

# Spis treści

|                                                                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| WSTĘP . . . . .                                                                                                                                                               | 7   |
| 1. WPROWADZENIE W ZAGADNIENIE PROBLEMATYKI WODNEJ KOPALŃ . . . . .                                                                                                            | 9   |
| 1.1. Problematyka zagrożeń wodnych a planowanie eksploatacji górniczej . . . . .                                                                                              | 9   |
| 1.2. Ewolucja zagadnień hydrogeologicznych w polskim górnictwie odkrywkowym . . . . .                                                                                         | 17  |
| 1.3. Typy zaburzonych i zawodnionych złóż węgla brunatnego w Polsce . . . . .                                                                                                 | 22  |
| 1.4. Wpływ gospodarki wodnej na ogólną gospodarkę kopalni . . . . .                                                                                                           | 32  |
| 2. DEFINICJE I SYSTEMATYKA ZAGROŻEŃ WODNYCH . . . . .                                                                                                                         | 39  |
| 2.1. Podstawowe pojęcia z zakresu zagrożenia wodnego kopalni ze strony szczelnie wypełnionego wododrażnego górotworu oraz analityczne sformułowanie tego zagrożenia . . . . . | 52  |
| 2.2. Zagrożenie wodami powierzchniowymi . . . . .                                                                                                                             | 63  |
| 2.2.1. Bilans obiegu wody . . . . .                                                                                                                                           | 64  |
| 2.2.2. Oddziaływanie bilansów obiegu wody na stosunki hydrogeologiczne . . . . .                                                                                              | 67  |
| 2.2.3. Wahania obiegu wód . . . . .                                                                                                                                           | 72  |
| 2.2.4. Alimentacja wodna kopalni odkrywkowej . . . . .                                                                                                                        | 74  |
| 2.2.5. Określenie dopływu wód burzowych oraz zasilanie wód górotworu wodami opadowymi . . . . .                                                                               | 79  |
| 2.2.6. Zabezpieczenie przed wodami powodziowymi . . . . .                                                                                                                     | 83  |
| 2.2.7. Opanowanie przecieków przez filary ochronne . . . . .                                                                                                                  | 84  |
| 2.3. Zagrożenie wodami statycznymi . . . . .                                                                                                                                  | 88  |
| 2.3.1. Nasycenie wodą górotworu . . . . .                                                                                                                                     | 91  |
| 2.3.2. Współczynnik filtracji jako stała w równaniu przepływu cieczy przez ośrodek porowaty . . . . .                                                                         | 98  |
| 2.3.3. Uziarnienie górotworu . . . . .                                                                                                                                        | 106 |
| 2.3.4. Określenie współczynnika filtracji . . . . .                                                                                                                           | 108 |
| 2.3.4.1. Wzory empiryczne . . . . .                                                                                                                                           | 108 |
| 2.3.4.2. Laboratoryjne wyznaczanie współczynnika filtracji . . . . .                                                                                                          | 113 |
| 2.3.4.3. Określenie współczynnika filtracji metodą bezpośredniego pomiaru . . . . .                                                                                           | 117 |
| 2.3.4.4. Określenie współczynnika filtracji metodą próbnego pompowania . . . . .                                                                                              | 124 |
| 2.3.4.5. Określenie współczynnika filtracji metodą studni chłonnych . . . . .                                                                                                 | 128 |
| 2.4. Równanie obniżania się zwierciadła wody gruntowej w górotworze . . . . .                                                                                                 | 131 |
| 2.5. Określenie promienia leja depresyjnego . . . . .                                                                                                                         | 132 |
| 2.6. Równanie poziomu piezometrycznego . . . . .                                                                                                                              | 134 |
| 2.7. Zasoby wód statycznych kopalni odkrywkowych. . . . .                                                                                                                     | 140 |
| 2.8. Określenie dopływu wody do kopalni . . . . .                                                                                                                             | 141 |

|                                                                                                                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. SYSTEMATYKA ROBÓT ZABEZPIELAJĄCYCH PRZED DOPŁYWEM WODY KOPALNIAŃEJ . . . . .                                                                                                                                       | 155 |
| 3.1. Określenie wyprzedzenia robót górniczych robotami odwadniającymi . . . . .                                                                                                                                       | 158 |
| 3.2. Sposoby wyprzedzenia robót eksploatacyjnych górniczymi robotami odwadniającymi . . . . .                                                                                                                         | 159 |
| 3.3. Odwadnianie ociosów zwałów górniczych . . . . .                                                                                                                                                                  | 164 |
| 3.4. Etapy odwadniania górotworu wyrobiskami podziemnymi . . . . .                                                                                                                                                    | 168 |
| 3.5. Sposoby zabezpieczenia podziemnych eksploatacji górniczych . . . . .                                                                                                                                             | 169 |
| 3.6. Odwadnianie górotworu studniami wierconymi z powierzchni . . . . .                                                                                                                                               | 172 |
| 3.7. Sposoby pompowania wody w otworach . . . . .                                                                                                                                                                     | 180 |
| 3.8. Zabezpieczenie systemu wyrobisk podziemnych kopalni odkrywkowej . . . . .                                                                                                                                        | 182 |
| 4. PROJEKTOWANIE STRUKTUR ROBÓT ODWADNIAJĄCYCH I ZABEZPIELAJĄCYCH PRZED DOPŁYWEM WODY DO KOPALNI ODKRYWKOWEJ . . . . .                                                                                                | 187 |
| 4.1. Stateczność ociosów w górotworze anizotropowym . . . . .                                                                                                                                                         | 187 |
| 4.2. Określenie efektywności odwadniania górotworu . . . . .                                                                                                                                                          | 190 |
| 4.2.1. Określenie odległości otworów odwadniających w barierze pomp ze względu na efektywność odwadniania . . . . .                                                                                                   | 190 |
| 4.2.2. Określenie sprawności drenowania barierą pomp . . . . .                                                                                                                                                        | 191 |
| 4.2.3. Liczba ujęć wody w barierze pomp . . . . .                                                                                                                                                                     | 193 |
| 4.2.4. Sprawność drenowania barierą pomp przy zastosowaniu współczynników zagęszczenia i rozrzedzenia bariery pomp . . . . .                                                                                          | 193 |
| 4.2.5. Efektywność odwadniania barierą pomp w górotworze anizotropowym . . . . .                                                                                                                                      | 194 |
| 4.3. Wybór kierunku odwadniania bariery pomp oraz systemu chodników poprzecznych . . . . .                                                                                                                            | 197 |
| 4.4. Sprawność drenowania układów sieciowych . . . . .                                                                                                                                                                | 200 |
| 4.4.1. Sieć kwadratowa zagęszczona . . . . .                                                                                                                                                                          | 200 |
| 4.4.2. Sieć równoboczna zagęszczona . . . . .                                                                                                                                                                         | 202 |
| 4.4.3. Sieć równoboczna rozrzedzona . . . . .                                                                                                                                                                         | 203 |
| 4.4.4. Adaptacja sieci równomiernych do układów anizotropowych . . . . .                                                                                                                                              | 203 |
| 4.5. Odprężanie napiętego horyzontu wodnego przez spuszczenie wody do kolektora . . . . .                                                                                                                             | 207 |
| 4.6. Projektowanie odwadniania chodnikami podłużnymi . . . . .                                                                                                                                                        | 208 |
| 4.7. Uboczne skutki nagłego wdarcia się wody . . . . .                                                                                                                                                                | 209 |
| 4.8. Założenia strategii walki z zagrożeniem wodnym kopalni . . . . .                                                                                                                                                 | 209 |
| 4.8.1. Założenia strategii obrony wyrobisk przed zatopieniem . . . . .                                                                                                                                                | 210 |
| 4.8.2. Założenia strategii ustępliwej obrony wyrobisk przed gwałtownym przypływem wody . . . . .                                                                                                                      | 211 |
| 4.8.3. Założenia strategii zabezpieczania sąsiednich rejonów kopalni oraz powierzchni przed wtórnymi zjawiskami związanymi z wdarcie się wody . . . . .                                                               | 211 |
| 4.8.4. Założenia strategii szczyptywania wody w kopalni . . . . .                                                                                                                                                     | 212 |
| 5. ZAGADNIENIA EKONOMICZNE ODWADNIANIA KOPALŃ . . . . .                                                                                                                                                               | 214 |
| 5.1. Wpływ odwadniania na kryteria bilansowe określania zasobów złóż surowców mineralnych . . . . .                                                                                                                   | 214 |
| 5.1.1. Zależność kaloryczności węgla brunatnego od zawartości wilgoci oraz popiołu . . . . .                                                                                                                          | 217 |
| 5.1.2. Efekt ekonomiczny wstępnego odwodnienia górotworu . . . . .                                                                                                                                                    | 219 |
| 5.1.3. Minimalizacja kosztu utworzenia leja depresyjnego . . . . .                                                                                                                                                    | 223 |
| 5.1.4. Czynniki górnicze wpływające na koszty leja depresyjnego utworzonego przed przystąpieniem do eksploatacji górniczej . . . . .                                                                                  | 229 |
| 5.1.5. Określenie spadku ilości pompowanej wody w czasie eksploatacji górniczej . . . . .                                                                                                                             | 234 |
| 5.1.6. Zależność kryteriów bilansowania złóż zawodnionych od intensywności eksploatacji górniczej . . . . .                                                                                                           | 238 |
| 5.2. Ustalanie podstawowych parametrów wyjściowych dla perspektywnego określania maksymalnej rentownej eksploatacji odkrywkowej przy masowym wydobywaniu kopaliny użytecznej w warunkach zagrożenia wodnego . . . . . | 241 |

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Określenie granicznego, jeszcze rentownego stosunku nakładu do złoża w warunkach zawodnienia eksploatacji odkrywkowej . . . . .                                     | 245 |
| 5.3.1. Graniczna głębokość eksploatacji odkrywkowej w warunkach bezwodnych określana współczynnikiem wyłączenia geologicznego stosunku nakładu do złoża . . . . .        | 247 |
| 5.3.2. Określenie granicznego kosztu eksploatacji odkrywkowej . . . . .                                                                                                  | 250 |
| 5.3.3. Określenie granicy maksymalnej, ekonomicznie uzasadnionej głębokości eksploatacji odkrywkowej w zawodnionym górotworze . . . . .                                  | 251 |
| 5.3.4. Graficzne określenie maksymalnej ekonomicznej głębokości eksploatacji odkrywkowej dla jednostajnie wodoprzepuszczalnego górotworu . . . . .                       | 253 |
| 5.3.5. Analityczne określenie przemysłowego stosunku nakładu do złoża stromo nachylonych złóż niedużej miąższości i znacznej rozciągłości . . . . .                      | 255 |
| 5.3.6. Analityczne określenie wpływu zmiany kąta bocznych ociosów kopalni odkrywkowej w stromo nachylonych złożach niedużej miąższości i znacznej rozciągłości . . . . . | 256 |
| 5.3.7. Analityczne określenie granicznego stosunku nakładu do złoża w suchych kopalniach odkrywkowych . . . . .                                                          | 257 |
| 5.3.8. Analityczne określenie maksymalnego rentownego pogłębiania eksploatacji odkrywkowej w zawodnionym górotworze . . . . .                                            | 258 |
| 5.4. Określenie skutków niepełnego odwadniania górotworu . . . . .                                                                                                       | 262 |
| 5.4.1. Wpływ zawodnienia na kształtowanie się deformacji górotworu . . . . .                                                                                             | 265 |
| 5.4.2. Uprozczone metody określania oporu górotworu . . . . .                                                                                                            | 267 |
| 5.4.3. Warunek równowagi elementu zawodnionego górotworu . . . . .                                                                                                       | 268 |
| 5.4.4. Przybliżona postać równania odspojenia calizny . . . . .                                                                                                          | 270 |
| 5.4.5. Określenie kąta nachylenia skarpy w zawodnionym górotworze . . . . .                                                                                              | 276 |
| 5.4.6. Określenie zasięgu osuwisk w wyniku niepełnego odwadniania górotworu na podstawie badania morfologii osuwisk . . . . .                                            | 277 |
| 6. ORGANIZACJA ZWALCZANIA ZAGROZEŃ WODNYCH W KOPALNIACH . . . . .                                                                                                        | 287 |
| 6.1. Systematyka profilaktyki zagrożeń wodnych kopalń podziemnych . . . . .                                                                                              | 287 |
| 6.1.1. Odwadnianie w skałach luźnych łatwych do upłynięcia . . . . .                                                                                                     | 288 |
| 6.1.2. Odwadnianie w skałach twardych, porowatych, trudno rozpuszczalnych w wodzie . . . . .                                                                             | 289 |
| 6.1.3. Odwadnianie w skałach twardych, łatwo rozpuszczalnych w wodzie . . . . .                                                                                          | 291 |
| 6.2. Określenie strefy bezpiecznego zawału w zawodnionym stropie . . . . .                                                                                               | 292 |
| 6.3. Założenia organizacyjne zwalczania zagrożeń wodnych w kopalniach podziemnych węgla kamiennego . . . . .                                                             | 295 |
| 6.3.1. Ogólne wskazówki dotyczące prowadzenia eksploatacji górniczej w warunkach zagrożenia wodnego . . . . .                                                            | 296 |
| 6.3.2. Zagrożenie kopalni ze strony robót przygotowawczych . . . . .                                                                                                     | 298 |
| 6.3.3. Zagrożenie kopalni od starych zrobów oraz otworów wiertniczych . . . . .                                                                                          | 299 |
| 6.3.4. Organizacja przechodzenia uskoju w strefie zagrożenia wodnego . . . . .                                                                                           | 300 |
| 6.3.5. Organizacja tamowania wyrobisk . . . . .                                                                                                                          | 302 |
| 6.3.6. Zwalczanie zagrożeń wodnych w skałach łatwo rozpuszczalnych . . . . .                                                                                             | 308 |
| 6.4. Zagrożenie kopalń nagłym wdarcie się wody ze szczelinowatego i kawerniastego górotworu . . . . .                                                                    | 317 |
| 6.5. Określenie zagrożenia wodnego ze strony nieciągłych zjawisk górotworu . . . . .                                                                                     | 322 |
| 6.6. Zagrożenie wodne kopalń odkrywkowych oraz płytkich kopalń podziemnych wzmożonym przypiływem wody w czasie deszczowym oraz w czasie tajania śniegów . . . . .        | 327 |
| 6.7. Wnioski dotyczące organizacji prowadzenia robót górniczych w obliczu zagrożeń wodnych kopalni . . . . .                                                             | 328 |

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7. TEORETYCZNE PODSTAWY OKREŚLENIA WODODRAŻNOŚCI GÓROTWORU                                                                            | 335 |
| 7.1. Wododrażność górotworu                                                                                                           | 335 |
| 7.1.1. Systematyka ośrodków porowatych wypełnionych medium                                                                            | 336 |
| 7.1.2. Porowatość ośrodka idealnego                                                                                                   | 343 |
| 7.1.3. Niektóre własności porowatego ośrodka stochastycznego                                                                          | 345 |
| 7.1.4. Określanie porowatości górotworu                                                                                               | 355 |
| 7.2. Metody analityczne określania przepływu wody w górotworze                                                                        | 358 |
| 7.2.1. Dokładne metody określania przepływu w świetle teorii pola                                                                     | 358 |
| 7.2.1.1. Charakterystyka przepływu cieczy przez ośrodek idealnie porowaty                                                             | 358 |
| 7.2.1.2. Wyprowadzenie podstawowego różniczkowego równania Laplace'a przepływu cieczy przez ośrodek porowaty                          | 363 |
| 7.2.1.3. Potencjał ciśnienia cieczy w ośrodku porowatym                                                                               | 366 |
| 7.2.2. Uprozczone metody określania przepływu na podstawie przepływów elementarnych                                                   | 373 |
| 7.2.2.1. Wyprowadzenie podstawowego równania różniczkowego przepływu wody w elemencie górotworu                                       | 373 |
| 7.2.2.2. Określenie dopływu wody z górotworu drobnodispersyjnego                                                                      | 378 |
| 7.2.2.3. Określenie dopływu wody z górotworu normalnie dyspersyjnego, idealnie ciągłego i jednorodnego                                | 380 |
| 7.2.2.4. Wyprowadzenie równania piezometrycznego poziomu wody w górotworze                                                            | 405 |
| 7.2.2.5. Wpływ zmiany charakteru przepływu wody przez górotwór na dopływ wody do kopalni                                              | 413 |
| 7.3. Obliczenie zasobów wód stagnujących w górotworze                                                                                 | 415 |
| 7.3.1. Obliczenie objętości wody zakumulowanej w kolektorze leja depresyjnego                                                         | 415 |
| 7.3.2. Obliczenie objętości wód zawartych w szczelinach krasowych                                                                     | 420 |
| 7.3.3. Wpływ podniesienia się wód gruntowych na zwiększenie dopływu wody do kopalni                                                   | 427 |
| 7.4. Określenie przepływu wód dynamicznych infiltrujących do kopalni                                                                  | 428 |
| 7.4.1. Wzory wyznaczające przyływ wody do wyrobisk                                                                                    | 429 |
| 7.4.2. Dynamika poziomu piezometrycznego                                                                                              | 434 |
| 7.4.3. Przybliżone rozwiązanie filtracji                                                                                              | 441 |
| 7.4.3.1. Przepływ zredukowany dla układu dwuwymiarowego                                                                               | 442 |
| 7.4.3.2. Określenie przepływu metodą analogową AEHD                                                                                   | 451 |
| 7.5. Dynamiczne metody określania dopływu wody do kopalni                                                                             | 453 |
| 7.5.1. Metoda dynamiki czasowej                                                                                                       | 456 |
| 7.5.2. Zastosowanie średnich dla rozwiązywania całek, w których występuje zmienna stochastyczna                                       | 461 |
| 7.5.3. Metoda entropii ciśnieniowej                                                                                                   | 466 |
| 7.5.4. Metoda dynamiki ciśnieniowej                                                                                                   | 467 |
| 7.6. Metody empiryczne określania ilości pompowanej wody w kopalni odkrywkowej                                                        | 469 |
| 7.6.1. Trend hiperboliczny                                                                                                            | 471 |
| 7.6.2. Trend paraboliczny                                                                                                             | 473 |
| 7.6.3. Określanie związanych trendów — parabolicznego i hiperbolicznego — na podstawie danych określających sposób szczyptywania wody | 474 |
| 7.7. Przepływy pulsujące                                                                                                              | 477 |
| LITERATURA                                                                                                                            | 486 |