



INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Zakład Zastosowań Techniki Łączności Elektronicznej (Z-10)

Oprogramowanie MTV-link
do projektowania i weryfikowania parametrów
mikrofalowych linii radiowych

Etap I

Praca nr 10300125,
01300105,
21300095

Warszawa, grudzień 2005

Oprogramowanie MTV-link do projektowania i weryfikowania parametrów mikrofalowych linii radiowych

Praca nr 10300125, 01300105, 21300095

Słowa kluczowe: linie radiowe, linie mikrofalowe, projektowanie, model propagacyjny

Kierownik pracy: Bartłomiej Parol

Wykonawcy pracy:

Bartłomiej Parol	Z-10
inż. Bogdan Chojnacki	Z-10
mgr inż. Piotr Zdanowski	Z-10
mgr inż. Zbigniew Mąkosza	Z-10
Lech Józwik	Z-10
dr inż. Bolesław Kowalczyk	Z-10
dr hab. Inż. Marian Kowalewski	Z-10
dr inż. Jacek Jarkowski	Z-10
Maciej Odzinkowski	Z-10
inż. Michał Grzybek	Z-10
mgr Marek Bem	Z-10
Leszek Rutkowski	Z-10
mgr inż. Aleksander Orłowski	Z-1
mgr inż. Robert Gutkowski	Z-1
dr inż. Maciej Grzybkowski	Z-21

1.	Wprowadzenie.....	4
2.	Proces planowania i projektowania sieci radiowej.....	5
2.1	Efekty procesu planowania sieci.....	5
2.2	Cyfrowe mapy terenu.....	5
2.3	Procedura planowania sieci radiowej.....	6
3.	Przeznaczenie systemu MTV-link.....	8
3.1	Planowana funkcjonalność docelowego systemu MTV-link.....	8
4.	System MTV-link.....	10
4.1	Opis prototypu programu.....	11
4.2	Interfejs użytkownika.....	11
4.3	Działanie programu.....	14
4.4	Aktualny rozwój programu.....	14
4.5	Planowana rozbudowa systemu.....	15
	Literatura:.....	16

1. Wprowadzenie

Ze względu na rosnące potrzeby w zakresie szerokopasmowych usług przesyłania danych, istnieje potrzeba instalowania nowych radiowych łączy szerokopasmowych, zapewniających dostęp do tych usług. Ponadto w przypadku budowania nowych systemów łączności radiowej (np. Tetra), istnieje potrzeba zapewnienia transmisji sygnałów za pomocą linii radiowych w sieci dostępowej. Taką transmisję realizuje się także przy użyciu łączy mikrofalowych, które w porównaniu do kablowych mediów transmisyjnych charakteryzują się niższymi kosztami budowy i utrzymania.

W wyniku rozmów z potencjalnymi partnerami i klientami Instytutu Łączności zrodziła się potrzeba posiadania przez Instytut narzędzia umożliwiającego projektowanie radiowych systemów łączności oraz analizę i weryfikację istniejących projektów pod kątem ich zgodności z wymaganiami zamawiającego.

Zainteresowanie współpracą z Instytutem Łączności w dziedzinie projektowania i analizy systemów lądowej łączności radiowej wielokrotnie wyrażały, między innymi, organy administracji rządowej oraz terytorialnej, a także duże podmioty gospodarcze.

Najprostszym i najbardziej oczywistym sposobem zdobycia narzędzi służących do projektowania systemów łączności radiowej jest zakup specjalizowanych narzędzi od firm, które specjalizują się w ich tworzeniu.

W wyniku przeprowadzonych analizy i porównania dostępnych na rynku narzędzi do projektowania systemów łączności radiowej stwierdzono, że żadne z nich nie spełnia wszystkich naszych wymagań. Głównym powodem takiego stanu rzeczy jest fakt, że większość oferowanych narzędzi przeznaczona jest dla konkretnych ściśle określonych zastosowań (np. telefonia GSM)

Istnieje wiele dostępnych darmowych narzędzi służących do projektowania systemów łączności radiowej, jednakże ich funkcjonalność ogranicza się w zasadzie do wyznaczania parametrów pokrycia sygnałem radiowym jedynie w najprostszych przypadkach. Narzędzia te mają zaimplementowane jedynie podstawowe modele propagacyjne nie dające się wykorzystać we wszystkich interesujących nas przypadkach (zakresy częstotliwości, szerokość kanałów, rodzaj modulacji, przepustowość, wymagania na niezawodność, itp.). Przeważnie też darmowe aplikacje są mocno okrojonymi demonstracyjnymi wersjami produktów komercyjnych i nie mogą być wykorzystywane do celów innych niż jedynie zapoznanie się z niektórymi funkcjami oferowanymi przez pełne wersje tych aplikacji.

Dostępne komercyjnie narzędzia mają przeważnie postać wielu ściśle specjalizowanych dla konkretnych, określonych zastosowań aplikacji i nie umożliwiają one globalnej symulacji i projektowania systemu radiowego jako całości. Często aplikacje służące do rozwiązywania i analizy konkretnych problemów nie posiadają możliwości integracji w jeden system informatyczny służący do globalnego projektowania systemów łączności radiowej z uwzględnieniem wszystkich jej aspektów. Dla aplikacji komercyjnych w wielu wypadkach barierą trudną do przebycia dla Instytutu Łączności jest cena oferowanych narzędzi.

Biorąc pod uwagę przedstawione czynniki zdecydowano się na stworzenie przez zespół Instytutu Łączności narzędzia posiadającego wymagane cechy i co najważniejsze umożliwiającego jego łatwą modyfikację w przypadku konieczności dodania nowej lub zmiany wcześniej zaimplementowanej funkcjonalności.

2. Proces planowania i projektowania sieci radiowej

W celu stworzenia systemu służącego do projektowania sieci radiowych konieczne było przeanalizowanie wszystkich etapów projektowania systemów radiowych oraz określenie danych wejściowych i wyjściowych dla poszczególnych etapów.

Poszczególne etapy oraz metodologie projektowania sieci radiowych opisana są szczegółowo w dostępnej literaturze.

2.1 Efekty procesu planowania sieci.

Głównymi efektami procesu planowania sieci są:

- lista stacji i elementów sieciowych,
- predykcja i pomiary pokrycia,
- plan częstotliwości i analiza interferencji,
- wyliczenia pojemnościowe,
- plan parametrów podsystemu stacji bazowych,
- plan sieci transmisyjnej.

2.2 Cyfrowe mapy terenu.

Istotnym elementem umożliwiającym przeprowadzenie predykcji pokrycia radiowego są cyfrowe mapy terenu. Można wyróżnić dwa podstawowe rodzaje map cyfrowych, mających szerokie zastosowanie w systemach radiokomunikacyjnych. Są to mapy wysokości terenu (topograficzne) oraz typów terenu (morfograficzne).

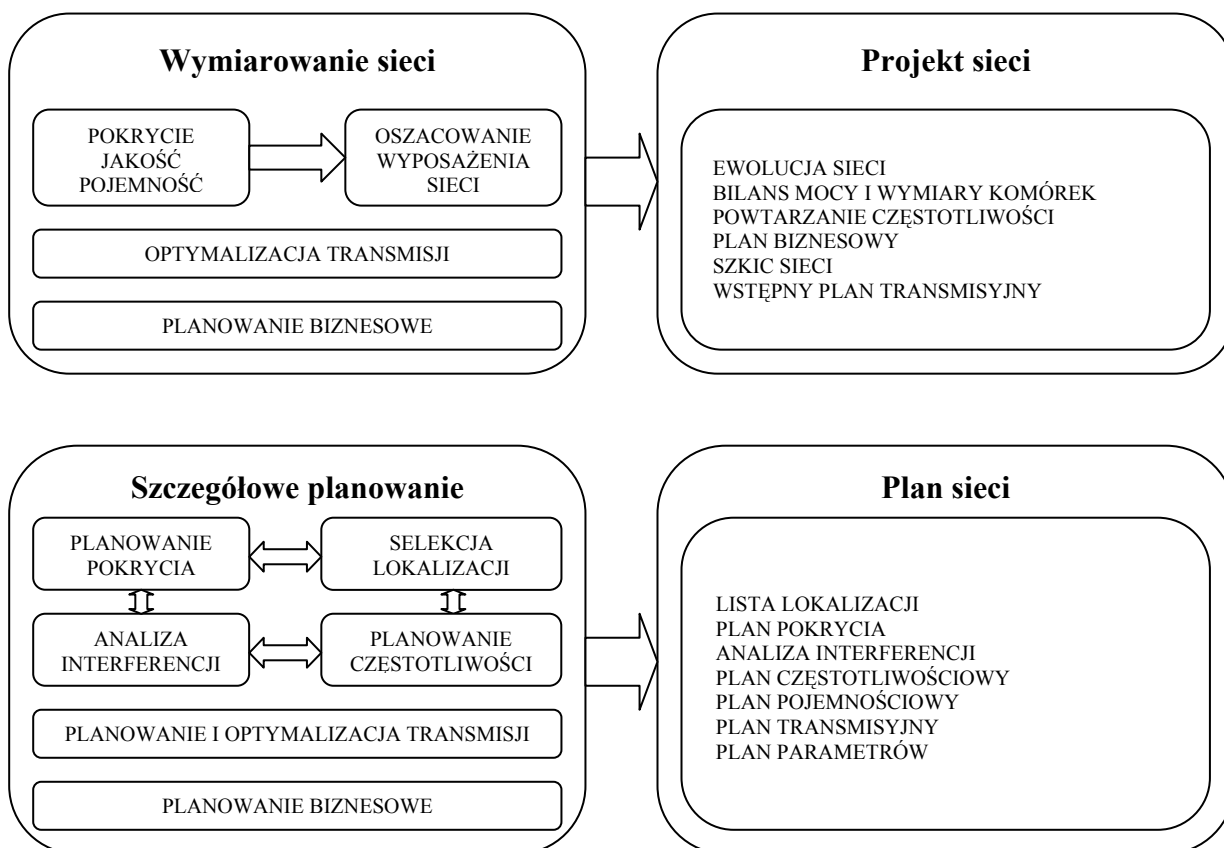
W procesie projektowanie podsystemu radiowego najczęściej wykorzystywane są mapy rastrowe, składające się z pikseli, którym przypisano konkretną wartość atrybutu. Atrybut ten określa np.: typ terenu, jego wysokość nad poziom morza, wysokość budynku itp. W zależności od tego, co określa wspomniany atrybut mapy rastrowe dzielą się na:

- mapy wysokości terenu DTM (Digital Terrain Model) lub DEM (Digital Elevation Model). W mapach tych atrybutem każdego piksela jest wysokość terenu. W przypadku DTM jest to wysokość samego terenu, natomiast w DEM mamy do czynienia z sumą wysokości terenu i budynków.
- Mapy typów terenu. W rastrowych mapach terenu najczęściej każdemu pikselowi przypisuje się atrybut mówiący o klasie terenu, do której się zalicza, a każdej klasie przypisuje się odpowiedni kolor, w którym wyświetlane są należące do niej piksele.
- Mapy budynków. Dane o budynkach są typowo przedstawiane jako wieloboki wypełnione kolorem, który mówi o ich wysokości. Przy czym możliwa jest zarówno wektorowa jak i rastrowa metoda ich prezentacji. Możliwe jest również przedstawienie budynków jako oddzielnej warstwy lub też zintegrowanie jej z mapą wysokości terenu (DEM) lub z danymi o typach terenu (woda, zieleń).

Dodatkowo wykorzystywane są mapy ruchowe, które mogą być tworzone jako mapy wektorowe i rastrowe. Są opracowywane na podstawie danych demograficznych, geomarketingowych, danych o lokalizacji obiektów o szczególnym znaczeniu lub w jakiś sposób potencjalnie zagrożonych lub stanowiących zagrożenie dla otoczenia. Znajdują one zastosowanie jednak dopiero na etapie planowania częstotliwości i wymiarowania pojemnościowego sieci.

2.3 Procedura planowania sieci radiowej

Projektowanie sieci radiowej jest złożonym procesem, w którym uczestniczą zespoły inżynierów wspomagane rozbudowanymi pakietami oprogramowania. Często trudnością jest konieczność połączenia etapu projektowania komputerowego z działaniami zmierzającymi do pozyskania nowych lokalizacji pod stacje bazowe. Poniżej przedstawiono procedurę postępowania przy planowaniu sieci radiowej:



Projektowanie sieci przeprowadza się w kolejnych etapach:

Etap 1.

Zebranie danych wyjściowych

- określenie danych systemowych
- wybór map cyfrowych
- wstępne lokalizacje stacji bazowych
- wybór narzędzia predykcji pokrycia radiowego
- wybór modelu propagacyjnego i jego parametrów.

Etap 2.

W wyniku działania narzędzia predykcji pokrycia radiowego uzyskuje się poziom natężenia pola dla każdego piksela mapy cyfrowej. Obszary obliczeń mogą być definiowane oddzielnie dla każdej stacji bazowej. Pokrycie w każdym przypadku przedstawiane jest w formie konturów reprezentujące skwantowane wartości natężenia pola. W każdym momencie obliczeń można wyświetlić pokrycie od jednej lub wybranej

grupy stacji bazowych. W trakcie trwania obliczeń można również wyświetlać orientacyjne pokrycie otrzymane na podstawie uproszczonego modelu propagacyjnego. Analiza dominansów i interferencji można uzyskiwać tylko w wyniku obliczeń dokładnych.

Etap 3.

W wyniku obliczeń otrzymuje się informacje o pokryciu radiowym, które w kolejnym etapie podlegają analizie statystycznej dominansów, pokrycia na zdefiniowanych przez użytkowników obszarach oraz pokrycia dla różnych typów terenów.

Etap 4.

Weryfikacja map cyfrowych. Specyficzne przeszkody terenowe mogą być przyczyną strat dyfrakcyjnych na częściach terenu. Weryfikacja przeprowadzana jest metoda jednej przeszkody lub metoda Deygout uwzględniającą straty związane z co najwyżej trzema przeszkodami. W wyniku tej analizy uzyskuje się współczynniki korekcyjne topograficzne.

Natomiast współczynniki morfologicznej uzyskuje się w wyniku uwzględnienia różnych typów terenu takich jak woda, lasy, tereny otwarte, tereny podmiejskie, tereny przemysłowe i tereny miejskie o gęstej wysokiej zabudowie.

Etap 5.

Analiza statystyczna interferencji,
Analiza pojemności sieci,
Automatyczna alokacja częstotliwości.

Etap 6.

Weryfikacja pomiarowa metoda kalibracji modeli propagacyjnych.

- - Trasy pomiarowe,
- - analiza regresji
- - analiza statystyczna,

Wyznaczane są proponowane trasy pomiarowe, po których następnie jedzie samochód pomiarowy i zbiera dane pomiarowe. Dane te podlegają następnie analizie regresji w której porównywane są dane przewidywane z danymi pomiarowymi. Następnie w analizie statystycznej porównywane są dane przewidywane z otrzymanymi danymi pomiarowymi w celu wyznaczenia statystycznego błędu kwadratowego.

Etap 7.

Korekcja parametrów sieci.

W wyniku dużych różnic otrzymanego pokrycia w stosunku do oczekiwanego, powraca się zgodnie z algorytmem obliczeniowym do korekcji rozmieszczenia stacji bazowych i ich parametrów i przeprowadza się powtórnie analizę aż do uzyskania zadowalających wyników.

3. Przeznaczenie systemu MTV-link

Podstawową funkcją systemu MTV-link ma być wspomaganie procesów projektowania radiowych systemów łączności lądowej zarówno stacjonarnych jak i mobilnych. W wersji docelowej system będzie zawierał moduły o funkcjonalności koniecznej do realizacji wszystkich etapów projektowania systemów łączności radiowej.

Nie mniej istotną od wspomagania projektowania funkcją systemu ma być możliwość weryfikacji, porównywania oraz wspomagania oceny projektów systemów łączności radiowej wykonanych innymi narzędziami, z wykorzystaniem innych algorytmów i modeli propagacyjnych. Funkcjonalność taka jest szczególnie pożądana wobec rysujących się perspektyw współpracy w tym zakresie Instytutu Łączności z jednostkami administracji rządowej.

Podstawowym założeniem przy realizacji systemu MTV-link jest wykorzystanie (do projektowania systemów łączności radiowej i prowadzenia obliczeń propagacyjnych) cyfrowych, trójwymiarowych map terenu zatwierdzonych przez Głównego Geodetę Kraju.

Kolejnym bardzo istotnym założeniem jest możliwość implementacji i wykorzystania dowolnych istniejących bądź stworzonych w przyszłości modeli propagacyjnych dla całego zakresu potencjalnie możliwych do wykorzystania do celów łączności radiowej zakresów częstotliwości.

3.1 Planowana funkcjonalność docelowego systemu MTV-link

Po przeanalizowaniu kolejnych etapów procesu projektowania sieci radiokomunikacyjnych w projekcie docelowego systemu MTV-link wyróżniono moduły funkcjonalne realizujące następujące funkcje:

- określenie parametrów projektowanego systemu oraz specyficznych wymagań zamawiającego / użytkowników
- wprowadzanie i konfigurowanie parametrów:
 - lokalizacje stacji bazowych
 - parametry radiowe stacji bazowych (częstotliwość, moc nadajnika, charakterystyki anten, wysokość zawieszenia anten, tłumienie doprowadzeń)
 - określenie modeli propagacyjnych stosowanych w dalszych obliczeniach oraz specyficznych parametrów wymaganych przez konkretne modele
 - określenie dopuszczalnych wartości parametrów sygnału radiowego (minimalnego natężenia pola wymaganego dla zapewnienia niezawodnej transmisji dla poszczególnych typów obszarów, maksymalnych dopuszczalnych natężeń pól sygnałów zakłócających)
- analizy propagacyjne z uwzględnieniem ukształtowania i charakterystyki terenów objętych symulacjami i wyznaczenie:
 - zasięgów użytecznych oraz obszarów, w których zapewnione jest pokrycie sygnałem radiowym
 - zasięgów zakłóceń oraz obszarów pokrycia sygnałem zakłóceń
 - zasięgów ograniczonych interferencjami

- automatyczne korygowanie (w zdefiniowanym uprzednio zakresie) parametrów wejściowych (np. lokalizacje stacji bazowych, wysokości zawieszenia anten, przydział częstotliwości) w celu optymalizacji parametrów projektowanego systemu
- obrazowania wyników analiz
 - wyświetlanie wyników symulacji w formie tabelarycznej i graficznej ze szczególnym uwzględnieniem obrazowania wyników z wykorzystaniem map (w tym także w 3D)
 - wykreślanie profili natężenia sygnału wzdłuż zadanych tras, wspomaganie wyznaczania punktów i tras dla pomiarów parametrów sygnału w terenie
 - interaktywne modyfikowanie parametrów systemu i wyznaczanie ich wpływu na uzyskane wyniki analiz
 - porównywanie rezultatów uzyskanych w wyniku analiz propagacyjnych z wynikami uzyskanymi dla analogicznych danych wejściowych a uzyskanymi za pomocą innych narzędzi
- porównywanie wyników symulacji z wynikami pomiarów terenowych,
 - wspomaganie oceny przydatności wybranych modeli propagacyjnych danych modeli dla symulacji konkretnych systemów łączności radiowej
 - wspomaganie oceny wiarygodności projektów uzyskanych za pomocą innych narzędzi

4. System MTV-link

Po wstępnej analizie dziedziny problemu okazało się, że system MTV-link, aby zapewnić wymaganą funkcjonalność będzie systemem bardzo złożonym i rozbudowanym. Tworzenie tego systemu nie będzie procesem jednorazowym lecz wieloetapowym i czasochłonnym a zespół twórców systemu będzie z natury rzeczy dość duży.

Aby uporządkować proces tworzenia systemu MTV-link zdecydowano się przy jego projektowaniu wykorzystać metodologię zgodną z RUP (Rational Unified Process).

Narzędzia zgodne z metodologią RUP wspomagają proces tworzenia systemów informatycznych począwszy od etapu analizy dziedziny, aż do wdrożenia i późniejszego utrzymania systemu. Proces tworzenia systemów informatycznych według metodologii zgodnej z RUP ma charakter iteracyjny. Przy iteracyjnym tworzeniu systemu informatycznego najpierw tworzony jest niewielki, dający się wydzielić fragment systemu a dopiero w kolejnych krokach następuje rozbudowa o kolejne moduły, aż do uzyskania pełnej zakładanej na początku funkcjonalności. Przy czym iteracje oprócz procesu implementacji obejmują również proces projektowania a nawet analizy a to może pociągać za sobą nawet zmiany w założeniach projektu a co za tym idzie możliwa jest w pewnym stopniu zmiana planowanej do osiągnięcia funkcjonalności.

Kilka przykładowych diagramów z przypadkami użycia z projektu systemu MTV-link zamieszczonych jest w załączniku. Diagramy te zostały wykonane w narzędziu Enterprise Architect firmy Sparx Systems.

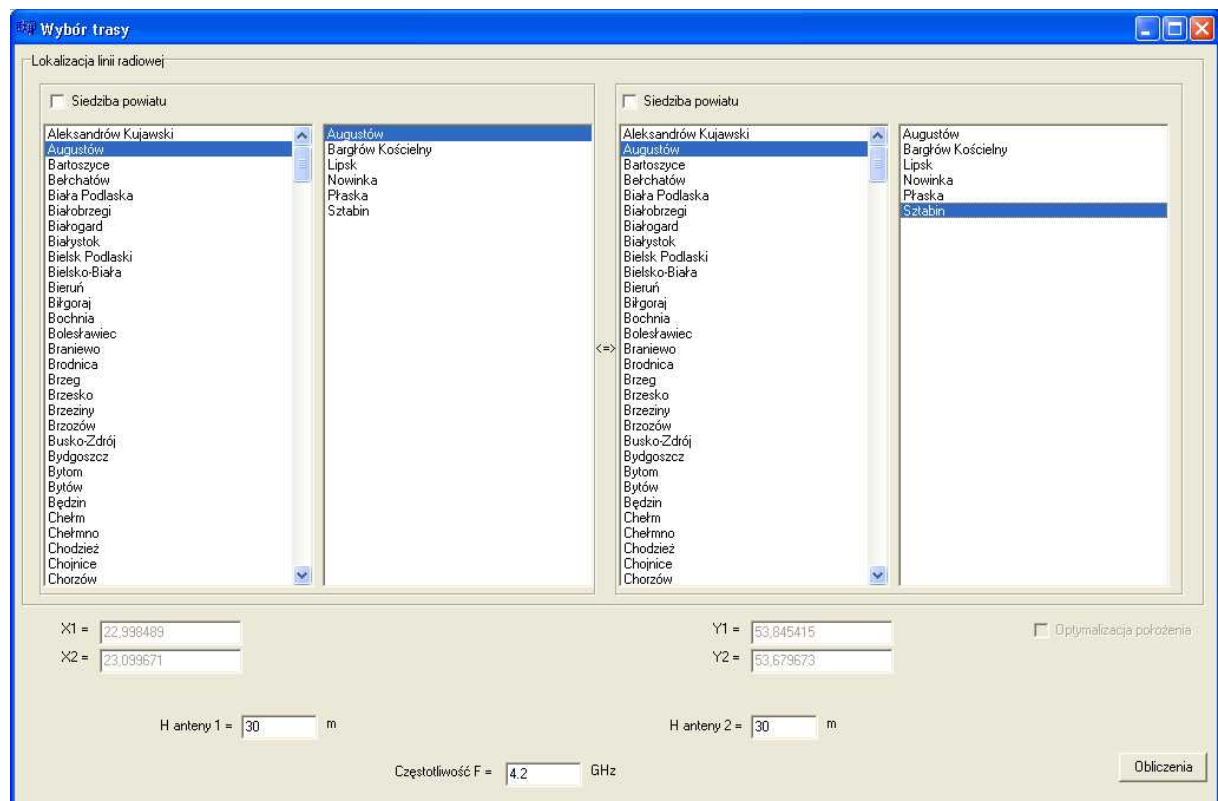
4.1 Opis prototypu programu

W pierwszym etapie realizacji projektu zdecydowano się na realizację prototypu aplikacji funkcjonalnie ograniczonego do obliczania tłumienia sygnału radiowego w wolnej przestrzeni pomiędzy dwoma punktami o podanych współrzędnych geograficznych oraz wyświetlania mapy topograficznej obszaru obejmującego obydwie te punkty i wykreślenia profilu terenu wzdłuż linii bezpośredniej widoczności pomiędzy tymi punktami.

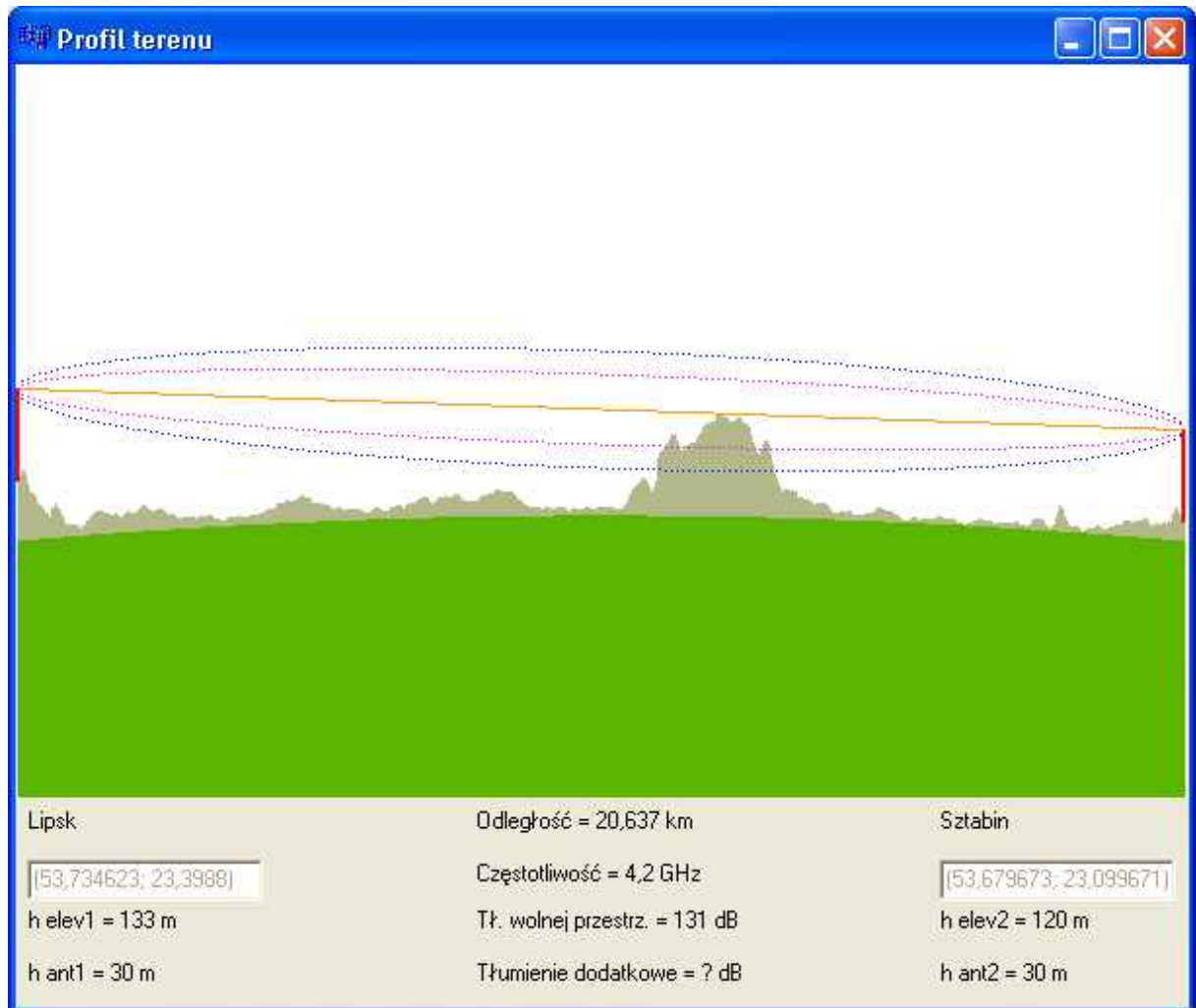
4.2 Interfejs użytkownika

Interfejs użytkownika w prototypie aplikacji składa się z trzech okien – wyboru trasy, profilu terenu i mapy terenu.

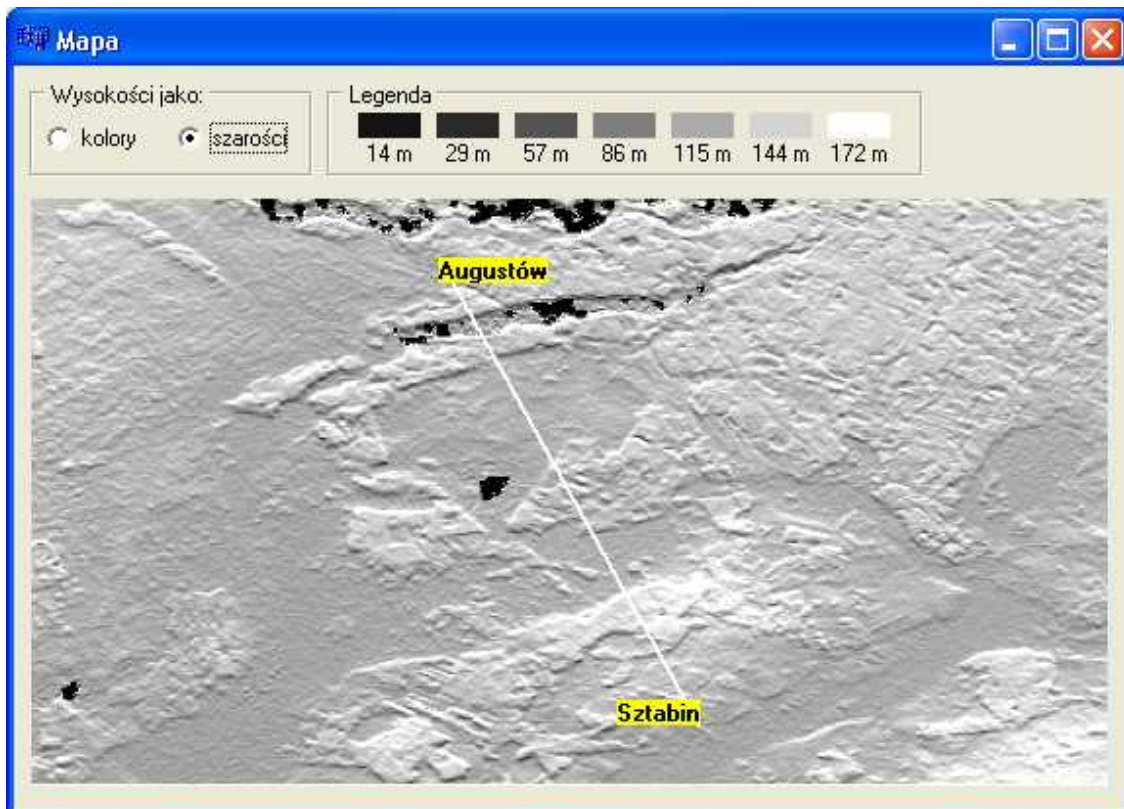
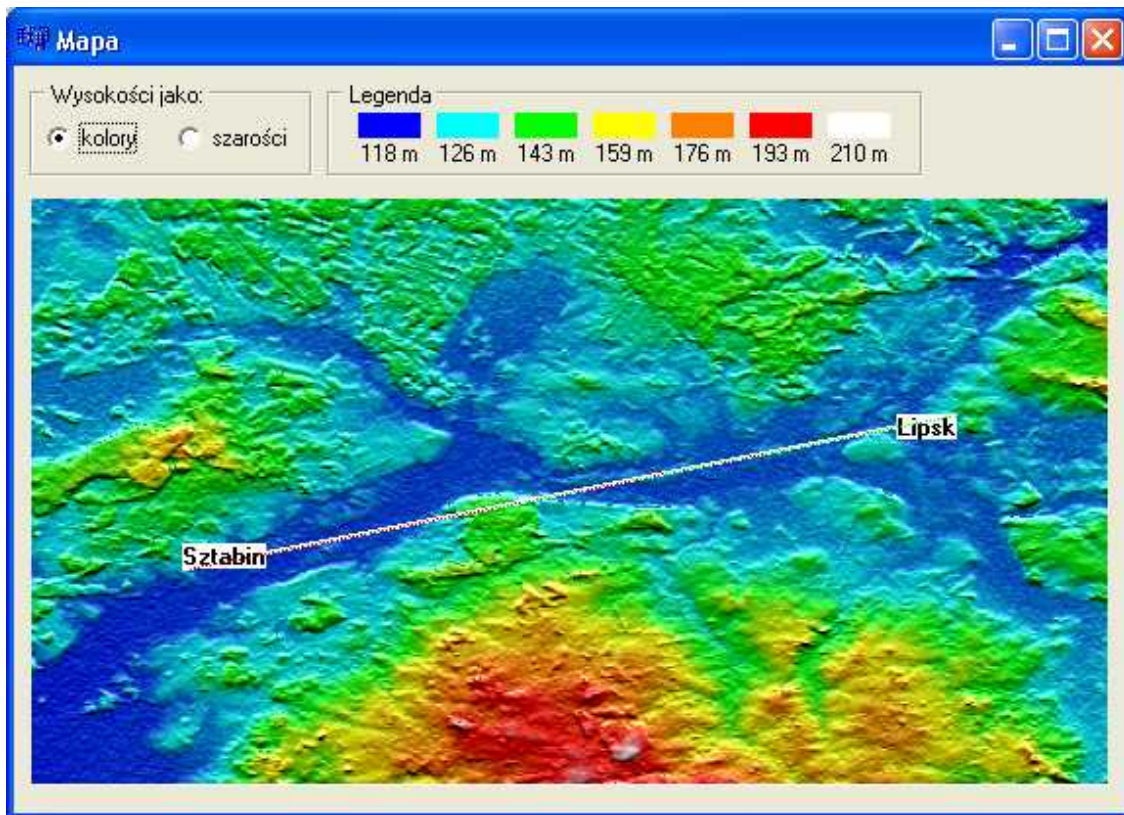
W oknie wyboru trasy znajdują się listy siedzib powiatów i gmin, pomagające w wyborze początku i końca linii radiowej, pola przeznaczone na wpisanie wysokości anten na obu krańcach tej linii, pole na wpisanie używanej częstotliwości oraz pola na współrzędne geograficzne krańców linii. Jest tam również przycisk uruchamiający obliczenia tłumienia dla wybranych parametrów linii radiowej.



Okno profilu terenu, jak sama nazwa wskazuje, prezentuje profil wybranej linii radiowej. Dodatkowo na profilu linii zaznaczona jest linia bezpośredniego widzenia nadajnika i odbiornika oraz kształt I strefy Fresnela (i 60% tej strefy). Podane są także informacje o położeniu geograficznym wybranych krańców linii, odległość pomiędzy nimi, ich wysokość n.p.m., wybrana wysokość anten, wybrana częstotliwość linii oraz tłumienie wolnej przestrzeni dla tej linii.



Mapa wysokościowa terenu, otaczającego wybraną linię radiową, przedstawiona jest w oddzielnym oknie programu. Niestety w powszechnie dostępnej wersji mapy SRTM znajdują się liczne obszary, w których brakuje danych wysokościowych.



4.3 Działanie programu

Zaraz po uruchomieniu programu, a jeszcze przed pojawieniem się okien, wczytywane są, z ustalonego katalogu, dane dotyczące położenia geograficznego siedzib gmin i powiatów, ich nazw, przypisania do podziałów administracyjnych oraz kategorii. Po wczytaniu tych danych, w tabeli gmin tworzone są dowiązania do indeksów odpowiednich powiatów (co jest przydatne w późniejszym czasie, przy wyborze lokalizacji anten linii radiowych). Następnie wypełniane są listy siedzib powiatów w oknie wyboru trasy.

Dopiero teraz program pokazuje pierwsze okno – wybór trasy. W pierwszym momencie listy siedzib gmin są puste, dopiero po wybraniu siedziby powiatu będą wypełnione miejscowościami (będącymi siedzibami urzędów gminnych), należącymi do wybranego powiatu (przyspieszenie tej operacji dokonane jest dzięki wspomnianym wcześniej indeksom powiatów). Po wyborze siedziby powiatu lub gminy w polach współrzędnych geograficznych umieszczone zostają odpowiednie wartości, wybrane z wczytanych na początku danych. Nad listami powiatów znajduje się znacznik ustalenia krańca linii na wybraną siedzibę powiatu, niezależnie od tego, czy wybrana została także siedziba gminy. W polach wysokości anten na obu końcach linii oraz w polu częstotliwości wpisane są domyślne wartości, oczywiście można je zmienić przez rozpoczęciem obliczeń.

Po wciśnięciu przycisku “Obliczenia” program przechodzi do głównej i najistotniejszej fazy działania. Najpierw wczytuje, z ustalonego katalogu, informacje wysokościowe o terenie, na którym znajdują się wybrane krańce linii radiowej oraz o ukształtowaniu terenu pomiędzy nimi. W chwili obecnej informacje te pochodzą z jedynych powszechnie dostępnych danych topograficznych uzyskanych z radarowej misji promu kosmicznego (Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, więcej informacji o misji i danych znajduje się pod adresem <http://netgis.geo.uw.edu.pl/srtm/>). Następnie oblicza i wyświetla w oddzielnych oknach profil razem z wyznaczoną wartością tłumienia w wolnej przestrzeni dla analizowanej linii radiowej i wysokościową mapę okolic tej linii.

W oknie profilu linii radiowej rysowana jest krzywizna Ziemi, profil terenu, anteny nadawcza i odbiorcza, linia bezpośredniej widoczności anten, I strefa Fresnela, obszar odpowiadający 60% promienia tej strefy oraz podawane informacje o odległości między antenami, ich wysokości npm. i tłumienie wolnej przestrzeni w linii. W obecnej wersji programu nie istnieje możliwość interaktywnej zmiany parametrów i badania wpływu zmian na uzyskane parametry łącza radiowego. Aby uzyskać wyniki dla zmienionych parametrów należy powtórzyć obliczenia.

Mapa wysokościowa w przejrzysty sposób pokazuje obszar terenu otaczający analizowaną linię radiową, przypisując wysokościami odpowiednie kolory lub odcienie szarości.

4.4 Aktualny rozwój programu

W chwili obecnej w aplikacji implementowany jest model propagacyjny ITM/Longley-Rice. Jest to model propagacyjny ogólnego zastosowania dla częstotliwości mieszczących się w zakresie od 20MHz do 20GHz. Model ten oparty jest zarówno na teorii pola elektromagnetycznego jak i na statystycznej analizie ukształtowania terenu oraz rzeczywistych pomiarach. Korzystając z tego modelu można określić tłumienie sygnału radiowego jako funkcję odległości oraz zmienność sygnału w czasie i przestrzeni. Więcej informacji o tym modelu można uzyskać pod adresem: <http://flattop.its.bldrdoc.gov/itm.html>

4.5 Planowana rozbudowa systemu

W najbliższym czasie planowane jest zaimplementowanie w systemie dodatkowych modułów z różnymi modelami obliczeń propagacyjnych uwzględniającymi wpływ czynników środowiskowych na propagację fal radiowych.

W kolejnym etapie dodane zostaną moduły do określania najbardziej optymalnych parametrów łączy radiowych w zakresie zdefiniowanym przez użytkownika systemu (dobór lokalizacji i wysokości zawieszenia anten, charakterystyki anten). Dodatkowo funkcjonalność systemu rozszerzona zostanie o możliwość projektowania sieci radiowych typu punkt – wielopunkt oraz o moduły do planowania i zarządzania częstotliwościami, a także moduł do predykcji pokrycia sygnałem radiowym dla urządzeń mobilnych.

Literatura:

1. Bogucka Hanna, „Projektowanie i obliczenia w radiokomunikacji. Wybrane zagadnienia” Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej
2. Krzysztof Wesołowski, „Systemy radiokomunikacji ruchomej”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
3. Krzysztof Wesołowski, „Podstawy cyfrowych systemów telekomunikacyjnych”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
4. Chaciński H., Jaszczyszyn E., Majchrzak P., Modelski J., „Pomiary parametrów anten”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej
5. Jarosław Szóstka, „Fale i Anteny” Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
6. Leszek Litwin, Grzegorz Myrda, „Systemy Informacji Przestrzennej, Zarządzania danymi przestrzennymi w GIS, SIP, SIT, LIS”, Wydawnictwo Helion
7. Grzegorz Myrda, „GIS czyli mapa w komputerze”, Wydawnictwo Helion
8. Dawid E. Davis, „Gis dla każdego”, Wydawnictwo Mikom
9. J. Woźniak, P. Matusz, K. Gierłowski, T. Klajbor, P. Machoń, T. Mrugalski, R. Wielicki, "Heterogeniczne sieci bezprzewodowe - wybrane problemy funkcjonowania", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
10. Kołakowski Jerzy, Cichocki J., "UMTS system telefonii komórkowej trzeciej generacji", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności
11. Jarrod Hollingworth, Bob Swart, Mark Cashman, Paul Gustavson, "C++ Builder 6 Vademecum profesjonalisty", Wydawnictwo Helion
12. Jukk Lempiäinen, Matti Manninen, "Radio interface system planing for GSM/GPRS/UMTS", Kluwer Academic Publishers
13. Recommendation ITU-R P.530-10, Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.