

Spis treści

ROZDZIAŁ 1

Jan Deja

WPROWADZENIE	19
--------------------	----

ROZDZIAŁ 2

Marek Gawlicki

CEMENTY	29
2.1. Cementy w betonie	30
2.2. Rodzaje cementów	31
2.2.1. Cementy powszechnego użytku	33
2.2.2. Produkcja cementów powszechnego użytku w Polsce	38
2.2.3. Oznaczenia cementów powszechnego użytku i cementów specjalnych	39
2.2.4. Symbolika używana w chemii cementu	41
2.2.5. Klinkier portlandzki (K)	42
Glinian trójwapniowy	45
2.2.6. Granulowany żużel wielkopiecowy (S)	47
2.2.7. Popioły lotne (V, W)	49
2.2.8. Wapień (L, LL)	54
2.2.9. Pozostałe składniki główne cementów powszechnego użytku	55
2.2.10. Składniki drugorzędne cementów powszechnego użytku	60
2.2.11. Dodatki	60
2.2.12. Regulatory czasu wiązania cementów powszechnego użytku	61
2.3. Uziarnienie cementów	61
2.4. Hydratacja składników klinkieru portlandzkiego	65
2.4.1. Hydratacja C_3S i $\beta-C_2S$	67
2.4.1.1. Mechanizm hydratacji	69
2.4.1.2. Produkty hydratacji C_3S i $\beta-C_2S$	72
2.4.2. Hydratacja C_3A	80
2.4.2.1. Hydratacja C_3A bez udziału obcych jonów	81
2.4.2.2. Hydratacja C_3A w obecności obcych jonów	81
2.4.3. Hydratacja fazy glinożelazianowej	83
2.4.4. Ciepła hydratacji faz tworzących klinkier portlandzki	84

2.5. Hydratacja cementów powszechnego użytku	85
2.5.1. Hydratacja cementu portlandzkiego	86
2.5.1.1. Hydratacja cementu portlandzkiego w normalnej temperaturze	88
2.5.1.2. Hydratacja cementu portlandzkiego w podwyższonej temperaturze	91
2.5.1.3. Ciepło hydratacji cementów	93
2.5.2. Zaczyn cementowy	96
2.5.2.1. Mikrostruktura zaczynu cementowego	97
2.5.2.2. Wytrzymałość stwardniałego zaczynu cementu portlandzkiego	104
2.5.2.3. Zmiany objętości zaczynu cementowego	110
2.5.4. Granulowany żużel wielkopiecowy w zaczynie cementowym	114
2.5.5. Popiół lotny w zaczynie cementowym	116
2.5.6. Zmielony wapień w zaczynie cementowym	118
2.6. Cementy specjalne	119
2.6.1. Cementy specjalne stanowiące przedmiot normy PN-B 19707:2013-10	120
2.6.1.1. Cementy odporne na siarczany – HSR	121
2.6.1.2. Cementy niskoalkaliczne – NA	122
2.6.2. Cementy specjalne o bardzo niskim cieple hydratacji – VHL	124
2.6.3. Cementy supersiarczanowe	125
2.6.4. Cement biały	126
2.6.5. Cementy glinowe	127
2.6.6. Cementy bezskurczowe i ekspansywne	129
2.6.7. Cementy wiertnicze	130
2.6.8. Cementy wapniowo-siarczanowo-glinianowe (cementy CSA)	131
2.6.9. Cement romański	133
2.6.10. Inne cementy specjalne	133
2.7. Geopolimery, spoiwa żużlowo-alkaliczne	134
2.7.1. Surowce do wytwarzania spoiw aktywowanych alkaliami	136
2.7.2. Aktywacja alkaliczna	139
2.7.2.1. Aktywacja alkaliczna granulowanych żużli wielkopiecowych	140
2.7.2.2. Aktywacja alkaliczna krzemionkowych popiołów lotnych i metakaolinu	142
2.7.3. Mikrostruktura zaczynów spoiw aktywowanych alkaliami	144
2.7.4. Cechy użytkowe spoiw aktywowanych alkaliami	148
2.7.5. Możliwości wykorzystania spoiw aktywowanych alkaliami	155
2.8. Wymagania stawiane cementom powszechnego użytku	157
2.9. Metody badań cementów powszechnego użytku	159
2.9.1. Badania wykonywane na cementach	160
2.9.1.1. Analiza chemiczna cementu (PN-EN 196-2:2013-11)	160
2.9.1.2. Fluorescencyjna analiza rentgenowska	164
2.9.1.3. Chrom(VI) rozpuszczalny w wodzie	164

2.9.1.4. Wolne wapno	165
2.9.1.5. Pucolanowość cementów pucolanowych	165
2.9.1.6. Gęstość i gęstość nasypowa cementów	166
2.9.1.7. Skład ziarnowy cementów	166
2.9.1.8. Skład fazowy cementu	167
2.9.1.9. Oznaczanie zawartości granulowanego żużla wielkopieczowego w cemencie	168
2.9.1.10. Oznaczanie zawartości fazy szklistej w granulowanym żużlu wielkopieczowym metodą mikroskopową	168
2.9.1.11. Obliczanie składu fazowego cementu portlandzkiego CEM I w oparciu o wyniki analizy chemicznej	169
2.9.2. Badania wykonywane na zaczynach cementowych	170
2.9.2.1. Właściwa ilość wody zarobowej	170
2.9.2.2. Czas wiązania	170
2.9.2.3. Stałość objętości	171
2.9.2.4. Mikrostruktura	172
2.9.2.5. Porowatość	174
2.9.2.6. Ciepło hydratacji	175
2.9.3. Badania wykonywane na zaprawach cementowych	175
2.9.3.1. Wytrzymałość	176
2.9.3.2. Zmiany objętości zapraw cementowych	176
2.10. Badania cementów specjalnych	177
2.10.1. Ciepło hydratacji cementów LH i VLH	177
Metoda rozpuszczania	177
Metoda semiadiabatyczna	178
Metoda izotermiczna	178
2.10.2. Oznaczanie odporności cementów na agresję siarczanową	179
2.11. Oznaczanie promieniotwórczości naturalnej materiałów budowlanych	179

ROZDZIAŁ 3

Radostaw Mróz

ROLA KRUSZYW W KSZTAŁTOWANIU WŁAŚCIWOŚCI BETONU	193
3.1. Uziarnienie kruszyw	200
3.2. Kształt i powierzchnia ziaren kruszywa	206
3.3. Wodożądność kruszyw	210
3.4. Porowatość i nasiąkliwość kruszyw	211
3.5. Zanieczyszczenia kruszyw i ziarna słabe	211
3.5.1. Zanieczyszczenia organiczne	212
3.5.2. Straty prażenia	213
3.5.3. Pyły mineralne	213
3.5.4. Zanieczyszczenia chemiczne i obecność muszli	215
Zawartość chlorków	215
Zawartość siarczanów	216
3.5.5. Ziarna nietrwale	216

3.5.5.1. Składniki wpływające na jakość powierzchni betonu – badania ..217	
Obecność reaktywnego siarczku żelaza	217
Zanieczyszczenia lekkie.....	218
3.6. Skład mineralny kruszyw	218
3.7. Właściwości mechaniczne kruszyw	220
3.7.1. Odporność na rozdrabnianie	221
3.7.2. Odporność na ścieranie	222
3.7.3. Polerowalność kruszyw, odporność na ścieranie powierzchniowe i abrazyjne	223
3.8. Wpływ kruszyw na trwałość betonu	223
3.8.1. Mrozoodporność kruszyw	223
3.8.2. Reaktywność alkaliczna kruszyw	227
3.8.3. Właściwości cieplne kruszyw – stałość objętości (skurcz przy wysychaniu).....	233
3.9. Kontrola produkcji kruszyw – zakres i częstotliwość badań właściwości podstawowych kruszyw	234
3.10. Kruszywa z recyklingu	237
Stołość objętości - skurcz przy wysychaniu	246
Siarczany rozpuszczalne w wodzie w kruszywach z recyklingu.....	247
Materiały rozpuszczalne w wodzie mające wpływ na czas wiązań zaczynu cementowego.....	247
Chlorki w kruszywach z recyklingu	248
Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa w kruszywach z recyklingu	248

ROZDZIAŁ 4

Marek Gawlicki

DODATKI DO BETONU.....	255
4.1. Dodatki do betonu stanowiące przedmiot normy PN-EN 206+A1:2016-12	255
4.1.1. Dodatki typu I.....	256
4.1.2. Dodatki typu II.....	257
4.1.2.1 Popiół lotny	258
4.1.2.2 Pył krzemionkowy	262
4.1.2.3. Mielony granulowany żużel wielkopiecowy	265
4.1.3 Zasady wykorzystania dodatków typu II	267
4.1.3.1. Koncepcja współczynnika k.....	267
4.1.3.2. Koncepcja równoważnych właściwości użytkowych betonu (ECPC)	269
4.1.3.3. Koncepcja kombinacji równoważnych właściwości użytkowych (EPCC)	269
4.2. Inne dodatki do betonów	270
4.2.1. Metakaolin	271
4.2.2. Nanokrzemionka	273

4.3. Uboczne produkty spalania – możliwości wykorzystania w produkcji betonu, wyzwania i zagrożenia	275
---	-----

ROZDZIAŁ 5

Łukasz Kotwica

DOMIESZKI DO ZAPRAW I BETONÓW	283
5.1. Wstęp	283
5.2. Definicja domieszek do betonu	284
5.3. Domieszki modyfikujące reologię mieszanki betonowej	285
5.3.1. Plastyfikatory (LS)	287
5.3.2. Superplastyfikatory	290
5.3.2.1. Superplastyfikatory I generacji (SNF, SMF, MLS)	290
5.3.2.2. Superplastyfikatory II generacji (PC, CLA, CLAP)	293
5.3.3. Porównanie działania poszczególnych grup domieszek dyspergujących	299
5.3.4. Zagadnienie kompatybilności w układzie cement – domieszka	301
5.4. Domieszki napowietrzające	305
5.5. Domieszki wpływające na szybkość wiązania i twardnienia	313
5.5.1. Domieszki przyspieszające wiązanie i/lub twardnienie	314
5.5.2. Domieszki opóźniające wiązanie	318
5.6. Domieszki zwiększające lepkość i retentory wody	319
5.6.1. Charakterystyka chemiczna domieszki zwiększającej lepkość i będącej retentorem wody na przykładzie eterów celulozy stosowanych w technologiach suchych zapraw	321
5.6.1.1. Technologia produkcji i budowa cząsteczki	321
5.6.1.2. Właściwości eterów celulozy stosowanych w technologiach suchych zapraw	324
5.6.2. Dobór odpowiedniej domieszki do określonego zastosowania	326
5.6.3. Zastosowanie domieszek modyfikujących lepkość w technologii betonu	326
5.7. Polimerowe proszki redyspergowalne	327
5.7.1. Idea modyfikacji materiałów cementowych polimerowymi proszkami redyspergowalnymi	327
5.7.2. Produkcja polimerowych proszków redyspergowalnych	328
5.7.3. Właściwości redyspergowalnych proszków polimerowych	330
5.7.4. Mechanizm działania redyspergowalnych proszków polimerowych i powstawanie kompozytów cementowo – polimerowych	331
5.7.5. Wpływ proszków redyspergowalnych na właściwości tworzyw cementowych	336
5.8. Domieszki przeciwskurczowe	342
5.9. Inhibitory korozji stali	343
5.10. Metody badania domieszek	344

ROZDZIAŁ 6

Artur Łagosz

PROJEKTOWANIE BETONÓW ZWYKŁYCH	351
6.1. Wprowadzenie.....	351
6.2. Istota projektowania składu betonów zwykłych.....	353
6.2.1. Analiza informacji dotycząca przedmiotu projektowania i wynikające z niej kryteria składu mieszanki betonowej.....	355
6.2.2. Dobór składników mieszanki betonowej.....	360
6.2.2.1. Dobór cementu.....	360
6.2.2.2. Wymagania dotyczące kruszywa stosowanego do produkcji betonów zwykłych	361
6.3. Metody projektowania betonów	364
6.3.1. Metoda trzech równań.....	365
6.3.1.1. Równanie konsystencji	365
6.3.1.2. Równanie szczelności.....	367
6.3.1.3. Równanie wytrzymałości (Bolomeya).....	368
6.3.1.4. Rozwiązanie równania Bolomeya.....	370
6.3.2. Metoda doświadczalna	371
6.4. Sprawdzenie wyników projektowania – wprowadzenie odpowiednich korekt i weryfikacja uzyskanych rezultatów	372
6.4.1. Sprawdzenie zgodności wyników obliczeń z wytycznymi norm	373
6.4.2. Korekty	373
6.4.2.1. Korekta zawartości cementu.....	373
6.4.2.2. Korekta współczynnika w/c	374
6.4.2.3. Korekta zawartości zaprawy i ziaren < 0,125 mm	374
6.4.3. Doświadczalna weryfikacja składu betonu	374
6.5. Przykład projektowania betonu metodą trzech równań.....	375
6.5.1. Projektowanie mieszanki betonowej, w której nie przewidziano użycia domieszek poprawiających reologię (bez plastyfikatorów i superplastyfikatorów).....	375
ZADANIE PROJEKTOWE	375
6.5.1.1. Przyjęcie podstawowych założeń do projektowania	375
6.5.1.2. Jakościowy dobór składników.....	375
6.5.1.3. Przyjęcie wielkości w równaniu Bolomeya i obliczenie stosunku c/w	378
6.5.1.4. Przyjęcie pozostałych wielkości i obliczenie zawartości składników w mieszance betonowej	378
6.5.1.5. Obliczenie zawartości kruszywa żwirowego oraz piasku, wchodzących w skład mieszanki kruszywa	379
6.5.1.6. Sprawdzenie zawartości cementu.....	379
6.5.1.7. Sprawdzenie współczynnika w/c	379
6.5.1.8. Sprawdzenie zawartości zaprawy	379
6.5.1.9. Sprawdzenie zawartości ziaren < 0,125 mm	380
6.5.1.10. Uwzględnienie wilgotności kruszywa	380

6.5.2. Projektowanie mieszanki betonowej, w której przewidziano użycie domieszki w postaci plastyfikatora i uwzględniono rzeczywistą wytrzymałość cementu	381
6.5.2.1. Przyjęcie podstawowych założeń do projektowania	381
6.5.2.2. Jakościowy dobór składników	381
6.5.2.3. Przyjęcie współczynników w równaniu Bolomeya i obliczenie stosunku c/w	382
6.5.2.4. Przyjęcie pozostałych wielkości i obliczenie ilości składników mieszanki betonowej	383
6.5.2.5. Obliczenie zawartości kruszywa żwirowego oraz piasku, wchodzących w skład mieszanki kruszywa	383
6.5.2.6. Sprawdzenie zawartości cementu	383
6.5.2.7. Sprawdzenie współczynnika w/c	384
6.5.2.8. Sprawdzenie zawartości zaprawy	384
6.5.2.9. Sprawdzenie zawartości ziaren $< 0,125$ mm	384
6.5.3. Omówienie wyników projektowania (rozdziały 6.5.1 i 6.5.2)	384
6.6. Ogólne zasady wprowadzania dodatków do składu betonów zwykłych	386
6.6.1. Przykład projektowania betonu z uwzględnieniem dodatku typu II oraz empirycznej zależności wytrzymałości od c/w	389
6.6.1.1. Przyjęcie podstawowych założeń do projektowania	390
6.6.1.2. Jakościowy dobór składników	390
6.6.1.3. Obliczenie wielkości c/w	392
6.6.1.4. Przyjęcie pozostałych wielkości i obliczenie ilości składników mieszanki betonowej	393
6.6.1.5. Obliczenie ilości kruszywa żwirowego oraz piasku, wchodzących w skład mieszanki kruszywa	393
6.6.1.6. Sprawdzenie zawartości cementu	393
6.6.1.7. Sprawdzenie zawartości zaprawy	393
6.6.1.8. Sprawdzenie zawartości frakcji ziarnowej poniżej $0,125$ mm	394
6.6.1.9. Korekta składu betonu w związku z wprowadzeniem popiołu lotnego zgodnie z zasadami przewidzianymi w PN-B-06265 opartej na PN-EN 206+A1:2016-12	394

ROZDZIAŁ 7

Zdzisław B. Kohutek, Radosław Mróz

MIESZANKA BETONOWA	399
7.1. Ogólne zasady mieszania składników betonu	399
7.2. Woda zarobowa, w tym woda z recyklingu	401
7.2.1. Woda z recyklingu	404
7.3. Technika przemysłowego wytwarzania mieszanki betonowej	406
7.3.1. Mieszalniki składników	406
7.3.2. Zasobniki kruszywa	410
7.3.3. Silosy cementu i dodatków mineralnych	414
7.3.4. Systemy odmiarowe	415

7.3.5. Monitoring wilgotności kruszywa.....	416
7.3.6. Komputerowe oprzyrządowanie wężła.....	418
7.3.7. Stacja recyklingu	420
7.3.8. Blok podgrzewania komponentów	426
7.3.9. Węzeł betoniarski	429
7.4. Badanie właściwości mieszanki betonowej.....	433
7.4.1. Ocena konsystencji	433
7.4.1.1. Metoda opadu stożka.....	436
7.4.1.2. Metoda Vebe.....	438
7.4.1.3. Metoda pomiaru rozplywu mieszanki betonowej badana z użyciem stolika rozplywowego	439
7.4.1.4. Metoda oznaczania stopnia zagęszczalności	441
7.4.2. Określenie zawartości powietrza w mieszance betonowej.....	442
7.4.3. Gęstość mieszanki betonowej	446
7.5. Dowóz i pompowanie mieszanki betonowej.....	447
7.5.1. Transport daleki.....	448
7.5.2. Transport bliski	451
7.5.2.1 Pompowanie mieszanki betonowej	454
7.5.3. Uniwersalizacja	463
7.6. Zasady układania i zagęszczania mieszanki.....	465
7.6.1. Układanie mieszanki betonowej	465
7.6.2. Zagęszczanie mieszanki betonowej	466
7.6.2.1. Wibrowanie wgłębne	467
7.6.2.2. Wibrowanie powierzchniowe.....	470
7.6.2.3. Próźniowanie.....	471
7.6.2.4. Wałowanie	472
7.7. „Efekt ściany”	476

ROZDZIAŁ 8

Zdzisław B. Kohutek

ZASADY ZACHOWANIA JAKOŚCI PRODUKCJI I DOSTAWY BETONU	481
8.1. Wprowadzenie.....	481
8.2. Kontrola zgodności wytrzymałości na ściskanie i jej kryteria	484
8.2.1. Zasady pobierania próbek i realizacji badań	484
8.2.2. Metodyka i kryteria oceny	485
8.3. Kontrola zgodności wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu i jej kryteria	490
8.4. Rodzina betonów (<i>family of concrete</i> – ang., <i>Betonfamilie</i> – niem.).....	491
8.4.1. Definicje i wytyczne dla kompletowania betonów w rodziny.....	492
8.4.2. Kreowanie rodziny betonów – metody transformacji	493
8.4.2.1. Metoda współczynnika wytrzymałości na ściskanie	494
8.4.2.2. Metoda różnicy wytrzymałości na ściskanie	494
8.4.2.3. Metoda współczynnika w/c	495

8.5. Kontrola zgodności właściwości betonu innych niż wytrzymałość.....	497
8.5.1. Kontrola zgodności konsystencji, właściwości betonu SCC, zawartości powietrza i jednorodności wymieszania włókien w mieszance betonowej	498
8.5.2. Kontrola zgodności w zakresie zawartości włókien, gęstości, maksymalnego współczynnika w/c i minimalnej zawartości cementu	500
8.6. Kontrola identyczności	502
8.6.1. Ogólne wytyczne odnośnie poboru i badania próbek.....	503
8.6.2. Ocena identyczności danej objętości betonu z populacją asortymentu – w nawiązaniu do bazy wyników badań wytrzymałości na ściskanie.....	503
8.6.2.1. Kryteria identyczności dla betonu podlegającego certyfikowanej kontroli produkcji.....	503
8.6.2.2. Kryteria identyczności dla betonu wytwarzanego bez certyfikatu zakładowej kontroli produkcji	504
8.6.3. Ocena identyczności danej objętości betonu z populacją sortymentu, w nawiązaniu do bazy wyników badań właściwości pozawytrzymałościowych.....	504
8.7. Postępowanie na wypadek braku zgodności	505

ROZDZIAŁ 9

Zdzisław B. Kohutek, Artur Łagosz

PIELĘGNACJA BETONU W POCZĄTKOWYM OKRESIE DOJRZEWANIA	509
9.1. Młody beton – ewolucja poglądów, zjawiska towarzyszące i ich mechanizm	509
9.2. Pielęgnacja młodego betonu	518
9.2.1. Pielęgnacja betonu w okresie letnim, późnej wiosny i wczesnej jesieni	520
9.2.1.1. Pielęgnacja mokra.....	523
9.2.1.2. Pielęgnacja powłokowa	524
9.2.2. Pielęgnacja betonu w okresie obniżonej temperatury	527
9.2.2.1. Sposoby zabezpieczania twardniejącego betonu w wykonanych elementach – w okresie obniżonych temperatur	530
9.2.3. Pielęgnacja betonu masywnego	531
9.2.4. Czynniki wpływające na czas trwania pielęgnacji betonu	534

ROZDZIAŁ 10

Waldemar Pichór

WPŁYW TEMPERATURY NA WŁAŚCIWOŚCI BETONU.....	541
10.1. Wpływ podwyższonej temperatury na beton	541
10.1.1. Wpływ temperatury we wczesnym okresie twardnienia	542
10.1.2. Wpływ wysokiej temperatury i ognia na właściwości betonu stwardniałego	546

ROZDZIAŁ 11

Waldemar Pichór

MIKROSTRUKTURA BETONU	551
-----------------------------	-----

ROZDZIAŁ 12

Waldemar Pichór

STREFA KONTAKTOWA KRUSZYWO-ZACZYN W BETONIE	563
---	-----

ROZDZIAŁ 13

Łukasz Kotwica, Artur Łagosz

WŁAŚCIWOŚCI STWARDNIAŁEGO BETONU	569
13.1. Porowatość	569
13.1.1. Wstęp	569
13.1.2. Porowatość betonu	571
13.1.3. Metody badań	574
13.1.4. Czynniki wpływające na porowatość betonu	578
13.1.4.1. Współczynnik w/c	578
13.1.4.2. Wiek betonu – wpływ dojrzewania	580
13.1.4.3. Technologia produkcji – projektowanie, zagęszczanie, pielęgnacja	582
13.1.4.4. Rodzaj spoiwa a mikrostruktura – wpływ dodatków mineralnych na porowatość i mikrostrukturę zaczynów cementowych i betonów	585
13.1.5. Porowatość a właściwości betonu	588
13.1.5.1. Wytrzymałość	588
13.1.6. Elektrochemiczne aspekty porowatości	591
13.2. Wytrzymałość	595
13.2.1. Wytrzymałość betonu na ściskanie	595
13.2.2. Czynniki kształtujące cechy wytrzymałościowe betonów	598
13.2.3. Wytrzymałość betonu na rozciąganie	600
13.2.4. Sprężystość i pełzanie betonu	602
13.2.4.1. Wyznaczanie modułu sprężystości	608
13.2.4.2. Wyznaczanie pełzania betonu przy ściskaniu	610
13.3. Badanie cech wytrzymałościowych	613
13.3.1. Oznaczenie wytrzymałości betonu na ściskanie	613
13.3.2. Oznaczenie wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu	623
13.3.3. Oznaczenie wytrzymałości betonu na zginanie	627
13.3.4. Ocena wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji	630
13.3.4.1. Ocena wytrzymałości na ściskanie betonu w oparciu o próbki pobrane z konstrukcji	630
13.3.4.2. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w oparciu o badania metodami pośrednimi	634

Metoda sklerometryczna wykorzystująca młotek Schmidta	635
Metoda ultradźwiękowa	638
Metoda pull-out	641
Metoda hybrydowa	644
13.3.4.3. Ocena charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji w oparciu o badania metodami pośrednimi.....	645
WARIANT 1	645
WARIANT 2	646
Przykłady oceny klasy wytrzymałości betonu na podstawie wyników badań liczby odbicia	651
PRZYKŁAD 1	651
PRZYKŁAD 2	655
13.4. Zmiany liniowe betonów i zapraw.....	660
13.4.1. Skurcz plastyczny i wysychania.....	660
13.4.2. Skurcz autogeniczny	666
13.4.3. Skurcz karbonatyzacyjny.....	669
13.4.3. Betony bezskurczowe i ekspansywne	670
13.4.4. Badania zmian liniowych	674
13.4.4.1. Oznaczanie skurczu betonu	674
13.4.4.2. Inne metody badań zmian liniowych betonów i zapraw.....	677

ROZDZIAŁ 14

Artur Łagosz, Radosław Mróz

TRWAŁOŚĆ BETONU	687
14.1. Nasiąkliwość	687
14.1.1. Badanie nasiąkliwości	689
14.2. Mrozoodporność.....	692
14.2.1. Badanie mrozoodporności	696
14.3. Odporność na działanie środków odladzających.....	697
14.3.1. Badanie odporności betonu na zamrażanie i rozmrażanie w obecności środków odladzających.....	701
14.3.2. Badanie wielkości i rozkładu porów w stwardniałym betonie.....	704
14.4. Przepuszczalność betonu	706
14.4.1. Wodoprzepuszczalność/wodoszczelność betonu.....	707
14.4.1.1. Badanie przepuszczalności wody przez beton według PN-EN 12390-8:2011	707
14.4.1.2. Badanie przepuszczalności wody przez beton według PN-88/B-06250	708
14.4.1.3. Porównanie metod	709
14.4.2. Przepuszczalność gazów	710
14.4.2.1. Laboratoryjna metoda CEMBUREAU.....	711
14.4.2.2. Nieniszcząca metoda Torrenta	713

14.5. Odporność betonu na działanie środowisk agresywnych chemicznie	715
14.5.1. Korozja siarczanowa	717
14.5.2. Powstawanie opóźnionego i wtórnego ettringitu	722
14.5.3. Metody badań odporności chemicznej cementów na korozję siarczanową	724
14.5.4. Korozja chlorkowa betonów	726
14.5.5. Karbonatyzacja	728
14.5.6. Działanie wody miękkiej – korozja ługująca	730
14.5.7. Korozja kwasowa	731
14.5.8. Korozja magnezowa	731
14.5.9. Reakcje alkalia – kruszywo	732
14.6. Korozja stali w betonie	732
14.6.1. Mechanizmy i rodzaje korozji zbrojenia w betonie	732
14.6.1.1. Mechanizm korozji zbrojenia w betonie	732
14.6.1.2. Rodzaje korozji	736
14.6.1.3. Warunki uzyskania stanu ochrony zbrojenia	738
14.6.1.4. Pasywność	739
14.6.1.5. Wpływ chlorków i karbonatyzacji na korozję żelbetu	740
14.6.1.6. Mechanizm niszczenia konstrukcji żelbetowej	742
14.6.1.7. Metody zwiększania trwałości zbrojenia	744
14.6.2. Metody badań korozyjnych	746
14.6.2.1. Wyznaczanie galwanostatycznych krzywych polaryzacji anodowej	746
14.6.2.2. Pomiary prądów w ogniwie korozyjnym	748
14.6.2.3. Potencjostatyczne badania elektrochemiczne	751
14.6.2.4. Pomiary pH zaczynu spoiwowego	753
14.6.2.5. Badania gravimetryczne	753
14.6.2.6. Badanie odporności betonu na wnikanie chlorków w warunkach jednokierunkowej dyfuzji chlorków w stanie nieustalonym	754
14.6.2.7. Badanie odporności betonu na proces karbonatyzacji	757
14.7. Odporność betonu na ścieranie	760

ROZDZIAŁ 15

Lukasz Kotwica

BETON WYSOKOWARTOŚCIOWY	769
15.1. Co to jest beton wysokowartościowy	769
15.2. Kształtowanie właściwości betonu wysokowartościowego	770

ROZDZIAŁ 16

Lukasz Kotwica, Zdzisław B. Kohutek

BETON SAMOZAGĘSZCZALNY	777
16.1. Co to jest beton samozagęszczalny	777
16.2. Istota samozagęszczalności	778

16.3. Składniki betonu SCC	783
16.3.1. Cement	783
16.3.2. Kruszywo	786
16.3.3. Domieszki chemiczne	789
16.3.3.1. Domieszki upłynniające	789
16.3.3.2. Domieszki regulujące lepkość	790
16.3.3.3. Domieszki napowietrzające	791
16.4. Właściwości mieszanki samozagęszczalnej	792
16.5. Właściwości stwardniałego betonu samozagęszczalnego	795
16.6. Wybrane zagadnienia z technologii betonu samozagęszczalnego	796
16.7. Badania mieszanki samozagęszczalnej (SCC), rekomendowane przez normę PN-EN 206+A1:2016-12	797
16.7.1. Uwagi ogólne	797
16.7.2. Metryczny rozptyw stożka (pomiar średnic)	797
16.7.3. Badania lepkości	799
16.7.3.1. Oznaczanie lepkości poprzez pomiar czasu t_{500} (metoda czasowego rozptywu stożka)	800
16.7.3.2. Oznaczanie lepkości poprzez pomiar czasu t_v (metoda V-lejka)	801
16.7.4. Badania przepływalności	802
16.7.4.1. Oznaczanie wskaźnika przepływalności z użyciem L-pojemnika (L-box)	803
16.7.4.2. Oznaczanie wskaźnika przepływalności przy użyciu J-pierścienia	804
16.7.5. Odporność na segregację składników wskutek przecieku przez sito	807

ROZDZIAŁ 17

Waldemar Pichór

BETON Z PROSZKAMI REAKTYWNYMI	811
-------------------------------------	-----

ROZDZIAŁ 18

Waldemar Pichór

BETONY Z DODATKIEM WŁÓKIEN	815
18.1. Podstawy mechaniki pękania kompozytów włóknistych	817
18.2. Efekt zmiany właściwości kompozytów cementowo-włóknistych w czasie	828
18.3. Metody badań fibrobetonów	831
18.3.1. Badanie mieszanki betonowej	832
18.3.2. Badanie właściwości stwardniałego betonu z włóknami	840
18.4. Betony z włóknami stalowymi	850
18.5. Beton z włóknami szklanymi	857
18.6. Beton z włóknami syntetycznymi	863
18.7. Beton z innymi rodzajami włókien	869

ROZDZIAŁ 19

Artur Łagosz

BETON W ENERGETYCE JĄDROWEJ	873
19.1. Charakterystyka betonów osłonowych stosowanych w energetyce jądrowej	875
19.2. Składniki betonów ciężkich	876
19.2.1. Cement	876
19.2.2. Kruszywo i dodatki	876
19.3. Produkcja mieszanek przeznaczonych do wytwarzania betonów osłonowych	877
19.4. Wpływ promieniowania na właściwości betonów	878

ROZDZIAŁ 20

Waldemar Pichór

BETONY LEKKIE	881
20.1. Beton lekkie kruszywowe	888
20.1.1. Projektowanie składu betonów lekkich kruszywowych	892
20.1.2. Beton z kruszywem keramzytowym	895
20.1.3. Beton z kruszywem spiekany z popiołów lotnych	898
20.1.4. Beton z perlitem ekspandowanym	901
20.1.5. Beton z innymi wypełniaczami mineralnymi	902
20.1.6. Beton z wypełniaczem styropianowym	904
20.2. Badanie właściwości kruszyw lekkich	906
20.3. Badanie betonu lekkiego kruszywowego	907
20.4. Autoklawizowany beton komórkowy (ABK)	908
20.4.1. Metody badań autoklawizowanego betonu komórkowego	916
20.5. Pianobeton	917

ROZDZIAŁ 21

Marek Gawlicki

BETON A ŚRODOWISKO NATURALNE	919
21.1. Wpływ betonu na środowisko naturalne	920
21.2. Rola cementu w kształtowaniu współzależności beton – środowisko naturalne	922
21.3. Perspektywy poprawy współzależności betony – środowisko naturalne	924
21.4. Cykl życia wyrobów betonowych	925

ROZDZIAŁ 22

Waldemar Pichór

POTENCJALNE KIERUNKI ROZWOJU BETONU	931
---	-----