

## SPIS TREŚCI:

<b>Przedmowa</b> .....	11
<b>1. WPROWADZENIE DO GEODEZJI WYŻSZEJ</b>	
Z historii geodezji .....	13
<b>1.1. Kształt Ziemi. Powierzchnie odniesienia. Naukowe i praktyczne zadania geodezji. Podział geodezji wyższej</b> .....	18
<b>1.2. Wprowadzenie do geodezji fizycznej</b> .....	22
1.2.1. Siła ciężkości .....	22
1.2.2. Powierzchnie poziome. Linie pionu .....	24
1.2.3. Pojęcie wysokości .....	25
1.2.4. Układ współrzędnych naturalnych .....	26
1.2.5. Umowny układ ziemski – CTS .....	28
<b>2. ZAGADNIENIA GEOMETRYCZNE GEODEZJI WYŻSZEJ</b>	
<b>2.1. Elipsoida obrotowa jako powierzchnia odniesienia</b> .....	31
2.1.1. Elementarne związki pomiędzy parametrami elipsoidy .....	31
2.1.2. Układ współrzędnych geodezyjnych $B, L$ .....	33
2.1.3. Przekroje normalne elipsoidy obrotowej i ich krzywizny .....	34
2.1.4. Szerokość geocentryczna i szerokość zredukowana .....	37
2.1.5. Równania parametryczne elipsoidy obrotowej .....	39
<b>2.2. Linia geodezyjna na powierzchni elipsoidy obrotowej</b> .....	40
2.2.1. Linia geodezyjna a przekroje normalne .....	40
2.2.2. Trójkąty geodezyjne i ich rozwiązywanie .....	43
<b>2.3. Obliczanie współrzędnych na powierzchni elipsoidy obrotowej</b> .....	45
2.3.1. Klasyfikacja metod .....	45
2.3.2. Metoda Clarke'a (zadanie 'wprost') .....	49
2.3.3. Wzory Clarke'a-Robbinsa .....	51
2.3.4. Metoda 'średniej szerokości' Gaussa .....	54
2.3.5. Rozwiązanie zadania 'wprost' metodą całkowania numerycznego. Algorytm Kivioja .....	57
<b>2.4. Redukcja elementów podstawowej poziomej sieci geodezyjnej z elipsoidy odniesienia na płaszczyznę</b> .....	59
2.4.1. Podstawowe wzory odwzorowania Gaussa-Krügera; odwzorowanie UTM .....	59
2.4.2. Redukcje długości i kierunków .....	66
2.4.3. Transformacja do sąsiednich pasów odwzorowawczych .....	69
<b>2.5. Transformacja współrzędnych <math>B, L</math></b> .....	70
2.5.1. Ogólne omówienie zadania transformacji współrzędnych .....	70
2.5.2. Transformacja Helmerta-Hristowa .....	72

## 3. MODELE POLA SIŁY CIĘŻKOŚCI ZIEMI

<b>3.1. Elementy teorii potencjału</b> .....	75
3.1.1. Podstawowe definicje i związki matematyczne .....	75
3.1.2. Wzory całkowe Gaussa. Tożsamości Greena .....	80
3.1.3. Zagadnienia brzegowe teorii potencjału .....	83
<b>3.2. Harmoniczne sferyczne i ich zastosowanie do rozwinięcia potencjału grawitacyjnego Ziemi w szeregi</b> .....	85
3.2.1. Harmoniczne sferyczne .....	85
3.2.2. Rozwinięcie potencjału grawitacyjnego Ziemi w szereg harmonicznych sferycznych .....	90
<i>Ortogonalność funkcji Legendre'a – normalizacja harmonicznych sferycznych • rozwinięcie odwrotności odległości między dwoma punktami w szereg harmonicznych sferycznych • rozwinięcie potencjału grawitacyjnego w szereg harmonicznych sferycznych • potencjał grawitacyjny szczególnych przypadków rozkładu masy w przestrzeni</i>	
<b>3.3. Pole normalne siły ciężkości Ziemi</b> .....	97
3.3.1. Harmoniczne elipsoidalne .....	97
3.3.2. Elipsoida ekwipotencjalna jako model potencjału normalnego siły ciężkości Ziemi .....	101
<i>wyrażenie na potencjał elipsoidy ekwipotencjalnej</i>	
3.3.3. Potencjał normalny siły ciężkości w postaci szeregu harmonicznych sferycznych .....	106
3.3.4. Przyspieszenie normalne siły ciężkości Ziemi .....	107
3.3.5. Gradient pionowy siły ciężkości w polu rzeczywistym i w polu normalnym .....	112
<i>Krzywizna powierzchni ekwipotencjalnej • gradient pionowy siły ciężkości – równanie Brunsa • przyspieszenie normalne siły ciężkości ponad elipsoidą • pochodne drugiego rzędu potencjału normalnego</i>	
3.3.6. Geodezyjny System Odniesienia 1980 (GRS'80) .....	117
3.3.7. Przyspieszenie siły ciężkości na sferoidzie normalnej .....	121
3.3.8. Satelitarne wyznaczanie współczynników harmonicznych strefowych $J_n$ (w zarysie) .....	127
<b>3.4. Zmiany pola siły ciężkości w czasie. Zjawiska pływowe i ich modelowanie</b> .....	132
3.4.1. Potencjał sił pływowych .....	132
3.4.2. Zmiany pływowe przyspieszenia siły ciężkości na powierzchni 'sztucznej Ziemi' .....	137
3.4.3. Siły pływowe a elastyczność Ziemi. Potencjał deformacyjny .....	139
3.4.4. Geodezyjne efekty zjawisk pływowych .....	141

## 4. ELEMENTY GRAWIMETRII GEODEZYJNEJ

<b>4.1. O metodach pomiarów przyspieszenia siły ciężkości</b> .....	147
4.1.1. Metody 'swobodnego spadku' i 'podrzutu i spadku' .....	147
4.1.2. Pomiary względne przyspieszenia siły ciężkości metodą wahadłową .....	153
4.1.3. Grawimetry statyczne .....	155

4.1.4.	Cechowanie grawimetrów .....	162
	<i>Cechowanie grawimetrów na bazach grawimetrycznych • cechowanie grawimetrów przez nachylenie</i>	
4.1.5.	Metodyka pomiarów grawimetrami .....	166
<b>4.2.</b>	<b>Korygowanie wyników pomiarów grawimetrami</b> .....	<b>168</b>
4.2.1.	Poprawki ze względu na zmiany przyspieszenia siły ciężkości spowodowane przyciąganiem Księżyca i Słońca .....	168
4.2.2.	Poprawki ze względu na dryft grawimetru .....	170
<b>4.3.</b>	<b>Gradientometria – pomiary drugich pochodnych potencjału siły ciężkości</b> .....	<b>172</b>
4.3.1.	Zasada pomiarów drugich pochodnych potencjału siły ciężkości za pomocą wagi skręceń .....	172
4.3.2.	Inne metody pomiaru drugich pochodnych potencjału .....	174
<b>5.</b>	<b>WYZNACZANIE FIGURY ZIEMI METODAMI GRAWIMETRYCZNYMI I ASTRONOMICZNO-GEODEZYJNYMI</b>	
<b>5.1.</b>	<b>Zarys teorii figury Ziemi według koncepcji Stokesa</b> .....	<b>177</b>
5.1.1.	Potencjał zakłócający .....	178
5.1.2.	Anomalie grawimetryczne i odchylenia pionu .....	180
5.1.3.	Podstawowe równanie geodezji fizycznej .....	181
5.1.4.	Zarys rozwiązania zagadnienia brzegowego geodezji fizycznej. Wzór Stokesa .....	184
5.1.5.	Odchylnia pionu na geoidzie. Wzory Vening-Meinesza .....	188
5.1.6.	Niektóre, częściej stosowane redukcje grawimetryczne .....	192
5.1.7.	Liczby geopotencjalne i wysokości dynamiczne. Wysokości ortometryczne .....	206
	<i>Krótką analizą dokładności wyznaczania wysokości ortometrycznych</i>	
5.1.8.	Krzywizna linii pionu .....	218
<b>5.2.</b>	<b>Orientacja elipsoidy najlepiej pasującej do geoidy na danym obszarze</b> .....	<b>222</b>
5.2.1.	Orientacja elipsoidy a sieć astronomiczno-geodezyjna .....	222
5.2.2.	Wyznaczanie orientacji, wymiarów i kształtu elipsoidy najlepiej pasującej do geoidy na danym obszarze .....	223
5.2.3.	Równanie Laplace’a – orientacja elipsoidy względem średniego układu ziemskiego – orientacja sieci geodezyjnej na powierzchni elipsoidy odniesienia .....	227
5.2.4.	Uwzględnienie ruchu bieguna ziemskiego .....	230
<b>5.3.</b>	<b>Względne odchylenia pionu. Niwelacja astronomiczna i astronomiczno-grawimetryczna</b> .....	<b>231</b>
5.3.1.	Interpolacja względnych odchyień pionu .....	231
5.3.2.	Niwelacja astronomiczna i astronomiczno-grawimetryczna .....	235
<b>5.4.</b>	<b>Redukcje pomiarów astronomicznych i geodezyjnych na elipsoidę odniesienia w rzeczywistym polu siły ciężkości</b> .....	<b>237</b>
5.4.1.	Redukcja szerokości i długości astronomicznej .....	238
5.4.2.	Redukcja azymutów i kątów poziomych .....	239
5.4.3.	Redukcja długości .....	241

<b>5.5. Koncepcja Mołodeńskiego wyznaczenia figury Ziemi</b> .....	243
5.5.1. Sformułowanie zagadnienia brzegowego geodezji na fizycznej powierzchni Ziemi .....	243
5.5.2. Wysokości normalne. Normalne szerokości geograficzne .....	245
5.5.3. Zarys i wynik rozwiązania zagadnienia brzegowego Mołodeńskiego .....	249
5.5.4. Odchylenia pionu na fizycznej powierzchni Ziemi .....	254
<b>5.6. O metodach statystycznych w geodezji fizycznej</b> .....	256
5.6.1. Predykcja anomalii grawimetrycznych .....	256
5.6.2. Kolokacja metodą najmniejszych kwadratów .....	258
<b>6. WYBRANE ZAGADNIENIA GEODEZJI WYŻSZEJ W EPOCE SATELITARNEGO WYZNACZANIA POZYCJI</b>	
<b>6.0. Globalny Geodezyjny System Obserwacyjny (GGOS)</b> .....	261
<b>6.1. Na czym polegały geodezyjne pomiary satelitarne przed epoką GNSS</b> .....	263
6.1.1. Nota historyczna o pomiarach fotograficznych SSZ i sieciach triangulacji satelitarnej .....	263
6.1.2. Modele pola grawitacyjnego Ziemi .....	267
6.1.3. Laserowe pomiary satelitarne (SLR) i pomiary interferencyjne bardzo długich baz (VLBI) .....	274
6.1.4. Pomiary dopplerowskie .....	277
<b>6.2. Globalny Satelitarny System Nawigacyjny (GNSS)</b> .....	280
6.2.1. Ogólna charakterystyka systemu GPS .....	282
6.2.2. Jakie informacje docierają do nas z satelitów systemu GNSS .....	285
6.2.3. Ogólne wiadomości o geodezyjnych odbiornikach satelitarnych GNSS .....	289
6.2.4. Jak wyznacza się współrzędne satelity GNSS na podstawie danych efemerydalnych .....	292
6.2.5. Na czym polega pomiar pozycji w systemie GNSS .....	294
<i>Pomiary pseudoodległości • pomiary fazowe • różnicowe obserwacje fazowe i pseudoodległości</i>	
6.2.6. Wpływy refrakcji troposferycznej i jonosferycznej na wyniki pomiarów w systemie GNSS .....	312
<i>Refrakcja troposferyczna • refrakcja jonosferyczna • refrakcja jonosferyczna a pomiary na dwóch częstotliwościach</i>	
6.2.7. Inne spojrzenie na wielkości obserwowane i ich kombinacje liniowe. Problem wyznaczania niejednoznaczności całkowitej liczby cykli fazowych .....	322
6.2.8. Różne procedury pomiarowe w systemie GNSS .....	328
<i>Pomiary względne • pomiary statyczne • pomiary pseudostatyczne • szybkie pomiary statyczne • wyznaczanie całkowitej liczby cykli fazowych w procesie obserwacji • pomiary częściowo kinematyczne • ciągle pomiary kinematyczne • pomiary kodowe DGPS • pomiary fazowe RTK • Network RTK (VRS)</i>	
6.2.9. Różne zagadnienia związane z pomiarami techniką GNSS .....	344
<i>Problem 'cycle slip' • odbieranie odbitych sygnałów satelitarnych (multipath) • problem zmienności centrów fazowych anten GPS • RINEX – znormalizowany format wymiany danych GPS</i>	
6.2.10. O redukcji obserwacji GNSS i zaawansowanych pakietach programów redukcyjnych .....	350
<i>Etapy procesu redukcji obserwacji GPS • ogólna charakterystyka programów redukcyjnych</i>	

<b>6.3. Teoria wysokości geometrycznych</b> .....	357
6.3.1. Inny układ współrzędnych elipsoidalnych .....	358
6.3.2. Wysokości geometryczne .....	360
<i>Różnica wysokości geometrycznych • krzywizna geometrycznej linii pionu i redukcja <math>\phi</math> na elipsoidę geocentryczną GRS'80 • zamiana współrzędnych prostokątnych <math>x,y,z</math> na elipsoidalne <math>B,L,H</math></i>	
<b>6.4. Problematyka lokalnych elipsoid odniesienia</b> .....	366
<i>Elipsoida odniesienia geocentryczna czy lokalna?</i>	
6.4.1. Wyznaczanie położenia elipsoidy na podstawie pomiarów satelitarnych .....	367
<i>Redukcja współrzędnych punktów satelitarnych na geoidę • wyznaczenie położenia elipsoidy o osiach równoległych do osi układu WGS-84</i>	
6.4.2. Elipsoida odniesienia przechodząca przez średnią wysokość obszaru .....	372
<i>Redukcja do geocentrycznego układu globalnego WGS-84</i>	
<b>6.5. Transformacje i redukcje wyników pomiarów satelitarnych do klasycznych układów geodezyjnych</b> .....	375
<i>Problem transformacji a problem redukcji</i>	
6.5.1. Wprowadzenie do transformacji współrzędnych prostokątnych .....	376
<i>Macierz obrotów • macierz zniekształceń</i>	
6.5.2. Ogólny przypadek transformacji afinicznej w przestrzeni trójwymiarowej .....	378
<i>'Substytucja' parametrów transformacji</i>	
6.5.3. Transformacja afiniczna współrzędnych płaskich .....	382
6.5.4. Transformacja przez podobieństwo .....	383
<i>7-parametrowa transformacja Buršy-Wolfa • modyfikacja transformacji według idei Mołodeńskiego • płaska transformacja Helmerta • dodatkowe uwagi o transformacji Helmerta-Hristowa współrzędnych krzywoliniowych <math>B, L</math></i>	
6.5.5. Transformacja quasi-afiniczna z iteracyjnym rzutowaniem punktów na powierzchnię elipsoidy .....	386
6.5.6. Redukcje współrzędnych wyznaczanych techniką GNSS na powierzchnię elipsoidy odniesienia .....	389
<i>Wybór modelu redukcji • metoda Helmerta bezpośredniego rzutowania na elipsoidę • metoda Pizzetti'ego redukcji w rzeczywistym polu siły ciężkości • redukcja w normalnym polu siły ciężkości • redukcja za pomocą wysokości geometrycznych</i>	
6.5.7. Transformacja odchyłań pionu i odstępów geoidy do układu GRS'80 .....	399
<b>6.6. Europejski System Odniesienia – ETRS89</b> .....	401
<i>Wprowadzenie – ITRS/ITRF, ETRS/ETRF • realizacja systemu ETRS89 • realizacja systemu ETRS89 w Polsce • problem redukcji wyników obserwacji GNSS do systemu ETRS89</i>	
<b>6.7. Niwelacja satelitarna</b> .....	411
6.7.1. Wysokości geometryczne a wysokości ortometryczne. Co to jest 'niwelacja satelitarna' .....	411
6.7.2. Rozwiązanie problemu niwelacji satelitarnej poprzez wyznaczenie wysokości geoidy względem elipsoidy GRS'80/WGS-84 .....	414
<i>Ogólne aspekty problemu wynikające ze wzoru Stokesa i modelu potencjału grawitacyjnego • trzy różne sposoby grawimetrycznego wyznaczania geoidy</i>	

6.7.3.	Uproszczone sposoby wyznaczania geoidy na małych obszarach .....	421
6.7.4.	Podjęcie do systemu wysokości w Polsce .....	426
<b>6.8.</b>	<b>Powiązanie lokalnych układów obserwacyjnych z układem globalnym .....</b>	<b>428</b>
	<i>O lokalnych układach obserwacyjnych • o koegzystencji lokalnych układów obserwacyjnych z układem globalnym</i>	
6.8.1.	Odchylenia pionu na fizycznej powierzchni Ziemi wyznaczone metodą astronomiczną .....	430
6.8.2.	Możliwości wykorzystania niwelacji trygonometrycznej do wyznaczania odchyłeń pionu na fizycznej powierzchni Ziemi .....	432
	<i>Niwelacja trygonometryczna • wyznaczanie odchyłeń pionu z pomiarów GPS połączonych z niwelacją trygonometryczną</i>	
6.8.3.	Ciągi sytuacyjno-wysokościowe pomiędzy punktami GPS; przejście do tachimetrii .....	440
	<i>Co się zmieniło w metodyce pomiarów geodezyjnych • ciągi sytuacyjno-wysokościowe pomiędzy punktami GNSS • interpolacja odchyłeń pionu • redukcje wielkości obserwowanych na stanowiskach tachimetrycznych ze względu na odchylenia pionu</i>	
<b>7.</b>	<b>GEODEZJA WSPÓŁCZESNA A PROBLEMATYKA BADAŃ GEODYNAMICZNYCH</b>	
<b>7.1.</b>	<b>Krótkie wprowadzenie do dynamiki litosfery .....</b>	<b>446</b>
<b>7.2.</b>	<b>O metodach badania ruchów skorupy ziemskiej .....</b>	<b>448</b>
<b>7.3.</b>	<b>Układ odniesienia do prezentacji przemieszczeń powierzchni skorupy ziemskiej na podstawie pomiarów techniką satelitarną GNSS .....</b>	<b>450</b>
<b>7.4.</b>	<b>Międzynarodowa Służba GNSS (International GNSS Service, - IGS) .....</b>	<b>454</b>
<b>7.5.</b>	<b>Polski udział w badaniach geodynamicznych metodami geodezyjnymi .....</b>	<b>455</b>
	<i>Zarys pozycji geotektonicznej Polski</i>	
7.5.1.	Geodynamiczne projekty badawcze w Polsce .....	456
	<i>Mapy współczesnych ruchów pionowych powierzchni skorupy ziemskiej • badania na poligonach geodynamicznych • projekt SAGET – Satelitarne Trawersy Geodynamiczne • projekt Extended SAGET • CERGOP – Projekt Geodynamiczny Europy Środkowej</i>	
<b>Posłowie</b> .....		<b>465</b>
<b>Bibliografia</b> .....		<b>467</b>
<b>Strony internetowe</b> .....		<b>485</b>
<b>Zestawienie akronimów</b> .....		<b>486</b>
<b>Skorowidz</b> .....		<b>487</b>