

# Spis treści

<b>Od autora</b>	<b>11</b>
<b>1. Rodzaje cementów i zasady ich klasyfikacji</b>	<b>13</b>
1.1. Historia spoiw wiążących i betonu	13
1.2. Zasady klasyfikacji cementów	21
Literatura	32
<b>2. Klinkier portlandzki</b>	<b>35</b>
2.1. Proces powstawania klinkieru portlandzkiego	35
2.2. Równowagi fazowe ważne w chemii cementu	46
2.2.1. Układ $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$	46
2.2.1.1. Układ $\text{CaO-SiO}_2$	46
2.2.1.2. Układ $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$	49
2.2.1.3. Układ $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	50
2.2.2. Układ $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	53
2.2.2.1. Układ $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3$	53
2.2.2.2. Układ $\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	54
2.2.3. Układ $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	54
2.2.4. Układ $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$	56
2.2.4.1. Podukład $\text{CaO-C}_2\text{S-C}_{12}\text{A}_7\text{-C}_2\text{F}$	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. $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ 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
<b>3. Hydratacja faz klinkierowych</b>	<b>145</b>
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 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$	183
3.3.2. Uwodnione siarczanogliniany wapnia i inne gliniany złożone	188
3.3.3. Hydratacja $\text{C}_3\text{A}$	197
3.3.4. Hydratacja $\text{C}_3\text{A}$ w obecności gipsu	203
3.3.5. Hydratacja różnych form polimorficznych $\text{C}_3\text{A}$	205
3.4. Hydratacja fazy ferrytowej	206
3.5. Hydraty występujące w małych ilościach w zaczynie	208
3.6. Ciepło twardnienia	208
Literatura	217
<b>4. Hydratacja cementu</b>	<b>221</b>
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 $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$	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
<b>5. Właściwości zaczynu</b>	<b>299</b>
5.1. Reologiczne właściwości zaczynu	299
5.2. Mikrostruktura zaczynu a jego wytrzymałość	322
5.3. Odształcenia 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
<b>6. Właściwości betonu</b>	<b>389</b>
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. Uplynnacze (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
<b>7. Dodatki do cementu</b>	<b>559</b>
7.1. Klasyfikacja dodatków	559
7.2. Żuźle hutnicze	564
7.3. Cementy żuźlowe	573
7.4. Popioły lotne	582
7.5. Cementy z dodatkiem popiołów	593
7.6. Pyły krzemionkowe	599
7.7. Wypełniacze	600
7.8. Metakaolinit	603
Literatura	605
<b>8. Hydratacja cementów z dodatkami</b>	<b>611</b>
8.1. Hydratacja żuźła	611
8.2. Hydratacja popiołów	616
Literatura	627
<b>9. Cementy specjalne</b>	<b>629</b>
9.1. Cement glinowy	630
9.2. Cement biały i cementy kolorowe	639
9.3. Cementy ekspansywne	642
9.4. Cementy szybkotwardniejące i szybkowiązące	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
<b>10. Nowe rodzaje betonów</b>	<b>689</b>
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
<b>11. Skorowidz</b>	<b>707</b>