Spis treści

Od autora **11**

1. Rodzaje cementów i zasady ich klasyfikacji **13**

1.1. Historia spoiw wiążących i betonu 13

1.2. Zasady klasyfikacji cementów 21

Literatura 32

2. Klinkier portlandzki **35**

2.1. Proces powstawania klinkieru portlandzkiego 35

2.2. Równowagi fazowe ważne w chemii cementu 46

2.2.1. Układ $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 46

2.2.1.1. Układ $CaO-SiO_2$ 46

2.2.1.2. Układ $CaO-Al_2O_3$ 49

2.2.1.3. Układ $CaO-Al_2O_3-SiO_2$ 50

2.2.2. Układ $CaO-Fe_2O_3-SiO_2$ 53

2.2.2.1. Układ $CaO-Fe_2O_3$ 53

2.2.2.2. Układ $CaO-Fe_2O_3-SiO_2$ 54

2.2.3. Układ $CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3$ 54

2.2.4. Układ $CaO-SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$ 56

2.2.4.1. Podukład $CaO-C_2S-C_{12}A_7-C_2F$ 58

2.2.4.2. Wpływ MgO 59

2.2.5. Odstępstwa od stanu równowagi w procesie klinkieryzacji 60

2.3. Przebieg procesu klinkieryzacji w mieszaninach przemysłowych 62

2.3.1. Modyfikacja procesu klinkieryzacji w obecności mineralizatorów 69

2.3.1.1. Wpływ fluoru na proces klinkieryzacji 70

2.3.1.2. Wpływ chloru na proces klinkieryzacji 74

2.3.1.3. Alkalia w procesie klinkieryzacji 76

2.3.1.4. Siarka w procesie klinkieryzacji 77

2.3.1.5. Fosfor w procesie klinkieryzacji 77

2.3.2. Proces klinkieryzacji w piecu obotowym 78

2.4. Termochemia procesu klinkieryzacji 86

2.5. Skład fazowy cementów portlandzkich 90
2.5.1. Krzemian trójwapniowy i faza alitu 92
2.5.2. Krzemian dwuwapniowy i faza belitu 103
2.5.3. $Ca_3Al_2O_6$ i faza glinianowa w klinkierze 113
2.5.4. Faza ferrytowa 119
2.5.5. Fazy występujące w małych ilościach 122
2.5.5.2. Peryklaz 123
2.5.5.3. Alkalia w klinkierze 124
2.5.5.4. Szkło 125
2.5.5.5. Domieszki 125
2.5.6. Metody badania fazowego składu klinkieru 129
Literatura 138

3. Hydratacja faz klinkierowych 145
3.1. Wstęp 145
3.2. Hydratacja krzemianów 147
3.2.1. Hydratacja krzemianu trójwapniowego 147
3.2.2. Hydratacja krzemianu dwuwapniowego 163
3.2.3. Faza C-S-H 163
3.3. Hydratacja glinianów wapnia 183
3.3.1. Układ $CaO-Al_2O_3-H_2O$ 183
3.3.2. Uwodnione siarczanogliniany wapnia i inne gliniany złożone 188
3.3.3. Hydratacja C_3A 197
3.3.4. Hydratacja C_3A w obecności gipsu 203
3.3.5. Hydratacja różnych form polimorficznych C_3A 205
3.4. Hydratacja fazy ferrytowej 206
3.5. Hydraty występujące w małych ilościach w zaczynie 208
3.6. Ciepło twardnienia 208
Literatura 217

4. Hydratacja cementu 221
4.1. Hydratacja cementu w temperaturze pokojowej 221
4.1.1. Skład fazowy zaczynu 228
4.1.2. Rola gipsu w hydratacji i zakłócenia w procesie wiązania 230
4.1.3. Wpływ niektórych związków na proces hydratacji cementu 243
4.1.4. Dodatki ułatwiające mielenie 273
4.1.5. Reduktory chromu 276

4.2. Hydratacja cementu w warunkach hydrotermalnych 278
4.2.1. Fazy występujące w układzie $CaO-Si0_2-H_20$ 278
4.2.2. Warunki powstawania i struktury wybranych faz 282
4.2.3. Skład fazowy cementu ulegającego hydratacji w warunkach hydrotermalnych 285
Literatura 293

5. Właściwości zaczynu 299

5.1. Reologiczne właściwości zaczynu 299
5.2. Mikrostruktura zaczynu a jego wytrzymałość 322
5.3. Odkształcenia zaczynu 352
5.3.1. Zmiany objętości plastycznego zaczynu 352
5.3.2. Skurcz suszenia 359
5.3.3. Zmiany objętości betonu 367
5.3.4. Pełzanie 368
5.3.5. Przepuszczalność zaczynu 370
Literatura 383

6. Właściwości betonu 389

6.1. Wpływ zaczynu na właściwości betonu 389
6.2. Wiązanie zaczynu z kruszywem 394
6.3. Wiązanie zaczynu ze zbrojeniem 406
6.4. Korozja betonu 412
6.4.1. Reakcje zaczynu z kruszywem 416
6.4.2. Kruszywa węglanowe 432
6.4.3. Opóźnione powstawanie ettringitu 434
6.4.4. Korozja betonu w roztworach chlorków 447
6.4.5. Korozja siarczanowa 462
6.4.6. Korozja w wodzie morskiej 476
6.4.7. Różne środowiska korozyjne 481
6.4.8. Karbonatyzacja betonu 482
6.4.9. Wody miękkie 489
6.4.10. Działanie mrozu na beton 492
6.4.11. Korozja zbrojenia w betonie 500
6.5. Wykwity na betonie 507

6.6. Dodatki modyfikujące właściwości zaczynu i betonu 511
6.6.1. Upłynniacze (plastyfikatory) 512
6.6.2. Superplastyfikatory 517
6.6.3. Domieszki przeciwskurczowe 532
6.6.4. Domieszki napowietrzające 533
6.6.5. Domieszki zmniejszające przepuszczalność 535
6.6.6. Domieszki modyfikujące lepkość 536
6.7. Skład minerały i chemiczny kruszyw 538
Literatura 546

7. Dodatki do cementu 559
7.1. Klasyfikacja dodatków 559
7.2. Żużle hutnicze 564
7.3. Cementy żużlowe 573
7.4. Popioły lotne 582
7.5. Cementy z dodatkiem popiołów 593
7.6. Pyły krzemionkowe 599
77. Wypełniacze 600
7.8. Metakaolinit 603
Literatura 605

8. Hydratacja cementów z dodatkami 611
8.1. Hydratacja żużla 611
8.2. Hydrataq'a popiołów 616
Literatura 627

9. Cementy specjalne **629**
9.1. Cement glinowy 630
9.2. Cement biały i cementy kolorowe 639
9.3. Cementy ekspansywne 642
9.4. Cementy szybkotwardniejące i szybkowiążące 665
9.5. Cementy o małym zużyciu energii 668
9.5.1. Cementy alinitowe 674
9.6. Cement wiertniczy 676

9.7. Cement Sorela 679
9.7. Zaczyny o bardzo dużej wytrzymałości 680
Literatura 683

10. Nowe rodzaje betonów 689
10.1. Wstęp 689
10.2. Betony wysokowartościowe 690
10.3. Betony samozagęszczające się 696
10.4. Betony z proszków reaktywnych 697
10.5. Betony polimerowo-cementowe 700
Literatura 703

11. Skorowidz 707