

Spis treści

Przedmowa do wydania V	XVII
Przedmowa Autora do polskiego tłumaczenia wydania V	XIX
Wstęp	XXI
Podziękowania	XXV
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	22
1.7. Mikrostruktura z hydratyzowanego cementu	27
1.8. Objętość produktów hydratacji	28
1.8.1. Pory kapilarne	34
1.8.2. Pory żelowe	35
1.9. Wytrzymałość mechaniczna żelu cementowego	37
1.10. Woda w z hydratyzowanym 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	53
1.13.2. Czas wiązania	54
1.13.3. Stałość objętości	55
1.13.4. Wytrzymałość cementu	57
Piśmiennictwo	61
2. Rodzaje materiałów wiążących	67
2.1. Klasyfikacja materiałów wiążących	67

2.2. Rodzaje cementów	71
2.3. Cement portlandzki zwykły	75
2.4. Cement portlandzki szybkotwardniejący	77
2.5. Cement portlandzki szczególnie szybkotwardniejący	78
2.6. Cement portlandzki niskokaloryczny	81
2.7. Cement siarczanoodporny	82
2.8. Cement biały i barwniki	83
2.9. Cement hutniczy	85
2.10. Cement supersiarczanowy	88
2.11. Pucolany	90
2.11.1. Popioły lotne	91
2.11.2. Cementy pucolanowe	93
2.12. Pyły krzemionkowe	93
2.13. Dodatki	95
2.14. Inne cementy	96
2.15. Który cement stosować?	98
2.16. Cement wysokoglinowy	99
2.16.1. Wytwarzanie	99
2.16.2. Skład i hydratacja	100
2.16.3. Odporność na agresję chemiczną	101
2.16.4. Właściwości fizyczne cementu wysokoglinowego	101
2.17. Przemiana cementu wysokoglinowego	103
2.18. Właściwości ogniotrwałe cementu wysokoglinowego	111
Piśmiennictwo	112
3. Właściwości kruszyw	117
3.1. Ogólna klasyfikacja kruszyw	117
3.2. Klasyfikacja kruszyw naturalnych	119
3.3. Pobieranie i przygotowanie próbek	121
3.4. Kształt i tekstura ziarna	122
3.5. Przyczepność kruszywa	128
3.6. Wytrzymałość kruszywa	130
3.7. Inne cechy mechaniczne kruszywa	133
3.8. Gęstość właściwa	136
3.9. Gęstość nasypowa	138
3.10. Porowatość i nasiąkliwość kruszywa	139
3.11. Wilgotność kruszywa	143
3.12. Spulchnienie kruszywa drobnego	145
3.13. Zanieczyszczenia kruszywa	147
3.13.1. Zanieczyszczenia organiczne	147
3.13.2. Gлина i inne materiały drobnoziarniste	148
3.13.3. Zanieczyszczenia solami	150
3.13.4. Ziarna nietrwałe	151
3.14. Trwałość kruszywa	153
3.15. Reakcje pomiędzy alkaliarni i krzemionką	155

3.15.1. Badania reaktywności kruszywa	157
3.16. Reakcje pomiędzy alkaliami i węglanami	159
3.17. Właściwości cieplne kruszyw	160
3.18. Analiza sitowa	161
3.18.1. Krzywe uziarnienia	166
3.18.2. Wskaźnik uziarnienia	167
3.19. Wymagania dotyczące uziarnienia	168
3.20. Uziarnienia stosowane w praktyce	176
3.21. Uziarnienie kruszywa drobnego i grubego	179
3.21.1. Nadziarno i podziarno	183
3.22. Kruszywo nieciągłe	184
3.23. Maksymalny wymiar kruszywa	187
3.24. Stosowanie dużych kamieni	188
3.25. Podawanie kruszywa	189
3.26. Kruszywa specjalne	189
3.27. Kruszywa z recyklingu betonu	190
Piśmiennictwo	191
4. Świeży beton	197
4.1. Jakość wody zarobowej	197
4.2. Gęstość świeżego betonu	200
4.3. Definicja urabialności	200
4.4. Potrzeba odpowiedniej urabialności	202
4.5. Czynniki wpływające na urabialność	203
4.6. Pomiar urabialności	205
4.6.1. Badanie za pomocą stożka opadowego	205
4.6.2. Badanie wskaźnika zagęszczenia	207
4.6.3. Badanie rozplywu według normy ASTM	209
4.6.4. Badanie przeformowania	209
4.6.5. Badanie aparatem Ve-Be	210
4.6.6. Badanie metodą stolika rozplywowego	211
4.6.7. Badanie penetracji kuli i badanie zagęszczalności	212
4.6.8. Sonda-K <i>Nassera</i>	213
4.6.9. Test dwupunktowy	213
4.7. Porównanie omówionych badań	214
4.8. Czas twardnienia betonu	217
4.9. Wpływ czasu i temperatury na urabialność	218
4.10. Segregacja	220
4.11. Odsączanie	222
4.12. Mieszanie betonu	224
4.12.1. Urządzenia do mieszania betonu (betoniarki)	224
4.12.2. Jednorodność mieszania	226
4.12.3. Czas mieszania	228
4.12.4. Mieszanie ręczne	231
4.13. Beton towarowy	232

4.14. Rozrzedzenie	233
4.15. Beton pompowany	234
4.15.1. Pompy do betonu	235
4.15.2. Stosowanie pompowania	236
4.15.3. Wymagania dla betonu pompowanego	237
4.15.4. Pompowanie betonu lekkiego	241
4.16. Beton natryskowy	241
4.17. Beton układany pod wodą	244
4.18. Beton wykonywany dwufazowo	245
4.19. Wibrowanie betonu	246
4.19.1. Wibratory pogrążane	247
4.19.2. Wibratory przyczepne	248
4.19.3. Stoły wibracyjne	248
4.19.4. Inne wibratory	249
4.20. Rewibracja	250
4.21. Próżniowe odwadnianie betonu	251
4.21.1. Deskowania przepuszczalne	253
4.22. Analiza świeżego betonu	253
4.23. Beton samozagęszczalny	255
Piśmiennictwo	256
5. Domieszki	263
5.1. Korzyści z domieszek	263
5.2. Rodzaje domieszek	264
5.3. Domieszki przyspieszające wiązanie i twardnienie	265
5.4. Domieszki opóźniające	269
5.5. Domieszki zmniejszające ilość wody	273
5.6. Superplastyfikatory	276
5.6.1. Istota superplastyfikatorów	276
5.6.2. Działanie superplastyfikatorów	277
5.6.3. Dozowanie superplastyfikatorów	279
5.6.4. Utrata urabialności	280
5.6.5. Zgodność superplastyfikatora z cementem	282
5.6.6. Stosowanie superplastyfikatorów	283
5.7. Domieszki specjalne	284
5.7.1. Domieszki zwiększające wodoszczelność	284
5.7.2. Domieszki bakteriobójcze i podobne	285
5.8. Uwagi o stosowaniu domieszek	286
Piśmiennictwo	287
6. Wytrzymałość betonu	291
6.1. Stosunek wodno-cementowy	291
6.2. Skuteczna zawartość wody w mieszance	296
6.3. Stosunek objętości żelu do przestrzeni między ziarnami	296
6.4. Porowatość	300

6.4.1. Zaczyny prasowane	306
6.5. Wpływ właściwości kruszywa grubego na wytrzymałość	307
6.6. Wpływ stosunku kruszywo-cement na wytrzymałość	310
6.7. Istota wytrzymałości betonu	311
6.7.1. Wytrzymałość na rozciąganie	312
6.7.2. Zarysowanie i zniszczenie przy ściskaniu	313
6.7.3. Zniszczenie przy wieloosiowym stanie naprężeń	316
6.8. Mikrorysy	321
6.9. Warstwa kontaktowa kruszywo-zaczyn cementowy	323
6.10. Wpływ wieku betonu na wytrzymałość	325
6.11. Dojrzałość betonu	327
6.12. Zależność między wytrzymałością na ściskanie i rozciąganie	332
6.13. Przyczepność betonu do zbrojenia	334
Piśmiennictwo	335
7. Inne właściwości stwardniałego betonu	343
7.1. Pielęgnacja betonu	343
7.1.1. Metody pielęgnacji	349
7.1.2. Badanie preparatów do pielęgnacji	352
7.1.3. Długość okresu pielęgnacji	352
7.2. Samoregeneracja	353
7.3. Zmienność wytrzymałości cementu	354
7.4. Zmiany właściwości cementu	357
7.5. Wytrzymałość zmęczeniowa betonu	361
7.6. Wytrzymałość na uderzenie	369
7.7. Właściwości elektryczne betonu	372
7.8. Właściwości akustyczne betonu	378
Piśmiennictwo	380
8. Wpływ temperatury na beton	387
8.1. Wpływ wczesnej temperatury na wytrzymałość betonu	387
8.2. Pielęgnacja w parze przy ciśnieniu atmosferycznym	394
8.3. Pielęgnacja w parze o wysokim ciśnieniu (autoklawizacja)	399
8.4. Inne metody pielęgnacji cieplnej	402
8.5. Właściwości cieplne betonu	403
8.5.1. Przewodność cieplna	403
8.5.2. Przenikanie ciepła	405
8.5.3. Ciepło właściwe	405
8.6. Współczynnik rozszerzalności cieplnej	407
8.7. Wytrzymałość betonu w wysokich temperaturach i odporność na działanie ognia	415
8.7.1. Moduł sprężystości betonu w wysokich temperaturach	417
8.7.2. Zachowanie się betonu pod wpływem ognia	418
8.8. Wytrzymałość betonu w bardzo niskich temperaturach	421
8.9. Beton masywny	424

8.10. Betonowanie w wysokiej temperaturze otoczenia	428
8.11. Betonowanie w niskiej temperaturze otoczenia	432
8.11.1. Operacje betonowania	434
Piśmiennictwo	436
9. Sprężystość, skurcz i pełzanie	443
9.1. Zależność pomiędzy naprężeniami i odkształceniami oraz moduł sprężystości	443
9.1.1. Równania opisujące krzywą zależności pomiędzy odkształceniami i naprężeniami	449
9.2. Równania opisujące moduł sprężystości	449
9.3. Dynamiczny moduł sprężystości	451
9.4. Współczynnik Poissona	453
9.5. Wczesne zmiany objętościowe	455
9.6. Skurcz samoczynny (autogeniczny)	457
9.7. Pęcznienie	458
9.8. Skurcz przy wysychaniu	458
9.8.1. Mechanizm skurczu	458
9.9. Czynniki wpływające na skurcz	461
9.9.1. Wpływ pielęgnacji i warunków przechowywania	467
9.10. Prognozowanie skurczu	470
9.11. Skurcz niejednorodny	471
9.12. Pękanie spowodowane skurczem	474
9.13. Deformacje wilgotnościowe	476
9.14. Skurcz karbonatyzacyjny	477
9.15. Kompensacja skurczu przez zastosowanie cementów ekspansywnych	480
9.15.1. Rodzaje cementów ekspansywnych	481
9.15.2. Betony ze skompensowanym skurczem	482
9.16. Pełzanie betonu	483
9.17. Czynniki wpływające na pełzanie	486
9.17.1. Wpływ naprężenia i wytrzymałości	489
9.17.2. Wpływ właściwości cementu	490
9.17.3. Wpływ wilgotności otoczenia	493
9.17.4. Inne wpływy	498
9.18. Zależność pełzania od czasu	501
9.19. Istota pełzania	505
9.20. Efekty pełzania	509
Piśmiennictwo	510
10. Trwałość betonu	519
10.1. Przyczyny niedostatecznej trwałości	520
10.2. Transport cieczy w betonie	520
10.2.1. Wpływ systemu porów	521
10.2.2. Przepływ, dyfuzja i sorpcja	522
10.2.3. Współczynnik przepuszczalności	522

10.3. Dyfuzja	523
10.3.1. Współczynnik dyfuzji	523
10.3.2. Dyfuzja poprzez powietrze i wodę	524
10.4. Absorpcja	525
10.4.1. Badania absorpcji powierzchniowej	526
10.4.2. Sorpcyjność	527
10.5. Przepuszczalność wody w betonie	528
10.5.1. Badanie przepuszczalności	532
10.5.2. Oznaczanie penetracji wody	533
10.6. Przepuszczalność powietrza i pary	534
10.7. Karbonatyzacja	536
10.7.1. Skutki karbonatyzacji	537
10.7.2. Szybkość karbonatyzacji	537
10.7.3. Czynniki wpływające na karbonatyzację	539
10.7.4. Karbonatyzacja betonów zawierających cementy mieszane	542
10.7.5. Pomiary karbonatyzacji	543
10.7.6. Dalsze konsekwencje karbonatyzacji	545
10.8. Działanie kwasów na beton	545
10.9. Agresja siarczanowa	548
10.9.1. Formowanie thaumasytu przy ataku siarczanów	549
10.9.2. Opóźnione formowanie ettringitu	549
10.9.3. Mechanizm agresji	550
10.9.4. Czynniki ograniczające agresję	552
10.9.5. Badania odporności na siarczany	554
10.10. Wykwity krystaliczne	555
10.11. Działanie wody morskiej na beton	556
10.11.1. Wietrzenie solankowe	557
10.11.2. Wybór betonu narażonego na działanie wody morskiej	559
10.12. Zniszczenie betonu w wyniku reakcji alkaliów z reaktywną krzemionką	559
10.12.1. Środki zapobiegawcze	561
10.13. Odporność betonu na ścieranie	564
10.13.1. Badania odporności na ścieranie	564
10.13.2. Czynniki wpływające na odporność na ścieranie	566
10.14. Odporność na erozję	566
10.15. Odporność na kawitację	567
10.16. Rodzaje zarysowania	568
Piśmiennictwo	573
11. Skutki zamrażania i odmrażania oraz oddziaływania chlorków	581
11.1. Działanie mrozu	581
11.1.1. Zachowanie się ziaren kruszywa grubego	587
11.2. Napowietrzenie	590
11.2.1. Charakterystyki systemu pustek powietrznych	591
11.3. Wymagania dotyczące napowietrzenia	593

11.3.1. Czynniki wpływające na napowietrzenie	596
11.3.2. Stabilność napowietrzenia	598
11.3.3. Napowietrzenie z pomocą mikrosfer	599
11.3.4. Pomiar zawartości powietrza	600
11.4. Próby mrozoodporności betonu	602
11.5. Dalsze efekty napowietrzenia	605
11.6. Skutki stosowania środków odladzających	607
11.7. Agresja chlorkowa	609
11.7.1. Mechanizm korozji chlorkowej	610
11.8. Chlorki w mieszance betonowej	612
11.9. Wnikanie chlorków	613
11.10. Graniczna zawartość jonów chlorkowych	616
11.10.1. Wiązanie jonów chlorkowych	616
11.11. Wpływ cementów mieszanych na korozję	618
11.12. Inne czynniki wpływające na korozję	619
11.12.1. Grubość otuliny zbrojenia	621
11.13. Badania przenikalności chlorków w betonie	621
11.14. Powstrzymywanie korozji	622
Piśmiennictwo	623
12. Badanie stwardniałego betonu	629
12.1. Badania wytrzymałości na ściskanie	629
12.1.1. Próbka kostkowa	630
12.1.2. Próbka walcowa	632
12.1.3. Zastępcza próbka kostkowa	632
12.2. Efekt warunków na powierzchni próbki i stosowania nakładek	633
12.2.1. Przekładki nie przyklejane do powierzchni	636
12.3. Badanie próbek na ściskanie	637
12.4. Zniszczenie próbek przy ściskaniu	640
12.5. Wpływ stosunku wysokość-średnica na wytrzymałość próbki cylindrycznej	641
12.6. Porównanie wytrzymałości kostkowej i walcowej	644
12.7. Badanie wytrzymałości na rozciąganie	645
12.7.1. Badanie wytrzymałości na zginanie	646
12.7.2. Badanie wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie	649
12.8. Wpływ warunków wilgotnościowych podczas badania wytrzymałości	651
12.9. Wpływ wielkości próbki na wytrzymałość	653
12.9.1. Efekt skali w badaniach wytrzymałości na rozciąganie	655
12.9.2. Efekt skali w badaniach wytrzymałości na ściskanie	658
12.9.3. Wymiar próbki a wymiar kruszywa	662
12.10. Próbki rdzeniowe	663
12.10.1. Stosowanie małych próbek rdzeniowych	664
12.10.2. Czynniki wpływające na wytrzymałość próbek rdzeniowych	666
12.10.3. Zależność pomiędzy wytrzymałością próbek rdzeniowych a wytrzymałością betonu <i>in situ</i>	669

12.11. Walce próbne wbetonowywane	670
12.12. Wpływ szybkości przykładania obciążenia na wytrzymałość	671
12.13. Badanie przyspieszonego dojrzewania betonu	673
12.13.1. Bezpośrednie zastosowanie wytrzymałości przyspieszonej	676
12.14. Badania nieniszczące	677
12.15. Badanie sklerometryczne	678
12.16. Badanie odporności na penetrację	681
12.17. Badanie przez wrywanie kotwy	682
12.18. Badania wgłębne bez wcześniejszej instalacji	684
12.19. Badanie prędkości propagacji fal ultradźwiękowych	685
12.20. Dalsze możliwości badań nieniszczących	687
12.21. Metoda częstotliwości rezonansowej	688
12.22. Badania składu stwardniałego betonu	689
12.22.1. Zawartość cementu	690
12.22.2. Wyznaczenie początkowego stosunku wodno-cementowego	690
12.22.3. Metody fizyczne	691
12.23. Zmienność wyników badań	691
12.23.1. Rozkład wytrzymałości	691
12.23.2. Odchylenie standardowe	695
Piśmiennictwo	696

13. Betony o szczególnych właściwościach **705**

13.1. Beton z różnymi materiałami wiążącymi	705
13.1.1. Ogólna charakterystyka stosowania popiołów lotnych, mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego i pyłów krzemionkowych	706
13.1.2. Problem trwałości	707
13.1.3. Zmienność materiałów	708
13.2. Beton zawierający popioły lotne	710
13.2.1. Wpływ popiołów lotnych na właściwości betonu świeżego	711
13.2.2. Hydratacja popiołów lotnych	712
13.2.3. Narastanie wytrzymałości betonu zawierającego popioły lotne	714
13.2.4. Trwałość betonu z dodatkiem popiołu lotnego	716
13.3. Betony zawierające mielony granulowany żużel wielkopieczowy	718
13.3.1. Wpływ mielonego żużla wielkopieczowego na właściwości świeżego betonu	719
13.3.2. Hydratacja i narastanie wytrzymałości betonu zawierającego mielony żużel wielkopieczowy	719
13.3.3. Trwałość betonu zawierającego mielony żużel wielkopieczowy	722
13.4. Beton zawierający pyły krzemionkowe	723
13.4.1. Wpływ pyłów krzemionkowych na właściwości betonu świeżego	724
13.4.2. Hydratacja i narastanie wytrzymałości w układzie cement portlandzki - pyły krzemionkowe	726
13.4.3. Trwałość betonu zawierającego pyły krzemionkowe	730
13.5. Beton wysokowartościowy	732
13.6. Właściwości kruszyw w betonie wysokowartościowym	734

13.7. Beton wysokowartościowy w stanie świeżym	735
13.7.1. Kompatybilność cementu portlandzkiego i superplastyfikatora	737
13.8. Stwardniały beton wysokowartościowy	739
13.8.1. Badanie betonu wysokowartościowego	743
13.9. Trwałość betonu wysokowartościowego	743
13.10. Przyszłość betonu wysokowartościowego	746
13.11. Beton lekki	746
13.11.1. Klasyfikacja betonów lekkich	747
13.12. Kruszywa lekkie	750
13.12.1. Kruszywa naturalne	750
13.12.2. Kruszywa sztuczne	750
13.12.3. Wymagania dla kruszyw lekkich do betonu konstrukcyjnego	753
13.12.4. Efekty absorpcji wody przez kruszywo lekkie	755
13.13. Lekkie betony kruszywowe	757
13.13.1. Problemy świeżego betonu	757
13.14. Wytrzymałość lekkich betonów kruszywowych	758
13.14.1. Przyczepność kruszywo lekkie - matryca	761
13.15. Właściwości sprężyste lekkich betonów kruszywowych	762
13.16. Trwałość betonów lekkich kruszywowych	764
13.17. Właściwości cieplne lekkiego betonu kruszywowego	766
13.18. Beton komórkowy	766
13.18.1. Beton komórkowy autoklawizowany	768
13.19. Beton bezpiaskowy (jamisty)	770
13.20. Trocinobeton	773
13.21. Uwaga o betonach specjalnych	774
Piśmiennictwo	775
14. Projektowanie mieszanki betonowej	785
14.1. Analiza kosztów	786
14.2. Wymagania techniczne	786
14.3. Proces projektowania mieszanki	788
14.4. Zależność między wytrzymałością średnią i „minimalną”	790
14.4.1. Zmienność wytrzymałości	793
14.5. Kontrola jakości	800
14.6. Czynniki wpływające na dobór proporcji mieszanki	801
14.6.1. Trwałość	801
14.6.2. Urabialność	805
14.6.3. Maksymalny wymiar kruszywa	805
14.6.4. Uziarnienie i rodzaj kruszywa	806
14.6.5. Zawartość cementu	808
14.7. Proporcje mieszanki i określenie jej ilości na jeden zarób	808
14.7.1. Obliczanie za pomocą objętości absolutnych	809
14.8. Dobieranie frakcji kruszywa do typowej krzywej uziarnienia	810
14.9. Metoda amerykańska projektowania mieszanki betonowej	814
14.9.1. Przykład	817

14.9.2. Projektowanie mieszanki dla betonu bez opadu	818
14.9.3. Projektowanie mieszanki dla betonu płynnego	819
14.10. Projektowanie mieszanki dla betonów wysokowartościowych	820
14.11. Projektowanie mieszanki betonu z kruszywem lekkim	821
14.11.1. Przykład	823
14.12. Brytyjska metoda projektowania mieszanki betonowej	825
14.12.1. Przykład	830
14.13. Inne metody projektowania mieszanki	831
14.14. Uwagi końcowe	832
Piśmiennictwo	833
Dodatek I. Związane normy amerykańskie ASTM	835
Dodatek II. Związane normy brytyjskie i europejskie	843
Dodatek III. Związane normy europejskie	853
Skorowidz nazwisk oraz cytowanych dokumentów, czasopism i instytucji	859
Skorowidz rzeczowy	877

oprac. BPK