

Spis treści

1. Wiadomości wstępne	13
1.1. Wzrost liczby ludności a recykling	14
1.2. Recykling a oszczędność energii i redukcja emisji CO ₂	16
1.3. Recykling a minimalizacja składowanych odpadów stałych	18
1.4. Recykling a ochrona wody przed zanieczyszczeniem	20
1.5. Regulacje prawne recyklingu	21
Literatura	23
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	23
2. Recykling srebra	25
2.1. Właściwości chemiczne srebra	27
2.2. Otrzymywanie srebra ze źródeł pierwotnych	28
2.3. Produkcja srebra w Polsce	32
2.4. Baza surowcowa dla recyklingu srebra	33
2.5. Odzysk srebra ze zużytych odczynników fotograficznych	33
2.5.1. Strącanie Ag ₂ S i otrzymywanie srebra	35
2.5.2. Otrzymywanie srebra z siarczku srebra	36
2.6. Odzysk srebra ze złomów jego stopów	38
2.6.1. Odzysk srebra ze stopu Ag-Au	43
2.6.2. Odzysk srebra z amalgamatów	44
2.6.3. Odzysk srebra ze złomu, którego powierzchnia pokryta jest srebrem	45
2.7. Odzysk srebra ze szlamów pochodzących z elektrorefinacji miedzi	46
2.7.1. Przygotowanie szlamu anodowego do przerobu	47
2.7.2. Wytop metalu Dore'a w piecu Kaldo	49
2.8. Inne metody wstępnej przeróbki szlamów anodowych pochodzących z elektrorefinacji miedzi	53
2.8.1. Prażenie utleniające szlamów anodowych w temperaturze 300–400 °C	53
2.8.2. Prażenie utleniające szlamów anodowych w temperaturze 600–800 °C	54

2.8.3. Prażenie utleniające szlamów anodowych z sodą (Na_2CO_3)	54
2.8.4. Prażenie nasiarczające szlamów anodowych	55
2.8.5. Hydrometalurgiczna metoda przeróbki szlamów anodowych	55
2.8.6. Przerób szlamów anodowych z udziałem stopionych soli	56
2.9. Proces odzysku srebra z ołowiu	56
2.9.1. Usprawnienie procesu Parkesa	57
2.9.2. Odcynkowanie ołowiu w próżni – proces Penarroya–Leferrera	58
2.9.3. Podstawy procesu odcynkowania stopu Ag-Pb-Zn	59
2.9.4. Prężności par cynku nad roztworami Pb-Ag-Zn	60
2.9.5. Kinetyka odcynkowania piany srebronośnej	62
2.9.6. Kupelacja ołowiu	63
2.9.7. Kupelacja ołowiu w konwertorze z dolnym dmuchem	65
2.10. Odzysk srebra w procesie szybowym	66
2.10.1. Konwertorowanie stopu Pb-Ag	67
2.11. Rafinacja srebra	68
2.11.1. Rafinacja ogniowa	69
2.11.2. Rafinacja elektrolityczna srebra	74
2.11.3. Chemiczna metoda rafinacji srebra	77
2.12. Odlewanie srebra	78
Literatura	78
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	80
3. Recykling złota	81
3.1. Właściwości fizyczne i chemiczne złota	81
3.2. Związki złota	84
3.3. Stopy złota	88
3.3.1. Stopy Au-Ag-Cu	89
3.3.2. Stopy Au-Cu	91
3.3.3. Stopy Au-Ag	92
3.3.4. Stopy Au-Ni	93
3.3.5. Stopy Au-Pt	94
3.3.6. Stopy Au-Ag-Pd	94
3.3.7. Stopy Au-Cu-Ni	94
3.4. Złóża i zasoby złota	95
3.5. Identyfikacja złota	95
3.6. Analiza numizmatów	97
3.7. Odzysk złota z różnych materiałów	98
3.7.1. Odzysk złota z materiałów I grupy	98
3.7.2. Strącanie złota z roztworów	101
3.7.3. Strącanie złota za pomocą SO_2	102
3.7.4. Odzysk złota ze szlamów anodowych	104

3.8. Odzysk złota ze złomu przedmiotów połączonych	107
3.9. Odzysk złota ze złomu laboratoryjnego	109
3.9.1. Złomy zielonego złota	110
3.9.2. Przerób złomów złota zawierających luty ołowiowe	110
3.9.3. Przerób złomu białego złota	111
3.9.4. Odzysk złota pomieszanego z tworzywami ceramicznymi	112
3.9.5. Przerób złomu złota zielonego połączonego z platyną	112
3.9.6. Przerób złomu stopów Au-Ag o małej zawartości srebra ($Ag < 10\%$)	115
3.9.7. Przerób złomu stopu Au-Ag o dużej zawartości srebra	116
3.9.8. Odzysk metali szlachetnych ze stopu Au-Pt-Pd	116
3.10. Odzysk złota ze zużytych roztworów	118
3.11. Odzysk złota ze złomu elektronicznego	120
3.11.1. Segregacja mechaniczna złomu	122
3.11.2. Ługowanie złomu	123
3.12. Pirometalurgiczne metody przerobu złomów elektronicznych	127
3.13. Rafinacja złota	128
3.13.1. Elektrolityczna rafinacja złota	130
3.14. Topienie złota i jego stopów	130
Literatura	131
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	132
4. Recykling platynowców	136
4.1. Właściwości fizyczne platynowców	136
4.2. Właściwości chemiczne platynowców	137
4.2.1. Związki platynowców	139
4.3. Złoża i zasoby platynowców	140
4.3.1. Przerób rud platynowców	143
4.4. Stopy platynowców	146
4.5. Właściwości i zastosowanie platyny	146
4.6. Roztworzenie platyny	147
4.6.1. Roztworzenie platyny w wodzie królewskiej	147
4.6.2. Rozpuszczanie platyny w kwasie solnym w obecności chloru lub innego chlorowca	149
4.6.3. Roztworzenie platyny w roztworach jodu w obecności tlenu	150
4.7. Baza surowcowa dla recyklingu platyny	155
4.7.1. Materiały metaliczne	156
4.7.2. Materiały niemetaliczne	157
4.7.3. Przerób roztworu zawierającego złoto, srebro i platynowce	158
4.7.4. Strącanie srebra	160
4.7.5. Strącanie złota	161

4.7.6. Przerób roztworów zawierających platynę i pallad	162
4.7.7. Przerób roztworów zawierających platynę i rod	163
4.7.8. Otrzymywanie platyny metalicznej	163
4.7.9. Topienie platyny	164
4.8. Odzysk platyny i palladu ze złomowanych katalizatorów	165
4.8.1. Przetop wypełnienia katalizatorów samochodowych w piecu łukowym	166
4.8.2. Wyniki badań przemysłowych	168
4.8.3. Odzysk platynowców ze zużytych katalizatorów samochodowych nowej generacji	170
4.8.4. Porównanie katalizatorów samochodowych	171
4.8.5. Opis procesu odzysku platynowców ze zużytych katalizatorów MSC	172
4.9. Separacja platynowców	173
4.9.1. Separacja rodu	176
4.9.2. Separacja irydu i rutenu	179
4.10. Rafinacja platynowców	181
4.10.1. Rafinacja platyny	181
4.10.2. Rafinacja palladu	182
4.10.3. Rafinacja rodu	186
4.10.4. Rafinacja irydu	188
4.11. Odzysk i rafinacja rutenu	190
4.12. Odzysk i rafinacja osmu	191
4.13. Zagospodarowanie zawrotów	192
4.14. Materiały konstrukcyjne przeznaczone do urządzeń stosowanych podczas odzysku platynowców	192
Literatura	193
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	194
5. Recykling miedzi	197
5.1. Właściwości miedzi	197
5.2. Wykorzystanie złomów miedzi oraz jej stopów w procesach recyklingu	198
5.3. Segregacja złomu miedzi, jej stopów oraz innych materiałów miedzionośnych	201
5.4. Przerób wysokogatunkowych złomów miedzi oraz stopów	201
5.5. Analiza chemiczna złomów	204
5.6. Recykling miedzi w Europie	204
5.7. Recykling miedzi w Japonii	207
5.8. Recykling miedzi w USA	208
5.9. Rynek złomu miedzi	210
5.10. Złom samochodowy	210

5.11. Przerób złomu elektronicznego	213
5.12. Przerób złomów niskomiedziowych i odpadów w piecu szybowym	214
5.13. Maksymalizacja odzysku miedzi z żużli	217
5.14. Konwertowanie miedzi czarnej	217
5.15. Zachowanie się domieszek miedzi	221
5.16. Zastosowanie konwertora Kaldo do przerobu złomu miedziowego	224
5.17. Recykling złomu w hutach miedzi	226
5.18. Perspektywiczne źródła miedzi do odzysku	227
5.19. Odzysk miedzi z pyłów	230
5.20. Minimalizacja ilości pyłów	231
5.21. Ługowanie pyłów kwasem siarkowym	232
5.22. Odzysk metali z roztworów	236
5.23. Rafinacja miedzi w piecu anodowym	237
5.24. Podstawy procesu ogniowej rafinacji miedzi	238
5.25. Właściwości termodynamiczne układu Cu-O	239
5.26. Współczynnik aktywności miedzi w układzie Cu-O	244
5.27. Optymalizacja procesu rafinacji ogniowej miedzi	244
5.28. Elektorafinacja miedzi	251
5.29. Zasada rafinacji elektrolitycznej miedzi	251
5.30. Zachowanie się zanieczyszczeń miedzi w procesie elektorafinacji	255
5.31. Zjawisko pasywacji anodowej	258
5.32. Wpływ gęstości prądu na pasywację anod	259
5.33. Wpływ stężenia zanieczyszczeń elektrolitu na czas pojawienia się pasywacji anod	260
5.34. Eliminacja zjawiska pasywacji	261
5.35. Rafinacja przemysłowa	262
5.35.1. Katody	262
5.35.2. Elektrolit	262
5.36. Elektrolizery i połączenia elektryczne	263
5.37. Przebieg przemysłowego cyklu elektorafinacji miedzi	264
5.38. Jakość miedzi katodowej	264
5.39. Oczyszczanie elektrolitu	265
5.40. Mechanizmy działania substancji aktywnych	266
5.41. Temperatura elektrolitu	267
5.42. Optymalizacja parametrów, które charakteryzują prąd przepływający przez elektrolizery	267
5.43. Wydajność prądowa	268
5.44. Postęp w elektorafinacji miedzi	269
5.45. Spadek napięcia pomiędzy katodą i anodą	270
Literatura	271
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	274

6. Recykling aluminium	281
6.1. Właściwości aluminium	281
6.2. Produkcja aluminium	282
6.3. Sortowanie złomów aluminium i jego stopów	283
6.4. Separacja złomu aluminiowego za pomocą ciężkich cieczy	284
6.5. Segregacja złomów aluminium i jego stopów oparta na wykorzystaniu prądów wirowych	285
6.6. Segregacja złomu aluminiowego oparta na wykorzystaniu zjawiska elektromagnetyzmu	290
6.7. Segregacja złomu aluminiowego w polu elektrostatycznym	291
6.8. Segregacja złomu aluminiowego oparta na różnicowaniu jego kolorów	292
6.9. Segregacja złomu aluminiowego oparta na analizie kształtu	293
6.10. Segregacja złomu z zastosowaniem techniki laserowej	293
6.11. Układ laser-czujnik	295
6.12. Układ sortujący	296
6.13. Technologie usuwania farb i powłok z aluminium	297
6.14. Technologia usuwania pokryć organicznych w warstwie fluidalnej	298
6.15. Ochrona środowiska	300
6.16. Usuwanie farb i lakierów w piecu obrotowym	301
6.17. Usuwanie farb i lakierów na taśmie	301
6.18. Metody chemiczne usuwania farb i lakierów ze złomu aluminiowego	302
6.19. Topienie złomu aluminiowego	303
6.20. Rafinacja aluminium	306
6.21. Usuwanie niektórych metali z aluminium za pomocą chloru	307
6.22. Kinetyka usuwania magnezu z aluminium	310
6.23. Usuwanie domieszek z aluminium charakteryzujących się dużą prężnością par	314
6.24. Usuwanie żelaza z ciekłego aluminium	323
6.25. Rafinacja aluminium w próżni	324
6.26. Rafinacja ciekłego aluminium za pomocą pola magnetycznego	325
6.27. Rafinacja elektrolityczna aluminium	325
6.28. Rafinacja aluminium przez formowanie i separację związków metalicznych	326
6.29. Usuwanie Pb z aluminium	330
6.30. Zastosowanie stałych wymiennicy jonowych w procesach rafinacji aluminium	330
6.31. Problemy związane z topieniem złomów aluminiowych	336
Literatura	341
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	344

7. Recykling ołowiu	349
7.1. Produkcja i zastosowanie ołowiu	349
7.2. Pirometalurgiczny przerób złomu akumulatorowego	351
7.2.1. Usprawnienia procesu	355
7.2.2. Wprowadzenie palników olejowych zasilanych powietrzem wzbogaconym w tlen	355
7.2.3. Suszenie wsadu przed załadunkiem do pieca	356
7.2.4. Szybki załadunek pieca	356
7.3. Zastosowanie pieca Kaldo do produkcji ołowiu z materiałów odpadowych	357
7.4. Fumingowanie żużli ołowiowo-cynkowych	359
7.5. Metody usuwania siarki z pasty akumulatorowej	361
7.5.1. Usuwanie siarki z pasty akumulatorowej za pomocą ługowania roztworem węgla amonu	362
7.5.2. Usuwanie siarki z pasty akumulatorowej za pomocą ługowania roztworem węgla sodu	362
7.5.3. Usuwanie siarki z pasty akumulatorowej za pomocą ługowania roztworem wodorotlenku sodu	363
7.5.4. Usuwanie siarki z pasty akumulatorowej za pomocą ługowania roztworem octanu amonu	363
7.6. Technologia CX-EWS do odzysku ołowiu ze zużytych akumulatorów	365
7.7. Metoda Placid	369
7.8. Proces RSR	373
7.9. Proces opracowany przez Bureau of Mines	374
7.10. Proces Engitec	374
7.11. Kierunki rozwoju przemysłu wytwarzającego akumulatory	375
7.12. Odzysk ołowiu z pyłów, szlamów i żużli w HM „Głogów”	376
7.13. Rafinacja ołowiu otrzymanego z surowców wtórnych	378
7.13.1. Usuwanie miedzi z ołowiu	379
7.13.2. Usuwanie miedzi z ołowiu za pomocą siarki	384
7.13.3. Usuwanie z ołowiu As, Sb, Sn (zmiękczenie ołowiu) – proces Harrisa	386
7.13.4. Usuwanie srebra z ołowiu – proces Parkesa	388
7.13.5. Usuwanie cynku z ołowiu	389
7.13.6. Usuwanie z ołowiu bizmutu – proces Krolla–Bettertona	390
7.13.7. Końcowy etap rafinacji ołowiu	391
Literatura	391
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	392
8. Recykling cynku	396
8.1. Właściwości cynku	396
8.2. Baza surowcowa do odzysku cynku	397

8.3. Odzysk cynku z materiałów cynkonośnych metodami pirometalurgicznymi	399
8.3.1. Odzysk cynku w procesie przewałowym (proces Waelza)	400
8.3.2. Modyfikacje procesu przewałowego	401
8.3.3. Odzysk cynku za pomocą technologii CONTOP	404
8.3.4. Przerób materiałów cynkonośnych w piecach retortowych	408
8.3.5. Przerób materiałów cynkonośnych w piecach muflowych	409
8.3.6. Przerób materiałów cynkonośnych w piecach typu Larvik	410
8.3.7. Odzysk cynku z materiałów cynkonośnych w piecach ISP	410
8.3.8. Kondensacja par cynku na rozbryzgiwanym ołowiu	413
8.4. Nowe procesy do odzysku cynku z materiałów odpadowych	415
8.4.1. Proces ENVIROPLAS	415
8.4.2. Wyniki badań pilotażowych nad przerobem pyłów cynkonośnych z pieców łukowych za pomocą technologii ENVIROPLAS	418
8.4.3. Proces Ausmelt	419
8.4.4. Proces IBDR-ZIPP	420
8.4.5. Proces Kawasaki	421
8.5. Modelowanie procesu fumingowania żużli zawierających cynk	422
8.6. Rafinacja cynku	424
8.7. Hydrometalurgiczne metody odzysku cynku	429
8.7.1. Ługowanie odpadów cynkonośnych za pomocą kwasu siarkowego	430
8.7.2. Ługowanie odpadów cynkonośnych za pomocą kwasu solnego lub ich chlorowanie	432
Literatura	439
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	441
9. Recykling cyny	444
9.1. Właściwości fizykochemiczne cyny	444
9.2. Baza surowcowa do recyklingu cyny	445
9.3. Mechanizm rozpuszczania się cyny w roztworach alkalicznych	447
9.4. Odzysk cyny w procesie ługowania i elektrolizy	449
9.5. Anodowe roztwarzanie cyny z powierzchni blach stalowych pokrytych cyną	451
9.6. Odzysk cyny za pomocą chlorowania	455
9.7. Odzysk cyny w krótkich piecach obrotowych (KPO)	459
9.8. Fumingowanie żużli cynowych	462
9.9. Warunki przechodzenia cyny do pyłów	464
9.10. Przerób szlamów cynowo-ołowiowych	466
9.11. Odzysk cyny ze zgarów ołowiowych	467
9.12. Rafinacja cyny	468
9.12.1. Usuwanie żelaza z cyny	468

9.12.2. Usuwanie miedzi z cyny	469
9.12.3. Usuwanie arsenu z cyny	470
9.12.4. Usuwanie bizmutu z cyny	470
9.13. Elektrorefinacja cyny	471
Literatura	472
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	473
10. Odzysk innych metali (Ni, Co, Mo, W, V, La, Nd, Dy, Sm, Cd, Hg)	475
10.1. Odzysk metali ze zużytych katalizatorów stosowanych w przemyśle chemicznym	475
10.1.1. Otrzymywanie MoO ₃ wysokiej czystości	481
10.1.2. Przerób zużytych katalizatorów za pomocą technologii opracowanej przez Gulf Chemical and Metallurgical Corporation	482
10.1.3. Odzysk metali ze zużytych katalizatorów za pomocą technologii firmy Taiyo Koko	484
10.1.4. Odzysk metali ze zużytych katalizatorów za pomocą chlorowania	485
10.1.5. Odzysk wolframu i wanadu ze złomu stopów wolframu	487
10.1.6. Odzysk metali ze zużytych katalizatorów za pomocą technologii firmy INMETKO	489
10.1.6.1. Kryteria akceptacji materiałów do przerobu	492
10.1.6.2. Przewóz zużytych katalizatorów	492
10.1.7. Zastosowanie wtryskiwania sproszkowanych katalizatorów do kamienia miedziowego	493
10.2. Odzysk metali ze zużytych baterii	496
10.2.1. Odzysk Ni i Cd z akumulatorów i baterii Ni-Cd	497
10.2.2. Odzysk metali ze zużytych baterii wielokrotnego użycia typu Ni-MH	500
10.2.2.1. Konstrukcja baterii Ni-MH	501
10.2.2.2. Obróbka mechaniczna zużytych baterii Ni-MH	502
10.2.2.3. Procesy hydrometalurgiczne wykorzystywane do przerobu zużytych baterii	504
10.2.2.4. Separacja metali ziem rzadkich (RE)	504
10.2.2.5. Separacja innych domieszek	504
10.2.2.6. Elektrolityczne wydzielanie Ni i Co	505
10.2.3. Odzysk metali z zużytych baterii typu AB ₂	506
10.2.3.1. Próby ługowania	507
10.2.3.2. Ekstrakcja metali z roztworu	507
10.2.4. Technologia firmy Batrec	508
10.2.5. Zastosowanie technologii Ausmelt do przerobu zużytych baterii Ni-Cd	511
10.2.5.1. Ekonomiczne uwarunkowania procesu	513

10.3. Odzysk metali ziem rzadkich	514
10.3.1. Odzysk neodymu ze złomu magnezów typu $Fe_{14}Nd_2B$ metodą chlorowania	514
10.3.2. Metoda rozdziału metali ziem rzadkich	516
10.3.3. Odzysk neodymu za pomocą ekstrakcji ciekłym magnezem	517
10.4. Proces DMEC – metoda odzysku i rafinacji metali	520
10.4.1. Prototyp komercyjnego elektrolizera	522
10.4.2. Recykling nadstopów	524
10.4.3. Rafinacja kobaltu	526
10.5. Recykling rtęci	527
10.5.1. Materiały zawierające rtęć	527
10.5.2. Przygotowanie materiału do odzysku rtęci	527
10.5.3. Wyposażenie retorty	527
10.5.4. Odpady powstające podczas procesu	529
10.5.5. Odzysk rtęci za pomocą pieca z warstwą fluidalną	530
10.5.6. Opis technologii	530
10.5.7. Formowanie wsadu	531
10.5.8. Desorpcja rtęci	531
10.5.9. Odpylanie i schładzanie gazu procesowego	532
10.5.10. Oczyszczanie wody	532
10.5.11. Zasady obróbki termicznej odpadów zawierających rtęć	532
Literatura	534
Dodatkowa literatura związana z treścią rozdziału	536