

## Spis treści

<b>1. Wstęp</b> .....	15
<b>2. Rozwój grawimetrii – zarys historyczny i podstawowe pojęcia</b> .....	19
2.1. Początki grawimetrii .....	19
2.2. Waga skręceń Eötvösa – początki grawimetrii stosowanej .....	26
2.3. Grawimetria stosowana – podział i zakres zastosowań .....	28
2.4. Grawimetry – przyrządy, które zrewolucjonizowały pomiar siły ciężkości .....	30
2.4.1. Światowy grawimetryczny system odniesienia .....	35
2.5. Początek i rozwój badań grawimetrycznych w Polsce .....	37
2.5.1. Badania grawimetryczne na terenach ziem polskich w okresie zaborów .....	39
2.5.2. Badania grawimetryczne w Polsce w latach 1918–1939 .....	43
2.5.3. Badania grawimetryczne w Polsce w okresie II wojny światowej .....	47
2.5.4. Rozwój grawimetrii w Polsce po II wojnie światowej .....	48
<b>3. Ziemskie pole siły ciężkości</b> .....	55
3.1. Siła grawitacji .....	56
3.2. Siła odśrodkowa .....	58
3.3. Siła ciężkości .....	60
3.4. Drugie pochodne potencjału siły ciężkości .....	60
3.5. Geoida, elipsoidy odniesienia, geodezyjne systemy odniesienia .....	63
3.5.1. Twierdzenie Stokesa .....	66
3.6. Normalna siła ciężkości .....	69
3.7. Siła ciężkości we wnętrzu Ziemi .....	72
3.7.1. Przyciąganie grawitacyjne warstwy sferycznej .....	72
3.7.2. Przyciąganie grawitacyjne kuli .....	74
3.7.3. Przyciąganie grawitacyjne wewnątrz Ziemi .....	75

3.8. Siły luni-solarne .....	76
3.9. Potencjał logarytmowy (logarytmiczny) .....	83
<b>4. Przyrządy pomiarowe używane w grawimetrii stosowanej .....</b>	<b>85</b>
4.1. Elementy teorii i budowy grawimetrów względnych, sprężynowych, statycznych .....	85
4.1.1. Równanie podstawowe grawimetru .....	87
4.1.2. Podstawy działania grawimetrów nieastatyzowanych .....	88
4.1.3. Podstawy działania grawimetrów astatyzowanych .....	90
4.1.4. Astatyzowanie sprężyną i masą .....	91
4.1.5. Astatyzowanie masą .....	93
4.1.6. Astatyzowanie sprężyną .....	94
4.1.7. Sprężyny o długości zerowej i ujemnej .....	97
4.1.8. Kompensacja baryczna grawimetru .....	98
4.1.9. Kompensacja termiczna grawimetru .....	99
4.1.10. Wpływ wychylenia systemu grawimetru z poziomu .....	102
4.1.11. Elektroniczne układy pomiarowe instalowane w grawimetrach sprężynowych .....	103
4.1.11.1. Wskaźnik pojemnościowy przesunięcia (CPI) .....	104
4.1.11.2. Elektrostatyczny pojemnościowy przetwornik przesunięcia (CDTEF) .....	105
4.1.12. Dryft grawimetru .....	109
4.1.13. Metodyka prac polowych .....	114
4.1.14. Justowanie i kalibrowanie grawimetrów .....	116
4.1.14.1. Justowanie grawimetru .....	117
4.1.14.2. Kalibracja grawimetru .....	117
4.1.14.2.1. Kalibracja grawimetrów na bazach .....	118
4.1.14.2.2. Kalibracja grawimetru przez jego pochylanie .....	119
4.1.14.2.3. Kalibrowanie grawimetru przez zmianę masy bezwładnej jego systemu .....	120
4.1.15. Zasada działania i budowa grawimetrów Askania GS-11, GS-12 .....	121
4.1.16. Grawimetry astatyzowane z systemem kwarcowym Wordena .....	124
4.1.16.1. Grawimetr Wordena .....	124
4.1.16.2. Inne grawimetry kwarcowe z systemem Wordena .....	127
4.1.16.3. Grawimetr Scintrex Autograv CG-3 .....	128
4.1.16.4. Grawimetr Scintrex Autograv CG-4 .....	130
4.1.16.5. Grawimetr CG-3/3M Autograv .....	130
4.1.16.6. Grawimetr Scintrex Autograv CG-5 .....	130
4.1.16.7. Grawimetr GNU-KVK .....	131

4.1.17. Grawimetry astatyzowane sprężyną metalową z systemem LaCoste'a–Romberga .....	131
4.1.17.1. Grawimetr LaCoste'a–Romberga .....	131
4.1.17.1.1. Grawimetry LCR-G i LCR-D .....	135
4.1.17.1.2. Grawiton EG .....	135
4.1.17.2. Morskie i powietrzne grawimetry LaCoste'a–Romberga .....	136
4.1.17.3. Grawimetry LaCoste'a–Romberga do rejestracji zmian luni-solarnych siły ciężkości .....	137
4.1.17.4. Grawimetr otworowy LaCoste'a–Romberga (BHGM) .....	138
4.2. Elementy teorii i budowy grawimetrów względnych, dynamicznych, strunowych .....	139
4.3. Balistyczne grawimetry służące do absolutnych pomiarów siły ciężkości .....	142
4.3.1. Metoda swobodnego spadku – grawimetry balistyczne (grawimetr Fallera FG-5) .....	143
4.3.2. Metoda podrzutu i spadku, tzw. metoda symetryczna (grawimetry absolutne FG-5-L J.E. Fallera i ZZG Z. Ząbka) .....	147
4.3.2.1. Grawimetr FG-5-L J.E. Fallera .....	147
4.3.2.2. Grawimetr ZZG Z. Ząbka .....	147
4.4. Pomiary drugich pochodnych potencjału siły ciężkości .....	149
4.4.1. Waga skręceń Eötvösa .....	150
4.4.2. Gradientometry – przyrządy pochodne od wagi skręceń Eötvösa .....	156
4.4.3. Pomiar drugich pochodnych potencjału siły ciężkości za pomocą grawimetrów sprężynowych .....	158
4.4.3.1. Gradient poziomy siły ciężkości .....	158
4.4.3.2. Gradient pionowy siły ciężkości .....	160
4.4.3.2.1. Rzeczywisty gradient pionowy siły ciężkości .....	161
4.4.3.2.2. Wieżowy gradient pionowy siły ciężkości .....	164
4.4.4. Balistyczny gradientometr absolutny .....	171
4.4.5. Gradientometria lotnicza, morska i satelitarna .....	171
<b>5. Redukcje pomiarów grawimetrycznych i anomalie siły ciężkości .....</b>	<b>173</b>
5.1. Poprawka luni-solarna siły ciężkości .....	174
5.2. Algorytmy i modyfikacje poprawki topograficznej siły ciężkości .....	176
5.2.1. Sposób obliczania poprawki topograficznej siły ciężkości według S. Hammera .....	178

5.2.2. Poprawka topograficzna siły ciężkości w punktach leżących nad/pod powierzchnią terenu .....	182
5.2.3. Poprawka urbanistyczna siły ciężkości .....	185
5.2.4. Poprawka topograficzna wieżowego gradientu pionowego siły ciężkości .....	189
5.2.5. Poprawka urbanistyczna wieżowego gradientu pionowego .....	191
5.2.6. Metoda triangulacyjna obliczania poprawki topograficznej siły ciężkości .....	193
5.2.7. Poprawka topograficzna siły ciężkości w grawimetrycznych poszukiwaniach struktur geologicznych .....	197
5.3. Poprawka wolnopowietrzna siły ciężkości .....	201
5.4. Poprawka i redukcja Bouguera siły ciężkości .....	202
5.5. Interpretacja fizyczna poprawek: topograficznej, wlnopowietrznej i Bouguera .....	203
5.6. Anomalie siły ciężkości .....	205
5.7. Błąd wyznaczenia anomalii siły ciężkości .....	216
<b>6. Mikrograwimetria .....</b>	<b>217</b>
6.1. Zadania mikrograwimetrii .....	217
6.2. Podstawy metody .....	217
6.3. Prognozowanie zagrożeń dla środowiska naturalnego powstałych w wyniku działalności człowieka i procesów przyrodniczych .....	222
6.3.1. Czasowe zmiany mikroanomalii siły ciężkości jako podstawa prognozowania ekspansji pustek .....	226
6.3.2. Badania tektoniki nieciągłej .....	232
<b>7. Grawimetria górnicza .....</b>	<b>237</b>
7.1. Grawimetria i mikrograwimetria podziemna .....	237
7.1.1. Redukcje i poprawki .....	238
7.1.2. Zdjęcia (pomiar) wielopoziomowe .....	242
7.1.3. Pomiar wieżowego pionowego gradientu siły ciężkości w wyrobiskach górniczych .....	244
7.1.3.1. Wykrywanie wyrobisk górniczych i pustek poeksploatacyjnych .....	244
7.1.3.2. Wyznaczanie gęstości skał otaczających wyrobisko górnicze .....	245
7.1.3.3. Zintegrowane pomiary $\Delta_g$ i $W_{z,zw,p}$ w wyrobiskach górniczych .....	246
7.1.4. Podziemny gradient pionowy siły ciężkości .....	247
7.1.5. Pionowe profilowanie grawimetryczne (PPGR) w otworach wiertniczych .....	248

7.1.6. Pionowe profilowanie grawimetryczne (PPGR)	
w szybach górniczych .....	252
7.1.6.1. Pionowe profilowanie grawimetryczne (PPGR)	
w szybach górniczych w celu wyznaczenia gęstości	
warstw skalnych .....	253
7.1.6.2. Pionowe profilowanie grawimetryczne (PPGR)	
w szybach górniczych w celu wykrycia pustek	
i wymyć występujących za obudową szybu .....	255
7.2. Prognozowanie wystąpień zjawisk dynamicznych	
w eksploатовanym górotworze. Problem wstrząsów górniczych .....	259
7.2.1. Prace pomiarowe .....	260
7.2.2. Prognozowanie stochastyczne .....	261
7.2.2.1. Prognozowanie regionalnych przejawów naprężeń .....	261
7.2.2.2. Prognozowanie lokalnych przejawów naprężeń .....	264
7.2.2.3. Przykład zastosowania metody .....	268
7.2.2.4. Próby monitorowania wystąpień wstrząsów górniczych	
za pomocą stacjonarnego, ciągłego pomiaru	
zmian siły ciężkości .....	271
<b>8. Gęstość skał – podstawowy parametr grawimetrii .....</b>	<b>273</b>
8.1. Definicje podstawowe, znaczenie ciężarów objętościowych	
skał wyznaczanych laboratoryjnie .....	273
8.2. Metody grawimetryczne służące do wyznaczania	
gęstości skał <i>in situ</i> .....	282
8.2.1. Wyznaczenie gęstości skał w wyrobiskach podziemnych .....	282
8.2.2. Grawimetryczne wyznaczanie gęstości	
skał przypowierzchniowych budujących rzeźbę terenu .....	282
8.2.2.1. Metoda Nettletona .....	282
8.2.2.2. Metoda Parasnisa .....	284
8.3. Związek prędkości fal sejsmicznych z gęstością skał .....	287
<b>9. Pola grawitacyjne form geologicznych i antropogenicznych .....</b>	<b>291</b>
9.1. Pola grawitacyjne brył o potencjale newtonowskim .....	293
9.2. Pola grawitacyjne brył o potencjale logarytmicznym .....	299
9.3. Pola grawitacyjne brył o kształtach regularnych	
w domenie częstościowej .....	316
9.4. Obliczanie siły ciężkości nad formami antyklinalnymi i synklinami	
za pomocą szeregu trygonometrycznego Fouriera .....	321
9.4.1. Antyklina – poziomy walec o przekroju parabolicznym .....	322
9.4.2. Synklina – poziomy walec paraboliczny .....	324
9.5. Zasady interpretacji ilościowej .....	325
9.5.1. Zadanie proste .....	326

9.5.2. Zadanie odwrotne .....	327
9.5.2.1. Metody punktów charakterystycznych .....	327
9.5.2.2. Metody analizy częstościowej .....	328
9.5.2.3. Metody całkowe .....	331
9.5.2.4. Metody doboru .....	332
9.5.2.4.1. Metody optymalizacyjne .....	333
9.5.2.4.1.1. Programowanie liniowe .....	333
9.5.2.4.1.2. Metoda dekonwolucji Eulera .....	336
9.5.2.4.1.3. Metody strategii ewolucyjnych .....	338
9.5.2.4.2. Metody rozwiązywania zadań odwrotnych, niepoprawnie uwarunkowanych .....	339
9.5.2.4.3. Modelowanie symulacyjne .....	344
<b>10. Transformacje pól siły ciężkości .....</b>	<b>347</b>
10.1. Pojęcie trendu, anomalii rezydualnych i lokalnych siły ciężkości .....	347
10.2. Ogólna postać transformacji .....	349
10.3. Szczegółowe postacie transformacji .....	351
10.3.1. Anomalie rezydualne siły ciężkości .....	351
10.3.2. Drugie pochodne pionowe siły ciężkości .....	352
10.3.3. Przedłużanie analityczne pochodnych potencjału siły ciężkości w górę i w dół .....	353
10.3.3.1. Punkty osobliwe potencjału siły ciężkości i jego wyższych pochodnych .....	357
10.4. Metody analizy częstościowej zdjęć grawimetrycznych w interpretacji ilościowo-jakościowej .....	361
10.4.1. Charakterystyki częstościowe anomalii rezydualnych i regionalnych .....	365
10.4.2. Charakterystyka częstościowa metody wyższych pochodnych pionowych siły ciężkości .....	366
10.4.3. Charakterystyka częstościowa metod przedłużania analitycznego w górę i w dół .....	367
10.5. Inne wybrane rozwiązania zewnętrznego zagadnienia Dirichleta w zastosowaniu do przedłużeń analitycznych .....	368
10.5.1. Przedłużanie analityczne pochodnych potencjału siły ciężkości metodą regularyzacji funkcji A.N. Tichonowa .....	370
10.6. Zasady interpretacji jakościowej – aplikacja metod .....	372
10.6.1. Metoda uśredniania pól .....	374
10.6.2. Aproksymowanie rozkładu pomierzonych anomalii siły ciężkości wielomianami .....	378
10.6.3. Przedłużanie analityczne siły ciężkości w górę jako metoda aproksymowania pól regionalnych .....	382

10.6.4. Przedłużanie analityczne siły ciężkości w dół jako jedna z metod obliczania anomalii rezydualnych .....	382
10.6.5. Obliczenia wyższych pochodnych pionowych siły ciężkości jako inna metoda rezydualna .....	389
10.6.6. Transformacja Fouriera anomalii siły ciężkości jako metoda uniwersalna w interpretacji zdjęć grawimetrycznych – zalety i wady .....	392
10.7. Wieloznaczność wyników interpretacji badań grawimetrycznych .....	397
<b>Indeks rzeczowy</b> .....	399
<b>Literatura</b> .....	407