

Szanowni Państwo

Z przyjemnością oddaję w Państwa ręce pierwszą, publikację monograficzną z cyklu „Biblioteka Nawigacji”, poświęconą Satelitarnemu Systemowi GPS, tym samym zapoczątkując serię wybranych dzieł z zakresu nawigacji. Zamierzeniem jej jest realizacja wydawnicza pozycji monograficznych oraz podręcznikowych adresowanych do studentów wyższych uczelni technicznych, pracowników nauki oraz osób zajmujących się zawodowo problematyką nawigacji morskiej, lądowej i powietrznej. Szczególnego znaczenia nabierają tu, jeszcze niedawno nieistniejące, a dziś bardzo dynamicznie rozwijające się aplikacje lądowe urzędów nawigacyjnych, które za sprawą coraz bardziej popularnych i ogólnospołecznie dostępnych: odbiorników pozycjonowania, systemów orientacji oraz informacji przestrzennej będą stanowić już wkrótce główny nurt rozwoju tej dziedziny.

Żywię nadzieję, że wysoki poziom merytoryczny, publikacyjny oraz edycyjny, stanie się nieodłącznym atrybutem „Biblioteki Nawigacji”.

Z poważaniem

Cezary Specht  
Redaktor Serii „Biblioteka Nawigacji”



# Spis treści

<b>Od Autora</b> .....	15
<b>ROZDZIAŁ I</b>	
<b>Geneza</b> .....	19
1.1. Transit .....	19
1.2. GPS .....	23
1.2.1. Faza I – weryfikacja koncepcji (1973-1979) .....	26
1.2.2. Faza II – rozwój do pełnej skali (1979-1985) .....	28
1.2.3. Faza III – produkcja i rozwinięcie (1985-1994) .....	29
1.2.4. Faza IV – działanie rozwiniętego systemu (1994- ) .....	31
<b>ROZDZIAŁ II</b>	
<b>Charakterystyka nawigacyjna</b> .....	32
2.1. GPS jako system radionawigacyjny .....	32
2.2. Poziomy dostęp do systemu .....	33
2.3. Formy ograniczenia dostępu do systemu .....	35
2.3.1. Selektywna dostępność .....	36
2.3.2. Przeciwdziałanie zakłóceniom celowym .....	38
2.4. GPS jako system profesjonalnej nawigacji .....	38
2.4.1. Charakterystyka serwisu .....	38
2.4.2. Strefa działania .....	39
2.4.3. Dostępność .....	41
2.4.3.1. Definicja dostępności .....	41
2.4.3.2. Charakterystyki dostępności .....	43
2.4.4. Niezawodność .....	46
2.4.4.1. Definicja niezawodności .....	46
2.4.4.2. Charakterystyki niezawodności .....	47
2.4.5. Dokładność określenia pozycji .....	48
2.4.5.1. Dokładność przewidywana .....	48
2.4.5.2. Dokładność powtarzalna .....	54
2.4.5.3. Dokładność względna .....	55
2.4.5.4. Dokładność transferu czasu .....	56
2.5. GPS jako system nawigacji komercyjnej .....	58
2.6. Przeznaczenie i potencjalne aplikacje .....	59
2.7. Serwis informacyjny systemu .....	63

## ROZDZIAŁ III

<b>Architektura</b> .....	65
3.1. Budowa .....	65
3.2. Segment kontrolny .....	66
3.2.1. Główna stacja kontrolna .....	68
3.2.2. Stacje monitorujące .....	68
3.2.3. Radiowe systemy nadawcze .....	70
3.3. Segment kosmiczny .....	70
3.3.1. Konstelacja .....	70
3.3.2. Rakieta nośna i koszty .....	74
3.3.3. Satelity .....	75
3.4. Segment użytkownika .....	78

## ROZDZIAŁ IV

<b>Wyznaczanie współrzędnych *</b> .....	79
4.1. Zasady pomiaru odległości w satelitarnym systemie stadiometrycznym .....	79
4.1.1. Sfera – jako powierzchnia pozycyjna .....	80
4.1.2. Ogólna zasada wyznaczania współrzędnych pozycji .....	82
4.1.3. Pseudoodległość i jej pomiar .....	85
4.1.3.1. Pseudoodległość .....	85
4.1.3.2. Błąd zegara satelity .....	88
4.1.3.3. Metody pomiaru pseudoodległości .....	88
4.1.3.3.1. Pomiary kodowe .....	89
4.1.3.3.1.1. Istota pomiaru kodowego .....	89
4.1.3.3.1.2. Wyznaczenie współrzędnych pozycji w pomiarach kodowych .....	90
4.1.3.3.2. Pomiary fazowe .....	95
4.1.3.3.2.1. Istota pomiaru fazowego .....	95
4.1.3.3.2.2. Pseudoodległość w pomiarach fazowych .....	97
4.1.3.3.2.3. Wyznaczenie współrzędnych pozycji w pomiarach fazowych .....	99
4.2. Dokładność określania pozycji .....	102
4.2.1. Błąd średni a współczynniki geometryczne .....	102
4.2.2. Współczynniki geometryczne w GPS .....	104
4.2.3. Minimalizacja wartości DOP .....	109
4.3. Planowanie pomiarów .....	115
4.4. Zastosowanie filtru Kalmana .....	121

## ROZDZIAŁ V

<b>Błędy pomiarów *</b> .....	125
5.1. Źródła błędów pomiarów .....	125
5.2. Jonosfera w pomiarach GPS .....	126
5.2.1. Jonosfera .....	126
5.2.2. Prędkość fazowa i grupowa sygnałów .....	127
5.2.3. Refrakcja jonosferyczna .....	131
5.2.4. Opóźnienie jonosferyczne .....	132
5.2.5. Algorytm Klobuchar'a .....	134
5.2.6. Pomiary dwuczęstotliwościowe .....	136
5.3. Troposfera w pomiarach GPS .....	136
5.3.1. Troposfera .....	136
5.3.2. Refrakcja troposferyczna .....	137
5.3.3. Model Hopfield .....	138
5.3.4. Model Saastamoinen .....	140
5.4. Wielodrogowość (wielodrożność) sygnałów GPS .....	141

## ROZDZIAŁ VI

<b>Ruchy satelity w ziemskim polu grawitacyjnym *</b>	144
6.1. Siły zachowawcze i perturbacyjne	144
6.2. Niezakłócony ruch SSZ	146
6.2.1. Siła ciężkości	146
6.2.2. Elementy orbity	147
6.2.3. Prawa Keplera	149
6.2.3.1. Pierwsze prawo	150
6.2.3.2. Drugie prawo	153
6.2.3.3. Trzecie prawo	155
6.3. Obliczanie współrzędnych położenia satelity	156

## ROZDZIAŁ VII

<b>Struktura sygnału **</b>	159
7.1. Komponenty sygnału	159
7.1.1. Częstotliwości nośne	161
7.1.1.1. Częstotliwość nośna L1	164
7.1.1.2. Częstotliwość nośna L2	165
7.1.2. Kody pseudoprzypadkowe	165
7.1.2.1. Istota i wybrane właściwości	165
7.1.2.2. Kody Gold'a	168
7.1.2.3. Kod pseudoprzypadkowy – C/A	168
7.1.2.4. Kod pseudoprzypadkowy – P	172
7.2. Korelacyjna metoda pomiaru odległości	176
7.3. Transmisja radiowa z widmem rozproszonym	179
7.3.1. Techniki dostępu do kanału radiowego	179
7.3.2. Szerokość pasma transmisji	180
7.3.3. Rozpraszanie widma	181
7.3.4. Odbiór sygnałów	184
7.3.4.1. Akwizycja	184
7.3.4.2. Śledzenie	186
7.4. Sygnał – jako element bezpieczeństwa	190
7.5. Odporność na zakłócenia	191

## ROZDZIAŁ VIII

<b>Depesza nawigacyjna **</b>	194
8.1. Przeznaczenie depechy	194
8.2. Format	195
8.3. Kontrola poprawności danych	197
8.4. Struktura	199
8.4.1. Słowa: TLM i HOW	199
8.4.2. Podramka 1	201
8.4.3. Podramki: 2 i 3	205
8.4.4. Podramki: 4 i 5	207

## ROZDZIAŁ IX

<b>Systemy różnicowe */**</b>	215
9.1. Geneza systemu DGPS	215
9.2. Zasady działania systemu DGPS	218
9.2.1. Istota metody różnicowej	218
9.2.2. Model matematyczny – pomiary kodowe	219
9.2.3. Model matematyczny – pomiary fazowe	222
9.3. Metody DGPS	223
9.4. DGPS a Selektywna Dostępność	226

9.5. Formatowanie poprawek DGPS .....	227
9.6. Wymagania ogólne DGPS .....	229
9.7. Wymagania techniczne DGPS .....	230
9.8. Elementy Systemu DGPS .....	231
9.8.1. Stacja referencyjna .....	233
9.8.2. Zespół nadawczy stacji referencyjnej .....	235
9.8.3. Stacja kontrolna .....	240
9.8.4. Stacja monitorująca .....	242
9.8.5. Odbiornik użytkownika .....	245
9.8.5.1. Odbiornik MSK .....	246
9.8.5.2. Odbiorniki zintegrowane .....	249
9.9. Polski system DGPS .....	250
9.9.1. Geneza systemu .....	250
9.9.2. Wyposażenie techniczne .....	252
9.10. System DGPS innych państw .....	253
9.11. Standard transmisji telemetrycznej RTCM S.C. – 104 .....	254
9.11.1. Założenia standardu .....	254
9.11.2. Rodzaje depez .....	255
9.11.2.1. Nagłówek .....	256
9.11.2.2. Depesza nr 1 .....	258
9.11.2.3. Depesza nr 2 .....	261
9.11.2.4. Depesza nr 3 .....	262
9.11.2.5. Depesza nr 5 .....	263
9.11.2.6. Depesza nr 6 .....	264
9.11.2.7. Depesza nr 7 .....	264
9.11.2.8. Depesza nr 8 .....	266
9.11.2.9. Depesza nr 15 .....	267
9.11.2.10. Depesza nr 16 .....	268
9.11.2.11. Depesze nr 18-21 .....	268
9.11.2.11.1. Depesza nr 18 .....	269
9.11.2.11.2. Depesza nr 19 .....	270
9.11.2.11.3. Depesza nr 20 .....	273
9.11.2.11.4. Depesza nr 21 .....	273
9.12. Wyznaczanie charakterystyk niezawodnościowych transmisji różnicowych GPS .....	274
9.12.1. Struktura niezawodnościowa systemów DGPS .....	275
9.12.2. Stany pracy systemu DGPS .....	277
9.12.2.1. Stany zdatności i niezdatności transmisji binarnej .....	278
9.12.2.2. Stany zdatności i niezdatności transmisji depezy RTCM .....	280
9.12.2.3. Stany zdatności i niezdatności transmisji różnicowej GPS .....	281
9.12.3. Model dostępności .....	283
9.12.3.1. Depesza RTCM nr 1 .....	283
9.12.3.2. Depesza RTCM 9-3 .....	286
9.12.3.2.1. Transmisja korekt PRC dla: 4, 5 lub 6 satelitów .....	287
9.12.3.2.2. Transmisja korekt PRC dla: 7, 8 lub 9 satelitów .....	288
9.12.3.2.3. Transmisja korekt PRC dla: 10, 11 lub 12 satelitów .....	291
9.12.4. Model niezawodności i ciągłości .....	295

**ROZDZIAŁ X**

<b>Odbiorniki</b> .....	300
10.1. Ogólne wymagania .....	301
10.2. Podział i klasyfikacja .....	302
10.3. Budowa techniczna .....	304
10.3.1. Instalacja .....	306
10.3.2. Typy i rodzaje .....	308
10.3.2.1. Odbiorniki ciągłego śledzenia .....	308
10.3.2.2. Odbiorniki sekwencyjne .....	311
10.3.2.3. Odbiorniki multipleksyjne .....	312
10.3.2.4. Odbiorniki hybrydowe .....	313
10.4. Obsługa odbiorników .....	313
10.4.1. Ogólna struktura funkcjonalna .....	313
10.4.2. Menu startowe .....	315
10.4.3. Menu śledzenia systemu .....	321
10.4.4. Menu nawigatora .....	321
10.4.5. Alarmy .....	327
10.4.6. Menu interfejsów .....	331
10.4.7. Standard NMEA .....	332
10.4.8. Format komunikatów NMEA .....	337
10.5. Symulatory GPS .....	339
10.5.1. Oprogramowanie .....	341
10.5.2. Generator scenariuszy .....	341
10.5.3. Uzupełniające możliwości generatora scenariuszy .....	343
10.5.4. Program wykonawczy .....	343

**ROZDZIAŁ XI**

<b>Wybrane zastosowania geodezyjne *</b> .....	345
11.1. Techniki pomiarów .....	345
11.2. Różnicowe pomiary fazowe .....	348
11.2.1. Pojedyncza różnica odległości .....	349
11.2.2. Podwójna różnica odległości .....	351
11.2.3. Potrójna różnica odległości .....	352
11.3. Nieoznaczoność pomiarów .....	353
11.4. Techniki pomiarów fazowych .....	357
11.4.1. Pomiary statyczne .....	357
11.4.2. Pomiary kinematyczne .....	360
11.5. Systemy GPS Total Station .....	361

**ROZDZIAŁ XII**

<b>EGNOS I GALILEO</b> .....	366
12.1. System EGNOS .....	366
12.1.1. Geneza, przeznaczenie i serwisy .....	366
12.1.2. Budowa .....	368
12.1.2.1. Segment kosmiczny .....	368
12.1.2.2. Segment naziemny .....	370
12.1.2.2.1. MCC – Centra Sterowania .....	370
12.1.2.2.2. RIAS – Stacje Monitorowania Odległości i Wiarygodności .....	372
12.1.2.2.3. NLES – Nawigacyjne Stacje Lądowe .....	373
12.1.2.2.4. EWAN – Sieć Telekomunikacyjna Systemu .....	374
12.1.2.3. Segment użytkownika .....	374
12.1.3. Sygnały .....	375

12.2. System GALILEO .....	376
12.2.1. Geneza .....	376
12.2.2. Założenie i plan realizacji .....	378
12.2.2.1. Faza definicji .....	380
12.2.2.2. Faza rozwinięcia i testowania .....	381
12.2.2.3. Fazy uruchomienia i pracy .....	382
12.2.3. Serwisy .....	382
12.2.4. Sygnały .....	386
12.2.5. Architektura .....	388
12.2.5.1. Segment kosmiczny .....	390
12.2.5.2. Segment naziemny .....	393
12.2.6. Przyszłość Systemu .....	395
Słownik podstawowych terminów GPS .....	397
Bibliografia .....	405



## Od Autora

### ... kilka słów o nawigacji na początku XXI wieku

Gdybyśmy w kilku słowach zamierzali odpowiedzieć na pytanie – czym jest współczesna nawigacja, szybko okazałoby się, że to raczej problem na opasłe tomy, bowiem tu, nawet najdoskonalszy zamysł lapidarności łamie się o wagę zagadnienia. Zatem owych „kilka słów” przyjmijmy jako historycznie już widziane wprowadzenie do dalszej części książki.

Jedno natomiast nie ulega wątpliwości – owo zagadnienie nie istnieje w oderwaniu od Globalnego Systemu Pozycyjnego. GPS – to swego rodzaju synonim nawigacji XXI wieku i czasów, w których żyjemy. Obecnie z pewną nostalgią spoglądamy na inne techniki nawigacyjne, wypierane przez ogromne możliwości różnorodnych aplikacji GPS. Klasyczną nawigację zdefiniowaną mapą, szczegółowo ustalonymi i często długotrwałymi procedurami pomiarowymi, skomplikowanymi wzorami matematycznymi i podobno „sztuką”, mamy już za sobą. Sprawczynią tego stanu jest również nawigacja satelitarna. Dzięki tak nowoczesnej technologii trud uzyskania odpowiedzi na odwieczne pytanie nawigatora o współrzędne pozycji – dziś jest w zasadzie zniwelowany, a odpowiedź może zostać udzielona niemal wszędzie i o każdym czasie. Jednak zaskakiwać może charakter i pęd owej wiedzy nawigatorów. Otóż, przy tak dynamicznym rozwoju cywilizacyjnym mamy do czynienia z zaawansowanymi technicznymi metodami wykorzystywanymi w nawigacji, przy ich jednoczesnym mnożeniu się. Niestety często odbywa się to kosztem szczegółowego rozumienia poszczególnych zagadnień, co w konsekwencji skutkuje pewną powierzchownością. Jako dziedzina działalności ludzkiej – nawigacja staje się powoli procesem przetwarzania i selekcji docierającej informacji. Cechą jej jest malejący poziom kontroli przebiegu poszczególnych podprocesów, nie mówiąc już o ich weryfikacji. Informacja podawana nawigatorowi-operatorowi systemu jest syntezą wyjść przetwarzanych procesów, wymagająca jednocześnie szybkiej i poprawnej oceny. Co prawda rozbudowane systemy nawigacyjne wykorzystują wiele procedur sprawdzających czy wręcz wspomagających decyzję, jednak obecnie nie jest to jeszcze podejście kompleksowe i nie zabezpiecza przed błędnymi diagnozami.

Jednym z niezbędnych i w ogólnym mniemaniu – bezbłędnych oraz niezawodnych cudów techniki naszych czasów jest system GPS, którego wykorzystanie we współczesnej nawigacji staje się wręcz „kultowe”. Własne doświadczenie pozwala zauważyć, że zaledwie kilka lat temu niezbędną wiedzą umożliwiającą przejście morzem z Gdyni do Świnoujścia była nieskomplikowana umiejętność odróżnienia lewej i prawej ręki – kojarzonych odpowiednio z lądem i morzem. Natomiast dziś wystarczy być zorientowanym gdzie znajduje się odbiornik GPS. A poważnie mówiąc – ciągłość i precyzja otrzymywanej z odbiornika pozycji przewartościowała wiele aspektów współczesnej nawigacji. Przy wielości funkcji prostego odbiornika, dała nowe możliwości bieżącego obrazowania sytuacji nawigacyjnej na wszelkich odmianach morskich i lądowych map elektronicznych, począwszy od prostych ploterów, poprzez Elektroniczne Mapy Nawigacyjne (ang.: Electronic Navigational Chart – ENC) po Geodezyjne Systemy

Informacyjne (GIS). W nawigacji morskiej i lotniczej połączenie bieżącej pozycji, mapy oraz danych o sytuacji kolizyjnej, dostępnych dzięki nowoczesnym radarom z możliwością automatycznego śledzenia celów (ARPA) zintegrowało nawigacyjny proces sterowania ruchem obiektu, nadając mu współczesny wymiar.

Dotychczas niedostrzegana – nawigacja lądowa stała się niewątpliwie najszybciej rozwijającą się dziedziną wykorzystującą szeroki wachlarz komercyjnych i profesjonalnych możliwości systemu GPS. Mimo, iż systemy nawigacyjne, łączące wektorową mapę elektroniczną, pozycjonowanie satelitarne oraz samochodowe mierniki prędkości i kierunku, montowane są jedynie w modelach samochodów najwyższej klasy – „jutro” możemy spodziewać się takich rozwiązań w pojazdach „dla każdego” w ramach ich standardowego wyposażenia. Pokusić się można o stwierdzenie, że czas systemu GPS dopiero nadchodzi, biorąc pod uwagę nieprzebraną liczbę potencjalnych użytkowników lądowych i ich samochodów, z których każdy będzie posiadał odbiornik satelitarny.

Celowym staje się postawienie następującego pytania: cóż zdecydowało o takiej popularności systemu GPS? Wydaje się, że czynników takich jest wiele, z których zasadniczym (poza technicznym) jest niespotykana w dotychczasowych systemach radionawigacyjnych prostota obsługi odbiorników oraz czytelność, już dla czwartoklasisty, system prezentacji geograficznych współrzędnych pozycji. Gdyby przyjąć, że jedynym zadaniem odbiornika nawigacyjnego jest określanie współrzędnych pozycji, można by śmiało stwierdzić, że jego obsługa sięgnęła maksimum swej prostoty – „podłącz i działaj”. Paradoksalnie – w przypadku GPS – zaawansowanie techniczne systemu również sięgnęło optimum, lecz swej złożoności. Magiczne – „plug and play” znane już kilkuletnim miłośnikom komputerów przechodzi na wszelkie dziedziny życia ludzkiego, w tym także na systemy pozycyjne, z których GPS jest tego najlepszym przykładem.

Z drugiej jednak strony, prawie absolutna niezawodność i pewność tego systemu powoduje, że wskazania odbiorników, dla części nawigatorów stają się podstawą do określania niemierzonych bezpośrednio przez odbiornik parametrów: kursu, prędkości czy weryfikacji innych, niejednokrotnie bardziej precyzyjnych nawigacyjnych przyrządów pomiarowych. Ta niepokojąca praktyka wynika po części z wygodnictwa, ale także z braku podstawowej wiedzy o tym systemie oraz wszechpanującej opinii o jego doskonałości. Wspomniany dysonans pogłębia wielość funkcji i operacji, które oferuje swemu użytkownikowi współczesny odbiornik, czyniąc go czarną skrzynką do odczytywania różnych wielkości otrzymywanych według nie do końca jasnych, dla przeciętnego użytkownika, procedur.

Przy tak ogromnej popularności „wiedza o GPS” nie należy do zagadnień prostych. Zasadniczymi jej działami są: telekomunikacja, informatyka, automatyka, nawigacja, geodezja, astronomia, przy uwzględnieniu ich niezmiernie wysokiego poziomu merytorycznego. Już samo ich wymienienie przyprawia o zawrót głowy. Stąd też przyswojenie tych danych wymaga wszechstronnego rozeznania technicznego, a nawet można zaryzykować twierdzenie, iż jest tematyką wysoce złożoną i trudną. Podejmując monograficzną próbę prezentacji systemu GPS, wielokrotnie zastanawiałem się nad jej stroną metodyczną oraz ogólną formą i koncepcją. Generalnym zamysłem publikacji była próba połączenia potrzeb szerokiej grupy użytkowników GPS (których zawiłe rozważania teoretyczne zniechęcają do dalszej lektury) z wysokimi wymaganiami stawianymi zawodowym nawigatorom, zarówno morskimi, lotniczymi czy lądowymi. Nie ukrywam, iż ambicjonalnym zamierzeniem autora było zawarcie w niej również treści nie publikowanych dotychczas w polskiej literaturze – rozważających zagadnienia szczegółowe. Dotyczą one zasadniczo problemów technicznych (często traktowanych pobieżnie) oraz teleinformatycznych – praktycznie pomijanych w publikacjach zwartych.

Odzwierciedleniem powyżej wspomnianych celów jest struktura książki. Jej rozdziały zostały podzielone wg. złożoności rozważanej problematyki i odpowiadających jej grup użytkowników. Przy tytułach wybranych – bardziej złożonych – części, za pomocą gwiazdek, oznaczono ich potencjalnych adresatów, gdzie:

- Rozdziały nieoznaczone gwiazdką przeznaczone są dla praktyków nawigacji zarówno zawodowo jak i amatorsko z nią związanych. W sferze profesjonalnej dotyczą oficerów wachtowych statków handlowych, okrętów Marynarki Wojennej i Straży Granicznej, statków rybackich, pilotów statków powietrznych jak również szerokiej rzeszy żeglarzy profesjonalnych. Natomiast z amatorskiej strony nie sposób zapominać o wielbicielach wszelkiego rodzaju sportów i aktywności ludzkiej, w których istnieje „element nawigacji” takich jak turystyka, baloniarstwo, lotniarstwo, czy nawet dziś tak modny „surveying”, rozumianych w kategoriach zbliżonych do harcersko-wojskowych.
- Części opatrzone znakiem (\*), stanowiące rozwinięcie teoretyczne zagadnień praktycznych, zaadresowano do studentów uczelni politechnicznych (posiadających szczególne predyspozycje techniczne) takich jak: Uczelnie Morskich, Lotniczych, jak i wybranych Wydziałów Politechnik oraz innych.
- Najmniejszą liczbę potencjalnych czytelników zakładają podrozdziały dwugwiazdkowe (\*\*) rozważające zagadnienia szczegółowe, którymi przeciętny użytkownik najczęściej nie jest zainteresowany, lecz ich treści mogą stanowić uzupełnienie prac kwalifikacyjnych.

## Układ książki

Rozdział I: **Geneza** jest poświęcony aspektowi historycznemu realizacji projektu Navstar-GPS. Czytelnik znajdzie tu rys historyczny powstania systemu GPS, począwszy od pierwszych satelitów Timation, a skończywszy na roku 2000, w którym system zaczął pracować (bez żadnych celowych ograniczeń) w pełni swych technicznych możliwości. Część ta ma charakter dokumentalistyczny, stanowiący historyczne uzupełnienie następujących po niej rozdziałów typowo technicznych.

Rozdział II: **Charakterystyka nawigacyjna** definiuje podstawowe pojęcia z zakresu nawigacji niezbędne czytelnikowi w dalszej lekturze oraz charakteryzuje podstawowe cechy eksploatacyjne systemu GPS, takie jak dokładność określenia pozycji, dostępność, niezawodność i strefę działania. Jego z pozoru dyskusyjne położenie w strukturze publikacji wynika z konieczności wstępnego opisu systemu z punktu widzenia ogólnych cech eksploatacyjnych. Są one oparte o opublikowane przez Departament Obrony USA wybrane standardy dotyczące GPS – stanowiące formę swoistej „gwarancji” dla użytkownika.

Rozdział III: **Architektura** stanowi wprowadzenie do teorii systemu. Obejmuje on swym zakresem strukturę funkcjonalną segmentów, relacje między nimi oraz zakres działania. Szczegółowo scharakteryzowano tu segment kontrolny odpowiadający za nieprzerwaną pracę systemu.

Rozdział IV: **Wyznaczanie współrzędnych** to klucz do zrozumienia istoty działania GPS. Czytelnik znajdzie w nim opis metody pomiaru odległości – początkowo pozbawiony złożonych formuł matematycznych. Bardziej wymagający odbiorca w części tej znajdzie modele matematyczne wyznaczenia współrzędnych pozycji oraz rozwiniętą analizę relacji geometrycznych w systemie. Jako ostatni element zaprezentowano zagadnienia filtracji kalmanowskiej odnoszącej się do pomiarów GPS.

Rozdział V: **Błędy pomiarów** obejmuje analizę źródeł oraz przyczyn występowania błędów w pomiarach GPS. Poddano w nim ocenie zarówno czynniki propagacyjne jak i uwarunkowania techniczne.

Rozdział VI: **Ruch satelity w ziemskim polu grawitacyjnym** opisuje podstawy teoretyczne ruchu satelity GPS w ziemskim polu grawitacyjnym. Prawa ruchu planet Keplera oraz wyznaczanie położenia satelity na orbicie stanowią treść tej części.

Rozdział VII: **Struktura sygnału** należy do dość złożonych zagadnień związanych z transmisją sygnałów satelitarnych. Scharakteryzowano tu metody generowania kodów pseudo-przypadkowych GPS, rozpraszania widma sygnału GPS, jak również korelacyjną metodę pomiaru pseudoodległości w systemie.

Rozdział VIII: **Depesza nawigacyjna** to szczegółowy opis danych transmitowanych w depeszy satelitarnej GPS. Nie ulega wątpliwości, że przeciętny użytkownik GPS treściami tej części nie będzie zainteresowany, jednakże zaprezentowana tu informacja może być uzupełnieniem wiedzy specjalistycznej.

Rozdział IX: **Systemy różnicowe** opisuje podstawy teoretyczne, metody oraz techniki wykorzystania systemu GPS w wersji różnicowej. Szczególną uwagę poświęcono morskim systemom DGPS powszechnie wykorzystywanych na akwenach morskich RP. Zaprezentowano tu również przegląd technik różnicowych GPS wykorzystujących telemetrię satelitarną, do których należą m.in. EGNOS. W jednym z podrozdziałów zaprezentowano autorską metodę wyznaczania dostępności, niezawodności i ciągłości transmisji różnicowej GPS.

Rozdział X: **Odbiorniki** skierowany jest do szerokiej rzeszy nieprofesjonalnych użytkowników. Czytelnik może w nim znaleźć szereg praktycznych informacji dotyczących montażu, wykorzystania czy obsługi morskich, lotniczych oraz lądowych odbiorników GPS. Ten rozdział może okazać się równie pomocnym w wyjaśnieniu wielu terminów i funkcji, które pojawiają się na wyświetlaczach typowych odbiorników GPS.

Rozdział XI: **Wybrane zastosowania geodezyjne** to część adresowana do konkretnej grupy zawodowej, która poza nawigatorami stanowi drugą w zakresie liczebności społeczność zawodowo wykorzystującą system GPS. Teorię pomiarów fazowych, techniki pomiarów, metody ich planowania i wykonywania, opisano w niniejszym rozdziale.

Rozdział XII: **Egnos i Galileo** stanowiący ostatnią część książki odnosi się do koncepcji oraz realizacji związanych z tworzeniem europejskiego systemu nawigacji satelitarnej „Galileo”. System ten - już w 2008 roku - będzie strukturą konkurencyjną w stosunku do GPS.

Mimo, iż przedstawiane treści obejmują zagadnienia rozważane w procesach dydaktycznych wielu uczelni, jak również były tematem publikacji, to niektóre z nich nie zostały jeszcze w pełni uściśnione w zakresie terminologicznym. Stąd też istotne sformułowania związane z nazewnictwem i terminologią GPS zawierają obcojęzyczne odpowiedniki, w celu uniknięcia niezrozumiałości w tym względzie. Jednocześnie, na końcu książki zasadnym było umieszczenie słownika terminologicznego związanego z systemem GPS.

## Podziękowania

W tym miejscu składam serdeczne podziękowania osobom, które przyczyniły się do powstania książki. Na pierwszym miejscu chciałbym gorąco podziękować moim studentom, których dociekliwość i otwarte spojrzenie wpłynęło na jej kształt. Szczególne słowa kieruję również do osób, które czytając poszczególne rozdziały wniosły do nich nowe myśli, oceniały i sugerowały stosowne zmiany. Należą się one przede wszystkim Państwu: Annie i Aleksandrowi Nowak, których uwagi zarówno merytorycznej jak i językowej treści niezmiernie wysoko cenię.

Państwa sugestie, oceny i poglądy dotyczące odbioru niniejszej publikacji proszę kierować na poniższy adres. Zostaną one uwzględnione w kolejnym wydaniu. Za wszelkie uwagi i opinie serdecznie dziękuję.

*Autor*

Gdańsk, grudzień 2006