

|                                                                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PRZEDMOWA DO WYDANIA PIERWSZEGO</b>                                                                                 | <b>XI</b> |
| <b>1. WPROWADZENIE DO GEODEZJI WYŻSZEJ</b>                                                                             | <b>1</b>  |
| Z historii geodezji                                                                                                    | 1         |
| <b>1.1. Kształt Ziemi. Powierzchnie odniesienia. Naukowe i praktyczne zadania geodezji i. Podział geodezji wyższej</b> | <b>7</b>  |
| <b>1.2. Wprowadzenie do geodezji fizycznej</b>                                                                         | <b>11</b> |
| 1.2.1. Siła ciężkości                                                                                                  | 11        |
| 1.2.2. Powierzchnie poziome. Linie pionu                                                                               | 14        |
| 1.2.3. Pojęcie wysokości                                                                                               | 14        |
| 1.2.4. Układ współrzędnych naturalnych                                                                                 | 16        |
| 1.2.5. Umowny układ ziemski – CTS                                                                                      | 18        |
| <b>2. ZAGADNIENIA GEOMETRYCZNE GEODEZJI WYŻSZEJ</b>                                                                    | <b>22</b> |
| <b>2.1. Elipsoida obrotowa jako powierzchnia odniesienia</b>                                                           | <b>22</b> |
| 2.1.1. Elementarne związki pomiędzy parametrami elipsoidy                                                              | 22        |
| 2.1.2. Układ współrzędnych geodezyjnych $B, L$                                                                         | 24        |
| 2.1.3. Przekroje normalne elipsoidy obrotowej i ich krzywizny                                                          | 25        |
| 2.1.4. Szerokość geocentryczna i szerokość zredukowana                                                                 | 28        |
| 2.1.5. Równania parametryczne elipsoidy obrotowej                                                                      | 29        |
| <b>2.2. Linia geodezyjna na powierzchni elipsoidy obrotowej</b>                                                        | <b>31</b> |
| 2.2.1. Linia geodezyjna a przekroje normalne                                                                           | 31        |
| 2.2.2. Trójkąty geodezyjne i ich rozwiązywanie                                                                         | 34        |
| <b>2.3. Obliczanie współrzędnych na powierzchni elipsoidy obrotowej</b>                                                | <b>36</b> |
| 2.3.1. Klasyfikacja metod                                                                                              | 36        |
| 2.3.2. Metoda Clarke’a (zadanie wprost)                                                                                | 41        |
| 2.3.3. Wzory Clarke’a-Robbinsa                                                                                         | 43        |
| 2.3.4. Metoda ‘średniej szerokości’ Gaussa                                                                             | 45        |
| 2.3.5. Rozwiązanie zadania ‘wprost’ metodą całkowania numerycznego. Algorytm Kivioja                                   | 49        |
| <b>2.4. Redukcja elementów podstawowej poziomej sieci geodezyjnej z elipsoidy odniesienia na płaszczyznę</b>           | <b>51</b> |
| 2.4.1. Podstawowe wzory odwzorowania Gaussa-Krügera; odwzorowanie UTM                                                  | 51        |
| 2.4.2. Redukcje długości i kierunków                                                                                   | 59        |
| 2.4.3. Transformacja do sąsiednich pasów odwzorowawczych                                                               | 61        |
| <b>2.5. Transformacja współrzędnych <math>B, L</math></b>                                                              | <b>63</b> |
| 2.5.1. Ogólne omówienie zadania transformacji współrzędnych                                                            | 63        |
| 2.5.2. Transformacja Helmerta-Hristowa                                                                                 | 64        |
| <b>3. MODELE POLA SIŁY CIĘŻKOŚCI ZIEMI</b>                                                                             | <b>68</b> |
| <b>3.1. Elementy teorii potencjału</b>                                                                                 | <b>68</b> |
| 3.1.1. Podstawowe definicje i związki matematyczne                                                                     | 68        |
| 3.1.2. Wzory całkowe Gaussa. Tożsamości Greena                                                                         | 73        |

|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1.3. Zagadnienia brzegowe teorii potencjału                                                                  | 76         |
| <b>3.2. Harmoniczne sferyczne i ich zastosowanie do rozwinięcia potencjału grawitacyjnego Ziemi w szeregi</b>  | <b>78</b>  |
| 3.2.1. Harmoniczne sferyczne                                                                                   | 78         |
| 3.2.2. Rozwinięcie potencjału grawitacyjnego Ziemi w szereg harmonicznych sferycznych                          | 83         |
| <b>3.3. Pole normalne siły ciężkości Ziemi</b>                                                                 | <b>90</b>  |
| 3.3.1. Harmoniczne elipsoidalne                                                                                | 90         |
| 3.3.2. Elipsoida ekwipotencjalna jako model potencjału normalnego siły ciężkości Ziemi                         | 94         |
| 3.3.3. Potencjał normalny siły ciężkości w postaci szeregu harmonicznych sferycznych                           | 99         |
| 3.3.4. Przyspieszenie normalne siły ciężkości                                                                  | 100        |
| 3.3.5. Gradient pionowy siły ciężkości w polu rzeczywistym i w polu normalnym                                  | 105        |
| 3.3.6. Geodezyjny System Odniesienia 1980 (GRS'80)                                                             | 109        |
| 3.3.7. Przyspieszenie siły ciężkości na sferoidzie normalnej                                                   | 113        |
| 3.3.8. Satelitarne wyznaczanie współczynników harmonicznych strefowych $J_n$ (w zarysie)                       | 120        |
| <b>3.4. Zmiany pola siły ciężkości w czasie. Zjawiska pływowe i ich modelowanie</b>                            | <b>125</b> |
| 3.4.1. Potencjał sił pływowych                                                                                 | 125        |
| 3.4.2. Zmiany pływowe przyspieszenia siły ciężkości na powierzchni 'sztywnej Ziemi'                            | 130        |
| 3.4.3. Siły pływowe a elastyczność Ziemi. Potencjał deformacyjny                                               | 132        |
| 3.4.4. Geodezyjne efekty zjawisk pływowych                                                                     | 134        |
| <b>4. ELEMENTY GRAWIMETRII GEODEZYJNEJ</b>                                                                     | <b>140</b> |
| <b>4.1. O metodach pomiarów przyspieszenia siły ciężkości</b>                                                  | <b>140</b> |
| 4.1.1. Metody 'swobodnego spadku' i 'podrzutu i spadku'                                                        | 140        |
| 4.1.2. Pomiary względne przyspieszenia siły ciężkości metodą wahadłową                                         | 146        |
| 4.1.3. Grawimetry statyczne                                                                                    | 148        |
| 4.1.4. Cechowanie grawimetrów                                                                                  | 155        |
| 4.1.5. Metodyka pomiarów grawimetrami                                                                          | 160        |
| <b>4.2. Korygowanie wyników pomiarów grawimetrami</b>                                                          | <b>162</b> |
| 4.2.1. Poprawki ze względu na zmiany przyspieszenia siły ciężkości spowodowane przyciąganiem Księżyca i Słońca | 162        |
| 4.2.2. Poprawki ze względu na dryft grawimetru                                                                 | 164        |
| <b>4.3. Gradientometria - pomiary drugich pochodnych potencjału siły ciężkości</b>                             | <b>166</b> |
| 4.3.1. Zasada pomiarów drugich pochodnych potencjału siły ciężkości za pomocą wagi skręceń                     | 166        |
| 4.3.2. Inne metody pomiaru drugich pochodnych potencjału                                                       | 168        |
| <b>5. WYZNACZANIE FIGURY ZIEMI METODAMI GRAWIMETRYCZNYMI I ASTRONOMICZNO-GEODEZYJNYMI</b>                      | <b>171</b> |

|                                                                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.1. Zarys teorii figury Ziemi według koncepcji Stokesa</b>                                                                                            | <b>171</b> |
| 5.1.1. Potencjał zakłócający                                                                                                                              | 172        |
| 5.1.2. Anomalie grawimetryczne i odchylenia pionu                                                                                                         | 173        |
| 5.1.3. Podstawowe równanie geodezji fizycznej                                                                                                             | 175        |
| 5.1.4. Zarys rozwiązania zagadnienia brzegowego geodezji fizycznej. Wzór Stokesa                                                                          | 178        |
| 5.1.5. Odchylenia pionu na geoidzie. Wzory Vening-Meinesza                                                                                                | 183        |
| 5.1.6. Niektóre częściej stosowane redukcje grawimetryczne                                                                                                | 186        |
| 5.1.7. Liczby geopotencjalne i wysokości dynamiczne. Wysokości ortometryczne                                                                              | 201        |
| 5.1.8. Krzywizna linii pionu                                                                                                                              | 213        |
| <b>5.2. Orientacja elipsoidy najlepiej pasującej do geoidy na danym obszarze</b>                                                                          | <b>217</b> |
| 5.2.1. Orientacja elipsoidy a sieć astronomiczno-geodezyjna                                                                                               | 217        |
| 5.2.2. Wyznaczanie orientacji, wymiarów i kształtu elipsoidy najlepiej pasującej do geoidy na danym obszarze                                              | 218        |
| 5.2.3. Równanie Laplace'a – orientacja elipsoidy względem średniego układu ziemskiego – orientacja sieci geodezyjnej na powierzchni elipsoidy odniesienia | 222        |
| 5.2.4. Uwzględnienie ruchu bieguna ziemskiego                                                                                                             | 225        |
| <b>5.3. Względne odchylenia pionu. Niwelacja astronomiczna i astronomiczno-grawimetryczna</b>                                                             | <b>226</b> |
| 5.3.1. Interpolacja względnych odchyżeń pionu                                                                                                             | 226        |
| 5.3.2. Niwelacja astronomiczna i astronomiczno-grawimetryczna                                                                                             | 230        |
| <b>5.4. Redukcje pomiarów astronomicznych i geodezyjnych na elipsoidę odniesienia w rzeczywistym polu siły ciężkości</b>                                  | <b>232</b> |
| 5.4.1. Redukcja szerokości i długości astronomicznej                                                                                                      | 232        |
| 5.4.2. Redukcja azymutów i kątów poziomych                                                                                                                | 233        |
| 5.4.3. Redukcja długości                                                                                                                                  | 236        |
| <b>5.5. Koncepcja Mołodeńskiego wyznaczenia figury Ziemi</b>                                                                                              | <b>238</b> |
| 5.5.1. Sformułowanie zagadnienia brzegowego geodezji na fizycznej powierzchni Ziemi                                                                       | 238        |
| 5.5.2. Wysokości normalne. Normalne szerokości geograficzne                                                                                               | 240        |
| 5.5.3. Zarys i wynik rozwiązania zagadnienia brzegowego Mołodeńskiego                                                                                     | 244        |
| 5.5.4. Odchylenia pionu na fizycznej powierzchni Ziemi                                                                                                    | 248        |
| <b>5.6. O metodach statystycznych w geodezji fizycznej</b>                                                                                                | <b>250</b> |
| 5.6.1. Predykcja anomalii grawimetrycznych                                                                                                                | 250        |
| 5.6.2. Kolokacja metodą najmniejszych kwadratów                                                                                                           | 252        |
| <b>6. WYBRANE ZAGADNIENIA GEODEZJI WYŻSZEJ W EPOCE SATELITARNEGO WYZNACZANIA POZYCJI</b>                                                                  | <b>255</b> |
| <b>6.0. Globalny Geodezyjny System Obserwacyjny (GGOS)</b>                                                                                                | <b>255</b> |
| <b>6.1. Na czym polegały geodezyjne pomiary satelitarne przed epoką GNSS</b>                                                                              | <b>257</b> |
| 6.1.1. Nota historyczna o pomiarach fotograficznych SSZ i sieciach triangulacji satelitarnej                                                              | 257        |
| 6.1.2. Modele pola grawitacyjnego Ziemi                                                                                                                   | 261        |

|                                                                                                                                                   |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.1.3. Laserowe pomiary satelitarne (SLR) i pomiary interferencyjne bardzo długich baz (VLBI)                                                     | 269        |
| 6.1.4. Pomiary dopplerowskie                                                                                                                      | 272        |
| <b>6.2. Globalny satelitarny system nawigacyjny (GNSS)</b>                                                                                        | <b>275</b> |
| 6.2.1. Ogólna charakterystyka systemu GPS                                                                                                         | 277        |
| 6.2.2. Jakie informacje docierają do nas z satelitów systemu GNSS                                                                                 | 280        |
| 6.2.3. Ogólne wiadomości o geodezyjnych odbiornikach satelitarnych GNSS                                                                           | 284        |
| 6.2.4. Jak wyznacza się współrzędne satelity GNSS na podstawie danych efemerydalnych                                                              | 289        |
| 6.2.5. Na czym polega pomiar pozycji w systemie GNSS                                                                                              | 290        |
| 6.2.6. Wpływy refrakcji troposferycznej i jonosferycznej na wyniki pomiarów w systemie GNSS                                                       | 308        |
| 6.2.7. Inne spojrzenie na wielkości obserwowane i ich kombinacje liniowe. Problem wyznaczania niejednoznaczności całkowitej liczby cykli fazowych | 318        |
| 6.2.8. Różne procedury pomiarowe w systemie GNSS                                                                                                  | 324        |
| 6.2.9. Różne zagadnienia związane z pomiarami techniką GNSS                                                                                       | 341        |
| 6.2.10. O redukcji obserwacji GNSS i zaawansowanych pakietach programów redukcyjnych                                                              | 348        |
| <b>6.3. Teoria wysokości geometrycznych</b>                                                                                                       | <b>355</b> |
| 6.3.1. Inny układ współrzędnych elipsoidalnych                                                                                                    | 356        |
| 6.3.2. Wysokości geometryczne                                                                                                                     | 358        |
| <b>6.4. Problematyka lokalnych elipsoid odniesienia</b>                                                                                           | <b>364</b> |
| 6.4.1. Wyznaczanie położenia elipsoidy na podstawie pomiarów satelitarnych                                                                        | 365        |
| 6.4.2. Elipsoida odniesienia przechodząca przez średnią wysokość obszaru                                                                          | 369        |
| <b>6.5. Transformacje i redukcje wyników pomiarów satelitarnych do klasycznych układów w geodezyjnych</b>                                         | <b>373</b> |
| 6.5.1. Wprowadzenie do transformacji współrzędnych prostokątnych                                                                                  | 374        |
| 6.5.2. Ogólny przypadek transformacji afinicznej w przestrzeni trójwymiarowej                                                                     | 376        |
| 6.5.3. Transformacja afiniczna współrzędnych płaskich                                                                                             | 380        |
| 6.5.4. Transformacja przez podobieństwo                                                                                                           | 381        |
| 6.5.5. Transformacja quasi-afiniczna z iteracyjnym rzutowaniem punktów na powierzchnię elipsoidy                                                  | 384        |
| 6.5.6. Redukcje współrzędnych wyznaczanych techniką GNSS na powierzchnię elipsoidy odniesienia                                                    | 388        |
| 6.5.7. Transformacja odchyleń pionu i odstępów geoidy do układu GRS'80                                                                            | 397        |
| <b>6.6. Europejski system odniesienia – ETRS89</b>                                                                                                | <b>399</b> |
| <b>6.7. Niwelacja satelitarna</b>                                                                                                                 | <b>413</b> |
| 6.7.1. Wysokości geometryczne a wysokości ortometryczne. Co to jest 'niwelacja satelitarna'                                                       | 413        |
| 6.7.2. Rozwiązanie problemu niwelacji satelitarnej przez wyznaczenie wysokości geoidy względem elipsoidy GRS'80/WGS-84                            | 416        |
| 6.7.3. Uprozczone sposoby wyznaczania geoidy na małych obszarach                                                                                  | 423        |
| 6.7.4. Podejście do systemu wysokości w Polsce                                                                                                    | 427        |

|                                                                                                                                   |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.8. Powiązanie lokalnych układów obserwacyjnych z układem globalnym</b>                                                       | <b>429</b> |
| 6.8.1. Odchylenia pionu na fizycznej powierzchni Ziemi wyznaczone metodą astronomiczną                                            | 432        |
| 6.8.2. Możliwości wykorzystania niwelacji trygonometrycznej do wyznaczania odchyleń pionu na fizycznej powierzchni Ziemi          | 434        |
| 6.8.3. Ciągi sytuacyjno-wysokościowe pomiędzy punktami GNSS; przejście do tachimetrii                                             | 442        |
| <b>7. GEODEZJA WSPÓŁCZESNA A PROBLEMATYKA BADAŃ GEODYNAMICZNYCH</b>                                                               | <b>447</b> |
| 7.1. Krótkie wprowadzenie do dynamiki litosfery                                                                                   | 448        |
| 7.2. O metodach badania ruchów skorupy ziemskiej                                                                                  | 450        |
| 7.3. Układ odniesienia do prezentacji przemieszczeń powierzchni skorupy ziemskiej na podstawie pomiarów techniką satelitarną GNSS | 453        |
| 7.4. Międzynarodowa Służba GNSS ( <i>International GNSS Service, - IGS</i> )                                                      | 456        |
| 7.5. Polski udział w badaniach geodynamicznych metodami geodezyjnymi                                                              | 458        |
| 7.5.1. Geodynamiczne projekty badawcze w Polsce                                                                                   | 459        |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>                                                                                                               | <b>470</b> |
| <b>ZESTAWIENIE AKRONIMÓW</b>                                                                                                      | <b>483</b> |
| <b>SKOROWIDZ</b>                                                                                                                  | <b>485</b> |
| <b>NOTA O AUTORZE</b>                                                                                                             | <b>495</b> |