. średnica anteny (zależnie od typu anteny) oraz jej sprawność. Zysk energetyczny wyznaczamy wzorem :

$$G_0 = \frac{\pi^2 * D^2 * \eta}{\lambda^2}$$

f - częstotliwość [Hz],

$c = 2,98 * 10^8$ [m/s] (prędkość światła)

η – sprawność anteny,

D – długość anteny [m]

Tabela.8 Zysk energetyczny G_0 wyliczony dla anteny typu YAGI.

	Długość anten D	Sprawność anten η	Zysk anten dBi G_0	Cz. Pasma f	
	M		dBi	Hz	
Obiekt- Ziemia (Downlink)	1,2	0,8	13,2	144,8	Antena w segmencie naziemnym
Ziemia- Obiekt (Uplink)	7,1	0,8	19,9	430	
Obiekt- Ziemia (Downlink)	1,2	0,8	13,2	144,8	Antena w segmencie kosmicznym
Ziemia- Obiekt (Uplink)	7,1	0,8	19,9	430	

3.5.1 Moc odebrana

Każdys wynik który został wykonany w rozdziale, jest współczynnikiem określającym moc odebraną przez antenę, aby obliczyć moc odbieranego sygnały przez antenę trzeba znać również moc izotropową anteny, moc odebrana została wyliczona za pomocą wzoru [12]:

$$Po = Go + EIRP - Aw - Ap [dBm]$$

Gdzie :

Po – moc odebrana [dbm],

Go – zysk anteny [dB],

EIRP^[1] – moc wypromieniowana izotropowo [dB] wyliczono na podstawie kalkulatora [11] -

<https://www.pasternack.com/t-calculator-eirp.aspx>

Ap – całkowite dodatkowe tłumienie [dB]

Aw – tłumienie wolnej przestrzeni [dB]

Tabela.9 Moc odebrana wyliczona dla anteny typu Paraboliczna profesjonalna.

	EIRP	Całkowite tłumienie dodatkowe A_p	Tł. W wolnej przestrzeni	Zysk anteny G_o	Moc odebrana P_o	Cz. Pasma f	Kąt elewacji θ
	dBm	dB	dB	dB	dBm	MHz	°
Obiekt-Ziemia (Downlink)	72,17	3,022	115,77	19,9	-88,722	144,8	90
Ziemia-Obiekt (Uplink)	71,91	3,019	124,565	13,2	-104,474	430	
Obiekt-Ziemia (Downlink)	72,17	0,766	115,77	19,9	-86,466	144,8	5
Ziemia-Obiekt (Uplink)	71,91	0,752	124,565	13,2	-102,207	430	

ROZDZIAŁ 4

4.1 Kosztorys

Tabela.10 Kosztorys składający się z komponentów amatorskiego systemu łączności w segmencie naziemnym.

Komponent	Cena netto
Antena YAGI Pasma 430-435 MHz	560 zł
Antena YAGI Pasma 144-145 MHz	1 350 zł
Transceiver FULL-Duplex	932 zł
Zasilacz	658,22 zł
PC	3 499 zł
Modem z routerem	50 zł
Konwerter częstotliwości	200 zł
Razem	7 249,22 zł

4.1 Specyfikacja

Antena YAGI Pasma 430-435 MHz

Specyfikacja techniczna	Pasma 70cm
Zakres częstotliwości	430-435 MHz
Liczba elementów	27
Zysk energetyczny	19.9 dBi
Promieniowanie wsteczne	-43.5 dB
Szerokość wiązki pionowej (+/-3dB)	18°
Szerokość wiązki poziomej (+/-3dB)	18°
Maksymalna moc doprowadzona do anteny	200 W
Maksymalny WFS (SWR) w paśmie	1.5:1
Odległość w szeregu - pionowa	220 cm
Odległość w szeregu - pozioma	220 cm
Gniazdo antenowe	Typ N (pozlacane)
Balun	28/50Ω Classic DK7ZB-Match
Długość całkowita	10,22λ / 710 cm
Przekrój nośnika	20x20x1 mm
Średnica elementów	10 mm (wibrator 12 mm)
Użyty materiał	aluminium / stal nierdzewna
Mocowanie do masztu	śr. maks. 50 mm
Waga	5.0 kg

Tabela 11. Specyfikacja anteny YAGI na trasie downlink, dla pasma 430 MHz. Źródło [13]

Antena YAGI Pasma 144-145 MHz

Specyfikacja techniczna	Pasmo 2m
Zakres częstotliwości	144-145 MHz
Liczba elementów	19
Zysk energetyczny	18.4 dBi
Promieniowanie wsteczne	-30.0 dB
Szerokość wiązki pionowej (+/-3dB)	22°
Szerokość wiązki poziomej (+/-3dB)	20°
Maksymalna moc doprowadzona do anteny	300 W
Maksymalny WFS (SWR) w paśmie	1.5:1
Odległość w szeregu - pionowa	520 cm
Odległość w szeregu - pozioma	540 cm
Gniazdo antenowe	Typ N
Balun (Teflon COAX)	28/50Ω Classic DK7ZB-Match
Długość całkowita	6,62λ / 1370 cm
Przekrój nośnika	max 50x50x2 stopniowany
Średnica elementów	6 mm (wibrator 12 mm)
Użyty materiał	aluminium / stal nierdzewna
Mocowanie do masztu	śr. maks. 60 mm
Waga	12.0 kg

Tabela 12. Specyfikacja anteny YAGI na trasie uplink dla pasma częstotliwości 144,8 MHz. Źródło [14].

Transceiver FULL-Duplex

▪ wszystkie nasze rzeczy są Brand new	
▪ Model	▪ TH-9800
Quad band Nadajnik i odbiornik	▪ 29/50/144/430 MHz
▪ kanał kroki	▪ 2.5/5/6.25/7.5/8.33/10/12.5/15/25/30/50 kHz
▪ tryby emisji	▪ FM
▪ impedancji anteny	50 ohm Niesymetryczne (wbudowana antena duplekser)
▪ stabilność częstotliwości	▪ ± 5ppm
▪ zakres temperatur pracy	▪ -20 ° C-60 ° C
▪ napięcie zasilania	▪ 13.8 V DC
▪ pobór prądu	▪ RX: 0.5A TX: 8.5A
sprawa rozmiar (Szer x Wys x Gl)	▪ 140x41.5x168mm
▪ waga	▪ o 1.2 kg
▪ główne cechy	
▪ pokrywa 29/50/144/430 MHz cztery zespoły nadawcze	▪ tak
szeroły zakres odbioru: 26-33 47-54 108-180 320-512 750-950 MHz	▪ tak
AM Air-band możliwości odbioru	▪ tak
niezależny kontroli dla każdego w lewo i prawo zespół	▪ tak
▪ zakres częstotliwości	▪ lewy Zespołu: RX: 26-33 47-54 108-180 350-399.995 400-512 750-950 MHz TX: 26-33 47-54 134-174 400-480 MHz
	▪ prawo Marki RX: 134-180 400-512 MHz TX: 134-174 400-480 MHz

▪ główne cechy	
V + U, U + U, V + U otrzymywać jednocześnie zdolności	▪ tak
▪ wbudowany w V + U krzyż kompania repeater i pełnego duplexu zdolności	▪ tak
800 kanałów pamięci i niezależne ustawienie na kanał	▪ tak
50 W wysokiej mocy wyjściowej dla pasma i 40 W dla uhf VHF	▪ tak
standardowy 50 grup CTCSS tone i kod 104 grup DCS	▪ tak
kod zdolności ton i DCS CTCSS zdefiniowanych przez użytkownika	▪ tak
▪ DTMF/2-tone/5-tone na wywołanie selektywne	▪ tak
szyfrowanie scramble (8 grupa)	▪ tak
automatyczne repeater SHFT (ARS)	▪ tak
odpinany przodu kontrolera i zdalnego możliwości montażu	▪ tak
▪ Ultra-rozmiar podwójny wyświetlacz LCD ekran	▪ tak
mikrofon klawisze użytkownika-programowalny	▪ tak
▪ regulację poziomu blokady szumów	▪ tak
▪ wybierając pracy zespołu	▪ tak

skanowanie VFO pamięci	▪ tak
▪ Cross-band repeater pracy	▪ tak
▪ dane techniczne	
▪ moc wyjściowa	▪ 50/20/10/5 W (29/50/144 MHz)
	▪ 40/20/10/5 W (430 MHz)
▪ maksymalne odchylenie	▪ ± 5 kHz
▪ Spurious promieniowania	▪ < -60 dB (29 MHz: < -50 dB)
▪ zniekształcenia modulacji	▪ $< 3\%$
▪ mikrofon impedancji	▪ 2 k ohm
▪ odbiornik	
▪ częstotliwości pośredniej	▪ 49.95 MHz/450 kHz (Lewy zespół)
	▪ 38.85 MHz/450 MHz (Prawo zespół)
▪ czułość (dla SINAD 12dB)	▪ < 0.2 μ V
▪ czułość blokady szumów	▪ < 0.16 μ V
▪ selektywności	▪ 12 kHz/30 kHz

Tabela.13 Specyfikacja Transceiver'a .Źródło [15]

Zasilacz

▪ zasilanie: 230V, 50Hz
▪ napięcie wejściowe: regulowane od +1 do +15 V DC
▪ pobór prądu ciągły: 30A
▪ maksymalny pobór prądu: 34A
▪ wymiary: 250 x 150 x 140 mm
▪ waga, około : 9.0 kg

Tabela 14. Specyfikacja Zasilacza. Źródło [16]

PC

Procesor	Intel Core i7-7700HQ (4 rdzenie, od 2.80 GHz do 3.80 GHz, 6 MB cache)
Pamięć RAM	8 GB (SO-DIMM DDR4, 2400MHz)
Maksymalna obsługiwana ilość pamięci R	32 GB
Ilość gniazd pamięci (ogółem / wolne)	2/1
Dysk twardy	1000 GB SATA 5400 obr. Możliwość montażu dodatkowego dysku M.2 PCIe (brak elementów montażowych)
Wbudowane napędy optyczne	Brak
Typ ekranu	Matowy, LED, IPS
Przekątna ekranu	15,6"
Rozdzielczość ekranu	1920 x 1080 (FullHD)
Karta graficzna	NVIDIA GeForce GTX 1050 + Intel HD Graphics 630
Wielkość pamięci karty graficznej	4096 MB GDDR5 (pamięć własna)
Dźwięk	Wbudowane głośniki stereo Wbudowany mikrofon Zintegrowana karta dźwiękowa zgodna z Intel High Definition Audio
Kamera internetowa	1.0 Mpix
Łączność	LAN 10/100/1000 Mbps Wi-Fi 802.11 b/g/n/ac Moduł Bluetooth
Rodzaje wejść / wyjść	USB 3.1 Gen. 1 (USB 3.0) - 2 szt. USB Typu-C - 1 szt. HDMI - 1 szt.

	Czytnik kart pamięci - 1 szt. USB 2.0 - 1 szt. RJ-45 (LAN) - 1 szt. Wyjście słuchawkowe/wejście mikrofonowe - 1 szt. DC-in (wejście zasilania) - 1 szt.
Bateria	3-komorowa, 4050 mAh, Li-Ion
Zainstalowany system operacyjny	Brak systemu
Wysokość	25,8 mm
Szerokość	380 mm
Głębokość	265 mm
Waga	2,40 kg (z baterią)
Dodatkowe informacje	Podświetlana klawiatura Wydzielona klawiatura numeryczna Wielodotkowy, intuicyjny touchpad Możliwość zabezpieczenia linką (port Kensington Lock)
Dołączone akcesoria	Zasilacz
Gwarancja	24 miesiące (gwarancja producenta)

Tabela 14. Specyfikacja jednostki centralnej. Źródło [17].

Modem z routerem

RF Downstream	
Operating Frequency Range	108 to 1002 MHz
Tuner Frequency Range	108 to 1002 MHz
Tuner	(1) Frequency agile block tuner, 96 MHz bandpass each
Demodulation	8 demodulators, 64 QAM or 256 QAM
Maximum Data Rate	8 downstream channels, each 6 MHz channel: 42.88 Mbps for 256 QAM and 30.34 Mbps for 64 QAM
Bandwidth	8 MHz and/or 6 MHz with Dual Mode capability

Tabela 15. Specyfikacja Modemu Router'a. Model : Cisco 3208. Źródło [18]

Konwerter częstotliwości

Specifications		General	
Gain:	20 dB	Power Input:	108-120 Vac 60 Hz, 3 W
Bandwidth:	6 MHz	Operating Temperature:	-10° to 50° C
Skirt Selectivity:	±6 Channels: -60 dB	Mounting:	Single 19" Rack Space
	±3 Channels: -50 dB	Dimensions:	19"(L) x 3"(D) x 1¾"(H)
	±2 Channels: -25 dB	Weight:	4.0 lbs.
Maximum Output:	47 dBmV	Connectors:	"F" type
Channel Conversions:		Output Test Point:	-20 dB
	UHF Input: Channels 14-70		
	VHF Output: Channels 2-13, A-I, J-W		
Frequency Stability:	±5 kHz		
Noise Figure:	12 dB		
Return Loss:	Input: 14 dB (on channel)		
	Output: 14 dB (on channel)		
Impedance:	75 Ohms		

Tabela 16. Specyfikacja Konwertera częstotliwości. Model :PicoHacom A-40Źródło [19].

ROZDZIAŁ 5

5. Podsumowanie

Uwzględniając poszczególne elementy pracy, jest możliwe teoretyczne stworzenie takiego projektu. Projekt przybliży znajomość systemów satelitarnych, ale bardziej ich zastosowań.

Sam projekt inspirowany jest systemem TRDS, którego anteny w segmencie naziemnym nakierunkowują się automatycznie. Systemy te komunikują się również z systemem ISS, na trasie której występują transmisje, danych, komunikacji głosowych jak i komunikacji wideo.

Miejscem instalacji projektu jest tutaj góra Ślęza (717,5 m.n.p.m.), której wysokość jest zbliżona do stacji NASA, znajdującej się na obrzeżach Madrytu na wysokości 720 m.n.p.m. Antena w segmencie naziemnym otrzymuje dane na temat współrzędnych znajdującego się obiektu, które to potem są skorelowane z oprogramowaniem sterującym rotorem, który ma za zadanie odpowiednio naprowadzić antenę znajdującą się na segmencie na ziemnym, z anteną która zamontowana została na satelicie. Systemem tym, jest ARPS.

Zakładając że obiekt porusza się na wysokości satelitów systemu ISS i porusza się z tą samą prędkością co satelity względem powierzchni ziemi okres widoczności obiektu w wynosi około 36 minut, co pozwala na komunikację głosową. Zakładając że komunikacja na trasie downlink (Rys.11) wynosi 145,8 MHz to antena YAGI, przy wyliczonym bilansie energetycznym jest w stanie wysłać 12 obrazów, z 3 minutową przerwą między każdym obrazem. Co zostało wyliczone na podstawie teorii Shannon'a Hartley'a, jednak wyniki nie zostały zamieszczone w pracy.

Wyliczenie tłumienia dodatkowego, które zostało wymienione w wprowadzeniu, polegało na wyliczeniu jej elementów które składają się z tłumienia :

- Chmur
- Gazów
- Opadów

Wyliczenie strat spowodowanych występowaniem chmur polegało na wyliczeniu tłumienia suchego powietrza oraz pary wodnej według rekomendacji ITU-R[1]. Czynniki które miały wpływ na to tłumienie to między innymi :Kąt elewacji anteny, długość trasy warstwy suchego powietrza oraz pary wodnej. Długość trasy jest zależna od kąta elewacji. Czynnikiem następnym jest wyliczenie tłumienności jednostkowej na podstawie rekomendacji ITU-R[2].

Kolejnym czynnikiem są opady atmosferyczne. Tutaj wymagane są informacje na temat średniej izotermy (ITU-R[3]) w obszarze Polski. Rekomendacja ITU-R[5] określa intensywność opadów w skali 0,01% czasu roku, w którym te opady są największe.

Ostatnim czynnikiem który miał wpływ na całkowite dodatkowe tłumienie na trasie ziemia-satelita były gazy, w paśmie SHF,UHF,VHF są najmniej wpływającym czynnikiem na starty, szczególnie w przypadku chmur śnieżnych, sytuacja natomiast zmienia się w paśmie 20-30 GHz, na podstawie badań ITU, odnotowano straty rzędu kilku dB. Do obliczenia strat występujących spowodowanych gazami, posłużono się rekomendacją ITU-R[6] która określa stopień zachmurzenia w skali globalnej.

Bibliografia

- [1] - ITU-R, Rec. P.676-5 *Attenuation by atmospheric gases*. Geneva, 2001
- [2] – ITU-R- REC-P.838 *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods* Geneva 2005
- [3] - R-REC-P.839-4 *Rain height model for prediction methods*. Geneva, 2013
- [4] - R-REC-P.838-3 *Specific attenuation model for rain for use in prediction methods*. Geneva 2005
- [5] - ITU-R, Rec. P.837-6 P.837-6 : *Characteristics of precipitation for propagation modelling*, Geneva, 02/2017
- [7] - ITU-R, Rec. P.840-5 P.840-5: *Attenuation due to clouds and fog*. Geneva, 2012
- [8] - ITU-R, Rec. P.1510 *Mean surface temperature*. Geneva 2017
- [9] - https://pl.wikipedia.org/wiki/Satelitarne_sieci_dost%C4%99powe
- [10] - Simon Haykin, *Systemy telekomunikacyjne* 1
- [11] – Józef J. Pawelec, *Radiosterowanie i łączność*
- [12] Jan Bogucki, Ewa Wielowiejska – *Czynniki wpływające na bilans energetyczny łącza satelitarnego w zakresie fal milimetrycznych*
- [13] - <http://www.teltad.pl/antena-yagi-dk7zb-430-mhz-27el2850-710cm-199dbi-p-1445.html>
- [14] - <http://www.teltad.pl/antena-yagi-dk7zb-144-mhz-19el-2850-1370cm-184dbi-p-1346.html>
- [15] - <https://pl.aliexpress.com/item/Best-Price-Newest-Version-1508A-TYT-TH-9800-Quad-Band-Full-Duplex-Operation-Car-Transceiver-AM/32615706828.html>
- [16] - <http://www.jalradio.pl/1021,gsv-3000-zasilacz-sieciowy-1-15v-30a-diamond.html>
- [17] - <https://www3.lenovo.com/us/en/laptops/ideapad/lenovo-legion-y-series-laptops/Legion-Y520/p/88GMY500808>
- [18] - http://www.mtlcable.cz/other/Cisco_Modem_3208_Datasheet.pdf

[19] - <https://www.sateng.com/shared-downloads/SEG-5214860101-XUV.pdf>