

**Wstęp XI**

**Wykaz najważniejszych skrótów XIII**

**1. PODSTAWY RUCHU SZTUCZNEGO SATELITY ZIEMI PO ORBICIE OKOŁOZIEMSKIEJ 1**

**1.1. Sztuczny satelita Ziemi 1**

- 1.1.1. Satelita nawigacyjny 2
- 1.1.2. Teoria ruchu satelity 2
- 1.1.3. Pierwsza prędkość kosmiczna 3

**1.2. Ruch sztucznego satelity po orbicie okołoziemskiej 4**

- 1.2.1. Prawa Keplera 4
- 1.2.2. Orbita satelity i jej elementy 7
- 1.2.3. Widzialność satelity 10
- 1.2.4. Trasa satelity na powierzchni Ziemi 15

**1.3. Parametry położenia satelity i obserwatora w przestrzennym układzie współrzędnych prostokątnych 15**

- 1.3.1. Ogólna charakterystyka przestrzennych układów współrzędnych prostokątnych 15
- 1.3.2. Określanie parametrów położenia i ruchu satelity na podstawie znajomości elementów jego orbity 16
- 1.3.3. Współrzędne prostokątne pozycji obserwatora w geocentrycznym układzie ziemskim 20

**2. TEORETYCZNE PODSTAWY DZIAŁANIA NAWIGACYJNYCH SYSTEMÓW SATELITARNYCH 24**

**2.1. Określanie różnicy odległości między pozycją użytkownika a kolejnymi pozycjami satelity 24**

- 2.1.1. Wykorzystanie zjawiska Dopplera 26
- 2.1.2. Zasada scałkowanych pomiarów dopplerowskich 30
- 2.1.3. Wpływ refrakcji jonosferycznej 31

**2.2. Określanie odległości dzielącej satelitę od użytkownika 32**

- 2.2.1. Pomiar pseudoodległości dzielącej satelitę od użytkownika 32
- 2.2.2. Wpływ refrakcji jonosferycznej 33
- 2.2.3. Wpływ refrakcji troposferycznej 38

**2.3. Budowanie nawigacyjnych systemów satelitarnych i ich założenia 40**

**2.4. Organizacja nawigacyjnych systemów satelitarnych 42**

- 2.4.1. Segment kosmiczny 43
- 2.4.2. Segment naziemny 48
- 2.4.3. Segment użytkownika 50
- 2.4.4. Częstotliwość fali nośnej 51
- 2.4.5. Sposoby modulacji i kodowania sygnałów 53
- 2.4.6. Interfejsy i formaty transmisji danych 55

**2.5. Parametry eksploatacyjne nawigacyjnych systemów satelitarnych 58**

- 2.5.1. Zasięg systemu 58
- 2.5.2. Dokładność określanej pozycji użytkownika 58
- 2.5.3. Dostępność i nasycenie systemu 59
- 2.5.4. Zdolność systemu do ostrzegania o niewłaściwym funkcjonowaniu 60
- 2.5.5. Opłaty za korzystanie z systemu 61

### **3. OKREŚLANIE POZYCJI ZA POMOCĄ NAWIGACYJNYCH SYSTEMÓW SATELITARNYCH I JEJ DOKŁADNOŚCI 62**

#### **3.1. Matematyczne podstawy określania współrzędnych pozycji i oceny jej dokładności 62**

- 3.1.1. Obliczanie współrzędnych pozycji **63**
- 3.1.2. Ocena dokładności określania pozycji **65**
- 3.1.3. Czynniki wpływające na dokładność pozycji użytkownika **72**

#### **3.2. Geoida, elipsoida i układy odniesienia 74**

- 3.2.1. Geoida i elipsoida **74**
- 3.2.2. Układy odniesienia **77**

#### **3.3. Pojęcie czasu, jego wzorce i skale 80**

- 3.3.1. Wzorce czasu i częstotliwości **82**
- 3.3.2. Definicja jednostki czasu **84**
- 3.3.3. Skale czasu **85**

### **4. SYSTEM GPS NAVSTAR, SEGMENT KOSMICZNY I NAZIEMNY 91**

#### **4.1. Budowanie systemu i jego założenia 91**

#### **4.2. Segment kosmiczny – satelity systemu 96**

- 4.2.1. Parametry orbit, liczba i rozmieszczenie satelitów **96**
- 4.2.2. Budowa satelity **101**
- 4.2.3. Konstelacja satelitów i jej parametry **106**

#### **4.3. Charakterystyka sygnałów emitowanych przez satelitę 109**

- 4.3.1. Częstotliwość nośna **109**
- 4.3.2. Modulacja sygnału **111**
- 4.3.3. Kodowanie sygnałów **114**
- 4.3.4. Depesza nawigacyjna **117**
- 4.3.5. Zniekształcenia i zakłócenia **126**

#### **4.4. Segment naziemny 128**

- 4.4.1. Stacje śledzące **129**
- 4.4.2. Stacja główna **130**
- 4.4.3. Stacje korygujące **132**

### **5. SYSTEM GPS NAVSTAR, SEGMENT UŻYTKOWNIKA 133**

#### **5.1. Określanie pozycji użytkownika i jej dokładność 133**

- 5.1.1. Pomiar pseudoodległości **133**
- 5.1.2. Błędy pomiaru pseudoodległości, budżet błędów **135**
- 5.1.3. Obliczanie współrzędnych satelity i użytkownika **141**
- 5.1.4. Dokładność pozycji użytkownika **145**

#### **5.2. Charakterystyka ogólna odbiorników nawigacyjnych 147**

- 5.2.1. Odbiorniki XX wieku **148**
- 5.2.2. Zasada działania współczesnego odbiornika **149**
- 5.2.3. Antena odbiorcza **151**
- 5.2.4. Odbiorniki GPS w odbiornikach wielosystemowych **154**
- 5.2.5. Podział odbiorników systemu GPS **155**

#### **5.3. Parametry techniczno-eksploatacyjne odbiorników 155**

- 5.3.1. Parametry odbiorników stacjonarnych **156**
- 5.3.2. Parametry odbiorników przenośnych **176**

#### **5.4. Kryteria i wymagania odnoszące się do odbiorników systemu GPS 180**

5.4.1. Wymogi Międzynarodowej Organizacji Morskiej IMO 181

5.4.2. Wymogi Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej IEC 183

### **6. SYSTEM GPS NAVSTAR, EKSPLOATACJA I PERSPEKTYWY ROZWOJU 185**

#### **6.1. Eksploatacja systemu 185**

6.1.1. Zastosowanie systemu w różnych dziedzinach gospodarki i nauki 185

6.1.2. Wybrane parametry eksploatacyjne systemu 187

6.1.3. Ograniczenia eksploatacyjne systemu 188

6.1.4. Problemy eksploatacyjne odbiornika stacjonarnego 189

6.1.5. Problemy eksploatacyjne odbiornika przenośnego 190

6.1.6. Zliczanie czasu w systemie GPS 192

#### **6.2. Perspektywa rozwoju systemu 194**

6.2.1. Rozbudowa i modernizacja segmentu kosmicznego 194

6.2.2. Nowe częstotliwości nośne i kody 196

6.2.3. Segment naziemny 200

6.2.4. Segment użytkownika, przewidywana dokładność pozycji 202

6.2.5. System GPS trzeciej generacji 204

6.2.6. Plany radionawigacji administracji amerykańskiej 206

### **7. SYSTEM GLONASS 208**

#### **7.1. Budowanie systemu 208**

#### **7.2. Segment kosmiczny 209**

7.2.1. Parametry orbit, liczba i rozmieszczenie satelitów 210

7.2.2. Budowa satelity 213

7.2.3. Częstotliwość nośna 214

7.2.4. Depesza nawigacyjna 215

#### **7.3. Segment naziemny 216**

#### **7.4. Określanie pozycji 217**

#### **7.5. Stan obecny systemu i perspektywy na przyszłość 218**

### **8. ODMIANY RÓŻNICOWE NAWIGACYJNYCH SYSTEMÓW SATELITARNYCH 221**

#### **8.1. Ogólna koncepcja odmiany różnicowej 221**

8.1.1. Funkcjonowanie systemu satelitarnego w odmianie różnicowej 221

8.1.2. Metody określania poprawek różnicowych i ich przesyłania użytkownikom 222

8.1.3. Określanie pozycji użytkownika i jej błąd 224

#### **8.2. Odmiana różnicowa systemu GPS – DGPS 225**

8.2.1. Zasada odmiany różnicowej 226

8.2.2. Budowanie odmiany różnicowej dla użytkownika morskiego 228

8.2.3. Wykorzystanie odmiany różnicowej w nawigacji morskiej 231

8.2.4. Format transmisji danych RTCM SC-104 233

8.2.5. Odbiorniki nawigacyjne 239

8.2.6. Wymagania ITU i IMO 242

8.2.7. Sieciowe wersje odmiany różnicowej 243

8.2.8. Komercyjne wersje odmiany różnicowej 248

8.2.9. Współpraca odbiornika DGPS z innymi urządzeniami 250

8.2.10. Zalety i wady odmiany różnicowej z punktu widzenia nawigacji morskiej 250

### **8.3. Odmiana różnicowa systemu GLONASS – DGLONASS 252**

#### **8.4. Satelitarne systemy wspomagające 252**

- 8.4.1. System WAAS 254
- 8.4.2. System EGNOS 256
- 8.4.3. System MSAS 261
- 8.4.4. System QZSS 261
- 8.4.5. Odbiorniki systemów wspomagających 263
- 8.4.6. Porównanie systemów wspomagających 263

### **9. SYSTEM GALILEO 266**

#### **9.1. Budowanie systemu 266**

#### **9.2. Założenia systemu 270**

- 9.2.1. Projekty i kontrakty przyjęte w ramach programu Galileo 270
- 9.2.2. Korzyści z wprowadzenia systemu na rynek 272
- 9.2.3. Przewidywana liczba użytkowników 274

#### **9.3. Segment kosmiczny 274**

- 9.3.1. Konstelacja satelitów i jej parametry 274
- 9.3.2. Budowa satelity 275
- 9.3.3. Budowanie segmentu kosmicznego 276

#### **9.4. Charakterystyka sygnałów emitowanych przez satelity 277**

- 9.4.1. Częstotliwość nośna i parametry sygnału 277
- 9.4.2. Depesza nawigacyjna 280

#### **9.5. Segment naziemny 283**

- 9.5.1. Działanie segmentu naziemnego 283
- 9.5.2. Liczba i rozmieszczenie stacji śledzących 285

#### **9.6. Serwisy oferowane przez system Galileo 285**

- 9.6.1. Serwis otwarty 286
- 9.6.2. Serwis komercyjny 287
- 9.6.3. Serwis bezpieczeństwa życia 288
- 9.6.4. Serwis regulowany publicznie 289
- 9.6.5. Serwis poszukiwania i ratowania 290

#### **9.7. Perspektywy wykorzystania systemu w różnych dziedzinach gospodarki 291**

- 9.7.1. Transport 291
- 9.7.2. Telekomunikacja 294
- 9.7.3. Finanse, bankowość i ubezpieczenia 295
- 9.7.4. Inne dziedziny gospodarki 295

#### **9.8. Odbiorniki systemu Galileo 296**

#### **9.9. Analiza porównawcza systemów Galileo, GPS i GLONASS 298**

### **10. INNE SYSTEMY SATELITARNE 301**

**Literatura 305**

**Skorowidz 309**