

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów	9
Od autora	13
1. Tłumienie sygnału w łączu radiowym	19
1.1. Podstawowa struktura łącza radiowego	20
1.2. Opis rodzajów tłumienia sygnału radiowego	22
1.2.1. Tłumienie całkowite L_C	22
1.2.2. Tłumienie systemowe L_S	22
1.2.3. Tłumienie transmisyjne L_T	22
1.2.4. Tłumienie transmisyjne podstawowe L_{TP}	23
1.2.5. Tłumienie transmisyjne dowolnej ścieżki propagacyjnej $L_{TR}(\theta, \varphi)$	23
1.2.6. Tłumienie transmisyjne wolnej przestrzeni $L_{TWP}(d/\lambda)$	23
1.2.7. Tłumienie transmisyjne medium propagacyjnego L_{Tm}	24
1.3. Wpływ otoczenia anteny na tłumienie transmisyjne	24
1.4. Podstawowe przeliczenia projektowe dla łącza radiowego	26
1.5. Właściwości kierunkowe podstawowych anten referencyjnych	27
1.6. Międzynarodowy podział fal elektromagnetycznych	27
1.7. Podzakresy częstotliwościowe planowane do zagospodarowania w sieciach 5G/IoT	28
Literatura	29
2. Uwarunkowania propagacyjne w radiowych sieciach lokalnych (RLAN) w środowisku otwartym	30
2.1. Charakterystyka wstępna sieci RLAN	31
2.2. Modele propagacyjne	33
2.2.1. Propagacja w mikrokomórce o zasięgu od 50 m do 1 km	34
2.2.2. Propagacja w mikrokomórce o zasięgu od 50 m do 0,5 km	38
2.2.3. Propagacja w pikokomórce o zasięgu do 50 m	40
2.3. Propagacja na obszarach podmiejskim, osiedlowym i wiejskim	41
Literatura	43
3. Uwarunkowania propagacyjne w radiowych sieciach lokalnych (RLAN) w środowisku zamkniętym	44
3.1. Charakterystyka wewnątrzbudynkowych sieci RLAN	45
3.2. Modele propagacyjne	46
3.2.1. Model podstawowy	46
3.2.2. Tłumienie sygnału radiowego przenikającego do wnętrza budynku	49
3.2.3. Tłumienie sygnału radiowego w krótkim łączu typu BAN	52
Literatura	53
4. Propagacja wielodrogowa – odpowiedź impulsowa kanału radiowego	54
4.1. Charakterystyka zjawiska wielodrogowości	54
4.1.1. Opis podstawowy – profil kanału radiowego w dziedzinie czasu	55
4.1.2. Opis kątowy zjawiska wielodrogowości	58
4.1.3. Czasowo-przestrzenne ujęcie zjawiska wielodrogowości	63
4.1.4. Czasowo-częstotliwościowe ujęcie zjawiska wielodrogowości	63
4.1.5. Uwarunkowania pojemnościowe w kanale MIMO	64

4.2.	Profile czasowe i przestrzenne (kątowe) kanałów szerokopasmowych w podzakresach UHF i SHF	67
4.2.1.	Profile czasowe odpowiedzi impulsowej kanału szerokopasmowego	69
4.2.2.	Profile kątowe odpowiedzi impulsowej kanału szerokopasmowego w stacji stałej (bazowej)	71
4.2.3.	Profile kątowe odpowiedzi impulsowej kanału szerokopasmowego w stacji ruchomej (terminalowej)	73
	Literatura	74
5.	Model propagacyjny WINNER II	75
5.1.	Rodzaje środowisk propagacyjnych i typy łącz radiowych	75
5.2.	Wielowariantowy model propagacyjny	78
5.2.1.	Opis podstawowy	78
5.2.2.	Opisy poszczególnych wariantów modelu	79
5.2.3.	Prawdopodobieństwo występowania warunku LOS	85
	Literatura	86
6.	Analizowanie uwarunkowań propagacyjnych według zaleceń ETSI	87
6.1.	Obliczanie tłumienia sygnału radiowego w środowisku otwartym i zamkniętym ..	87
6.1.1.	Środowisko otwarte	87
6.1.2.	Środowisko zamknięte	90
6.2.	Tłumienie sygnału radiowego wnikaącego do wnętrza budynku lub samochodu ..	91
6.2.1.	Wnikanie sygnału do wnętrza budynku	91
6.2.2.	Wnikanie sygnału do wnętrza samochodu	93
6.3.	Szacowanie prawdopodobieństwa występowania warunku LOS	94
	Literatura	96
7.	Wpływ dyfrakcji na tłumienie sygnału radiowego	97
7.1.	Podstawowy opis efektywnej przestrzeni propagacyjnej	98
7.1.1.	Elipsoidy Fresnela – efektywna przestrzeń propagacyjna	98
7.1.2.	Strefa dyfrakcyjna i cień radiowy	100
7.1.3.	Kryterium radiowej gładkości podłoża propagacyjnego	101
7.2.	Pozahoryzontowe radiowe trasy propagacyjne	101
7.2.1.	Tłumienie dyfrakcyjne	101
7.2.2.	Tłumienie dyfrakcyjne sygnałów w warunkach LOS	104
7.3.	Tłumienie dyfrakcyjne na przeszkodach terenowych	107
7.3.1.	Pojedyncza krawędź ostra	107
7.3.2.	Pojedyncza krawędź zaokrąglona	108
7.3.3.	Dwie krawędzie ostre	110
7.3.4.	Szereg krawędzi zaokrąglonych	111
7.4.	Naziemna trasa radiowa	113
7.4.1.	Model Bullingtona	113
7.4.2.	Model uogólniony	115
	Literatura	118
8.	Wpływ refrakcji troposferycznej na propagację sygnału radiowego	119
8.1.	Podstawowy opis zjawiska refrakcji troposferycznej	120
8.1.1.	Wskaźnik refrakcji troposferycznej	120
8.1.2.	Krzywoliniowa trajektoria rozchodzenia się fali radiowej w troposferze	121
8.1.3.	Zastępczy promień kuli ziemskiej	122
8.2.	Troposferyczna trasa radiowa	123
8.2.1.	Rozproszenie wiązki radiowej na krzywoliniowej trasie propagacji	123
8.2.2.	Zmienność długości trasy propagacyjnej	124
8.2.3.	Radiowy dukt troposferyczny	128
	Literatura	133

9.	Analizowanie naziemnych tras propagacyjnych w paśmie od 30 MHz do 50 GHz	134
9.1.	Mechanizmy propagacyjne na trasach naziemnych	134
9.1.1.	Mechanizm podstawowy – wariant pierwszy	135
9.1.2.	Anomalia propagacyjna w dukcie troposferycznym – wariant drugi	136
9.1.3.	Rozproszenie w troposferze – wariant trzeci	137
9.1.4.	Sporadyczne odbicia od jonosfery – wariant czwarty	139
9.2.	Modelowanie mieszane – kompozycje wybranych wariantów	141
9.2.1.	Propagacja nad powierzchnią ziemską z anomalią propagacyjną – kompozycja pierwsza	142
9.2.2.	Model uogólniony – kompozycja druga	142
9.3.	Charakterystyka korelacyjna mechanizmów propagacyjnych	143
	Literatura	145
10.	Uwarunkowania propagacyjne w satelitarnej telekomunikacji ruchomej	146
10.1.	Wpływ przeszkód terenowych	146
10.1.1.	Przydrożny drzewostan	147
10.1.2.	Środowisko zabudowane	149
10.2.	Wpływ zjawiska wielodrogowości	153
10.2.1.	Środowisko góryste	153
10.2.2.	Wpływ drzew przydrożnych	154
10.3.	Szacowanie zaników sygnału	154
10.3.1.	Podstawy modelu statystycznego	155
10.3.2.	Predykcja zaników w łączu satelitarnym	155
10.4.	Modelowanie wnikania sygnału satelitarnego do wnętrza budynku	157
10.5.	Uogólniona charakterystyka satelitarnej trasy propagacyjnej	158
	Literatura	159
11.	Uwarunkowania propagacyjne w bezprzewodowych stałych łączach optycznych	160
11.1.	Uwarunkowania molekularne	161
11.1.1.	Absorpcja molekularna	161
11.1.2.	Rozproszenie molekularne	162
11.2.	Uwarunkowania transmisyjne w aerozolach	162
11.2.1.	Absorpcja w aerozolach	162
11.2.2.	Rozproszenie w aerozolach	163
11.3.	Wahania sygnału optycznego	164
11.4.	Wpływ deszczu i śniegu	165
11.5.	Wpływ oświetlenia słonecznego	166
11.6.	Bilans energetyczny łącza optycznego	167
11.7.	Klasyfikacja widoczności optycznej	168
	Literatura	169
12.	Modelowanie kanału radiowego w sieciach 5G o dużych przepływnościach	170
12.1.	Segmentacja trasy propagacyjnej w środowisku miejskim	171
12.1.1.	Model segmentowy	171
12.1.2.	Uwzględnianie obszaru dyfrakcyjnego	173
12.2.	Wpływ przysłonięcia trasy propagacyjnej	174
12.3.	Wpływ rozpraszania sygnału radiowego	176
12.4.	Łączne oddziaływanie przysłonięcia i rozproszenia	177
12.5.	Wnikanie sygnału radiowego do wnętrza budynku	178
12.6.	Wpływ przeszkód niestacjonarnych	179
	Literatura	180

13. Uwarunkowania propagacyjne w podzakresach LF i MF	181
13.1. Wyznaczanie rozkładu pola elektrycznego w podzakresie poniżej 150 kHz	181
13.1.1. Mechanizm propagacji skokowej	182
13.1.2. Propagacja wieloskokowa	186
13.2. Wyznaczanie rozkładu pola elektrycznego w podzakresie powyżej 150 kHz	188
Literatura	191
14. Analizowanie zakłócającego oddziaływania stacji radiokomunikacyjnych	192
14.1. Mechanizmy propagacyjne radiowego pola zakłócającego w systemach naziemnych	193
14.2. Obliczanie tłumienia radiowych sygnałów zakłócających w systemach naziemnych	195
14.2.1. Podstawowe tłumienie transmisyjne	196
14.2.2. Tłumienie hydrometeoru	199
14.3. Obliczanie tłumienia radiowych sygnałów zakłócających w systemach Ziemia-satelita	201
14.3.1. Geometria trasy propagacyjnej	201
14.3.2. Podstawowe tłumienie transmisyjne sygnału zakłócającego	204
Literatura	205
15. Uwarunkowania propagacyjne przy wyznaczaniu obszaru koordynacyjnego	206
15.1. Graniczne odległości koordynacyjne	207
15.1.1. Minimalna odległość koordynacyjna	207
15.1.2. Maksymalna odległość koordynacyjna	208
15.2. Szacowanie obszaru koordynacyjnego w sieciach naziemnych	209
15.2.1. Opis ogólny	210
15.2.2. Podzakres od 100 MHz do 790 MHz	211
15.2.3. Podzakres od 790 MHz do 60 GHz	212
15.2.4. Podzakres od 60 GHz do 105 GHz	216
15.3. Obszar koordynacyjny wokół naziemnej stacji satelitarnej	218
15.3.1. Geometria zakłócającego oddziaływania hydrometeoru	218
15.3.2. Szacowanie odległości koordynacyjnej – wpływ hydrometeoru	220
15.3.3. Wpływ kierunku promieniowania anteny zakłócającej	224
15.4. Wpływ anteny na obszar koordynacyjny	226
Literatura	230

Dodatek

Rozkłady prawdopodobieństwa stosowane w modelowaniu zagadnień propagacyjnych	231
D1. Wprowadzenie	231
D2. Rozkład normalny	232
D3. Rozkład log-normalny	233
D4. Rozkład Rayleigha	233
D5. Rozkład łączny log-normalny – Rayleigha	234
D6. Rozkład łączny n -Nakagamiiego-Rice'a	235
D7. Rozkład Gamma	236
D8. Rozkład m -Nakagamiiego	237
D9. Rozkład χ^2 Pearsona	237
Literatura	239

Skorowidz	240
------------------	-----