

Spis treści

Skróty i oznaczenia	11
1. Wprowadzenie	13
1.1. Analiza rynku przetwórstwa i recyklingu tworzyw sztucznych	13
1.2. Produkcja i konsumpcja tworzyw sztucznych na świecie i w Europie	14
1.3. Rynek odzysku pokonsumenckich odpadów z tworzyw sztucznych	18
2. Charakterystyka tworzyw sztucznych w aspekcie recyklingu	21
2.1. Polimery, tworzywa sztuczne i kopolimery – definicje	21
2.2. Klasyfikacja polimerów	23
2.2.1. Podział ze względu na źródło pochodzenia	23
2.2.2. Podział ze względu na rodzaj reakcji powstawania	24
2.2.3. Podział ze względu na budowę chemiczną	25
2.2.4. Podział ze względu na podatność na przetwórstwo i recykling	26
3. Gospodarka cyrkularna tworzyw sztucznych	29
3.1. Zasady zrównoważonej gospodarki w obiegu zamkniętym	29
3.2. Projektowanie wyrobów i procesów zorientowanych na recykling	31
3.3. Ograniczenia w stosowaniu wtórnych tworzyw sztucznych	33
3.4. Ocena podatności na recykling opakowań z tworzyw sztucznych	34
4. Powstawanie odpadów poużytkowych i poprodukcyjnych	41
5. Charakterystyka procesów odzysku i recyklingu polimerów	43
5.1. Odzysk tworzyw sztucznych	43
5.2. Recykling tworzyw sztucznych	44
6. Odzysk energetyczny odpadów z tworzyw sztucznych	47
6.1. Spalanie pirolityczne	47
6.2. Zgazowanie odpadów	48
6.3. Spalanie w złożu fluidalnym	48
6.4. Spalanie rusztowe	48
6.5. Stan odzysku energetycznego w Europie i w Polsce	49
6.6. Odpad RDF paliwem alternatywnym	51
6.7. Przykładowy proces spalania rusztowego odpadów	52
7. Recykling chemiczny (surowcowy) odpadów z tworzyw sztucznych	55
7.1. Depolimeryzacja (chemoliza)	56
7.1.1. Hydroliza	57
7.1.2. Metanoliza	57
7.1.3. Glikoliza	58

7.2. Oczyszczenie rozpuszczalnikowe.....	58
7.3. Obróbka hydrotermiczna	59
7.4. Zgazowanie	59
7.5. Przykłady zastosowań recyklingu chemicznego	60
8. Techniki sortowania i separacji materiałów polimerowych	61
8.1. Metody separacji gęstościowej	65
8.1.1. Separacja flotacyjna („pływa-tonie”)	65
8.1.2. Separacja przy użyciu hydrocyklonu	66
8.1.3. Separacja przy użyciu klasyfikatora powietrznego	67
8.1.4. Separacja w wirówce sortującej	68
8.2. Metody separacji elektrostatycznej.....	69
8.2.1. Rodzaje separatorów elektrostatycznych	70
8.2.2. Ocena efektywności separacji elektrostatycznej tworzyw polimerowych ..	73
9. Techniki identyfikacji tworzyw sztucznych w aspekcie sortowania	75
9.1. Metody optyczne i termooptyczne	75
9.2. Metody spektroskopowe	76
9.2.1. Spektroskopia w bliskiej podczerwieni (NIR)	76
9.2.2. Spektroskopia plazmy indukowanej laserem i spektroskopia iskrowa	78
9.2.3. Spektroskopia Ramana	79
9.2.4. Detekcja rentgenowska	79
10. Recykling mechaniczny tworzyw sztucznych	81
10.1. Etapy recyklingu materiałów polimerowych	83
10.1.1. Zbieranie odpadów z tworzyw sztucznych	83
10.1.2. Sortowanie i separacja odpadów	84
10.1.3. Rozdrabnianie odpadów z tworzyw sztucznych	84
10.1.4. Mycie odpadów z tworzyw sztucznych	87
10.1.5. Suszenie tworzyw sztucznych	88
11. Przykładowe linie do recyklingu mechanicznego odpadów z tworzyw sztucznych	91
11.1. Linia do recyklingu odpadów poprodukcyjnych (PIR)	91
11.2. Linia do recyklingu odpadów pokonsumpcyjnych (PCR)	92
11.3. Linie do wstępnego przygotowania tworzyw wtórnych do regranulacji	94
11.4. Linie do produkcji regranulatu	97
11.4.1. Charakterystyka wybranego do recyklingu tworzywa (PET)	98
11.4.2. Uniwersalna linia do produkcji regranulatu w układzie modułowym ...	98
11.4.3. Linia do produkcji regranulatów do kontaktu z żywnością	103
11.4.4. Linia do produkcji regranulatów z odpadów pokonsumpcyjnej folii	105
11.5. Linia z przykładem technologii upcyclingu	107
11.6. Technologia usuwania nieprzyjemnych zapachów z regranulatów	109
12. Przemysłowe technologie poprawy jakości regranulatów	111
13. Wpływ procesu degradacji na właściwości recyklatów polimerowych	113
13.1. Właściwości tworzyw wtórnych	113
13.2. Metody oceny jakości tworzyw wtórnych	115
13.2.1. Analiza właściwości przetwórczych	115
13.2.2. Analiza właściwości cieplnych i chemicznych	117
13.2.3. Analiza koloru metodą CIE Lab	117
13.2.4. Analiza czystości płatków i granulatów	117
13.2.5. Analiza właściwości granulometrycznych	118
14. Poprawianie jakości recyklatów (<i>upgrading</i>) na podstawie badań własnych ..	121
14.1. Wytwarzanie mieszanin polimerowych na drodze kompatybilizacji	121

14.1.1. Badania eksperymentalne	124
14.1.2. Wyniki badań właściwości cieplnych i strukturalnych mieszanin	125
14.1.3. Wyniki badań właściwości mechanicznych	126
14.1.4. Podsumowanie	128
14.2. Tworzenie mieszanin z innymi polimerami	128
14.2.1. Wytwarzanie regranulatów do produkcji folii	128
14.2.2. Proces produkcji folii z regranulatu	130
14.2.3. Analiza właściwości i struktury folii z regranulatu	130
14.2.4. Analiza właściwości przetwórczych	131
14.2.5. Analiza wytrzymałości na przebicie folii z regranulatów	131
14.2.6. Analiza mikroskopowa morfologii powierzchni folii	132
14.2.7. Podsumowanie	133
14.3. Tworzenie mieszanin z napełniaczami	133
14.3.1. Wytwarzanie folii z regranulatów modyfikowanych napełniaczami	133
14.3.2. Badania eksperymentalne	134
14.3.3. Proces wytwarzania folii z regranulatu PCR	135
14.3.4. Ocena właściwości mechanicznych	137
14.3.5. Ocena struktury metodą DSC	139
14.3.6. Podsumowanie	140
15. Procesy kompostowania biopolimerów i biokompozytów	141
15.1. Systemy kompostowania	142
15.1.1. Zamknięty system kompostowania	143
15.1.2. System zamknięty z reaktorem kompostującym	143
15.1.3. System zamknięty z kompostowaniem reaktorowym	144
15.1.4. System zamkniętego kompostowania modułowo-bębnowy	144
15.1.5. System otwartego kompostowania na wolnym powietrzu	145
15.2. Od gospodarki odpadami do gospodarki opartej na zasobach naturalnych	147
15.2.1. Opis i schemat procesu recyklingu organicznego	147
15.2.2. Uszlachetnianie biogazu	149
16. Kompostowanie biopolimerów i biokompozytów	151
16.1. Recykling biokompozytów	151
16.1.1. Biokompozyty polilaktydu	152
16.1.2. Warunki kompostowania biokompozytów PLA/HNT	152
16.1.3. Wyniki badań eksperymentalnych	153
16.1.4. Podsumowanie	156
17. Biodegradacja tworzyw sztucznych i kompozytów polimerowych z wykorzystaniem mikroorganizmów	157
18. Recykling kompozytów polimerowych	161
18.1. Sposoby recyklingu kompozytów	162
18.2. Recykling mechaniczny kompozytów	163
18.3. Piroliza kompozytów polimerowych	165
18.4. Podsumowanie	166
Literatura	169