

Spis treści

Przedmowa	XV
Przedmowa do wydania trzeciego	XVI
Symbole i skróty	2
1. Wprowadzenie	4
1.1. Rys historyczny rozwoju betonu	5
1.2. Ważniejsze określenia	8
1.3. Postępowanie w robotach betonowych	8
1.4. Zasadniczy podział betonów	9
1.4.1. Podział ze względu na gęstość objętościową (ρ_0)	9
1.4.2. Podział ze względu na przeznaczenie w konstrukcji	9
1.4.3. Podział ze względu na technologiczne warunki pracy	10
1.4.4. Podział ze względu na miejsce urabiania mieszanki	10
1.4.5. Nazwy betonów	10
2. Spoiwo	11
2.1. Pojęcie spoiwa	11
2.2. Rodzaje spoiw	11
2.2.1. Spoiwa powietrzne	11
2.2.2. Spoiwa hydrauliczne	11
2.2.3. Spoiwa żywiczne	12
2.2.4. Spoiwa bitumiczne	12
2.3. Dodatki do cementu	12
2.4. Cement	16
2.4.1. Uwagi wstępne	16
2.4.2. Charakterystyka chemiczna cementu	17
2.4.3. Znaczenie składu chemicznego cementu	18
2.4.4. Postępowanie w praktyce przy wyborze cementu	19
2.4.5. Podział cementów	20
2.4.6. Skład chemiczny cementów powszechnego użytku	20
2.5. Cement portlandzki – CEM I	24
2.6. Cementy z grupy CEM II (portlandzkie mieszane)	28
2.7. Cement hutniczy – CEM III	28
2.8. Cement pucolanowy – CEM IV i wieloskładnikowy – CEM V	29
2.9. Właściwości cementów powszechnego użytku	29
2.10. Cement szybkotwardniejący	32
2.11. Cement portlandzki szybkowiążący	32
2.12. Cement belitowy	33

2.13.	Cement niskokaloryczny	33
2.14.	Cement wysokoalkaliczny	33
2.15.	Cement do budowy mostów	33
2.16.	Cement do budowy dróg	34
2.17.	Cement hydrotechniczny	34
2.18.	Cement dla górnictwa	34
2.19.	Cement wiertniczy	35
2.20.	Cement biały i cementy innych kolorów	35
2.21.	Cement plastyfikowany	35
2.22.	Cement hydrofobowy	36
2.23.	Cement siarczanowo-żuźlowy	36
2.24.	Cement ekspansywny	36
2.25.	Cement glinowy	37
2.26.	Cement bezgipsowy	38
2.27.	Starzenie się cementów	38
2.28.	Transport cementu	40
2.29.	Przechowywanie cementu	40
3.	Zaczyn cementowy	43
3.1.	Opis ogólny	43
3.2.	Właściwości reologiczne zaczynu	43
3.3.	Proces dojrzewania zaczynu cementowego	45
3.4.	Stopień i zakres hydratacji ziaren cementowych	53
3.5.	Struktura stwardniałego zaczynu cementowego	56
3.6.	Ciepło hydratacji	62
3.7.	Wpływ miałości, temperatury i wilgotności na proces dojrzewania	63
3.8.	Kształtowanie się fizykochemicznych właściwości zaczynu w miarę jego dojrzewania	65
3.9.	Odształcalność	65
3.9.1.	Skurcz wewnętrzny	66
3.9.2.	Skurcz zewnętrzny	66
3.9.3.	Odształcalność termiczna	68
3.9.4.	Odształcenia pod wpływem obciążeń zewnętrznych	68
3.10.	Charakterystyka i celowość badania cementu	69
3.10.1.	Właściwości przewidziane do badań	69
3.10.2.	Czas wiązania	70
3.10.3.	Zmiana objętości	70
3.10.4.	Stopień rozdrobnienia	71
3.10.5.	Skurcz	72
3.10.6.	Wytrzymałość na ściskanie	72
3.10.7.	Cement zwietrzały – ocena i postępowanie	74
3.10.8.	Fałszywe wiązanie	75
3.11.	Podsumowująca analiza właściwości zaczynu	75
4.	Kruszywo	79
4.1.	Kruszywo jako składnik betonu	79
4.2.	Podział kruszyw	79
4.3.	Określenie ważniejszych nazw i pojęć	83
4.4.	Powstawanie ziaren	85
4.5.	Charakterystyka ziaren kruszywa	86
4.6.	Rodzaje skał, z których pochodzi kruszywo do betonów zwykłych	90

4.7.	Ogólna charakterystyka skał	90
4.8.	Właściwości fizyczne skał	91
4.9.	Szczególne cechy skał	95
4.10.	Wymagania techniczne dla kruszyw do betonu	97
4.11.	Wymagania wobec kruszyw łamanych	102
4.12.	Granulometryczna charakterystyka kruszyw	103
4.12.1.	Ważniejsze pojęcia	103
4.12.2.	Wymagania normy	104
4.12.3.	Optymalne uziarnienie	104
4.12.4.	Krzywa uziarnienia	106
4.12.5.	Ograniczenie największej średnicy ziaren kruszywa	108
4.12.6.	Sporządzenie krzywej uziarnienia	108
4.12.7.	Sposoby doboru uziarnienia	109
4.12.8.	Granice krzywych przesiewu	114
4.12.9.	Dobór uziarnienia metodą kolejnych przybliżeń (iteracji)	116
4.12.10.	Szczególne przypadki komponowania kruszyw	121
4.12.11.	Powierzchnia właściwa kruszywa	123
4.13.	Produkcja kruszywa skalnego	125
4.13.1.	Produkcja kruszywa naturalnego	125
4.13.2.	Produkcja kruszywa łamanego	126
4.13.3.	Produkcja kruszywa betonowego (z recyklingu)	126
4.14.	Transport kruszywa	126
4.15.	Składowanie kruszywa	126
4.16.	Istota badań kruszyw skalnych	127
5.	Woda zarobowa	131
5.1.	Warunki dopuszczenia wody do zarabiania betonu	131
5.2.	Ilość wody zarobowej	132
5.3.	Wodożądność składników betonu	133
5.4.	Woda w stosie kruszywa	134
5.5.	Doświadczalne wyznaczenie wodożądności kruszywa	137
6.	Właściwości mieszanki betonowej	139
6.1.	Ogólna charakterystyka	139
6.2.	Właściwości mieszanki betonowej	141
6.2.1.	Urabialność	142
6.2.2.	Konsystencja	144
6.2.3.	Zdolność do zagęszczania	147
6.2.4.	Uwagi dodatkowe	148
7.	Wytrzymałość na ściskanie – podstawowa cecha betonu zwykłego	153
7.1.	Określenia	153
7.2.	Warunki wykonywania	154
7.3.	Warunki dojrzewania	154
7.4.	Klasa betonu	156
7.5.	Wytrzymałość charakterystyczna f_{ck}	157
7.6.	Wytrzymałość średnia	157
7.7.	Współzależność wytrzymałości charakterystycznej i średniej	159
7.8.	Ustalanie wytrzymałości średniej w celu zaprojektowania założonej klasy betonu	159
7.9.	Związek pomiędzy wytrzymałością średnią a składem betonu	160

7.10.	Optymalna ilość zaczynu	161
7.11.	Dodatkowe informacje	163
8.	Wprowadzenie do projektowania betonu zwykłego	167
8.1.	Podstawowe określenia	167
8.2.	Podział betonu zwykłego na grupy projektowania	167
8.3.	Określenie dobrze zaprojektowanego betonu	168
8.4.	Tok postępowania przy projektowaniu betonu	169
8.5.	Dobór konsystencji	170
8.6.	Dobór rodzaju cementu	170
8.7.	Dobór rodzaju kruszywa	171
8.8.	Badania przydatności i cech charakterystycznych składników	172
8.9.	Graniczne ilości cementu	172
8.10.	Podstawa projektowania ilości składników	172
8.11.	Klasyfikacja metod projektowania	173
9.	Projektowanie składu betonu klas $\leq$ C20/25	175
9.1.	Metody obliczeniowe	175
9.1.1.	Metody trzech równań	175
9.1.2.	Metoda B. Bukowskiego	175
9.1.3.	Metoda T. Kluza–K. Eymana	178
9.1.4.	Metody czterech równań	180
9.1.5.	Metoda punktu piaskowego	180
9.1.6.	Metoda dwustopniowego otulenia W. Paszkowskiego	181
9.1.7.	Metoda dwustopniowego otulenia według B. Kopycińskiego	184
9.1.8.	Metoda dwustopniowego przepelnienia B. Kopycińskiego	187
9.2.	Metody doświadczalne	192
9.2.1.	Idea metod	192
9.2.2.	Metoda znanego zaczynu	192
9.3.	Szczególne sposoby projektowania	194
9.3.1.	Projektowanie według „recepty podanej graficznie”	194
9.3.2.	Projektowanie według „recepty podanej tabelarycznie”	199
9.3.3.	Projektowanie ze wspomaganie komputerowym	199
9.4.	Sprawdzenie zaprojektowanego składu betonu	200
9.5.	Uwzględnienie w projektowaniu betonu dodania domieszki	200
9.6.	Roboczy skład betonu – recepta robocza	201
10.	Projektowanie betonów klas od C25/30 do C45/50	203
10.1.	Uwagi wstępne	203
10.2.	Wymagania dotyczące składników betonu	203
10.3.	Charakterystyka zaczynu	204
10.4.	Dobór uziarnienia kruszywa	204
10.5.	Postępowanie przy projektowaniu	205
11.	Projektowanie betonów wysokich klas $\geq$ C50/60	209
11.1.	Wprowadzenie	209
11.2.	Istota sposobu uzyskiwania betonów wysokich klas	209
11.3.	Przykładowe składy betonów ustalone przez autora bądź zaczerpnięte z literatury krajowej	210
11.4.	Szczególne właściwości BWB	211
11.5.	Organizacyjne zasady postępowania w projektowaniu składu betonu (kompetencje kadry)	215

12. Projektowanie betonu, który będzie wykonywany w warunkach prymitywnych	217
12.1. Postępowanie zasadnicze	217
12.2. Informacje pomocnicze	218
13. Domieszki	221
13.1. Określenie	221
13.2. Podział	221
13.3. Ocena	221
13.4. Domieszki polepszające urabialność mieszanki betonowej	223
13.4.1. Domieszki upłynniające przez zwilżanie	225
13.4.2. Superplastyfikatory	226
13.4.3. Cel stosowania plastyfikatorów	229
13.5. Domieszki napowietrzające	231
13.6. Domieszki regulujące wiązanie	234
13.6.1. Domieszki opóźniające wiązanie	236
13.6.2. Domieszki przyspieszające wiązanie i twardnienie	236
13.7. Domieszki uszczelniające przeciw przenikaniu wody	239
13.8. Domieszki podwyższające mrozoodporność	240
13.9. Domieszki barwiące	241
13.10. Domieszki spulchniające	241
13.11. Inne domieszki	242
14. Dodatki	245
14.1. Dodatki pylaste	245
14.1.1. Popiół lotny jako dodatek	246
14.1.2. Żużel wielkopiecowy jako dodatek	249
14.1.3. Pył krzemionkowy jako dodatek	249
14.1.4. Mączki skalne jako dodatek	250
14.1.5. Bentonit jako dodatek	250
14.2. Dodatki okruczowe	251
14.3. Żywie syntetyczne jako dodatki	251
14.4. Dodatki uodporniające na oddziaływania mechaniczne	253
14.5. Dodatki kompleksowe	255
14.6. Projektowanie betonów z domieszkami i dodatkami	255
14.7. Uwagi technologiczne dotyczące domieszek i dodatków	256
15. Właściwości techniczne betonu	259
15.1. Określenia	259
15.2. Rodzaje właściwości	259
15.3. Wytrzymałość na ściskanie i jej kształtowanie	260
15.3.1. Czynniki składowe wytrzymałości betonu na ściskanie	260
15.3.2. Rodzaje przyczepności	260
15.3.3. Strefa stykowa zaczynu z kruszywem	261
15.3.4. Mechanizm i przebieg niszczenia próbki zgniatanej	264
15.3.5. Wzór wytrzymałościowy Fereta	266
15.3.6. Określanie wytrzymałości 28-dniowej na podstawie wytrzymałości wcześniejszej	267
15.3.7. Rozwój wytrzymałości po 28 dniach	268
15.3.8. Rozwój wytrzymałości betonów klas $\geq C50/60$	268
15.3.9. Wpływ kształtu i wielkości elementu na ocenę wytrzymałości	268
15.3.10. Wytrzymałość przy miejscowym docisku	270

15.3.11.	Wytrzymałość przy ściskaniu wieloosiowym	270
15.3.12.	Wytrzymałość w przypadku obciążeń pulsujących (dynamicznych) ..	271
15.3.13.	Czynniki wpływające na chwilowe zmiany wytrzymałości na ściskanie	271
15.3.14.	Wpływ temperatury	272
15.3.15.	Wpływ wilgoci	272
15.3.16.	Wytrzymałość betonu w warunkach kriogenicznych	274
15.4.	Wytrzymałość na rozciąganie	274
15.4.1.	Badanie na osiowe rozciąganie (f_t)	275
15.4.2.	Badanie na zginanie (f_g)	276
15.4.3.	Badanie na łupanie (f_l)	276
15.4.4.	Współzależność wielkości f_t , f_g i f_l	276
15.5.	Specjalne właściwości wytrzymałościowe	277
15.5.1.	Wytrzymałość na skręcanie (f_{skr})	277
15.5.2.	Wytrzymałość na ścinanie (f_r)	277
15.5.3.	Wytrzymałość uderowa (f_u)	278
15.5.4.	Odporność na ścieranie	278
15.5.5.	Odporność na wysoką temperaturę	279
15.5.6.	Przyczepność do stali	279
15.6.	Odształcalność	281
15.6.1.	Skurcz	281
15.6.2.	Skurcz karbonizacyjny	287
15.6.3.	Odształcalność termiczna	287
15.6.4.	Odształcenia pod rosnącym obciążeniem	289
15.7.	Moduł sprężystości E	291
15.8.	Naprężenia krytyczne	294
15.9.	Pelzanie	295
15.9.1.	Zjawiska zachodzące w strukturze betonu przy pelzaniu	296
15.9.2.	Przebieg pelzania	297
15.9.3.	Czynniki wpływające na wielkość pelzania	298
15.9.4.	Rzeczywista wielkość pelzania	298
15.9.5.	Wskaźnik pelzania (φ_p)	298
15.10.	Właściwości fizyczne	300
15.10.1.	Porowatość	300
15.10.2.	Nasiąkliwość	306
15.10.3.	Wodoszczelność	307
15.10.4.	Mrozoodporność	308
15.10.5.	Przewodność cieplna	309
15.11.	Odporność na wpływ środowisk chemicznie agresywnych	309
15.11.1.	Typy korozji i ich objawy	310
15.11.2.	Postać środowiska agresywnego	310
15.11.3.	Opis rodzajów agresywności	310
15.11.4.	Ogólny opis środowiska agresywnego	312
15.11.5.	Klasy środowiska i stąd klasy ekspozycji	313
15.12.	Zestawienie czynników wpływających na właściwości betonu	315
16.	Istota badań technicznych betonu	319
16.1.	Badanie wytrzymałości na ściskanie na próbkach normowych	319
16.2.	Badania wytrzymałości na ściskanie betonu w elemencie lub w konstrukcji ..	320
16.3.	Badanie skurczu	321
16.4.	Badanie modułu sprężystości E	322

16.5.	Badanie pełzania	322
16.6.	Badania wodoszczelności	323
16.7.	Badanie nasiąkliwości	323
16.8.	Uwagi dodatkowe	323
17.	Wykonywanie betonu	325
17.1.	Przyjmowanie i magazynowanie składników	326
17.2.	Dozowanie składników	327
17.3.	Mieszanie składników	329
17.4.	Transport mieszanki betonowej	333
17.4.1.	Środki transportu bliskiego	333
17.4.2.	Środki transportu dalekiego	334
17.4.3.	Transport pompowy	335
17.4.4.	Transport metodą rynnową	338
17.5.	Układanie i zagęszczanie	338
17.5.1.	Sposób wprowadzania mieszanki do miejsca przeznaczenia	339
17.5.2.	Sposób układania mieszanki betonowej	340
17.5.3.	Metody rozprowadzania	343
17.5.4.	Zasady zagęszczania	344
17.5.5.	Dziobanie	346
17.5.6.	Ubijanie	346
17.5.7.	Wibrowanie	347
17.5.8.	Prasowanie	354
17.5.9.	Walcowanie	355
17.5.10.	Utrząsanie	355
17.5.11.	Wirowanie	356
17.5.12.	Próżniowanie	356
17.5.13.	Przerwy robocze przy betonowaniu	361
17.5.14.	Samozagęszczanie	362
17.6.	Pielęgnacja	363
17.6.1.	Wprowadzenie	363
17.6.2.	Wpływ oddziaływań mechanicznych	366
17.6.3.	Praktyczne sposoby postępowania	366
17.6.4.	Długość okresu pielęgnacji wilgotnej	367
17.7.	Natryskiwanie	368
17.7.1.	Systemy natryskiwania	369
17.7.2.	Właściwości betonu natryskowego	369
17.8.	Betonowanie pod wodą	371
17.8.1.	Metoda Contractor	371
17.8.2.	Metoda dwuetapowego betonowania	372
17.8.3.	Betonowanie pojemnikami	374
17.8.4.	Betonowanie w wąskich wykopach pod wodą	375
17.8.5.	Betonowanie przez wypełnienie zatopionej powłoki z tworzywa sztucznego (folii)	375
17.8.6.	Betonowanie z zastosowaniem bloków prefabrykowanych	375
17.8.7.	Szczególny tryb postępowania	375
17.9.	Sprawdzanie – ocena wykonywania i jakości betonu	375
17.9.1.	Sprawdzanie składników (cementu, kruszywa i wody)	376
17.9.2.	Sprawdzanie mieszanki betonowej	376
17.9.3.	Sprawdzanie klasy betonu	376
17.9.4.	Ocena poziomu wytwarzania mieszanki betonowej lub betonu stałego	377

17.10.	Problem deskowania a jakość uzyskanego betonu	377
17.11.	Betonowanie mieszkanką samozagęszczalną	381
18.	Wykonywanie betonu w zakładzie prefabrykacji	383
18.1.	Charakterystyka postępowania	383
18.2.	Przyspieszone dojrzewanie betonu	384
18.2.1.	Ultrawibracja	385
18.2.2.	Obróbka cieplna	385
18.2.3.	Nagrzewanie w podwyższonej temperaturze	386
18.2.4.	Nagrzewanie w wysokiej temperaturze > 60°C	387
18.2.5.	Naparzanie	390
18.2.6.	Autoklawizacja	390
18.2.7.	Elektronagrzew	390
18.2.8.	Sposoby nagrzewania pośredniego	391
18.2.9.	Nagrzewanie energią promieni podczerwonych	392
18.2.10.	Sposoby zwiększania efektywności nagrzewania	392
18.2.11.	Sprawdzanie przebiegu nagrzewania	393
18.2.12.	Pielęgnacja	394
19.	Betonowanie w warunkach obniżonej temperatury	395
19.1.	Charakterystyka warunków	395
19.2.	Wpływ okresu chłódów na dojrzewanie betonu	396
19.3.	Wpływ okresu mrozów na dojrzewanie betonu	396
19.4.	Prowadzenie robót betonowych w zimie	398
19.4.1.	Podstawowe zasady wpływające na postępowanie	398
19.4.2.	Metody postępowania	398
19.4.3.	Metoda modyfikacji wykonywania mieszkanki betonowej	398
19.4.4.	Metoda zachowania ciepła	402
19.4.5.	Metoda nagrzewania betonu	403
19.4.6.	Metoda cieplaków	404
19.5.	Agregaty grzewcze	405
20.	Beton cementowy specjalny	407
20.1.	Beton hydrotechniczny	407
20.1.1.	Podział konstrukcji hydrotechnicznych mających wpływ na dobór składu betonu	409
20.1.2.	Jakość betonu hydrotechnicznego	409
20.1.3.	Skład mieszanek betonowych	410
20.1.4.	Techniki betonowania	410
20.2.	Beton wodoszczelny	411
20.3.	Beton przewidziany do pracy w środowisku chemicznie agresywnym	413
20.4.	Beton kwasoodporny	414
20.5.	Beton o podwyższonej odporności na ścieranie	414
20.6.	Betony z dodatkiem składnika włóknistego (fibrobetony)	415
20.7.	Beton cementowy do nawierzchni drogowych	417
20.8.	Beton cementowy do nawierzchni lotniskowych	420
20.9.	Beton ciężki jako beton ochronny przed promieniowaniem aktywnym	422
20.10.	Betony żaroodporne i ogniotrwałe	423
20.10.1.	Pojęcia	423
20.10.2.	Betony na cemencie portlandzkim	425
20.10.3.	Betony na cemencie glinowym	426
20.10.4.	Betony na szkle wodnym	426

20.11. Beton architektoniczny	427
20.12. Geobeton	430
20.13. Beton chudy	431
20.14. Beton polimerowo-cementowy	431
20.14.1. Podstawowe właściwości spoiwa polimerowego	431
20.14.2. Beton cementowy impregnowany polimerami	432
20.14.3. Beton polimerowo-cementowy	432
20.15. Beton samozagęszczony	434
20.16. Betony szczególne	435
21. Betony beczementowe	437
21.1. Beton polimerowy	437
21.2. Beton żuźlowo-alkaliczny	439
21.3. Beton bitumiczny	439
21.4. Gipsobeton	441
21.5. Beton sylikatowy	441
21.6. Inne przypadki	442
22. Beton lekki	443
22.1. Klasyfikacja	443
22.2. Kruszywo do betonów lekkich	445
22.2.1. Kruszywa sztuczne	445
22.2.2. Charakterystyka struktury ziaren	446
22.2.3. Zasada produkcji kruszyw ziarnowych	447
22.2.4. Właściwości fizyczne kruszyw sztucznych	448
22.2.5. Wymagania techniczne dla kruszyw sztucznych	449
22.3. Kruszywa skalne do betonów lekkich	451
22.4. Mikrokruszywa zwane inaczej mikrowypełniaczami	451
22.5. Kruszywa organiczne	451
22.6. Beton lekki kruszywowy	452
22.6.1. Składniki betonów	452
22.6.2. Dobór składu betonu zwartego	452
22.6.3. Dobór składu betonu półzwarłego	457
22.6.4. Dobór składu betonu jamistego	457
22.6.5. Technologia wykonywania	458
22.6.6. Właściwości betonów kruszywowych	458
22.6.7. Możliwość przewidywania wytrzymałości lekkiego betonu kruszywowego klas do LC16/18	460
22.6.8. Badania	461
22.7. Betony komórkowe (mikrokruszywowe)	462
22.7.1. Istota betonu mikrokruszywowego	462
22.7.2. Rodzaje betonów	462
22.7.3. Właściwości fizykomechaniczne	463
22.7.4. Zastosowanie	464
22.8. Betony na kruszywie organicznym	464
22.8.1. Rodzaje i właściwości	464
22.8.2. Problemy wykonawcze	465
22.9. Szczególne typy betonu lekkiego	466
23. Zasady napraw betonu w konstrukcji	469
23.1. Ogólna charakterystyka	469
23.2. Zasady naprawy chłodni kominowych	472

24. Uzupełnienia	477
24.1. Specyfikacja składu betonu	477
24.1.1. Podstawowe wymagania dotyczące składu betonu	477
24.1.2. Uwagi do projektowania betonu z uwzględnieniem jego trwałości	479
24.1.3. Dobór podstawowych składników	480
24.2. Klasy ekspozycji betonu związane z oddziaływaniem środowiska	481
24.2.1. Wymagania wynikające z klas ekspozycji	485
24.2.2. Spełnienie wymagań	485
24.3. Kontrola produkcji betonu	486
24.4. Stosowanie dodatków	487
24.4.1. Postanowienia ogólne	487
24.4.2. Współczynnik k dodatków typu II	487
24.4.3. Pojęcie równoważnych właściwości użytkowych betonu	488
24.5. Stosowanie domieszek	489
24.6. Dostawa mieszanki betonowej	489
24.7. Kontrola zgodności i kryteria zgodności	490
25. Aktualne kierunki rozwoju technologii betonu	493
26. Załączniki	494
I. Literatura	494
II. Wykaz tablic	496
III. Ważniejsze daty dotyczące historii rozwoju betonu	499
IV. Zestawienie ciekawszych informacji na temat szkół zajmujących się nauką o betonie	500
V. Etapy rozwoju betonu w ujęciu autora książki	501
VI. 10 podstawowych stwierdzeń o betonie według autora książki	502
VII. Określenia	502
Od autora – zamiast posłowia	507