

Spis Treści

Wstęp	XV
Przedmowa	XIX
Podziękowania	XXI
1. Cement portlandzki	1
1.1. Uwagi historyczne	1
1.2. Produkcja cementu portlandzkiego	2
1.3. Skład chemiczny cementu portlandzkiego	8
1.4. Hydratacja cementu	13
1.4.1. Produkty hydratacji krzemianów wapnia	15
1.4.2. Produkty hydratacji glinianu trójwapniowego i rola gipsu w procesie hydratacji.	18
1.5. Wiązanie cementu	20
1.5.1. Fałszywe wiązanie	21
1.6. Uziarnienie cementu	21
1.7. Mikrostruktura zhydratyzowanego cementu	27
1.8. Objętość produktów hydratacji	28
1.8.1. Pory kapilarne	33
1.8.2. Pory żelowe	35
1.9. Wytrzymałość mechaniczna żelu cementowego	36
1.10. Woda w zhydratyzowanym zaczynie cementowym	38
1.11. Ciepło hydratacji cementu	40
1.12. Wpływ zawartości składników na właściwości cementu	44
1.12.1. Wprowadzenie	44
1.12.2. Wpływ alkaliów	50
1.12.3. Wpływ szkliwa występującego w klinkierze	51
1.13. Badania właściwości fizycznych cementu	52
1.13.1. Konsystencja zaczynu normowego	52
1.13.2. Czas wiązania	53
1.13.3. Stałość objętości	54
1.13.4. Wytrzymałość cementu	57
Wykaz piśmiennictwa	60
2. Rodzaje materiałów wiążących	65
2.1. Klasyfikacja materiałów wiążących	65
2.2. Rodzaje cementów	69
2.3. Cement portlandzki zwykły	72
2.4. Cement portlandzki szybkotwardniejący	74

2.5. Cementy portlandzkie szczególnie szybkotwardniejące	75
2.6. Cement portlandzki niskokaloryczny	78
2.7. Cement siarczanoodporny	79
2.8. Cement biały i barwniki	81
2.9. Cement hutniczy	83
2.10. Cement supersiarczanowy	86
2.11. Pucolany	87
2.11.1. Popioły lotne	89
2.11.2. Cementy pucolanowe	90
2.12. Pyły krzemionkowe	91
2.13. Dodatki	92
2.14. Inne cementy	93
2.15. Który cement stosować?	95
2.16. Cement wysokoglinowy	96
2.16.1. Wytwarzanie	96
2.16.2. Skład i hydratacja	97
2.16.3. Odporność na agresję chemiczną	98
2.16.4. Właściwości fizyczne cementu wysokoglinowego	98
2.17. Przemiana cementu wysokoglinowego	100
2.18. Właściwości ogniotrwałe cementu wysokoglinowego	107
Wykaz piśmiennictwa	109

3. Właściwości kruszyw 113

3.1. Ogólna klasyfikacja kruszyw	113
3.2. Klasyfikacja kruszyw naturalnych	114
3.3. Pobieranie i przygotowanie próbek	116
3.4. Kształt i tekstura ziarna	118
3.5. Przyczepność kruszywa	123
3.6. Wytrzymałość kruszywa	125
3.7. Inne cechy mechaniczne kruszywa	128
3.8. Gęstość	131
3.9. Gęstość nasypowa	133
3.10. Porowatość i nasiąkliwość kruszywa	134
3.11. Wilgotność kruszywa	138
3.12. Spulchnienie kruszywa drobnego	140
3.13. Zanieczyszczenia kruszywa	142
3.13.1. Zanieczyszczenia organiczne	143
3.13.2. Gлина i inne materiały drobnoziarniste	143
3.13.3. Zanieczyszczenia solami	145
3.13.4. Ziarna nietrwałe	146
3.14. Trwałość kruszywa	148
3.15. Reakcje pomiędzy alkaliami i krzemionką	150
3.15.1. Badania reaktywności kruszywa	152
3.16. Reakcje pomiędzy alkaliami i węglanami	154
3.17. Właściwości cieplne kruszyw	155
3.18. Analiza sitowa	156
3.18.1. Krzywe uziarnienia	161
3.18.2. Wskaźnik uziarnienia	162

3.19. Wymagania dotyczące uziarnienia	163
3.20. Uziarnienia stosowane w praktyce.....	171
3.21. Uziarnienie kruszywa drobnego i grubego	174
3.21.1. Nadziarno i podziarno	178
3.22. Kruszywo nieciągłe	179
3.23. Maksymalny wymiar kruszywa	182
3.24. Stosowanie dużych kamieni.....	183
3.25. Podawanie kruszywa	184
3.26. Kruszywa specjalne	185
Wykaz piśmiennictwa.....	185
4. Świeży beton.....	191
4.1. Jakość wody zarobowej	191
4.2. Definicja urabialności	193
4.3. Potrzeba odpowiedniej urabialności	195
4.4. Czynniki wpływające na urabialność.....	196
4.5. Pomiary urabialności	198
4.5.1. Badanie za pomocą stożka opadowego	198
4.5.2. Badanie wskaźnika zagęszczenia	200
4.5.3. Badanie rozptywu według ASTM.....	201
4.5.4. Badanie przeformowania	202
4.5.5. Badanie aparatem Ve-Be	203
4.5.6. Badanie rozptywu	204
4.5.7. Badanie zagłębienia kuli (penetracji).....	205
4.5.8. Sonda-K Nassera	206
4.5.9. Test dwupunktowy	206
4.6. Porównanie omówionych badań.....	207
4.7. Czas twardnienia betonu.....	210
4.8. Wpływ czasu i temperatury na urabialność	211
4.9. Segregacja.....	213
4.10. Odsączenie.....	215
4.11. Mieszanie betonu	217
4.11.1. Urządzenia do mieszania betonu (betoniarki).....	217
4.11.2. Jednolitość mieszania.....	219
4.11.3. Czas mieszania.....	221
4.11.4. Mieszanie ręczne.....	224
4.12. Beton towarowy.....	224
4.13. Rozrzedzenie	226
4.14. Beton pompowany	227
4.14.1. Pompy do betonu	227
4.14.2. Stosowanie pompowania.....	229
4.14.3. Wymagania dla betonu pompowanego	230
4.14.4. Pompowanie betonu lekkiego	234
4.15. Beton natryskowy	234
4.16. Beton układany pod wodą.....	237
4.17. Beton wykonywany dwufazowo.....	237
4.18. Wibrowanie betonu.....	239
4.18.1. Wibratory pograżalne.....	240

4.18.2. Wibratory przyczepne	241
4.18.3. Stoły wibracyjne.....	241
4.18.4. Inne wibratory	242
4.19. Rewibracja	242
4.20. Prózniowe odwadnianie betonu	243
4.20.1. Deskowania przepuszczalne.....	245
4.21. Analiza świeżego betonu	246
Wykaz piśmiennictwa.....	248
5. Domieszki	255
5.1. Korzyści z domieszek	255
5.2. Rodzaje domieszek	256
5.3. Domieszki przyspieszające wiązanie i twardnienie	257
5.4. Domieszki opóźniające	261
5.5. Domieszki zmniejszające ilość wody.....	264
5.6. Superplastyfikatory	268
5.6.1. Istota superplastyfikatorów	268
5.6.2. Działanie superplastyfikatorów	269
5.6.3. Dozowanie superplastyfikatorów	271
5.6.4. Strata urabialności	272
5.6.5. Zgodność superplastyfikatora i cementu	274
5.6.6. Stosowanie superplastyfikatorów	275
5.7. Domieszki specjalne	275
5.7.1. Domieszki zwiększające wodoszczelność.....	275
5.7.2. Domieszki bakteriobójcze i podobne	277
5.8. Uwagi o stosowaniu domieszek	277
Wykaz piśmiennictwa.....	278
6. Wytrzymałość betonu	281
6.1. Stosunek wodno-cementowy	281
6.2. Skuteczna zawartość wody w mieszanke	286
6.3. Stosunek objętości żelu do przestrzeni między ziarnami	286
6.4. Porowatość.....	290
6.4.1. Zaczyny prasowane.....	296
6.5. Wpływ właściwości kruszywa grubego na wytrzymałość	297
6.6. Wpływ stosunku kruszywo/cement na wytrzymałość.....	300
6.7. Istota wytrzymałości betonu	301
6.7.1. Wytrzymałość na rozciąganie	302
6.7.2. Zarysowanie i zniszczenie przy ściskaniu.....	303
6.7.3. Zniszczenie przy wieloosiowym stanie naprężeń.....	306
6.8. Mikrorysy.....	311
6.9. Warstwa kontaktowa kruszywo-zaczyn cementowy.....	313
6.10. Wpływ wieku betonu na wytrzymałość	315
6.11. Dojrzałość betonu	317
6.12. Zależność między wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie.....	322
6.13. Przyczepność betonu do zbrojenia	324
Wykaz piśmiennictwa.....	325

7. Inne właściwości stwardniałego betonu	331
7.1. Pielęgnacja betonu	331
7.1.1. Metody pielęgnacji	337
7.1.2. Badanie preparatów do pielęgnacji	340
7.1.3. Długość okresu pielęgnacji	340
7.2. Samoregeneracja	341
7.3. Zmienność wytrzymałości cementu	341
7.4. Zmiany właściwości cementu	345
7.5. Wytrzymałość zmęczeniowa betonu	348
7.6. Wytrzymałość na uderzenie	357
7.7. Właściwości elektryczne betonu	360
7.8. Właściwości akustyczne betonu	365
Wykaz piśmiennictwa	368
8. Wpływ temperatury na beton	373
8.1. Wpływ wczesnej temperatury na wytrzymałość betonu	373
8.2. Pielęgnacja w parze przy ciśnieniu atmosferycznym	380
8.3. Pielęgnacja w parze o wysokim ciśnieniu (autoklawizacja)	385
8.4. Inne metody pielęgnacji cieplnej	388
8.5. Właściwości cieplne betonu	389
8.5.1. Przewodność cieplna	389
8.5.2. Przenikanie ciepła	391
8.5.3. Ciepło właściwe	391
8.6. Współczynnik rozszerzalności cieplnej	393
8.7. Wytrzymałość betonu w wysokich temperaturach i odporność na działanie ognia	400
8.7.1. Moduł sprężystości betonu w wysokich temperaturach	403
8.7.2. Zachowanie się betonu pod wpływem ognia	404
8.8. Wytrzymałość betonu w bardzo niskich temperaturach	406
8.9. Beton masywny	409
8.10. Betonowanie przy wysokiej temperaturze otoczenia	414
8.11. Betonowanie przy niskiej temperaturze otoczenia	417
8.11.1. Operacje betonowania	419
Wykaz piśmiennictwa	421
9. Sprężystość, skurcz i pęcznienie	427
9.1. Zależność pomiędzy naprężeniami i odkształceniami oraz moduł sprężystości	427
9.1.1. Równania opisujące krzywą zależności pomiędzy odkształceniami i naprężeniami	433
9.2. Równania opisujące moduł sprężystości	433
9.3. Dynamiczny moduł sprężystości	436
9.4. Współczynnik Poissona	437
9.5. Wczesne zmiany objętościowe	439
9.6. Skurcz samoczynny	441
9.7. Pęcznienie	442
9.8. Skurcz przy wysychaniu	443

9.8.1. Mechanizm skurczu	443
9.9. Czynniki wpływające na skurcz.....	445
9.9.1. Wpływ pielęgnacji i warunków przechowywania.....	452
9.10. Prognozowanie skurczu	454
9.11. Skurcz niejednorodny	455
9.12. Pękanie spowodowane skurczem.....	458
9.13. Deformacje wilgotnościowe	460
9.14. Skurcz karbonatyzacyjny	461
9.15. Kompensacja skurczu przez zastosowanie cementów ekspansywnych	464
9.15.1. Rodzaje cementów ekspansywnych	465
9.15.2. Betony ze skompensowanym skurczem.....	466
9.16. Pełzanie betonu	467
9.17. Czynniki wpływające na pełzanie.....	470
9.17.1. Wpływ naprężenia i wytrzymałości	473
9.17.2. Wpływ właściwości cementu	475
9.17.3. Wpływ wilgotności otoczenia	477
9.17.4. Inne wpływy.....	481
9.18. Zależność pełzania od czasu	485
9.19. Istota pełzania	489
9.20. Efekty pełzania.....	493
Wykaz piśmiennictwa.....	494
10. Trwałość betonu.....	501
10.1. Przyczyny niedostatecznej trwałości.....	501
10.2. Transport cieczy w betonie	502
10.2.1. Wpływ systemu porów.....	503
10.2.2. Przepływ, dyfuzja i sorpcja	503
10.2.3. Współczynnik przepuszczalności.....	504
10.3. Dyfuzja.....	505
10.3.1. Współczynnik dyfuzji	505
10.3.2. Dyfuzja w powietrzu i wodzie.....	506
10.4. Absorpcja	506
10.4.1. Próby absorpcji powierzchniowej	507
10.4.2. Sorpcyjność.....	509
10.5. Przepuszczalność wody w betonie	510
10.5.1. Pomiar przepuszczalności	514
10.5.2. Oznaczanie penetracji wody.....	515
10.6. Przepuszczalność powietrza i pary.....	515
10.7. Karbonatyzacja	518
10.7.1. Efekty karbonatyzacji.....	519
10.7.2. Szybkość karbonatyzacji	519
10.7.3. Czynniki wpływające na karbonatyzację	521
10.7.4. Karbonatyzacja betonów zawierających cementy mieszane	524
10.7.5. Pomiary karbonatyzacji.....	525
10.7.6. Dalsze konsekwencje karbonatyzacji	526
10.8. Działanie kwasów na beton.....	527
10.9. Agresja siarczanowa	530
10.9.1. Mechanizm agresji	531

10.9.2. Czynniki ograniczające agresję.....	533
10.9.3. Badania odporności na siarczany	535
10.10. Wykwity krystaliczne	536
10.11. Działanie wody morskiej na beton.....	537
10.11.1. Wietrzenie solankowe.....	539
10.11.2. Wybór betonu narażonego na działanie wody morskiej	540
10.12. Zniszczenie betonu w wyniku reakcji alkaliów z reaktywną krzemionką.....	540
10.12.1. Środki zapobiegawcze.....	542
10.13. Odporność betonu na ścieranie	545
10.13.1. Próby odporności na ścieranie	545
10.13.2. Czynniki wpływające na odporność na ścieranie	547
10.14. Odporność na erozję	547
10.15. Odporność na kawitację.....	548
10.16. Rodzaje zarysowania	550
Wykaz piśmiennictwa.....	554
11. Efekty zamrażania i odmrażania oraz oddziaływania chlorków.....	561
11.1. Działanie mrozu.....	561
11.1.1. Zachowanie się ziaren kruszywa grubego.....	566
11.2. Napowietrzenie	570
11.2.1. Charakterystyki systemu pustek powietrznych	572
11.3. Wymagania dotyczące napowietrzenia.....	573
11.3.1. Czynniki wpływające na napowietrzenie	576
11.3.2. Stabilność napowietrzenia.....	578
11.3.3. Napowietrzenie z pomocą mikrosfer	579
11.3.4. Pomiar zawartości powietrza	580
11.4. Próby mrozoodporności betonu	582
11.5. Dalsze efekty napowietrzenia	585
11.6. Efekty stosowania środków odladzających.....	587
11.7. Agresja chlorkowa	589
11.7.1. Mechanizm korozji chlorkowej.....	590
11.8. Chlorki w mieszance betonowej	592
11.9. Wnikanie chlorków	593
11.10. Graniczna zawartość jonów chlorkowych	596
11.10.1. Wiązanie jonów chlorkowych.....	596
11.11. Wpływ cementów mieszanych na korozję.....	598
11.12. Inne czynniki wpływające na korozję.....	599
11.12.1. Grubość otuliny zbrojenia.....	601
11.13. Badania przenikalności chlorków w betonie	601
11.14. Powstrzymywanie korozji.....	602
Wykaz piśmiennictwa.....	603
12. Badanie stwardniałego betonu	609
12.1. Badania wytrzymałości na ściskanie	609
12.1.1. Próba kostkowa	610
12.1.2. Próba walcowa	611
12.1.3. Zastępcza próba kostkowa	612

12.2. Efekt warunków na powierzchni próbki i stosowania nakładek	613
12.2.1. Przekładki nie przyklejane do powierzchni.....	615
12.3. Badanie próbek na ściskanie	617
12.4. Zniszczenie próbek przy ściskaniu.....	619
12.5. Wpływ na wytrzymałość próbki cylindrycznej stosunku jej wysokości do średnicy	621
12.6. Porównanie wytrzymałości kostkowej i walcowej	624
12.7. Badanie wytrzymałości na rozciąganie	625
12.7.1. Próby wytrzymałości na zginanie.....	626
12.7.2. Próba rozciągania przy rozłupywaniu	629
12.8. Wpływ warunków wilgotnościowych podczas badania na wytrzymałość	631
12.9. Wpływ wielkości próbki na wytrzymałość	633
12.9.1. Efekt skali w badaniach wytrzymałości na rozciąganie	635
12.9.2. Efekt skali w badaniach wytrzymałości na ściskanie	637
12.9.3. Wymiar próbki a wymiar kruszywa	642
12.10. Próbk rdzeniowe	643
12.10.1. Stosowanie małych rdzeni.....	645
12.10.2. Czynniki wpływające na wytrzymałość rdzeni	646
12.10.3. Zależność pomiędzy wytrzymałością rdzeni i wytrzymałością betonu <i>in situ</i>	650
12.11. Walce próbne wbetonowywane	651
12.12. Wpływ szybkości przykładania obciążenia na wytrzymałość.....	652
12.13. Badanie przyspieszonego dojrzewania betonu.....	654
12.13.1. Bezpośrednie zastosowanie wytrzymałości przyspieszonej	656
12.14. Próby nieniszczące	657
12.15. Badanie sklerometryczne	658
12.16. Badanie odporności na penetrację.....	662
12.17. Badanie przez wyrywanie kotwy	663
12.18. Badania wgłębne bez wcześniejszej instalacji	665
12.19. Badanie prędkości propagacji fal ultradźwiękowych.....	666
12.20. Dalsze możliwości badań nieniszczących.....	668
12.21. Metoda częstotliwości rezonansowej	669
12.22. Badania składu stwardniałego betonu	670
12.22.1. Zawartość cementu.....	671
12.22.2. Wyznaczenie początkowego stosunku wodno-cementowego	671
12.22.3. Metody fizyczne	672
12.23. Zmienność wyników badań	672
12.23.1. Rozkład wytrzymałości	673
12.23.2. Odchylenie standardowe	676
Wykaz piśmiennictwa.....	678

13. Beton o szczególnych właściwościach..... 685

13.1. Beton z różnymi materiałami wiążącymi.....	685
13.1.1. Ogólna charakterystyka stosowania popiołów lotnych, mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego i pyłów krzemionkowych ...	686
13.1.2. Problem trwałości.....	687
13.1.3. Zmienność materiałów	688
13.2. Beton zawierający popioły lotne	689

13.2.1. Wpływ popiołów lotnych na właściwości betonu świeżego	690
13.2.2. Hydratacja popiołów lotnych	691
13.2.3. Narastanie wytrzymałości betonu zawierającego popioły lotne	693
13.2.4. Trwałość betonu z dodatkiem popiołu lotnego	696
13.3. Betony zawierające mielony granulowany żużel wielkopiecowy.....	698
13.3.1. Wpływ mielonego żużla wielkopiecowego na właściwości świeżego betonu.....	699
13.3.2. Hydratacja i narastanie wytrzymałości betonu zawierającego mielony żużel wielkopiecowy.....	699
13.3.3. Trwałość betonu zawierającego mielony żużel wielkopiecowy.....	702
13.4. Beton zawierający pyły krzemionkowe	704
13.4.1. Wpływ pyłów krzemionkowych na właściwości betonu świeżego ...	705
13.4.2. Hydratacja i narastanie wytrzymałości w układzie cement portlandzki - pyły krzemionkowe	707
13.4.3. Trwałość betonu zawierającego pyły krzemionkowe	710
13.5. Beton wysokowartościowy	712
13.6. Właściwości kruszyw w betonie wysokowartościowym	714
13.7. Beton wysokowartościowy w stanie świeżym.....	715
13.7.1. Kompatybilność cementu portlandzkiego i superplastyfikatora	717
13.8. Stwardniały beton wysokowartościowy	719
13.8.1. Badanie betonu wysokowartościowego	723
13.9. Trwałość betonu wysokowartościowego	723
13.10. Przyszłość betonu wysokowartościowego	726
13.11. Beton lekki.....	726
13.11.1. Klasyfikacja betonów lekkich	727
13.12. Kruszywa lekkie	728
13.12.1. Kruszywa naturalne.....	728
13.12.2. Kruszywa sztuczne.....	728
13.12.3. Wymagania dla kruszyw do betonu konstrukcyjnego.....	733
13.12.4. Efekty absorpcji wody przez kruszywo lekkie.....	735
13.13. Lekkie betony kruszywowe	737
13.13.1. Problemy świeżego betonu	737
13.14. Wytrzymałość lekkich betonów kruszywowych.....	738
13.14.1. Przyczepność kruszywo lekkie - matryca	741
13.15. Właściwości sprężyste lekkiego betonu kruszywowego.....	742
13.16. Trwałość betonów lekkich kruszywowych.....	744
13.17. Właściwości cieplne lekkiego betonu kruszywowego.....	746
13.18. Beton komórkowy	746
13.18.1. Beton komórkowy autoklawizowany.....	749
13.19. Beton bezpiaskowy (jamisty).....	750
13.20. Trocinobeton.....	753
13.21. Uwaga o betonach specjalnych.....	754
Wykaz piśmiennictwa.....	755
14. Projektowanie mieszanki betonowej.....	763
14.1. Analiza kosztów.....	764
14.2. Wymagania techniczne	764
14.3. Proces projektowania mieszanki.....	766

14.4. Zależność między wytrzymałością średnią i „minimalną”	768
14.4.1. Zmienność wytrzymałości.....	771
14.5. Kontrola jakości	778
14.6. Czynniki wpływające na dobór proporcji mieszanki	779
14.6.1. Trwałość.....	779
14.6.2. Urabialność	783
14.6.3. Maksymalny wymiar kruszywa.....	784
14.6.4. Uziarnienie i rodzaj kruszywa.....	784
14.6.5. Zawartość cementu.....	785
14. 7. Proporcje mieszanki i określenie jej ilości na jeden zarób.....	785
14.7.1. Obliczanie za pomocą objętości absolutnych.....	786
14.8. Dobieranie frakcji kruszywa do typowej krzywej uziarnienia	788
14.9. Metoda amerykańska projektowania mieszanki betonowej.....	792
14.9.1. Przykład	795
14.9.2. Projektowanie mieszanki dla betonu bez opadu.....	796
14.9.3. Projektowanie mieszanki dla betonu płynnego	797
14.10. Projektowanie mieszanki dla betonów wysokowartościowych	798
14.11. Projektowanie mieszanki betonu z kruszywem lekkim	799
14.11.1. Przykład.....	801
14.12. Brytyjska metoda projektowania mieszanki betonowej.....	803
14.12.1. Przykład.....	808
14.13. Inne metody projektowania mieszanki.....	809
14.14. Uwagi końcowe	810
Wykaz piśmiennictwa.....	810
Dodatek I	813
Dodatek II.....	821
Dodatek III	827
Skorowidz rzeczowy	829