



Włodzimierz Zieniutycz

Podstawy teorii i techniki antenowej



Gdańsk 2026

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Dariusz Mikielewicz

RECENZENT

Andrzej Kucharski

REDAKCJA JĘZYKOWA

Agnieszka Frankiewicz

SKŁAD

Włodzimierz Zieniutycz

PROJEKT OKŁADKI

Ireneusz Jelonek

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
<https://sklep.pg.edu.pl/>

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy.

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2026

ISBN 978-83-7348-960-8

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 15,70, ark. druku 16,25; 1333/1297

Druk i oprawa: Agencja Reklamowa TOP Agnieszka Łuczak
ul. Chocimska 4, 87-800 Włocławek; tel. 54 427 09 70

Spis treści

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń	7
Przedmowa	11
1. Podstawy polowe techniki antenowej	15
1.1. Pojęcia i definicje podstawowe	15
1.2. Dipol Hertza jako elementarna antena	21
1.2.1. Pole elektromagnetyczne daleko od dipola Hertza	24
1.2.2. Pole elektromagnetyczne w pobliżu dipola Hertza	25
1.3. Pole elektromagnetyczne w strefie dalekiej anteny	27
2. Parametry anten	31
2.1. Charakterystyka promieniowania	31
2.1.1. Zysk kierunkowy	33
2.1.2. Zysk energetyczny – sprawność anteny	35
2.1.3. Przykładowe charakterystyki promieniowania i ich parametry	37
2.2. Impedancja wejściowa – rezystancja promieniowania	41
2.3. Powierzchnia i długość skuteczna anteny	42
2.4. Parametry polaryzacyjne	47
2.4.1. Polaryzacja liniowa	47
2.4.2. Polaryzacja kołowa	48
2.4.3. Polaryzacja ortogonalna	49
2.5. Parametry szumowe anteny	52
2.6. Pasma pracy	53
2.7. Środowisko pracy a parametry anteny	54
3. Antena jako element systemu bezprzewodowego	57
3.1. Równanie zasięgu dla systemu komunikacji bezprzewodowej	57
3.2. Równanie zasięgu dla systemu radarowego	60

4. Analiza i synteza pól elektromagnetycznych w strefie dalekiej . . .	62
4.1. Apertura z ciągłym rozkładem pola elektromagnetycznego	63
4.1.1. Twierdzenie Love'a o równoważności	63
4.1.2. Potencjały wektorowe	66
4.1.3. Widmo kątowe	68
4.1.4. Twierdzenie o dualności	72
4.2. Apertura z dyskretnym rozkładem pola elektromagnetycznego	74
4.2.1. Jednorodny szyk liniowy – mnożnik antenowy	76
4.2.2. Jednorodne szyki dwuwymiarowe	83
4.2.3. Szyk liniowy anten o nierównomiernym rozkładzie amplitud	84
4.3. Metody syntezy charakterystyki promieniowania	87
4.3.1. Metoda Fouriera	88
4.3.2. Metoda Woodwarda	93
4.4. Elektrodynamika obliczeniowa w analizie i syntezie anten	99
4.4.1. Pełnofalowa analiza anteny	99
4.4.2. Projektowanie anteny metodą pełnofalową	102
5. Przegląd wybranych typów anten bardzo wysokiej częstotliwości .	106
5.1. Anteny dipolowe i monopolowe	107
5.1.1. Dipol Hertza	107
5.1.2. Dipol półfalowy	108
5.1.3. Planarne dipole szerokopasmowe	113
5.1.4. Zasilanie anteny dipolowej – symetryzatory	114
5.1.5. Anteny monopolowe	119
5.2. Anteny pętlowe	123
5.2.1. Mała pętla z prądem – dipol magnetyczny	123
5.2.2. Pętla z prądem jako źródło fali o polaryzacji kołowej	125
5.3. Anteny tubowe	131
5.3.1. Apertura prostokątna	132
5.3.2. Apertura kołowa	136
5.3.3. Tuby sektorowe E i H oraz tuba piramidalna	140
5.3.4. Tuba stożkowa	148
5.3.5. Zmodyfikowane anteny tubowe	150
5.4. Anteny reflektorowe i soczewkowe	156
5.4.1. Zwierciadła anten reflektorowych	157
5.4.2. Antena reflektorowa ze zwierciadłem parabolicznym	159
5.4.3. Anteny wieloreflektorowe	166
5.4.4. Anteny soczewkowe	168
5.5. Anteny planarne	175
5.5.1. Anteny mikropaskowe	176
5.5.2. Anteny szczelinowe	186
5.6. Szyki anten falowodowych oraz planarnych	189
5.6.1. Szyki anten tubowych oraz falowodowych anten szczelinowych	190
5.6.2. Szyki anten mikropaskowych	195

5.7. Anteny niezależne od częstotliwości	198
5.7.1. Antena dwustożkowa	199
5.7.2. Antena spiralna	202
5.7.3. Anteny logarytmiczno-periodyczne	205
5.8. Anteny z falą bieżącą	210
5.8.1. Antena Yagi–Uda	211
5.8.2. Antena śrubowa	213
5.8.3. Anteny szczelinowe o promieniowaniu wzdlużnym – antena Vivaldiego	217
6. Miernictwo antenowe	222
6.1. Pomiar charakterystyki promieniowania	223
6.1.1. Pomiar w polu dalekim	223
6.1.2. Pomiar w polu bliskim	233
6.2. Pomiar zysku energetycznego	236
6.2.1. Pomiar w strefie dalekiej	237
6.2.2. Pomiar w strefie bliskiej	239
6.3. Pomiar parametrów polaryzacyjnych	239
6.3.1. Anteny z polaryzacją liniową	240
6.3.2. Anteny z polaryzacją kołową	240
Dodatek 1. Układ współrzędnych sferycznych	246
Dodatek 2. Opis efektu dopasowania w zakresie bardzo wysokich częstotliwości	247
Dodatek 3. Polaryzacja podstawowa i ortogonalna	251
Dodatek 4. Zależności określające stan polaryzacji	252
Literatura	254
Skorowidz	257

Wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń

$\vec{A}, A_\theta, A_\varphi$	–	wektorowy potencjał magnetyczny i jego składowe
$\vec{A}(R)$	–	zespolony wektorowy potencjał magnetyczny
A_{fiz}	–	powierzchnia apertury anteny
A_{lb}	–	poziom listka bocznego
A_{sk}	–	powierzchnia skuteczna anteny
AR	–	<i>Axial Ratio</i> , współczynnik eliptyczności
\vec{B}	–	amplituda zespolona wektora indukcji magnetycznej
\vec{B}_A	–	wektor indukcji magnetycznej związany z potencjałem wektorowym magnetycznym \vec{A}
BLTSA	–	<i>Broken Linearly Tapered Slot Antenna</i> , typ anteny szczelinowej o odpowiednim profilu szczeliny
CPW	–	<i>Coplanar Waveguide</i> , falowód koplanarny
c	–	prędkość światła w próżni
\vec{D}_F	–	wektor indukcji elektrycznej związany z potencjałem wektorowym elektrycznym \vec{F}
D_{max}	–	największy wymiar liniowy anteny
$D(\theta, \varphi)$	–	zysk kierunkowy
D_0	–	kierunkowość anteny
DBS	–	<i>Direct Broadcast Satellite</i> , telewizja rozsiewcza
d	–	długość dipola Hertza
dBc	–	zysk energetyczny względem anteny o polaryzacji kołowej
dBd	–	zysk energetyczny względem dipola półfalowego
dB _i	–	zysk energetyczny względem anteny izotropowej
$\vec{E}_e(x, y)$	–	rozkład składowej elewacyjnej pola elektrycznego w strefie bliskiej
$\vec{E}_h(x, y)$	–	rozkład składowej horyzontalnej pola elektrycznego w strefie bliskiej
$\vec{E}_{org}, \vec{E}_{dual}$	–	pola elektryczne: w problemie oryginalnym oraz dualnym
$\vec{E}_{zewn}, \vec{E}_{wewn}$	–	wektory natężenia pola elektrycznego na zewnątrz i wewnątrz danego obszaru
\vec{E}_A	–	pole elektryczne związane z potencjałem wektorowym \vec{A}

EIRP	–	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i> , moc promieniowana przez równoważną antenę izotropową
$E_{xap}(x, 0)$	–	składowa pola elektrycznego w aperturze
$\vec{F}(k_x, k_y)$	–	widmo kątowe
$\vec{F}, F_\theta, F_\varphi$	–	potencjał wektorowy elektryczny i jego składowe
$F(\theta, \varphi)$	–	mocowa charakterystyka promieniowania anteny
$F_a(k_x, k_y)$	–	przybliżona wartość widma kąтового
F_0	–	charakterystyka promieniowania pojedynczej anteny szyku antenowego
FDTD	–	<i>Finite Difference Time Domain</i> , metoda różnic skończonych w dziedzinie czasu
FEM	–	<i>Finite Element Method</i> , metoda elementów skończonych
FSL	–	<i>Free Space Loss</i> , straty w wolnej przestrzeni
f	–	częstotliwość
$f_n(k_{xl}, k_{xn})$	–	funkcje aproksymujące pole w metodzie Woodwarda
f_d, f_g	–	dolna i górna częstotliwość pasma pracy anteny
$f_{ort}(\theta, \varphi)$	–	charakterystyka promieniowania składowej ortogonalnej
$f_\theta(\theta, \varphi)$	–	charakterystyka promieniowania składowej θ pola
$f_\varphi(\theta, \varphi)$	–	charakterystyka promieniowania składowej φ pola
G_0	–	maksymalna wartość zysku energetycznego
G_N	–	zysk energetyczny anteny nadawczej
G_O	–	zysk energetyczny anteny odbiorczej
$G(\theta, \varphi)$	–	zysk energetyczny anteny
GPR	–	<i>Ground Penetrating Radar</i> , radar do penetracji gruntu
\vec{H}_F	–	pole magnetyczne związane z potencjałem wektorowym \vec{F}
$\vec{H}_{org}, \vec{H}_{dual}$	–	pola magnetyczne: w problemie oryginalnym oraz dualnym
I	–	natężenie prądu elektrycznego
IEEE	–	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IET	–	Institution of Engineering and Technology
IFF	–	<i>Identification Friend or Foe</i> , system identyfikacji swój–obcy
I_m	–	prąd magnetyczny
ISM	–	<i>Industrial, Scientific, Medical</i> , zakresy częstotliwości dla zastosowań innych niż komunikacyjne
\vec{i}	–	wersor danego układu współrzędnych
$\vec{i}_{podst}, \vec{i}_{ort}$	–	wersory składowej podstawowej i ortogonalnej
$\vec{i}_{p'}, \vec{i}_q, \vec{i}_s$	–	wersory lokalnego układu współrzędnych prostokątnych
\vec{J}_m	–	gęstość powierzchniowa prądu magnetycznego
$J_m(*)$	–	funkcja Bessela pierwszego rodzaju rzędu m
j	–	jednostka urojona $j^2 = -1$
\vec{k}, k_x, k_y, k_z	–	wektor falowy i jego składowe
k	–	liczba falowa $k = \omega/c$

k_{xn}	– punkty próbkowania widma kąтового
L_{odb}	– straty odbiciowe anteny
L_{pol}	– straty polaryzacyjne anteny
LTSA	– <i>Linearly Tapered Slot Antenna</i> , typ anteny szczelinowej o liniowym profilu szczeliny
\vec{M}	– gęstość powierzchniowa prądu magnetycznego
$M(\Psi)$	– mnożnik antenowy
MIMO	– <i>Multiple Input, Multiple Output</i> , system transmisji wieloantenowej
MoM	– <i>Method of Moments</i> , metoda momentów
\vec{n}	– wersor normalny do danej powierzchni
PIM	– <i>Passive InterModulation</i> , typ zakłóceń pasywnych
PML	– <i>Perfect Matched Layer</i> , idealna warstwa bezodbiciowa
P_N	– moc w antenie nadawczej
P_n	– moc szumów w antenie
P_O	– moc wydzielona w dopasowanym obciążeniu anteny
P_{prom}	– moc wypromieniowana przez antenę
P_{we}	– moc na wejściu anteny
\vec{R}	– wektor skierowany od źródła pola do punktu pola
$\vec{r}'(x', y', z')$	– wektor określający punkt źródła pola
$\vec{r}(x, y, z)$	– wektor określający punkt pola
RCS	– <i>Radar Cross Section</i> , parametr określający własności odbiciowe obiektu
R_{prom}	– rezystancja promieniowania anteny
R_{str}	– rezystancja strat w antenie
[S]	– macierz rozproszenia
S_{ii}, S_{ij}	– elementy macierzy rozproszenia
\vec{S}	– zespolony wektor Poyntinga
\vec{S}_{sr}	– wartość średnia wektora Poyntinga
S_0	– gęstość powierzchniowa mocy anteny izotropowej
SAR	– <i>Synthetic Aperture Radar</i> , radar z syntetyczną aperturą
SBF	– <i>Short BackFire</i> , typ anteny
SNR	– <i>Signal Noise Ratio</i> , stosunek sygnał/szum
S_O	– gęstość powierzchniowa mocy przy antenie odbiorczej
SPO	– skuteczna powierzchnia odbicia
SRR	– <i>Secondary Surveillance Radar</i> , system radarowy
T_A	– temperatura anteny bezstratnej
TE, TM	– fale (rodzaje pola) poprzeczne: elektryczne i magnetyczne
TEM	– fala (rodzaj pola) poprzeczna elektryczna i magnetyczna
$T_L(\theta, \varphi)$	– temperatura luminancyjna anteny
$T_n(x)$	– wielomian Czebyszewa pierwszego rodzaju n -tego stopnia
$U_{sr}(\theta, \varphi)$	– wartość średnia gęstości kątovej mocy
U_{we}	– gęstość kątovej mocy anteny odniesienia związana z mocą wejściową anteny odniesienia P_{we}

UWB	–	<i>Ultra-Wideband</i> , standard transmisji bezprzewodowej
v_f	–	prędkość fazowa
WFS	–	współczynnik fali stojącej
Z_0	–	impedancja charakterystyczna linii zasilającej antenę
z_0	–	impedancja próżni
Z_{we}	–	impedancja wejściowa anteny
$z_{ośr}$	–	impedancja właściwa ośrodka
α	–	różnica faz sygnałów zasilających dwie kolejne anteny szyku
α_x, α_y	–	różnice faz sygnałów zasilających dwie kolejne anteny szyku dwuwymiarowego odpowiednio wzdłuż osi x i y
β	–	współczynnik fazy fali
Γ	–	współczynnik odbicia
$\Delta_{3dB}^{(1)}, \Delta_{3dB}^{(2)}$	–	szerokości wiązek 3 dB w płaszczyznach 1 i 2
$\Delta_{-\infty}$	–	szerokość wiązki liczona pomiędzy dwoma zerami charakterystyki promieniowania
Δf	–	pasmo pracy anteny
$\varepsilon_0, \varepsilon_d$	–	przenikalności elektryczne: próżni oraz ośrodka
ε_r	–	względna przenikalność elektryczna materiału
η	–	sprawność anteny
η_{odb}	–	sprawność anteny związana z odbiciami na wejściu
η_{ap}	–	współczynnik wykorzystania apertury
η_{pol}	–	współczynnik eliptyczności
λ	–	długość fali
μ_0	–	przenikalność magnetyczna próżni
μ_r	–	względna przenikalność magnetyczna materiału
ξ	–	kąt pomiędzy wektorami \vec{r} i \vec{r}'
ρ_E, ρ_H	–	odległość od apertury tuby do umownego punktu źródła promieniowania
σ	–	skuteczna powierzchnia odbicia obiektu
τ	–	odchylenie wiązki głównej anteny (<i>tilt</i>) lub kąt nachylenia elipsy polaryzacyjnej
Φ_e	–	potencjał skalarny elektryczny
Φ_m	–	potencjał skalarny magnetyczny
χ'_{11}	–	pochodna funkcji Bessela pierwszego rodzaju pierwszego rzędu
Ω	–	brzeg danego obszaru
Ω_{ap}	–	obszar apertury promieniującej
ω	–	pulsacja

Przedmowa

Jednym z dominujących trendów rozwoju współczesnych społeczeństw jest tendencja do nieograniczonego dostępu do informacji. W konsekwencji rodzi to wymagania w stosunku do nowych szybkich systemów komunikacji bezprzewodowej. System bezprzewodowy, w oczywisty sposób, musi korzystać z anteny, którą traktujemy jako interfejs pomiędzy terminalem, w którym informacja jest kodowana (lub dekodowana), a wolną przestrzenią, w której przesyłana jest informacja w formie zespołu odpowiednio uformowanych fal elektromagnetycznych. W takim ujęciu rolą anteny jest transformacja fali prowadzonej w falę przestrzenną (antena nadawcza) lub odwrotnie – transformacja fali przestrzennej w prowadzoną (antena odbiorcza). W efekcie przy studiowaniu zagadnień z zakresu teorii i techniki antenowej będziemy musieli korzystać zarówno z teorii fal prowadzonych, jak i propagacji fali elektromagnetycznej w wolnej przestrzeni.

Na rynku są dostępne liczne pozycje książkowe, zwłaszcza w języku angielskim, poświęcone różnym aspektom teorii i techniki antenowej. Istotnym bodźcem, który doprowadził do powstania niniejszego podręcznika, jest, zdaniem autora, brak pozycji książkowej w języku polskim, która w sposób w miarę przystępny, ale kompletny, pokazałaby związek pomiędzy zagadnieniami teoretycznymi i praktycznymi aspektami techniki antenowej. Zainteresowany Czytelnik lepiej wówczas zrozumie drogę od pewnych koncepcji teoretycznych do rozwiązań praktycznych stosowanych w technice antenowej.

Podręcznik jest przede wszystkim adresowany do studentów studiów pierwszego stopnia z zakresu elektroniki i telekomunikacji, gdzie z oczywistych powodów wykład nie powinien mieć charakteru czysto teoretycznego, lecz powinien zawierać również istotne elementy praktyczne. Z tego też względu, jeśli tylko było to możliwe, autor starał się w formie komentarzy lub przykładów zilustrować znaczenie praktyczne prezentowanej teorii. Przy omawianiu metod analizy pola promieniowania anten zrezygnowano także ze szczegółowego prezentowania opisu kolejnych jej kroków, które często wykorzystują zaawansowane metody matematyczne. Założono bowiem, że zainteresowany Czytelnik znajdzie bez trudu interesujące go dane w licznych, ogólnie dostępnych podręcznikach lub monografiach naukowych.

Inny ważny cel, który postawił sobie autor, to próba zebrania w jednym podręczniku szeregu narzędzi teoretycznych, o różnym stopniu złożoności, stosowanych w technice antenowej. Aktualnie wiele metod oraz teorii dotyczących problemów antenowych prezentowanych w podręcznikach lub monografiach jest cytowanych w kontekście zastosowania do wybranych typów anten. Autor zdecydował się zebrać je w jednym

rozdziale i omówić tylko w takim zakresie, w jakim jest to niezbędne do wykorzystania w analizie i przy projektowaniu anten.

Większość dostępnych podręczników i monografii poświęconych technice antenowej nie jest, zdaniem autora, dostosowana do aktualnego systemu studiów dwustopniowych. Z założenia w tego typu studiach na pierwszym stopniu przedstawia się zagadnienia w przystępnej formie, z pominięciem pełnego wywodu matematycznego, charakterystycznego dla wykładu akademickiego. Z tego też względu w niniejszym podręczniku przedstawiono bardziej szczegółowo tylko te elementy teorii, które mają istotne znaczenie dla szeroko rozumianej techniki antenowej. Stąd znajdziemy tu analizę dipola Hertza (podrozdział 1.1) czy też opis mechanizmu generacji pola o polaryzacji kołowej przez pętlę z prądem (podrozdział 5.2.2).

Zarysowana idea podręcznika wpłynęła na układ prezentowanych treści. W rozdziale pierwszym, na jego wstępie, pokazano wybrane własności pola elektromagnetycznego wytworzonego w pobliżu oraz daleko od elementarnej anteny, czyli od dipola Hertza. Następnie wykazano, że pewne istotne własności pola elektromagnetycznego obserwowane w znacznej odległości od anteny są takie same, niezależnie od typu anteny.

Te właśnie wspólne własności zostały wykorzystane do wprowadzenia podstawowych parametrów anten, co jest przedmiotem kolejnego rozdziału. Warto w tym miejscu przypomnieć, że anteny stanowią istotną część systemów bezprzewodowych, więc znajomość ich parametrów jest niezbędna do analizy i poprawnego zaprojektowania ww. systemów.

Trzeci rozdział pokazuje, w jaki sposób wprowadzone w rozdziale pierwszym parametry są wykorzystywane w analizie i projektowaniu systemów opartych na technologiach bezprzewodowych. Autor zdecydował się omówić nie tylko równanie zasięgu dla systemu telekomunikacyjnego (równanie Friisa), ale również równanie zasięgu dla systemu radiolokacyjnego, gdyż technika radarowa znajduje coraz szersze zastosowania w różnych dziedzinach życia publicznego (np. w motoryzacji, lotnictwie cywilnym, technologiach kosmicznych).

W rozdziale czwartym omówiono podstawowe zagadnienia z zakresu analizy i syntezy pól elektromagnetycznych w strefie dalekiej dla anten zarówno z aperturą ciągłą, jak i aperturą dyskretną (czyli dla szyków antenowych). Jakkolwiek metody numeryczne wydają się w chwili obecnej podstawowym narzędziem analizy i projektowania anten, techniki analityczne opracowane w ostatnich dziesięcioleciach nadal są niezbędnym elementem wiedzy każdego inżyniera pracującego w dziedzinie techniki antenowej. Wiedza ta pozwala bowiem przewidzieć własności anten i w ten sposób niekiedy oszczędzić czas niezbędny do przeprowadzenia często żmudnych i czasochłonnych obliczeń numerycznych wybranej struktury anteny. Metody projektowania szyków antenowych omówiono łącznie z zagadnieniami anten z aperturą ciągłą, gdyż w obu przypadkach stosujemy podobne narzędzia analityczne. Na zakończenie tego rozdziału przedstawiono pokrótce metody analizy i projektowania anten najczęściej wykorzystywane w powszechnie dostępnym profesjonalnym oprogramowaniu.

Rozdział piąty to przegląd podstawowych typów anten stosowanych w zakresie wielkich częstotliwości. Anteny tego zakresu częstotliwości dominują we współczesnych systemach bezprzewodowych. Literatura dotycząca anten jest niezwykle obszerna i nie jest celem autora przedstawienie większości stosowanych aktualnie anten.

Autor zdecydował się przedstawić wybrane ich typy, które, jego zdaniem, są i będą w najbliższej przyszłości stosowane w technologiach bezprzewodowych. Jest to oczywiście wybór arbitralny i autor zdaje sobie z tego sprawę. Warto jednak wspomnieć, że niemal każdego dnia proponowane są nowe konfiguracje anten, szczególnie realizowane w technice planarnej, więc każdy opublikowany przegląd anten staje się zwykle niekompletny już po kilku miesiącach po opublikowaniu.

W rozdziale szóstym przedstawiono podstawowe zagadnienia z zakresu miernictwa anten. Temat jest obszerny – zagadnieniu miernictwa poświęcona jest np. monografia [15]. W ramach niniejszej pracy skupiono się na wybranych aspektach pomiarów specyficznych parametrów anten, takich jak charakterystyka promieniowania, polaryzacja czy też zys energetyczny.

Studiowanie zagadnień antenowych wymaga od Czytelnika odpowiedniego przygotowania z zakresu elektrodynamiki oraz techniki mikrofalowej. Osoby, które odczuwają brak kompetencji w zakresie teorii elektrodynamiki, mogą przykładowo skorzystać z podręczników autorów polskich (np. [8], [38], [49], [52]). Autor szczególnie poleca podręczniki [26] i [27], w których przedstawiono rozwiązania podstawowych problemów z zakresu pól i fal elektromagnetycznych. Dostępne są także tłumaczenia (np. [19], [23]) i pozycje anglojęzyczne, np. [10]. Pomocne w studiowaniu aspektów polowych techniki antenowej może być również podstawowa dla techniki antenowej pozycja książkowa prof. C. Balanisa [2] czy też monografia [29]. Osobom zainteresowanym zagadnieniami teoretycznymi autor poleca podręcznik [51].

W odniesieniu do techniki mikrofalowej autor niniejszego podręcznika zakłada, że Czytelnik posiada podstawy wiedzy z zakresu opisu matematycznego zagadnień dopasowania (pojęcia współczynnika odbicia, współczynnika fali stojącej WFS), a także opisu wielowrotników przy pomocy macierzy rozproszenia [S]. Omówienie tych zagadnień można znaleźć np. w podręczniku [25]. Pomocna może być też znajomość podstawowych elementów i układów mikrofalowych. Podstawowe definicje i zależności dotyczące opisu ilościowego dopasowania w zakresie bardzo wysokich częstotliwości przedstawiono w Dodatku 2.

Warto podkreślić, że rozwój komunikacji bezprzewodowej stymuluje rozwój techniki antenowej i w konsekwencji najnowsze osiągnięcia w zakresie teorii oraz projektowania nowych konstrukcji anten są prezentowane w czasopismach oraz na konferencjach naukowych poświęconych tej tematyce. Najbardziej popularne czasopisma naukowe o zasięgu światowym poświęcone antenom to:

- IEEE Transactions on Antennas and Propagation;
- IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters;
- IET Microwaves, Antennas & Propagation;
- Electronics Letters.

Wśród konferencji naukowych o zasięgu światowym na szczególną uwagę zasługują organizowane rokrocznie:

- IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting;
- European Conference on Antennas and Propagation.

W celu zaprezentowania własności wybranych anten autor wykorzystał wyniki obliczeń uzyskane przy pomocy oprogramowanie PCAAD. Jakkolwiek program ten operuje przybliżonymi modelami anten, pozwala jednak przedstawić podstawowe ich własności, co ma istotne znaczenie w przypadku publikacji o charakterze dydaktycznym.

W podręczniku wykorzystano zdjęcia przykładowych anten udostępnione przez polskie firmy: PIT-Radwar oraz SpaceForest. Autor pragnie podziękować ww. firmom za efektywną współpracę przy doborze zdjęć, które dodały temu podręcznikowi walor praktyczności.

Na zakończenie autor pragnie podziękować wszystkim pracownikom Katedry Inżynierii Mikrofalowej i Antenowej, a w szczególności prof. Krzysztofowi Nyce za szereg komentarzy i wskazówek, które doprowadziły do powstania podręcznika w obecnym kształcie.