

## Implementacja modeli propagacyjnych do aplikacji SEAMCAT

**Streszczenie:** W publikacji przedstawiono główne wyniki implementacji modeli propagacyjnych ITU-R P.1546-4 oraz ITM, będące efektem prac prowadzonych w Instytucie Łączności oddz. Wrocław, podjętych w ramach Programu Badawczego Zamawianego (PBZ), dotyczących metodologii, implementacji i weryfikacji wtyczek (*plug-ins*) do aplikacji SEAMCAT rozwijanej wspólnie przez kraje zrzeszone w CEPT w ramach prac Europejskiego Biura Radiowego ECO z siedzibą w Kopenhadze. Przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń tłumienia sygnału oraz prawdopodobieństwa wystąpienia interferencji systemów radiowych wykonane przy pomocy zaimplementowanych metod.

### 1. WSTĘP

Analizy kompatybilności elektromagnetycznej odgrywają ważną rolę w procesie projektowania systemów i sieci radiowych. Coraz większa ilość urządzeń zdolnych do bezprzewodowej transmisji danych - pracujących w tych samych lub sąsiednich pasmach radiowych powoduje występowanie niekorzystnego zjawiska jakim są wzajemne interferencje fal radiowych. Wynika stąd potrzeba sięgania po odpowiednie narzędzia informatyczne, które pozwolą na przeprowadzenie stosownych badań i analiz kompatybilności EM w sposób najbardziej odzwierciedlający warunki rzeczywiste. Analizy te pozwalają na ocenę i wyeliminowanie niekorzystnych zjawisk już na etapie projektowania sieci radiowych czy wyboru optymalnych zakresów częstotliwości. Ponadto wszelkie uzgodnienia międzynarodowe wymagają stosowania zunifikowanych narzędzi w celu osiągnięcia jednoznacznych wyników, które stają się potem ważnym podłożem do podejmowania dalszych decyzji w sprawach związanych m.in. z podziałem zasobów widma czy jak najefektywniejszym zarządzaniem tymi zasobami. Stąd na świecie opracowywane i stosowane są wspólne narzędzia informatyczne możliwe do stosowania przez wiele krajów. Jednym z takich narzędzi jest SEAMCAT (*Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool*) – aplikacja rozwijana w ramach krajów zrzeszonych w CEPT przez grupę techniczną STG (*SEAMCAT Technical Group*) Europejskiego Biura Łączności (ECO) i udostępniana na zasadach *open-source*. Aplikacja pozwala na tworzenie scenariuszy, w których bada się systemy radiowe pod kątem statystycznej i ilościowej analizy prawdopodobieństwa wystąpienia interferencji. Istotną cechą aplikacji jest stosowanie w obliczeniach płaskiego terenu (SEAMCAT nie korzysta z danych morfologiczno-topograficznych oraz danych na temat krzywizny Ziemi). Ideą tego rozwiązania jest stosowanie omawianego narzędzia jako aplikacji wykorzystywanej w celach opiniotwórczych czy decyzyjnych np. na forum międzynarodowym. Wyniki jakie można uzyskać za

pomocą aplikacji SEAMCAT w dużej mierze zależą od stosowanych metod propagacyjnych. Poza pewną pulą wbudowanych modeli jest możliwość implementacji dodatkowych w postaci wtyczek (*plug-ins*). W niniejszej pracy zostały zaprezentowane implementacje modeli ITU-R P.1546-4 oraz ITM (*Irregular Terrain Model*) znanego również jako model Longley-Rice. Po testach walidacyjnych przeprowadzonych przez ekspertów z ECO i STG zostały one oficjalnie dołączone do programu SEAMCAT i są dostępne na stronie www projektu [5].

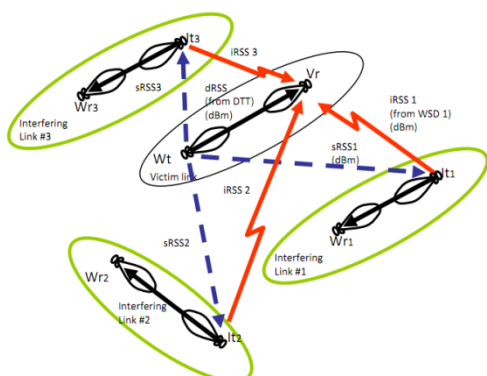
### 2. METODOLOGIA OBLICZEŃ W SEAMCAT

Podstawą do przeprowadzenia symulacji w aplikacji SEAMCAT jest stworzenie odpowiedniego scenariusza testowego. Każdy ze scenariuszy musi składać się z łącza zakłócanego oraz jednego lub więcej łączy zakłócających (interferujących, rys 1). Każde z nich opisane jest przez szereg parametrów systemowych, położenie przestrzenne oraz użyte modele propagacyjne. Symulacja prowadzona w SEAMCAT wykorzystuje metodologię Monte Carlo, w której użytkownik ma możliwość określenia liczby próbek wykorzystywanych dla danego testu. W każdej próbce może odbywać się zmiana zadanych parametrów np. położenia stacji, częstotliwości, wysokości anten etc. w sposób zadany przez użytkownika. Skutkuje to otrzymaniem wyników w ujęciu statystycznym. W każdej symulowanej próbce obliczane są poziomy sygnałów: użytkowego  $dRSS$  (*desired Received Signal Strength*), zakłócających  $iRSS$  – (*interference Received Signal Strength*) oraz opcjonalnie sygnałów zdetekowanych  $sRSS$  (*sensing Received Signal Strength*) na podstawie wprowadzonych parametrów. Stanowią one podstawę do dalszych obliczeń interferencyjnych. Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji  $p_I$  (1) [1] zgodnie z kryterium minimalnego odstępów sygnału od interferencji ( $C/I$ ) dla pojedynczej próbki i od pojedynczego łącza zakłócającego jest prawdopodobieństwem warunkowym. Przy czym  $sens_{RX}$  jest czułością odbiornika.

$$p_I = 1 - P\left(\frac{dRSS}{iRSS} > \frac{C}{I} \mid dRSS > sens_{RX}\right) \quad (1)$$

Na rysunku 1 zaprezentowano schemat relacji między poszczególnymi łączami.  $Wt$  (*Wanted transmitter*) i  $Vr$  (*Victim receiver*) tworzą podstawowe łącze zakłócające. Poza nim może występować dowolna ilość łączy zakłócających (interferencyjnych) tj. łączy między  $I_t$  (Inter-

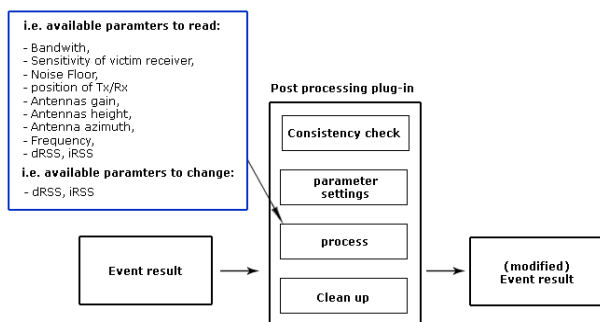
fering transmitter) i  $W_r$  (Wanted receiver). Strzałki wskazują dany rodzaj trasy radiowej, dla której obliczane jest tłumienie. Sygnał sRSS jest opcjonalny i wykorzystywany w obliczeniach z użyciem systemów kognitywnego radia bazujących na detekcji sygnału radiowego.



Rys 1. Relacje między poszczególnymi rodzajami łącz [1]

### 3. IMPLEMENTACJA WTYCZEK

W SEAMCAT można implementować modele propagacyjne w postaci wtyczek (plug-ins) propagacyjnych. Każda z nich musi być napisana w języku JAVA, skompilowana i ostatecznie umieszczona w katalogu roboczym aplikacji. Formatka z podstawowym kodem zawierającym przykładową klasę została umieszczona w internetowej pomocy technicznej SEAMCAT. Użytkownik może ją dowolnie rozwijać adekwatnie do swoich potrzeb. Działanie wtyczki można przedstawić jako czarną skrzynkę. Na wejściu mamy możliwość podania wartości parametrów systemowych zdefiniowanych w scenariuszu oraz maksymalnie 3 dodatkowych parametrów zdefiniowanych przez użytkownika. Wartość tłumienia trasy radiowej wyznaczana jest po każdej próbie w danej symulacji.



Rysunek 2: Schemat działania wtyczki post-processingu.

W przypadku implementacji modelu ITM rozwiązanie proponowane przez twórców SEAMCAT spowodowało pewne komplikację, w związku z tym, że ta metoda wymaga podania kilkunastu parametrów wejściowych. Problem musiał być rozwiązany poprzez zastosowanie drugiego rodzaju wtyczki oferowanej przez SEAMCAT, mianowicie wtyczki post-processing. Można w niej wykonywać operacje na niektórych wartościach zarówno wejściowych jak i wyjściowych po każdej obliczonej próbie w czasie trwania symulacji (Rys. 2). Dzięki temu rozszerzeniu potraktowano wtyczkę post-processing jako panel do wprowadzania dodatko-

wych wartości parametrów wejściowych. W przyszłości można oczekiwać, że twórcy programu zwiększą ilość dostępnych parametrów definiowanych przez użytkownika we wtyczce propagacyjnej, co zdecydowanie ułatwiłoby implementację kolejnych zaawansowanych modeli propagacyjnych.

### 3.1. Metoda ITM

Metoda *Irregular Terrain Model* (ITM) została opracowana w latach 60 ubiegłego wieku w USA na potrzeby planowania naziemnej telewizji analogowej, a następnie była rozwijana do stosowania w bardzo szerokim zakresie częstotliwości dla różnego typu systemów radiowych. Zaimplementowano ją w SEAMCAT jako metoda punkt-obszar, w której lokalizacja odbiornika jest dowolna, a zmiany wysokości wzdłuż trasy mają charakter losowy opisany statystycznie. Model prowadzi obliczenia dla 3 typów trasy radiowej: wzajemnej widoczności, dyfrakcji, rozpraszania. Podział został dokonany ze względu na dominujące zjawiska fizyczne w każdym z nich. Ponadto model wykorzystuje pewne zależności empiryczne powstałe w wyniku badań i pomiarów. Metoda ITM jest interesująca m.in. ze względu na szerokie pasmo częstotliwości jakie pozwala stosować (VHF, UHF, SHF) oraz szereg parametrów wejściowych, wyszczególnionych poniżej:

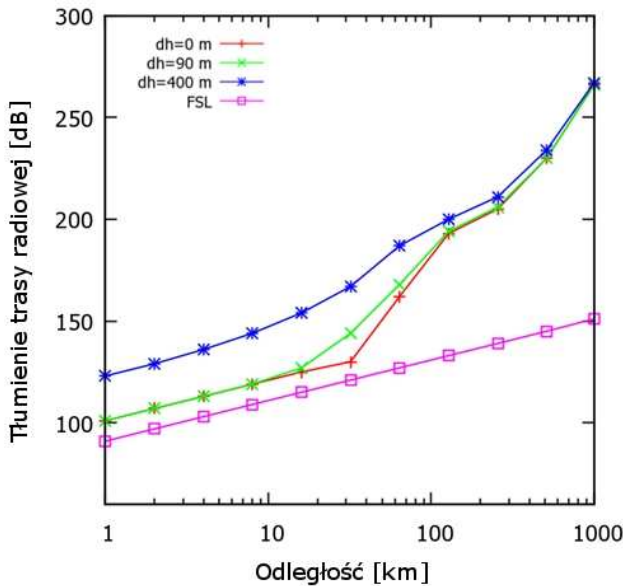
- Parametry systemowe:  
częstotliwość, wysokość anten, odległość, polaryzacja,
- Parametry terenowe:  
nieregularność terenu, konduktywność, przenikalność elektryczna, indeks refrakcji, strefa klimatyczna,
- Rozmieszczenie:  
kryterium lokalizacji, tryb odbioru,
- Parametry statystyczne  
zmiennność położenia, zmiennność czasu, poziom ufolności, odchylenie standardowe,

Model może być stosowany w przedziałach:

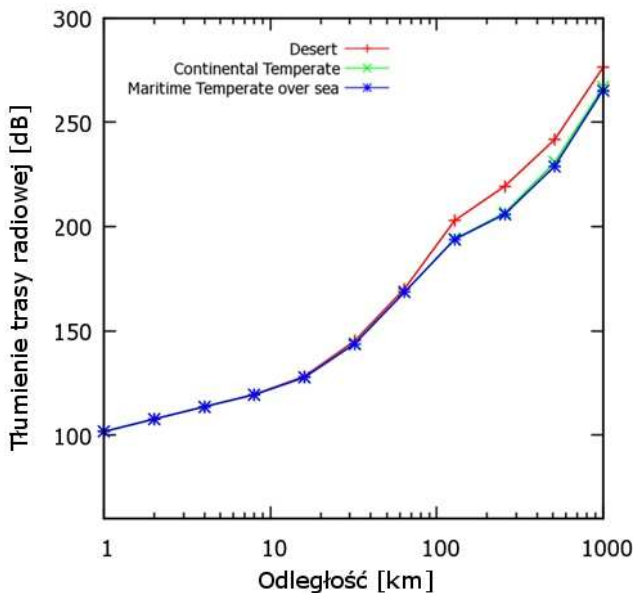
- częstotliwości: 20 MHz – 20 GHz,
- odległość: 1 – 2 000 km,
- wysokość anten 0.5 – 3 000 m.

W metodzie ITM możemy rozróżnić parametry wejściowe ilościowe oraz jakościowe. Pierwszymi są wysokości anten, częstotliwość etc, drugimi m.in parametr nieregularności terenu, rodzaj klimatu, kryterium lokalizacji etc. W implementacji ujęto 7 stref klimatycznych oraz różne typy gruntów.

W fazie testów zostały przeprowadzone symulacje mające na celu weryfikację otrzymanych wyników. Przykładowe wyniki zostały zaprezentowane na rysunkach 3 i 4. Środowisko testowe było skonfigurowane w ten sam sposób. Parametry wejściowe zawarto w tabeli 1. Przyjęto częstotliwość pracy 900 MHz, wysokość anteny nadawczej 100 m i odbiorczej 10 m. W poszczególnych obliczeniach zmieniano odpowiednio parametry wejściowe. Ponadto dla klimatu następowała zmiana współczynnika refrakcji na 280, 301, 320 odpowiednio dla klimatu: pustynnego, kontynentalnego umiarkowanego, morskiego i umiarkowanego nad lądem.



Rysunek 3: Tłumienie trasy radiowej dla różnych współczynników nieregularności terenu.

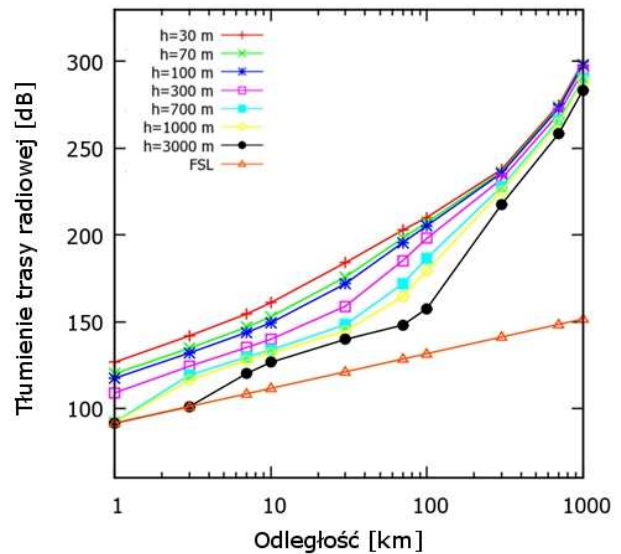


Rysunek 4: Tłumienie trasy radiowej dla różnych stref klimatycznych.

### 3.2. Metoda ITU-R P.1546-4

Model ITU-R P.1546-4 jest aktualną wersją metody propagacyjnej od wielu lat powszechnie stosowanej w systemach radiodifuzyjnych, analogowych i cyfrowych, ze względu na swe pół-empiryczne pochodzenie i szeroką weryfikację pomiarową w wielu krajach na świecie.

Implementacja modelu została opracowana tylko dla stref lądowych, jako że SEAMCAT – jak wspomniano na wstępie – nie korzysta z danych DEM, DTM, nie ma więc możliwości odczytania danych morfologicznych bądź topograficznych i określenia np. procentu trasy morskiej. Obliczanie wartości natężenia pola ze stabelaryzowanych danych dołączonych do modelu bazuje na algorytmie ekstrapolacji/interpolacji logarytmicznej. Liczba tych działań rośnie wraz z liczbą danych wejściowych, dla których tabele nie podają wartości natężenia pola EM. W wyniku prac nad implementacją modelu opracowano algorytm, który uwzględniając wytyczne rekomendacji (Annex 6) ma za zadanie wyznaczenie wartości natężenia pola dla 50% miejsc. Opiera się on na takim przeprowadzaniu działań interpolacyjnych aby uwzględniał możliwości wystąpienia tras krótszych niż jeden kilometr oraz anten o wysokościach mniejszych niż 10 m, dla których to stosuje się inne niż standardowe obliczenia.



Rysunek 5: Tłumienie trasy radiowej dla różnych wysokości anten nadawczych

Tabela 1: Parametry wejściowe testowego środowiska.

Parametr	Jednostka	Wartość
Współczynnik załamania	-	301
Nieregularność terenu	m	90
Konduktywność	S/m	0.005
Względna przenikalność elektryczna	-	15
Polaryzacja anten	Pozioma	
Kryterium lokalizacji	Losowe	
Klimat	Kontynentalny umiarkowany	
Procent czasu	%	50
Procent lokalizacji	%	50
Poziom ufności	%	90
Tryb odbioru	Rozsiewczy	
Odchylenie standardowe	dB	0

W czasie implementacji metody dokonano szeregu testów, które były zorientowane na sprawdzenie poprawności otrzymanej wartości tłumienia zwracanej przez model, w zależności od podanych danych wejściowych. Przede wszystkim porównywano wyniki uzyskane z modelu P.1546-4 z modelem P.1546-1 - dotychczas stosowanym w aplikacji SEAMCAT. Przykładowe wyniki dla modelu P.1546-4 zostały przedstawione na Rys. 5. Grupa STG w 1 kwartale 2011 roku zaimplementowała oficjalnie tę metodę do aplikacji SEAMCAT (po przeprowadzeniu stosownych testów) jako model build-in i jest ona aktualnie domyślnie dostępna w programie.

## 4. PRZYKŁADY ANALIZ EMC

### 5.1 Wpływ stacji bazowych BS PMR/TEDS na stacje odbiorczą telewizji cyfrowej DVB-T

Wpływ jednego systemu na inny pracujący w tym samym kanale lub kanale sąsiednim jest typową analizą, jaką można przeprowadzić w SEAMCAT. W poniższym przykładzie zmodyfikowano scenariusz opublikowany przez ECC w Raporcie 104 [4]. Charakterystyka ustawień systemów radiowych zostały przedstawione w tabeli 2 i 3.

Tabela 2: Parametry systemu DVB-T

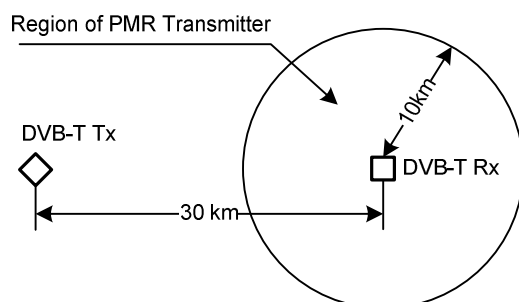
Wysokość anteny TV-tx	100 m
Wysokość anteny TV-rx	10 m
Moc promieniowana EIRP	43 dBW
Szerokość kanału	8 MHz
Kanał	21 (470-478 MHz)
Czułość odbiornika	-79 dBm
Nosie Floor	-78 dBm

Tabela 3: Parametry systemu PMR

Wysokość anteny BS	30 m
Wysokość anteny MS	1,5 m
Moc promieniowana	22 dBm
Szerokość kanału	12,5 kHz
Częstotliwość środkowa	469.99375

Odbiornik telewizyjny był w odległości 30 km od stacji nadawczej (DVB-T), a MS PMR znajdowały się w dowolnej losowej odległości wokół odbiornika, ale nie dalej niż 10 km (rys. 6). W przedstawionych wynikach zaprezentowano prawdopodobieństwo wystąpienia zakłóceń biorąc pod uwagę wpływ sygnałów interferencyjnych i zjawisko blokowania.

Dokonując oceny wyników można przeanalizować wpływ metody i jej parametrów na uzyskiwane wyniki. Szczegółowa ocena każdego typu analizy musi być przeprowadzana indywidualnie.



Rys 6. Położenie DVB-T i PMR w czasie symulacji

Tłumienie trasy radiowej pomiędzy nadajnikiem, a odbiornikiem systemu DVB-T było liczone z wykorzystaniem metody ITM – parametry wejściowe przyjęto jak w tabeli 1 - tłumienie trasy między stacjami bazowymi PMR, a odbiornikami telewizji cyfrowej z wykorzystaniem metody Extended-Hata. Modyfikując poszczególne parametry wejściowe metody, wyznaczono prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji (tab. 4). W obliczeniach przyjęto 100 tys. próbek symulacji.

Tabela 4: Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji w zależności od parametru nieregularności terenu.

Parametr nieregularności terenu	Prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji
0 m	0.03 %
90 m	0.1 %
200 m	0.2 %
450 m	1.38%

Przeprowadzono również analizę tego samego scenariusza, w którym dla porównania wykorzystano wcześniej dostępną w SEAMCAT metodę P.1546-1. Obliczenia dokonano dla 50% czasu i środowiska otwartego. Uzyskano prawdopodobieństwo wystąpienia interferencji, uwzględniając te same kryteria, 0,25%. Idea wykorzystania dodatkowych parametrów w modelu ITM, pozwala na dokładniejszy opis obszaru, nad jakim wykonywane są analizy. Metoda P.1546-4 wyznacza efektywną wysokość anteny dla wysokości terenu na odcinku 3-15 km od nadajnika. W sytuacji, gdy w zależności od odległości zmienia się znacząco profil trasy radiowej posługiwanie się statystycznym współczynnikiem ustalonym przez użytkownika wydaje się być opcją alternatywną.

## 5. PODSUMOWANIE

Zaimplementowane metody propagacyjne ITU-R. P.1546-4 oraz ITM są ważnymi metodami stosowanymi obecnie na co dzień w Europie i Ameryce. Wzbogacenie aplikacji SEAMCAT o nie pozwoliło na uaktualnienie jej do najnowszych wersji metod oraz poszerzenie jej możliwości. Ciekawym rozwiązaniem wydaje się być stosowanie metody ITM, która pozwala na jakościowe i statystyczne definiowanie terenu, co do tej pory nie było możliwe w takim zakresie w SEAMCAT, który wykorzystuje do obliczeń zasadniczo teren płaski. Wyniki opisanych prac były prezentowane podczas Międzynarodowego Sympozjum EMC 2010 na warsztatach wspólnie organizowanych przez Instytut Łączności oraz Europejskie Biuro Łączności (ECO).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2011 jako projekt badawczy zamawiany.

## SPIS LITERATURY

- [1] *SEAMCAT Handbook*, Denmark, 2010
- [2] D. Więcek, B. Gołębiowski, J. Sobolewski, D. Wypiór, *Opracowanie i oprogramowanie modułów aplikacji SEAMCAT do wykonywania symulacyjnych badań kompatybilności międzysystemowej*
- [3] A. G. Longley *Radio Propagation in Urban Areas*, OT Report 78-144, 1978
- [4] *ECC REPORT 104 Compatibility between mobile radio systems operating in the range 450-470 MHz and digital video broadcasting*, Amstelveen, 2007
- [5] [www.seamcat.org](http://www.seamcat.org)
- [6] Recommendation ITU-R P.1546-4, *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz*, 2010.