

Spis treści

1. Wstęp	9
1.1. Tendencje w rozwoju układów automatyki przemysłowej	12
1.2. Stan automatyzacji zakładów przeróbki rud	13
2. Zakład przeróbczy jako obiekt automatyzacji	17
2.1. Charakterystyka przerabianej rudy	17
2.2. Struktury organizacyjne KGHM „Polska Miedź” S.A.	21
2.3. Ogólny opis technologii, schematów oraz maszyn i urządzeń	27
2.4. Uwarunkowania wprowadzania automatyzacji w ZWR	37
2.5. Opis układu technologicznego jako obiektu automatyzacji	40
3. Schemat automatyzacji	44
3.1. Znormalizowane symbole i oznaczenia na schematach technologicznych	44
3.2. Projekt schematu automatyzacji poszczególnych węzłów technologicznych	49
3.2.1. Węzeł kruszenia	50
3.2.2. Węzeł mielenia	53
3.2.3. Węzeł klasyfikacji w hydrocyklonach	56
3.2.4. Węzeł wzbogacania w osadzarkach	58
3.2.5. Węzeł wzbogacania flotacyjnego	60
3.2.6. Węzeł odwadniania	62
3.2.7. Węzeł suszenia	64
3.3. Schematy automatyzacji wybranych węzłów technologicznych	66
4. Pomiary i urządzenia pomiarowe	78
4.1. Systematyka pomiarów	78
4.1.1. Metody pomiarowe	79
4.2. Systemy pomiarowe	82
4.2.1. Struktura i podział systemów pomiarowych	84
4.2.2. Budowa toru pomiarowego	85

4.3. Teoria i analiza błędów pomiarów	91
4.3.1. Klasyfikacja błędów pomiarów	91
4.3.2. Teoria błędów przypadkowych	94
4.3.3. Błędy pomiarów metodą pośrednią	99
4.4. Granulometry – pomiar składu ziarnowego	100
4.4.1. Opis metod pomiarowych	100
4.4.2. Granulometr PSM-400	105
4.4.3. Granulometr PSI-200	111
4.4.4. Granulometr PSI-500	115
4.4.5. Granulometr PAR-TEC™	118
4.4.6. Wykorzystanie pomiarów składu ziarnowego w warunkach przemysłowych	122
4.5. Analizatory zawartości pierwiastków	123
4.5.1. Zasada działania – podstawy fizyczne analizy rentgenofluorescencyjnej	124
4.5.2. Courier-300 – budowa i zasada działania	135
4.5.2.1. Funkcje spełniane przez analizator Courier-300	142
4.5.3. Courier 30-AP – budowa i zasada działania	143
4.5.3.1. Funkcje spełniane przez analizator Courier-30 AP	147
4.5.4. XRA-1600 – budowa i zasada działania	147
4.5.4.1. Funkcje spełniane przez analizator XRA-1600	153
4.5.5. Budowa i zasada działania systemów pomiarowych wykorzystujących zanurzeniową sondę radiometryczną	155
4.5.5.1. System kontroli parametrów flotacji	156
4.5.5.2. Komputerowy system analizy procesów wzbogacania	160
4.5.5.3. Funkcje spełniane przez system kontroli parametrów flotacji oraz komputerowy system analizy procesów wzbogacania	162
5. Rodzaje modeli i modelowania	165
5.1. Rodzaje modelowania	165
5.2. Rodzaje modeli matematycznych	167
6. Podstawy modelowania, planowanie eksperymentu	170
6.1. Zasada podobieństwa w modelowaniu	170
6.2. Typowe, elementarne modele matematyczne struktury strumieni	171
6.3. Metody identyfikacji modeli matematycznych	176
6.4. Podstawy planowania eksperymentu	180
6.4.1. Podstawy teoretyczne	181
6.4.2. Regresja liniowa	182
6.4.3. Metody planowania eksperymentów	183

7. Modelowanie dynamiki procesów przeróbki kopalin za pomocą transmitancji	185
7.1. Wstęp	185
7.2. Opis stanów układu	185
7.3. Opis układu, transmitancja	187
7.4. Przegląd literatury	194
7.5. Transmitancyjny model flotacji	195
7.5.1. Model dynamiki komory flotacyjnej	195
7.5.2. Model dynamiki maszyny flotacyjnej	202
7.6. Transmitancje innych urządzeń	205
8. Charakterystyki czasowe urządzeń przeróbczych	208
8.1. Wstęp	208
8.2. Podstawy teoretyczne	208
8.3. Czasowe odpowiedzi układów dynamicznych	211
8.4. Przegląd literatury	214
8.5. Doświadczalne charakterystyki czasowe	215
8.5.1. Maszyna flotacyjna	215
8.5.2. Młyn prętowy	222
8.5.3. Klasyfikator zwojowy	226
8.6. Charakterystyki impulsowe	229
8.7. Zakończenie i wnioski	231
9. Modele dyskretne procesów przeróbki kopalin	232
9.1. Wstęp	232
9.2. Prace na temat dyskretnego modelowania procesów przeróbki	233
9.3. Opis procesu za pomocą równań różnicowych	234
9.3.1. Dyskretny model dynamiki komory flotacyjnej	235
9.4. Modele ciągów czasowych	238
9.4.1. Dynamiczne modele obiektów	240
9.5. Empiryczne modele procesów przeróbczych	241
9.5.1. Model procesu flotacji wstępnej	241
9.5.2. Model procesu flotacji czyszczących	245
9.5.3. Model strumienia materiałowego	248
9.6. Analiza jakości modeli dyskretnych	249
9.6.1. Opis obiektu badań	249
9.6.2. Analiza jakości modeli	253
9.6.3. Omówienie wyników analizy oraz zakończenie i wnioski	257
10. Stochastyczna analiza procesów przeróbczych	259
10.1. Wstęp	259
10.2. Prace na temat modeli stochastycznych w przeróbce	260
10.3. Opis matematyczny ciągłych sygnałów stochastycznych	260

10.4. Stochastyczne modele dynamiki procesów przeróbczych	263
10.4.1. Modele w dziedzinie czasu	263
10.4.2. Modele w dziedzinie częstotliwości	267
10.5. Związki między opisem w dziedzinie częstotliwości i opisem w dziedzinie czasu	269
10.6. Zakończenie	271
11. Modelowanie procesów i układów technologicznych za pomocą schematów blokowych	272
11.1. Wstęp	272
11.2. Przegląd literatury	273
11.3. Analiza wybranych węzłów technologicznych	274
11.3.1. Otwarty układ młyn – klasyfikator	276
11.3.1.1. Analityczne określenie transmitancji i odpowiedzi	277
11.3.1.2. Symulacyjne określenie odpowiedzi	281
11.3.1.3. Doświadczalne określenie odpowiedzi	288
11.3.2. Zamknięty układ młyn – klasyfikator – młyn	290
11.3.2.1. Analityczne określenie transmitancji układu	291
11.3.2.2. Symulacyjne określenie odpowiedzi	293
11.4. Zakończenie i wnioski	301
12. Nowe tendencje i metody w modelowaniu procesów	302
12.1. Metody i pojęcia sztucznej inteligencji	302
12.2. Zastosowanie sieci neuronowych do modelowania przemysłowych procesów przeróbki surowców mineralnych	304
12.2.1. Wstęp – podstawy teoretyczne	304
12.2.2. Modelowanie przemysłowego procesu flotacji	309
12.2.3. Modelowanie przemysłowych procesów mielenia i klasyfikacji	313
12.2.4. Wnioski końcowe	317
12.3. Wykorzystanie zbiorów rozmytych w modelowaniu	317
12.3.1. Systemy bazujące na logice rozmytej	317
12.3.2. Pojęcia, definicje, operacje na zbiorach rozmytych	318
12.3.3. Zastosowanie logiki rozmytej do klasyfikacji danych	320
13. Metody optymalizacji w przeróbce surowców mineralnych – podstawy teoretyczne	323
13.1. Wstęp	323
13.2. Sformułowanie zadania optymalizacji	324
13.2.1. Optymalizacja statyczna	324
13.2.2. Optymalizacja dynamiczna	325

13.3. Podział zadań optymalizacji i metody ich rozwiązywania	326
13.3.1. Zadania programowania liniowego	327
13.3.2. Zadania programowania nieliniowego	328
13.3.3. Optymalizacja wielokryterialna	330
13.4. Wybór metody optymalizacji w warunkach procesów przeróbczych	331
14. Wybór wskaźników jakości i funkcji celu	333
14.1. Niezbędne właściwości wskaźników – kryteriów jakości	333
14.2. Wskaźniki jakości w przeróbce surowców	334
14.3. Kryteria jakości sterowania	336
14.3.1. Optymalizacja parametryczna	336
14.3.2. Optymalizacja dynamiczna	338
14.4. Przykłady formułowania zadań optymalizacji i wskaźniki technologiczne wybranych procesów przeróbczych	339
14.4.1. Warianty zadań optymalizacji procesu mielenia	339
14.4.2. Wskaźniki oceny i funkcja celu węzła flotacji	342
15. Przykłady rozwiązania zadań optymalizacji w odniesieniu do wybranych obiektów przeróbki surowców mineralnych	345
15.1. Określenie optymalnych sterowań węzła flotacji	345
15.2. Optymalna produkcja koncentratu w zespole kilku zakładów przeróbczych	351
15.3. Optymalizacja pracy węzła mielenia i klasyfikacji przy wykorzystaniu zużycia energii elektrycznej jako wskaźnika oceny	355
15.3.1. Źródła kosztów przeróbki rud miedzi	356
15.3.2. Obiekt badań	356
15.3.3. Wskaźniki energetyczne	359
15.3.4. Metody obliczeniowe	360
15.3.5. Optymalizacja wskaźników	362
15.4. Przykłady zadań optymalizacji wielokryterialnej	368
15.4.1. Optymalizacja ciągu technologicznego	368
15.4.2. Optymalizacja zadania logistyki koncentratu	369
15.5. Zakończenie	371
Literatura	373