

Spis treści

Wstęp	7
1. Podstawy teoretyczne	
globalnego systemu nawigacji satelitarnej (GNSS)	9
1.1. Wprowadzenie	9
1.2. Systemy i układy odniesienia oraz układy współrzędnych w geodezji	10
1.3. Światowy system geodezyjny WGS84	14
1.4. Transformacja współrzędnych z układu ITRF do układu ETRF	15
1.5. Układy współrzędnych geodezyjnych i kartograficznych stosowane w Polsce	19
1.5.1. Sieć POLREF, elipsoidy odniesienia	19
1.5.2. Układy kartograficzne na elipsoidzie Krasowskiego	20
1.5.3. Układy kartograficzne na elipsoidzie WGS84 obowiązujące w Polsce	20
1.5.4. Współrzędne kartezjańskie i współrzędne elipsoidalne (geodezyjne)	21
1.5.5. Transformacja współrzędnych kartezjańskich pomiędzy układem POLREF a układem Pułkowo 42 na obszarze Polski	22
1.6. Czas w systemie GPS	24
2. System GPS (GNSS) i jego znaczenie w geodezji	30
2.1. Globalne systemy nawigacji satelitarnej (GNSS) – rys historyczny	30
2.2. System GPS – ewolucja segmentu satelitarnego	31
2.3. System GLONASS – stan aktualny i perspektywy rozwoju	33
2.4. System Galileo	34
2.5. Aspekt geodezyjny GNSS	35
3. Elementy teorii ruchu keplerowskiego	
sztucznych satelitów Ziemi (SSZ)	37
3.1. Wprowadzenie	37
3.2. Elementy geometrii elipsy	37

3.3. Rozwiązanie równania ruchu keplerowskiego, prawa Keplera	40
3.4. Prawo zachowania energii w ruchu keplerowskim	45
3.5. Ruch satelity w płaszczyźnie orbity	46
3.6. Położenie SSZ w przestrzeni	49
3.7. Położenie satelity GPS w układzie geocentrycznym	50
3.8. Współrzędne satelity GPS w układzie horyzontalnym	57
3.9. Transformacja błędów średnich współrzędnych punktu ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) z układu geocentrycznego kartezjańskiego na układ geodezyjny ($\sigma_\varphi, \sigma_\lambda, \sigma_h$)	61
4. Wybrane zadania geodezyjne wykonywane z wykorzystaniem techniki GPS	64
4.1. Wykorzystanie techniki GPS	
do wyznaczenia undulacji quasi-geoidy	64
4.1.1. Wprowadzenie	64
4.1.2. Metody wyznaczenia odstepu lokalnej quasi-geoidy od elipsoidy oraz składowych odchylenia linii pionu	65
4.1.3. Problemy wyznaczenia i wykorzystania precyzyjnego lokalnego modelu quasi-geoidy	70
4.1.4. Eksperymenty pomiarowe	71
4.1.5. Porównanie lokalnego modelu quasi-geoidy z modelami krajowymi	81
4.1.6. Wyznaczenie współrzędnych punktów niedostępnych na podstawie pomiarów kątowych i GPS z uwzględnieniem wpływu odchylenia linii pionu	82
4.2. Przykłady zastosowania techniki GPS w badaniach deformacji terenu na obszarach górniczych	86
4.2.1. Wprowadzenie	86
4.2.2. Nawiązanie sieci niwelacyjnych za pomocą techniki GPS	88
4.2.3. Kontrolne pomiary GPS w sieciach niwelacyjnych	93
4.2.4. Adaptacja sieci niwelacyjnych do wykonywania niwelacji za pomocą techniki GPS	93
4.2.5. Monitorowanie stałości punktów nawiązania sieci niwelacyjnej za pomocą pomiarów GPS	94
4.2.6. Wykorzystanie techniki GPS do badania deformacji powierzchni terenu na obszarze górniczym	97
4.3. Przykłady wykorzystania techniki GPS do badania dokładności współrzędnych punktów osnów geodezyjnych	99
4.3.1. Transformacja współrzędnych uzyskanych za pomocą pomiarów GPS do układu lokalnego	99

4.3.2. Badanie dokładności osnowy poziomej II klasy	103
4.3.3. Wykorzystanie stacji permanentnej KRAW przy weryfikacji dokładności transformacji osnowy klasy III z układu lokalnego krakowskiego do układu „2000”	117
4.3.4. Porównanie wyników z pomiarów GPS uzyskanych metodą statyczną oraz metodą RTK z wykorzystaniem odbiorników Leica i Spectra	124
4.4. Podsumowanie	127
5. Wykorzystanie stacji permanentnych w podnoszeniu dokładności, efektywności i niezawodności techniki GPS w praktyce geodezyjnej	130
5.1. Równania obserwacyjne w pomiarach sygnałów GPS	130
5.2. Estymacja lokalnej refrakcji różnicowej	132
5.2.1. Wprowadzenie	132
5.2.2. Wyznaczenie całkowitoliczbowych początkowych nieoznaczoności cykli fazowych dla wektorów stacji referencyjnych	134
5.2.3. Wyznaczenie drugoróżnicowej lokalnej poprawki jonosferycznej	142
5.2.4. Model refrakcji jonosferycznej	144
5.2.5. Wyznaczenie drugoróżnicowej lokalnej poprawki troposferycznej	145
5.2.6. Interpolacja poprawek refrakcyjnych	146
5.2.7. Przykłady opracowania danych testowych	148
5.2.8. Wykorzystanie danych pomiarowych z ASG do oszacowania jakości wybranych sesji oraz do poprawienia wysokości elipsoidalnej punktów wyznaczanych	153
5.3. Zjawisko wielotorowości sygnałów satelitarnych oraz metody jego identyfikowania i eliminowania	156
5.3.1. Wprowadzenie	156
5.3.2. Identyfikacja występowania efektu wielotorowości w pomiarach sygnałów GPS wykonanych na stacji permanentnej z wykorzystaniem obserwacji fazowych i kodowych	160
5.3.3. Eliminowanie wpływu wielotorowości z obserwacji fazowych z wykorzystaniem powtarzalności przebiegu zaburzeń po upływie doby gwiazdowej	163
5.3.4. Modelowanie zmian przebiegu parametru SNR	169
5.3.5. Eliminowanie wpływu efektu wielotorowości sygnału GPS z zastosowaniem analizy czasowo-częstotliwościowej oraz filtrowania residuów podwójnych różnic	173

5.4. Charakterystyka absolutna i względna	
anten odbiorników sygnałów GPS	176
5.4.1. Wprowadzenie	176
5.4.2. Nawiązanie punktu AGH0 do ASG – przykład liczbowy	180
5.4.3. Wpływ charakterystyk anten	
na dokładność wyznaczenia wysokości elipsoidalnej	182
5.5. Szeregi czasowe rozwiązań wektorów GPS na przykładzie ASG	183
5.6. Stacja permanentna KRAW	188
5.6.1. Wprowadzenie	188
5.6.2. Stacja KRAW w sieci EPN	188
5.6.3. Szeregi czasowe rozwiązań EUREF	
w układach ITRF i ETRF	189
5.6.4. Aproksymacja okresowych zmian współrzędnych	
stacji KRAW	190
5.6.5. Względne prędkości stacji permanentnych	192
5.6.6. Stacja KRAW w sieciach ASG-PL, MSPP i ASG-EUPOS	193
5.6.7. Protokół internetowy Ntrip	196
5.6.8. Pomiary z wykorzystaniem transmisji danych	
za pośrednictwem Internetu	197
Literatura	205
Spis wybranych skrótów używanych w podręczniku	213