

CEMENT KRUSZYWA BETON

2015

RODZAJE, WŁAŚCIWOŚCI,
ZASTOSOWANIE

W OFERCIE GRUPY GÓRAŹDŹE



GÓRAŹDŹE
HEIDELBERGCEMENTGroup

Cement, kruszywa, beton w ofercie Grupy Górażdże

RODZAJE, WŁAŚCIWOŚCI, ZASTOSOWANIE

Chorula 2015

Poradnik został przygotowany
pod kierunkiem:
Zbigniewa Giergicznego

przez zespół:
Maciej Batóg
Damian Dziuk
Artur Golda
Jacek Grabski
Sebastian Kaszuba
Marcin Sokołowski
Katarzyna Synowiec
Jadwiga Szuba
Michał Wąsik

Spis treści

1.	Prezentacja Grupy Górażdże	7
1.1.	Prezentacja koncernu HeidelbergCement	8
1.2.	Górażdże Cement S.A.	9
1.2.1.	Cementownia Górażdże	11
1.2.2.	Przemiałownia Ekocem	12
1.3.	Górażdże Beton Sp. z o.o.	15
1.4.	Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.	17
1.5.	Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.	20
2.	Oferta handlowa Grupy Górażdże	23
2.1.	Oferta handlowa Górażdże Cement S.A.	24
2.2.	Oferta handlowa Górażdże Beton Sp. z o.o.	31
2.2.1.	Produkty specjalne w ofercie Górażdże Beton Sp. z o.o.	32
2.3.	Oferta handlowa Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.	44
2.3.1.	Kruszywa naturalne	46
2.3.2.	Kruszywa naturalne łamane	49
2.3.3.	Kruszywa specjalne	49
2.4.	Usługi laboratoryjne i badawcze świadczone przez Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.	53
3.	Zasady odpowiedzialności za produkt	61
3.1.	Zasady odpowiedzialności za produkt Górażdże Cement S.A.	62
3.1.1.	Wstęp	62
3.1.2.	Gwarancja	62
3.1.3.	Zasady przechowywania produktu	63
3.1.4.	Postępowanie reklamacyjne	65
3.2.	Zasady odpowiedzialności za produkt Górażdże Beton Sp. z o.o.	68
3.2.1.	Wstęp	68
3.2.2.	Odpowiedzialność Sprzedającego	68
3.2.3.	Przeniesienie ryzyka	70
3.2.4.	Postępowanie reklamacyjne	70
3.3.	Zasady odpowiedzialności za produkt Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.	72
3.3.1.	Wstęp	72

3.3.2.	Gwarancja	72
3.3.3.	Zasady przechowywania produktów	73
3.3.4.	Postępowanie reklamacyjne	73
4.	Normy	77
4.1.	Normy – cementowe	78
4.1.1.	Norma PN-EN 197-1: 2012 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”	78
4.1.2.	Krajowa norma PN-B-19707:2013 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”	95
4.1.3.	Norma PN-EN 14216:2005 „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim ciepłe hydratacji”	99
4.1.4.	Inne normy na cement	104
4.2.	Normy – kruszywa	105
4.2.1.	PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu	105
4.2.2.	Norma PN-EN 13055-1:2003 Kruszywa lekkie	131
4.2.3.	Wymagania dotyczące kruszyw stosowanych w obiektach inżynierii komunikacyjnej	136
4.3.	Norma betonowa PN-EN 206:2014 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”	137
4.3.1.	Klasy ekspozycji związane z oddziaływaniem środowiska ..	138
4.3.2.	Wymagania dotyczące składników betonu	143
4.3.3.	Mieszanka betonowa	152
4.3.4.	Wymagania dotyczące betonu stwardniałego	159
4.3.5.	Specyfikacja betonu	163
4.3.6.	Dostawa mieszanki betonowej	165
4.3.7.	Kontrola i kryteria zgodności betonu zgodnie z normą PN-EN 206:2014	168
4.3.8.	Dodatkowe wymagania przy specyfikacji betonów do specjalnych robót geotechnicznych	176
5.	Cement – właściwości i zastosowanie	181
5.1.	Podstawowe właściwości cementu	182
5.1.1.	Czas wiązania	182
5.1.2.	Ciepło hydratacji	183
5.1.3.	Wytrzymałość na ściskanie i szybkość jej narastania w czasie ..	187

5.1.4.	Wpływ temperatury na szybkość przyrostu wytrzymałości na ściskanie cementu	189
5.1.5.	Odporność na agresję chemiczną	193
5.1.6.	Barwa cementu	198
5.1.7.	Gęstość właściwa i ciężar nasypowy cementu	199
5.1.8.	Temperatura cementu	200
5.1.9.	Stałość objętości	201
5.1.10.	Skurcz	201
5.2.	Środki ostrożności przy pracy z cementem	203
5.3.	Cement w produkcji betonu towarowego.....	205
5.4.	Cement w produkcji prefabrykatów i galanterii betonowej.....	207
5.5.	Cement jako składnik betonów masywnych i hydrotechnicznych	215
5.6.	Cement w wykonawstwie posadzek betonowych	216
5.7.	Cement w budowie dróg i mostów	217
5.8.	Cement w produkcji suchych zapraw i tynków	223
5.9.	Wybrane zastosowania cementów Górażdże Cement S.A. w budownictwie	223
6.	Beton – rodzaje, właściwości i zastosowanie.....	227
6.1.	Beton i jego rodzaje	228
6.2.	Składniki betonu	229
6.2.1.	Cement	229
6.2.2.	Woda zarobowa	231
6.2.3.	Kruszywo	233
6.2.4.	Domieszki chemiczne	248
6.2.5.	Dodatki w składzie betonu	257
6.2.6.	Zbrojenie rozproszone – włókna	271
6.3.	Podstawowe wytyczne projektowania składu betonu....	273
6.3.1.	Wstępne założenia projektowe.....	273
6.3.2.	Metody projektowania składu betonów zwykłych	274
6.3.3.	Projektowanie składu betonów samozagęszczalnych SCC ..	281
6.3.4.	Współczynnik w/c a właściwości betonu.....	283
6.4.	Właściwości mieszanki betonowej.....	285
6.4.1.	Konsystencja mieszanki betonowej.....	285
6.4.2.	Właściwości dodatkowe dla mieszanek betonów SCC.....	289
6.4.3.	Urabialność mieszanki betonowej.....	292
6.4.4.	Zawartość powietrza w mieszance betonowej.....	293

6.5.	Właściwości stwardniałego betonu.....	296
6.5.1.	Wytrzymałość na ściskanie.....	296
6.5.2.	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu.....	299
6.5.3.	Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.....	299
6.5.4.	Wodoszczelność betonu.....	302
6.5.5.	Mrozoodporność.....	303
6.5.6.	Skurcz.....	308
6.5.7.	Odporność betonu na korozję chemiczną.....	310
6.6.	Właściwości betonów specjalnych.....	321
6.6.1.	Technologia betonów samozagęszczalnych (SCC).....	321
6.6.2.	Technologia betonów wysokowartościowych (BWW).....	326
6.6.3.	Beton architektoniczny.....	330
6.6.4.	Beton ciężki.....	335
6.6.5.	Beton lekki.....	336
6.6.6.	Beton komórkowy.....	338
6.6.7.	Betony masywne.....	341
6.6.8.	Fibrobetony (betony ze zbrojeniem rozproszonym).....	345
6.6.9.	Betony o właściwościach fotokatalitycznych – zastosowanie cementu TioCem® i technologii Tx Active®.....	347
6.6.10.	Betony z użyciem kruszyw z recyklingu.....	351
6.7.	Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego.....	356
6.7.1.	Deskowania i środki antyadhezyjne.....	356
6.7.2.	Transport i układanie mieszanki betonowej.....	358
6.7.3.	Zagęszczanie mieszanki betonowej.....	361
6.7.4.	Betonowanie w warunkach obniżonych temperatur.....	365
6.7.5.	Pielęgnacja betonu.....	368
6.7.6.	Wykwity węglanowe.....	384
7.	Grupa Górażdże – kontakty.....	389
7.1.	Internet.....	390
7.2.	Adresy i telefony.....	390
8.	Literatura.....	393

1

**Prezentacja
Grupy Góraźdze**

1.1. Prezentacja koncernu HeidelbergCement



HeidelbergCement jest jednym z największych na świecie producentów materiałów budowlanych. Główna działalność HeidelbergCement obejmuje: produkcję i dystrybucję cementu i kruszyw, jak również przetwarzanie tych materiałów w celu otrzymania betonu towarowego. Koncern jest obecnie liderem na światowym rynku kruszyw i jednym z największych na świecie producentów cementu i betonu towarowego. HeidelbergCement prowadzi działalność w ponad 40 krajach na pięciu kontynentach.

W Polsce koncern rozpoczął swoją działalność w 1993 roku. Aktywność HeidelbergCement obejmuje trzy linie biznesowe działające w ramach Grupy Górażdże: Górażdże Cement, Górażdże Beton i Górażdże Kruszywa.

HeidelbergCement w liczbach (stan na rok 2014):

- 52 560 pracowników
- 2 500 zakładów w ponad 40 krajach
 - 538 kopalni piasku, żwiru i kruszyw łamanych
 - 102 cementowni i przemiałowni
 - 1307 wytwórni betonu towarowego
 - 101 zakładów produkujących asfalt
- Zdolności produkcyjne cementu – 128 milionów ton
- Złóża kruszyw – 19 miliardów ton

1.2. Górażdże Cement S.A.

Górażdże Cement S.A. to jeden z największych producentów cementu w kraju. Oferuje na rynku cementy portlandzkie CEM I, cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II, cementy hutnicze CEM III i cementy wieloskładnikowe CEM V.

Górażdże Cement S.A. oferuje cementy produkowane przez dwa zakłady:

- **Cementownię Górażdże w Choruli,**
- **Przemiałownię Ekocem w Dąbrowie Górniczej.**

Zakres działalności Górażdże Cement S.A. obejmuje kompleksową obsługę Klientów w zakresie:

- organizacji sprzedaży cementu,
- organizacji transportu do Klienta,
- doradztwa technologicznego,
- promocji i reklamy.

W produkcji klinkieru i cementu Górażdże Cement S.A. stosuje system zarządzania jakością zgodny z normą ISO 9001:2008. System pozwala na stałą kontrolę procesu produkcyjnego, usuwanie wszelkich uchybień i przyczyn ich powstania oraz sprawną i kompetentną obsługę Klienta. Górażdże Cement S.A. posiada również certyfikat systemu zarządzania środowiskiem zgodny z normą ISO 14001:2004 oraz system zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy spełniające polską normę PN-B-18001:2004 i standardy międzynarodowe OHSAS 18001:2007.

Dystrybucja cementu jest prowadzona w zakładach produkcyjnych oraz poprzez sieć stacji przesypowych zlokalizowanych w Szczecinie, Jastrowiu, Poznaniu, Międzyrzeczu, Nowogrodzie Bobrzańskim i Legionowie.

Obsługa rynku jest zorganizowana w oparciu o regionalnych koordynatorów sprzedaży, konsultantów oraz przedstawicieli terenowych. Wspomaganie służb handlowych w zakresie doradztwa technologicznego i informacji technicznej o produktach realizowane jest przez Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju Produktów Grupy Górażdże.



1.2.1. Cementownia Górażdże

Cementownia Górażdże położona jest w miejscowości Chorula, 20 km od Opola w kierunku Krapkowic. Cementownia została wybudowana według projektu duńskiej firmy F.L. Smidth i została oddana do eksploatacji w roku 1977.

Cementownia posiada dwie linie technologiczne składające się z młynów surowca, dwóch pieców obrotowych do wypału klinkieru portlandzkiego oraz czterech młynów cementu. W Cementowni Górażdże klinkier portlandzki produkowany jest metodą suchą, gwarantującą oszczędność energii cieplnej i elektrycznej.

Produkcja cementu odbywa się poprzez wspólny przemiał klinkieru i regulatora czasu wiązania (siarczanu wapnia), oraz w zależności od rodzaju cementu, dodatków mineralnych: granulowanego żużla wielkopieczowego (S), popiołu lotnego krzemionkowego (V) i kamienia wapiennego (LL). Dostawy cementu są realizowane transportem kolejowym i samochodowym, luzem lub w workach na paletach foliowanych. Schemat produkcji cementu w Cementowni Górażdże pokazano na rys. 1.1.

Cementy produkowane przez Cementownię Górażdże spełniają wymagania zawarte w normach: PN-EN 197-1:2012 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”, PN-B-19707:2013 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności” i PN-EN 14216:2005 „Cement – Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”. Posiadają również Rekomendacje Techniczne wydane przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie.

Jakość cementów produkowanych w Cementowni Górażdże jest pod stałą kontrolą jakościową Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.

Aktualnie zdolności produkcyjne Cementowni Górażdże wynoszą ok. 3,5 mln ton klinkieru i ok. 4,5 mln. ton cementu rocznie.

1.2.2. Przemiałownia Ekocem

Przemiałownia cementu Ekocem to zakład o rocznych zdolnościach produkcyjnych wynoszących 1,3 mln ton cementu. Przemiałownia jest wyposażona w nowoczesne urządzenia, głównie do produkcji cementów z wysoką zawartością dodatków mineralnych, głównie granulowanego żużla wielkopiecowego. Przemiał żużla wielkopiecowego oraz klinkieru z regulatorem czasu wiązania odbywa się w odrębnych układach susząco-mielących (rys. 1.2).

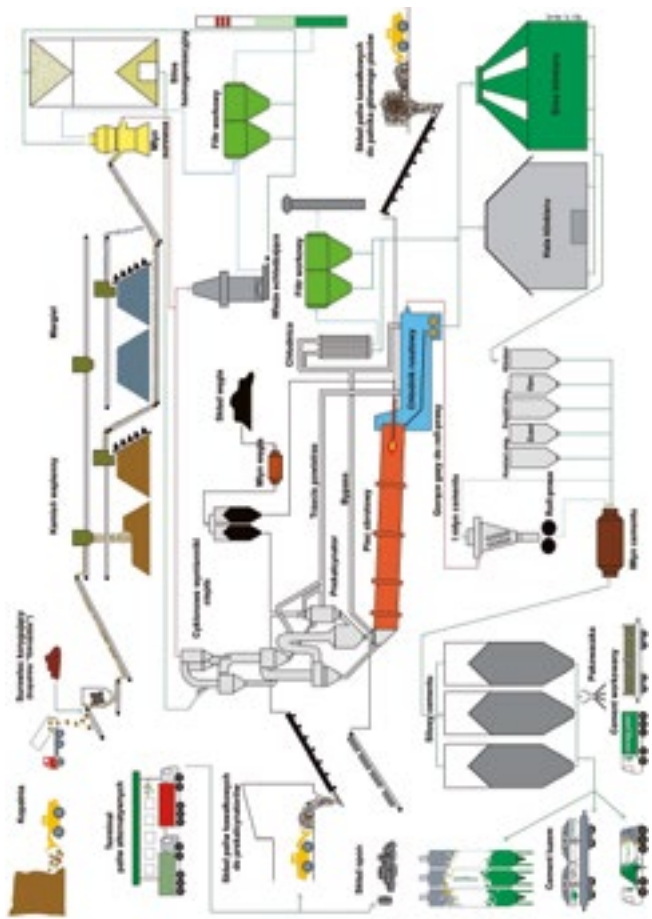
W efekcie tak prowadzonego procesu produkcyjnego otrzymywane są dwa półprodukty:

- wysuszony i zmielony do odpowiedniej powierzchni właściwej żużel wielkopiecowy,
- cement portlandzki (wspólnie zmielony klinkier z regulatorem czasu wiązania).

Końcowa faza produkcji jest przeprowadzana w mieszalniku, do którego w ustalonych proporcjach wprowadza się oba półprodukty. Głównymi zaletami takiej technologii, są dokładność zmielenia żużla oraz łatwość dozowania zmielonych półproduktów i tym samym możliwość produkcji cementów o określonej zawartości żużla. Do mieszalnika można wprowadzać również inne składniki cementu np. popiół lotny, kamień wapienny, co umożliwia produkcję szerokiego asortymentu cementów powszechnego użytku.

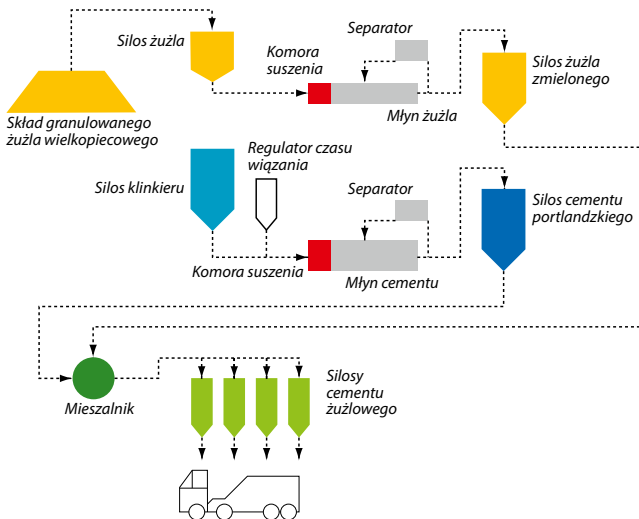
Cementy produkowane w przemiałowni EKOCEM spełniają wymagania norm: PN-EN 197-1:2012 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”, PN-B-19707:2013 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności” i PN-EN 14216:2005 „Cement – Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”. Posiadają również Rekomendacje Techniczne Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie.

Nadzór zewnętrzny nad jakością produkowanych cementów jest prowadzony przez Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie.



Rys. 1.1. Schemat produkcji klinkieru i cementu w Cementowni Górażdże





Rys. 1.2. Schemat produkcji cementu żuźlowego z użyciem dwóch odrębnych układów mieląco-suszących

1.3. Góraźdze Beton Sp. z o.o.

Spółka Góraźdze Beton Sp. z o.o. to jeden z największych producentów betonu towarowego w Polsce. Wytwórnice zlokalizowane są na obszarach o dużej dynamice i wysokim potencjale rozwoju ekonomicznego, m.in. w Warszawie, Poznaniu, Wrocławiu, na Dolnym i Górnym Śląsku. Węzły betoniarskie wyposażone są w komputerowe systemy sterowania procesem produkcji i inne nowoczesne rozwiązania technologiczne zapewniające produkcję wysokiej jakości betonów, w tym betonów nowej generacji.

Nadzór technologiczny nad jakością produkcji prowadzony jest przez Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o. o. w Dąbrowie Górniczej i jego placówki terenowe. Centrum posiada wykwalifikowany personel i odp-



GORAŽDŽE BETON

wiednie wyposażenie laboratoryjne do wykonywania badań składników betonu (cement, kruszywa, dodatki, domieszki chemiczne), mieszanek betonowych i stwardniałego betonu.

Uzupełnienie podstawowej działalności Górażdże Beton stanowią usługi w zakresie transportu i pompowania mieszanki betonowej oraz szeroko rozumiane doradztwo technologiczne w zakresie zastosowania produktów betonowych w budownictwie.

Górażdże Beton na bieżąco monitoruje poziom hałasu, zapylenia oraz jakości wód, ograniczając niekorzystny wpływ procesu produkcyjnego na środowisko. Wyniki badań potwierdziły wysoki poziom sprawności urządzeń produkcyjnych i zostały zaakceptowane przez kompetentnych rzeczoznawców oraz służby ochrony środowiska. Wytwórnie posiadają operaty ochrony środowiska – dokumenty będące świadectwem ciągłej, proekologicznej polityki.

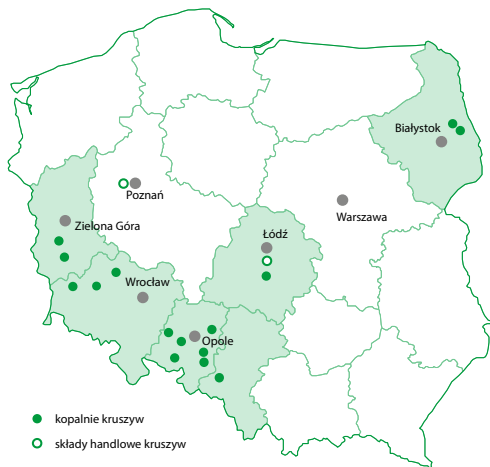
Lokalizacja wytwórni Górażdże Beton Sp. z o.o. dostępna jest na stronie internetowej www.gorazdzebeton.pl.

1.4. Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.

Grupa Górażdże Kruszywa Sp. z o.o. jest jednym z największych w kraju producentów kruszyw naturalnych. Spółka powstała z połączenia trzech przedsiębiorstw: Opolskich Kopalni Surowców Mineralnych Sp. z o.o. (OKSM), Zielonogórskich Kopalni Surowców Mineralnych SA (ZKSM) i Białostockich Kopalni Surowców Mineralnych Sp. z o.o. (BKSM).

Spółka eksploatuje surowce w 14 kopalniach odkrywkowych na terenach południowo-zachodniej i północno-wschodniej Polski (rys. 1.3) i może dostarczać na rynek około 6,5 miliona ton naturalnych kruszyw rocznie. Kruszywa te znajdują zastosowanie przy produkcji betonów zwykłych i specjalnych, prefabrykatów betonowych, elementów betonowych drobnowymiarowych i galanterii betonowej oraz suchych zapraw i tynków.





Rys. 1.3. Lokalizacja kopalni kruszyw i składów handlowych należących do Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.

Produkowane w kopalniach odkrywkowych kruszywa charakteryzują się wysoką jakością dzięki zastosowaniu najnowszych technologii wydobycia, przerobu i uszlachetniania surowca. Kruszywa są pozbawione zanieczyszczeń obcych i organicznych. Charakteryzują się również wysokimi parametrami wytrzymałościowymi, wysoką mrozoodpornością oraz niską nasiąkliwością.

W celu zapewnienia wymaganych właściwości produktów, spółka prowadzi badania jakości we własnym zakresie (Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.), jak również zleca ich wykonanie wyspecjalizowanym jednostkom zewnętrznym. Wszystkie produkty są znakowane znakiem **CE**, a ocena stałości właściwości użytkowych jest wykonywana w systemie **2+**. Spółka oferuje również usługi logistyczne oraz doradztwo technologiczne.

Szczegółowe informacje dostępne są na stronie internetowej www.gorazdzekruszywa.pl.

1.5. Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.

Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o. spełnia w strukturach Grupy Górażdże trzy zasadnicze funkcje:

- laboratorium zakładowego, prowadzącego bieżącą kontrolę jakości produkcji Górażdże Beton i Górażdże Kruszywa oraz nadzór systemów Zakładowej Kontroli Produkcji,
- jednostki badawczo-rozwojowej, w ramach której, prowadzone są prace nad nowymi produktami i technologiami dla wszystkich linii biznesowych Grupy Górażdże,
- centrum usług profesjonalnego doradztwa technologicznego i szkoleń.

Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o. posiada cztery regionalne laboratoria oraz akredytowane Laboratorium Materiałów Budowlanych zlokalizowane w Strzelcach Opolskich (rys. 1.4), gdzie prowadzone są prace badawczo-naukowe, badawczo-rozwojowe i badania specjalistyczne dla klientów Grupy Górażdże.





Rys. 1.4. Laboratoria Centrum Technologicznego Betotech Sp. z o.o.

Prace badawczo-rozwojowe prowadzone przez Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o. zmierzają do poszerzenia oferty handlowej w zakresie produktów Grupy Góraźdże oraz przekazanie partnerom rynkowym niezbędnej wiedzy dotyczącej właściwego zastosowania produktów w budownictwie. W ramach prowadzonych działań rozwijana jest także współpraca z Heidelberg Technology Center, wyższymi uczelniami technicznymi i instytutami naukowo-badawczymi.

Szczegółowe informacje dotyczące Centrum Technologicznego Betotech Sp. z o.o. dostępne są na stronie internetowej www.betotech.pl.

2

**Oferta handlowa
Grupy Góraźdze**

2.1. Oferta handlowa Górażdże Cement S.A.

Oferta handlowa Górażdże Cement S.A. obejmuje następujące rodzaje cementu:

- **cement portlandzki CEM I**
 - cement portlandzki CEM I 42,5R
 - cement portlandzki CEM I 52,5R
 - cement portlandzki biały CEM I 52,5R (inne klasy wytrzymałościowe na indywidualne zamówienie)
- **cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II**
 - cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 32,5R
 - cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 42,5N
 - cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S 52,5N
 - cement portlandzki wapienny biały CEM II/A-LL 42,5N
- **cement hutniczy CEM III**
 - cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA
 - cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA
 - cement hutniczy CEM III/A 52,5N-NA
- **cement wieloskładnikowy CEM V**
 - cement wieloskładnikowy CEM V/A(S-V) 32,5R-LH/HSR/NA
 - cement specjalny wieloskładnikowy o bardzo niskim cieple hydratacji VLH V/B (S-V) 22,5
- **cement zawierający nanometryczny TiO_2 (TioCem®)**

Oferowane cementy charakteryzują się właściwościami specjalnymi zgodnymi z wymaganiami norm: PN-EN 197-1:2012 (LH, SR), PN-B-19707:2013 (NA/HSR) i PN-EN 14216:2005 (VLH), są to:

- **cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA**
 - cement o niskim cieple hydratacji, odporny na siarczany, niskoalkaliczny,
- **cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA**
 - cement o niskim cieple hydratacji, odporny na siarczany, niskoalkaliczny,
- **cement hutniczy CEM III/A 52,5N-NA**
 - cement niskoalkaliczny,
- **cement wieloskładnikowy CEM V/A(S-V) 32,5R-LH/HSR/NA**
 - cement o niskim cieple hydratacji, odporny na siarczany, niskoalkaliczny,

- **cement specjalny wieloskładnikowy o bardzo niskim cieple hydratacji VLH V/B (S-V) 22,5.**

Cementy oferowane przez Górażdże Cement S.A. posiadają Rekomendacje Techniczne wydane przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie oraz spełniają wymagania Ogólnych Specyfikacji Technicznych wydanych przez GDDKiA (www.gddkia.pl) do stosowania w inżynierii komunikacyjnej:

- **cement portlandzki CEM I 42,5R** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2010-02-0060 „Cement portlandzki CEM I 42,5R”
- **cement portlandzki CEM I 52,5R** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2009-03-0028 „Cement portlandzki CEM I 52,5R”
- **cement portlandzki żuźłowy CEM II/B-S 32,5R** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2009-03-0032 „Cement portlandzki żuźłowy CEM II/B-S 32,5R i CEM II/B-S 42,5N”
- **cement portlandzki żuźłowy CEM II/B-S 42,5N** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2009-03-0032 „Cement portlandzki żuźłowy CEM II/B-S 32,5R i CEM II/B-S 42,5N”
- **cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2009-03-0031 „Cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA i CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA”
- **cement hutniczy i CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2009-03-0031 „Cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH-HSR/NA i CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA”
- **cement wieloskładnikowy CEM V/A(S-V) 32,5R-LH/HSR/NA** – Rekomendacja Techniczna IBDiM Nr RT/2011-02-0088/1 „Cement wieloskładnikowy CEM V/A(S-V) 32,5R-LH/HSR/NA”

Asortyment cementów workowanych oferowanych przez Górażdże Cement S.A. obejmuje 5 produktów, cement: Premium 42,5R, Master 42,5N, Multi 32,5, Eko+ 32,5 oraz Eko 22,5. Wzory graficzne worków przedstawiono na rys. 2.1.



Cement PREMIUM 42,5R
Cement portlandzki CEM I 42,5R



Cement MASTER 42,5N
Cement hutniczy
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA



Cement MULTI 32,5
Cement portlandzki żuźlowy
CEM II/B-S 32,5R



Cement EKO+ 32,5
Cement wieloskładnikowy
CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA



Cement EKO 22,5
Cement specjalny wieloskładnikowy
o bardzo niskim cieple hydratacji
VLH V/B (S-V) 22,5

*Normy europejskie
PN-EN 197-1:2012
i PN-EN 14216:2005
nie definiują kolorów
rozpoznawczych worków
w zależności od klasy
wytrzymałościowej
cementu.*

Rys. 2.1. Cementy workowane produkowane przez Górażdże Cement S.A.

W tab. 2.1 przedstawiono podstawowe właściwości cementów oferowanych przez Górażdże Cement S.A.

Tab. 2.1. Właściwości cementów

Rodzaj cementu	Stalność objętości, Le Chatelier	Początek wiązania	Wytrzymałość na ściskanie			Ciepło hydratacji po 41 godzinach
			po 2 dniach	po 7 dniach	po 28 dniach	
			MPa			
Cement portlandzki CEM I 42,5R	0,4	182	28,7	43,4	58,8	334
Cement portlandzki CEM I 52,5R	0,5	156	33,8	44,8	63,1	386
Cement portlandzki wapienny biały CEM II/A-LL 42,5N	0,2	195	28,3	39,7	58,4	345
Cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 32,5R	0,5	234	17,3	32,3	47,3	315
Cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S 42,5N	0,4	227	21,8	37,9	59,2	322
Cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S 52,5N	0,4	125	28,0	46,0	64,2	360
Cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	0,6	297	9,8	22,7	46,5	216
Cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA	0,4	245	14,6	30,4	57,2	291
Cement hutniczy CEM III/A 52,5N-NA	0,0	250	23,4	38,9	63,5	319
Cement wieloskładnikowy CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA	0,6	289	15,2	29,7	45,3	234
Cement specjalny wieloskładnikowy o bardzo niskim ciepłe hydratacji VLH V/B (S-V) 22,5	1,0	300	6,4	14,2	31,0	118

Górażdże Cement S.A. posiada również w swojej ofercie zaprawy budowlane, w skład której wchodzi następujące produkty: „Zaprawa Tynkarska”, „Zaprawa murarska” i „Wylewka betonowa” (rys. 2.2).



Rys. 2.2. Zaprawy budowlane oferowane przez Górażdże Cement S.A.

Dokumentacja i oznakowanie towarzyszące produktom Górażdże Cement S.A.

Szczegółowe informacje dotyczące właściwości i kierunków zastosowań oraz dokumentacja dotycząca cementów i zapraw oferowanych przez Górażdże Cement S.A. dostępne są na stronie internetowej: www.gorazdze.pl.

Górażdże Cement S.A. udostępnia swoim Klientom następujące dokumenty dotyczące:

a) cementów

- certyfikat stałości właściwości użytkowych (rys. 2.3),
- deklarację właściwości użytkowych,
- krajowy certyfikat zgodności,
- krajową deklarację zgodności,
- kartę charakterystyki,
- rekomendacje techniczne Instytutu Badawczego Dróg i Mostów,
- aktualne informacje techniczne dotyczące właściwości cementów,
- informację dotyczącą REACH,

b) zapraw:

- deklarację właściwości użytkowych,
- kartę charakterystyki,
- kartę techniczną.

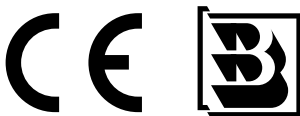


2

Rys. 2.3. Przykładowe dokumenty towarzyszące cementowi hutniczemu CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA

Wszystkie oferowane przez Górażdże Cement S.A. cementy spełniają wymagania norm PN-EN 197-1:2012 lub PN-EN 14216:2005 i są znakowane znakiem **CE**. Cementy spełniające wymagania normy krajowej PN-B-19707:2013 (cementy HSR i NA) są dodatkowo znakowane znakiem budowlanym **B**. Oznakowanie **CE** oraz znak budowlany wraz z wymaganymi informacjami są umieszczane na workach oraz dokumentach dostawy WZ (rys. 2.4).

Zaprawy budowlane z oferty Górażdże Cement S.A. spełniają wymagania norm: PN-EN 998-1:2012 (zaprawa tynkarska), PN-EN 998-2:2012 (zaprawa murarska) i PN-EN 13813:2003 (wylewka betonowa) i są oznakowane znakiem **CE**.



Rys. 2.4. Wzór oznakowania wyrobów budowlanych

Cementy workowane oferowane przez Górażdże Cement S.A. są dodatkowo oznakowane znakiem jakości **Pewny Cement** (rys. 2.5) – oznacza to najwyższej jakości cement, który spełnia najostrejsze wymagania i podlega drobiazgowej procedurze kontroli na każdym etapie produkcji i dystrybucji.



Rys. 2.5. Znak „Pewny Cement”

2.2. Oferta handlowa Górażdże Beton Sp. z o.o.

beton  **zaprawy** 
towarowy

Oferta handlowa Górażdże Beton obejmuje:

betony zwykle towarowe,

- betony ciężkie,
- betony wysokowartościowe (BWW),
- betony podwodne,
- betony lekkie,
- betony na stabilizację i podbudowy,
- jastrychy,
- betony do produkcji prefabrykatów drobno- i wielkowymiarowych,
- zaprawy murarskie klasy M5, M10 i M15.
- oraz specjalne produkty betonowe:
 - **ECocreTE**®
 - **EASyBET**®
 - samozagęszczalny,
 - kolorowy/architektoniczny;
 - **INFRABET**®
 - drogowy,
 - mostowy;
 - **ANHYMENT**® – płynny jastrych produkowany na bazie gipsu lub anhydrytu
 - **PORIMENT**®M – pianobeton
 - **PORIMENT**®P – pianobeton z granulatem styropianowym

Uzupełnienie podstawowej działalności Górażdże Beton stanowią usługi w zakresie transportu i pompowania mieszanki betonowej.

2.2.1. Produkty specjalne w ofercie Górażdże Beton Sp. z o.o.



2.2.1.1. EASYBET® architektoniczny i kolorowy

- samozagęszczalny
- architektoniczny
- kolorowy

EASYBET® architektoniczny i kolorowy

Współczesna inżynieria materiałowa otwiera nowe możliwości wykorzystania właściwości betonu jako materiału konstrukcyjnego oraz kształtowania z niego formy budowli. Pod nazwą beton architektoniczny (fasadowy, elewacyjny) rozumie się powierzchnie betonowe o zdefiniowanych wymaganiach pod względem wyglądu. Beton taki gwarantuje dotrzymanie parametrów trwałości i wytrzymałości przy równoczesnym uzyskaniu estetycznych powierzchni, niewymagających pokrycia warstwą tynku lub inną powłoką wykończeniową. Aby osiągnąć ten cel, należy zapewnić szczególną staranność produkcji i wbudowywania betonu.

Rodzaje betonu architektonicznego zależne są od zastosowania technik uzyskania faktury jego powierzchni:

- pozostawienie betonu w naturalnej formie,
- mechaniczne fakturowanie,
- chemiczne opóźnianie wiązania powierzchni,
- kombinacja w/w metod.

Beton architektoniczny ze względu na swoje walory estetyczne może być oferowany także jako beton kolorowy, barwiony w masie. Takim rozwiązaniem jest system trwałego barwienia betonu EASYBET® Kolorowy, pozwalający na znajdowanie nowych środków wyrazu w architekturze, a także zmieniający sposób podejścia do projektowania poprzez wykorzystanie barwy betonu bez nakładania powłok.

EASYBET® Kolorowy to znacznie więcej niż beton z dodatkiem pigmentu. Przykładem jest beton architektoniczny wraz z całą procedurą postępowania, zaczynając od projektowania betonu a kończąc na prawidłowym zabudowaniu mieszanki betonowej i pielęgnacji.

Zalety systemu betonów barwionych EASYBET® Kolorowy

- redukcja kosztów z tytułu braku konieczności malowania konstrukcji betonowej,
- stałość koloru w trakcie eksploatacji (nawet przy wystąpieniu odprysków betonu),
- skrócenie czasu realizacji konstrukcji,
- brak problemów wynikających z pylenia pigmentów proszkowych,
- duża stabilność i brak sedymentacji pigmentów,
- stabilność w barwieniu kolejnych dostaw mieszanki betonowej,
- łatwość podczas czyszczenia sprzętu i urządzeń przed rozpoczęciem innej produkcji,
- brak konieczności instalowania dodatkowych urządzeń dozujących,
- możliwość dozowania domieszki barwiącej bezpośrednio do betonowozu.

Główne obszary zastosowania EASYBET® Kolorowy oraz EASYBET® Architektoniczny

System betonów architektonicznych oraz barwionych zapewnia szeroką paletę barw, co pozwala na spełnienie oczekiwań zarówno inwestorów, jak i projektantów we wszystkich możliwych zastosowaniach w budownictwie.

System betonów EASYBET® może być wykorzystywany do produkcji i wykonywania m.in.:

- elementów konstrukcji wylewanych „na mokro” z betonu towarowego,
- elementów prefabrykowanych wykonywanych w różnych technologiach (także betony samozagęszczalne, betony o wysokiej wytrzymałości),
- posadzek betonowych,
- betonowych elementów drobnowymiarowych,
- elementów „małej architektury”.

Zasady postępowania z betonami kolorowymi są takie same jak dla betonów architektonicznych, szczególną uwagę należy zwrócić na ochronę młodego betonu. Pielęgnacja betonu, jako czynnik decydujący o wyglądzie powierzchni betonu, powinna być szczegółowo opisana w dokumentacji technicznej i procedurach wykonawczych.



Rys. 2.6. Przykład zastosowania betonu barwionego (Centrum Jana Pawła II w Krakowie)



Rys. 2.7. Przykładowe realizacje EASYBET Samozałączalny

EASYBET® Samozagęszczalny

Betony EASYBET® Samozagęszczalne stosowane są tam, gdzie zagęszczenie tradycyjne, ze względu dużą ilość i gęsto rozłożone zbrojenie, nie jest możliwe.

Beton EASYBET® Samozagęszczalny może być stosowany:

- w elementach wielkogabarytowych – utrudnione lub niemożliwe wibrowanie,
- do prefabrykacji – eliminacja wibrowania,
- jako beton stropowy lub posadzkowy – posiada prawie samopoziomujące właściwości,
- jako beton architektoniczny – przyjmowanie kształtu lub faktury deskowania,
- w produkcji sprężonych zbiorników na ciecz, w budownictwie tunelowym (jako beton wysokowartościowy),

Zalety:

- możliwość dokładnego odwzorowania powierzchni form, bez raków i pęcherzy,
- możliwość betonowania bardzo skomplikowanych kształtów,
- lepsza przyczepność do zbrojenia w porównaniu do betonów tradycyjnych,
- możliwość pompowania betonu „od dołu” konstrukcji,
- eliminacja hałasu związana z brakiem wibracji elementu,
- ograniczenie pracochłonności.

Przykładem zastosowań EASYBET Samozagęszczalny są:

- kładki dla pieszych w Wieliczce,
- Centrum Jana Pawła II w Krakowie,
- tunel Hulanka w Bielsku Białej.

2.2.1.2. INFRABET®



INFRABET® mostowy

Beton tego rodzaju stosowany jest w konstrukcjach mostowych, gdzie istotna jest trwałość w cyklu życia: odporność na działanie mrozu, odporność na agresję chemiczną, itp.

Cechy charakterystyczne:

- odporność na działanie mrozu w obecności środków odladzających,
- stopień wodoszczelności min. W8 wg PN-B-06250,
- nasiąkliwość wagowa maksymalnie 4% wg PN-B-06250,
- zastosowanie odpowiednich kruszyw łamanych,
- współczynnik w/c poniżej 0,50,
- stosowane cementy CEM I oraz CEM II/A-S, CEM II/B-S, CEM III/A,
- stopień konsystencji S2 / S3 dla betonów zwykłych oraz SF1 / SF2 dla betonów samozagęszczalnych (SCC),
- wysoka odporność na ścieranie,
- klasy wytrzymałości na ściskanie od C25/30,
- pozostałe właściwości ustala się przyjmując specyfikę robót, czas transportu, sposobu zabudowy mieszanki betonowej.

Przykładowe realizacje z betonu mostowego:

- Autostrada A1 odcinek Sońnica – Piekary
- Autostrada A4 odcinek Wieliczka – Szarów
- Droga Ekspresowa S1 Bielsko – Cieszyn (rys. 2.8)
- Węzeł komunikacyjny „Murckowska” w Katowicach
- Tunel „Hulanka” w Bielsku – Białej
- Most „Millenium” we Wrocławiu



Rys. 2.8. Budowa drogi ekspresowej S1 Bielsko-Biała – Cieszyn

INFRABET® drogowy

Wszystkie drogi projektowane są na określony czas użytkowania. Przeważnie okres ten wynosi 20 lat dla nawierzchni bitumicznych, a 30 lat dla nawierzchni betonowych. Jednak w praktyce okres użytkowania dróg asfaltowych, bez remontów, nie przekracza 10 lat, a nawierzchnia betonowa z powodzeniem może być eksploatowana 50 lat i dłużej.

Uzyskanie wysokiej jakości nawierzchni betonowej (nawierzchni drogowych, lotniskowych, przemysłowych) wymaga odpowiedniego zaprojektowania i wykonania mieszanki betonowej, a co za tym idzie doboru odpowiedniej jakości składników. Podczas układania nawierzchni oraz po jej ułożeniu beton wymaga starannej pielęgnacji i konserwacji.

Cechy charakterystyczne:

- beton spełniający wymagania dla klasy ekspozycji XF4,
- beton odporny na ścieranie w klasie ekspozycji XM,
- minimalna klasa wytrzymałości betonu C 30/37,
- maksymalny współczynnik wodno-cementowy $w/c = 0,45$,
- kruszywo zgodne z wymaganiami normy PN-EN 12620+A1:2010 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/odmrażanie,
- minimalna zawartość powietrza 4% (beton mrozoodporny),
- stopień wodoszczelności min. W8,
- stopień mrozoodporności min. F150.

Zalety:

- duża zdolność do przenoszenia obciążeń (nawet obciążeń punktowych),
- brak zjawiska koleinowania,
- dobra nośność,
- wysoka odporność na odkształcenia termiczne,
- jasny kolor (poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego, redukcja kosztów oświetlenia),
- bezpieczeństwo wynikające z dużej przyczepności i szorstkości nawierzchni,
- niskie koszty konserwacji i utrzymania.

Obiekty referencyjne

- Droga lokalna Ujazd – Zimna Wódka (rys. 2.9)
- Autostrada A4 – odcinek Zgorzelec – Krzyżowa
- Autostrada A2 – odcinek Nowy Tomysł – Świecko



Rys. 2.9. Układanie mieszanki betonowej na drodze lokalnej Ujazd–Zimna Wódka

Anhyment jest płynnym materiałem produkowanym na bazie gipsu budowlanego lub anhydrytu, piasku, wody oraz dodatków mineralnych i domieszek chemicznych. Właściwości Anhymentu pokazano w tab. 2.2.

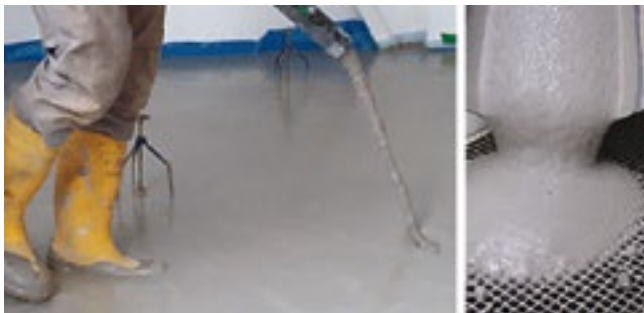
Tab. 2.2. Właściwości fizyczno-mechaniczne Anhymentu

Klasa wytrzymałości na ściskanie	wg EN 13813:2002; C20, C30
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	Powyżej 4 MPa
Możliwość chodzenia po nawierzchni	po ok. 24 godzinach
Możliwość obciążania nawierzchni	po ok. 4–5 dniach
Możliwość układania paroszczelnych wykładzin (płytki, PVC)	po ok. 4 tygodniach; wilgotność końcowa 0,5%
Możliwość układania wykładzin paroprzepuszczalnych	wilgotność końcowa 1,0%
Wartość obliczeniowa przewodności cieplnej λ_R	ok. 1,2 W/(m ² K)
Palność	materiał niepalny
Wartość pH w stanie suchym	7
Gęstość	2,0–2,2 kg/dm ³ w stanie suchym
Rozpoczęcie ogrzewania przy ogrzewaniu podłogowym	po 7 dniach
Współczynnik rozszerzalności cieplnej	0,012 mm/(m·K)
Uwaga: wartości są zależne od warunków atmosferycznych i na budowie oraz od użytych materiałów wiążących i dotyczą warstwy o grubości 4 cm	

Zastosowanie

Jastrychy anhydrytowe znajdują zastosowanie przy budowie nowych obiektów budowlanych, przy modernizacji starych obiektów, w obiektach przemysłowych, biurowych i mieszkalnych. Posadzki z płynnego jastrychu „Anhyment” mogą być stosowane bez ograniczeń do każdego typu pomieszczeń, także pomieszczeń wilgotnych (pralnie, kuchnie, łazienki).

Do wylewania płynnego jastrychu stosuje się pompy o niewielkich rozmiarach, a technologia pompowania i podawania jastrychu powoduje, że znajduje on zastosowanie w miejscach, gdzie nie można stosować ciężkiego sprzętu budowlanego. Wylewanie jastrychu nie powoduje zanieczyszczeń pomieszczeń i placu budowy (rys. 2.10).



Rys. 2.10. Wylewanie płynnego jastrychu

Zalety:

- wysoka wydajność pracy,
- wysokie właściwości wytrzymałościowe,
- jednorodna i szczelna struktura bez pustek powietrznych,
- nie wymaga zbrojenia,
- możliwość uzyskania dużych powierzchni bez dylatacji przeciwskurczowych,
- możliwość chodzenia po jastrychu już po 24 godzinach od wylania,
- możliwość stosowania dowolnej wykładziny podłogowej,
- idealny przy ogrzewaniu podłogowym,
- możliwość uzyskania równych powierzchni dzięki płynnej konsystencji i samopoziomowaniu się,
- znaczne skrócenie czasu wykonania posadzki (wydajność ok. 100 m²/h),
- materiał bezpieczny dla zdrowia.

porimentM[≅] porimentP[≅]

Lekkie masy wyrównawczo-termoizolacyjne PORIMENT®M i PORIMENT®P

PORIMENT®M jest płynnym, lekkim materiałem wyrównawczo-termoizolacyjnym produkowanym z zaczynu cementowego oraz środka pianotwórczego, natomiast **PORIMENT®P** dodatkowo zawiera w swoim składzie granulát styropianowy. PORIMENT®M oraz PORIMENT®P wprowadzono do obrotu na podstawie Aprobaty Technicznej ITB AT-15-7832/2013 wydanej przez Instytut Techniki Budowlanej w Warszawie.

2

Warunki stosowania

Lekkie masy wyrównawczo-termoizolacyjne PORIMENT®M i PORIMENT®P produkowane są w specjalistycznym agregacie mieszającym AERONICER II na miejscu budowy oraz pompowane bezpośrednio do miejsca zabudowy. Uzyskane w ten sposób masy charakteryzują się jednorodnością i brakiem segregacji. W czasie wykonywania prac temperatura otoczenia i podłoża nie powinna być niższa niż +5°C ani wyższa niż 25°C. Minimalna grubość kładzonej warstwy PORIMENTU to 5 cm, która powinna być pokryta warstwą dociskową z jastrychu cementowego bądź anhydrytowego o grubości minimum 4 cm. Właściwości PORIMENT®M i PORIMENT®P pokazano w tab. 2.3.

Zastosowanie mas wyrównawczo-termoizolacyjnych (rys. 2.11):

- izolacja termiczna oraz akustyczna budynków,
- podbudowa podłóg pływających,
- warstwa wyrównawcza przestrzeni belkowych w stropach drewnianych oraz stropach gęstożebrowych,
- warstwa wyrównawcza w systemach ogrzewania podłogowego,
- wypełnienie przestrzeni międzyrurowych,
- wypełnienie nisz w gruntach i elementach budowlanych.

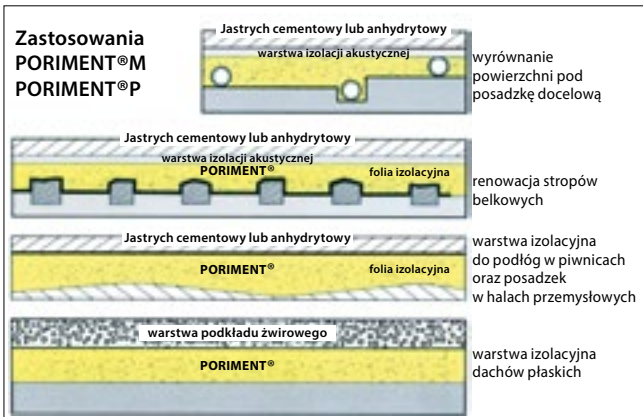
Zalety:

- niski ciężar właściwy (tab. 2.3),
- dobra pompowność,
- łatwa zabudowa,
- szybkie wykonawstwo, mała pracochłonność,
- krótki czas wysychania.

Tab. 2.3. Właściwości fizyczno-mechaniczne PORIMENT®M i P

Lp.	Właściwości	Wymagania	
		PORIMENT®M	PORIMENT®P
1	Wygląd zewnętrzny po zarobieniu wodą	jednorodna szara masa bez grudek i zanieczyszczeń mechanicznych	jednorodna szara masa bez grudek i zanieczyszczeń mechanicznych, z widocznymi granulami styropianu
2*	Gęstość objętościowa [kg/m ³]	730 ±15%	330 ±15%
3	Konsystencja robocza masy w temp. +10°C [cm]	34 ±1	32 ±1
4	Czas zachowania właściwości roboczych [godz.]	≥ 3,5	
5	Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach [MPa]	≥ 0,6	≥ 0,3
6	Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	≥ 2,0	≥ 0,3
7	Stabilność wymiarowa w temp. 80°C (pod obciążeniem 20 kPa) [%]	—	≤ 1,0
8	Współczynnik (μ) oporu dyfuzji pary wodnej warstwy o grubości 20 mm	10	
7	Wartość deklarowana współczynnika przewodzenia ciepła, w temp. +10°C [W / (m · K)]	0,125	0,085
8	Klasyfikacja w zakresie reakcji na ogień	—	B _{fl} -s1
9	Wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego stropu wzorcowego ΔL _w [dB]	—	18 ÷ 24
10	Klasa akustyczna podłogi z zastosowaniem zaprawy	—	PL 18

* gęstość zależna od wymaganej urabialności



Rys. 2.11. Zastosowanie mas wyrównawczo-termoizolacyjnych PORIMENT®M i PORIMENT®P

2.2.1.5. EKOCRETE®

ekocrete®

EKOCRETE® to beton przyjazny środowisku. Realizując strategię zrównoważonego rozwoju Górażdże Beton oferuje serię betonów, w których poprzez odpowiedni dobór składników i kontrolę procesu produkcji, zminimalizowano wpływ na środowisko. Beton EKOCRETE® może być stosowany w miejsce betonu zwykłego.

Zastosowanie betonu EKOCRETE®:

- stropy,
- ściany,
- fundamenty budynków,
- słupy,
- wylewki wewnątrz budynków.

Cechy charakterystyczne betonów „EkoCrete”:

- klasa wytrzymałości od C8/10 do C35/45 wg PN-EN 206:2014,
- klasa konsystencji S2/S3,
- wysoka jakość przy minimalnym negatywnym wpływie na środowisko.

2.3. Oferta handlowa Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.

Oferta handlowa Górażdże Kruszywa obejmuje:

a) kruszywa naturalne

- piaski 0/1; 0/2; 0/4;
- żwiry 1/4; 2/8; 8/16; 2/16; 16/31,5; 31,5/63 mm (rys. 2.12),
- mieszanki pisakowo-żwirowe (kruszywo o uziarnieniu naturalnym 0/8 lub ciągłym: 0/4; 0/16; 0/31,5 mm),
- pospółka,

b) kruszywa naturalne łamane

- kruszywo wapienne 0/31,5; 0/63; 31,5/63 mm,
- mieszanka wapienna 0/10 mm,

c) kruszywa specjalne

- piasek 0/2 extra (piasek o bardzo wysokim stopniu czystości),
- piasek formierski 0/1 mm,
- piasek kwarcowy-suszony 0/0,5; 0,5/1,0; 0/1 mm,
- piasek z atestem higienicznym 0/1 mm,
- piasek 0/2 CBR (piasek o wysokiej zawartości frakcji < 0,5mm),
- otoczaki dekoracyjne.

Kruszywa oferowane przez Górażdże Kruszywa spełniają wymagania norm:

- PN-EN 12620+A1:2010 „Kruszywa do betonu”,
- PN-EN 13139:2003 „Kruszywa do zapraw”,
- PN-EN PN-EN 13242+A1:2010 „Kruszywa do niezwiązanych i hydraulicznie związanych materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym”,

- PN-EN 13043:2004 „Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu”.



Rys. 2.12. Kruszywa w ofercie Górażdże Kruszywa: piasek 0/2 mm, żwir 2/8 mm, żwir 8/16

2

Wszystkie produkty Górażdże Kruszywa posiadają deklarację właściwości użytkowych i są znakowane znakiem **CE**. Ocena właściwości kruszyw produkowanych we wszystkich kopalniach dokonywana jest w systemie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych **2+**. Każda kopalnia posiada wdrożony system Zakładowej Kontroli Produkcji, który został potwierdzony certyfikatem (rys. 2.13) wydanym przez Ośrodek Certyfikacji Instytutu Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego z Warszawy (jednostka notyfikowana nr 1454). Każdy rodzaj kruszywa posiada tzw. Kartę Wyrobu, zawierającą informację o jego własnościach użytkowych.

Bieżący nadzór i kontrola jakości kruszyw prowadzona jest przez Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o., jak również przez niezależne laboratoria zewnętrzne:

- Instytut Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego w Warszawie,
- Przedsiębiorstwo Geologiczne PROXIMA S.A. we Wrocławiu,
- Politechnikę Śląską w Gliwicach,
- Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie,
- Politechnikę Wrocławską.



Rys. 2.13. Certyfikat ZKP dla Kopalni Surowców Mineralnych Dziergowice

Szczegółowe informacje dotyczące właściwości oraz dokumentacja dotycząca kruszyw oferowanych przez Górażdże Kruszywa Sp. z o.o. dostępne są na stronie internetowej: www.gorazdzekruszywa.pl.

2.3.1. Kruszywa naturalne

2.3.1.1. Piaski

Piasek to naturalny materiał drobnoziarnisty, który jest luźną skałą osadową złożoną przede wszystkim z kwarcu. W ofercie Górażdże Kruszywa Sp. z o.o. znajdują się piaski o uziarnieniu: 0/0,5; 0/1; 0/2; 0/4; 1/4 mm.

Zastosowanie

Piaski mają szerokie zastosowanie w różnych segmentach budownictwa, a przede wszystkim:

- do produkcji różnego rodzaju betonu, w tym betonu towarowego i prefabrykatów budowlanych (kostka brukowa, krawężniki, bloczki fundamentowe, kręgi betonowe, ogrodzenia betonowe, belki stropowe, palisady, obrzeża, płyty drogowe, płyty chodnikowe),

- do produkcji zapraw murarskich, tynkarskich w budownictwie przemysłowym i mieszkaniowym,
- do produkcji suchych zapraw tynkarskich, klejów,
- do produkcji podsypiek cementowo-piaskowych,
- do wykonywania ziemnych robót budowlanych tj. trwałych nasypów, zasypywania wykopów w budownictwie drogowym,
- do robót budowlanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym, np. jako podsypka (podbudowa) pod kostkę brukową i betonową,
- do zimowego utrzymania dróg i chodników,
- do warstw filtracyjnych,
- do aranżacji terenów sportowo-rekreacyjnych (plaże, boiska do piłki plażowej, itp.).

2.3.1.2. Żwiry

Żwiry to naturalny materiał gruboziarnisty, który jest okrucową skałą w luźnej postaci, złożoną z obtoczonych okruców skał i minerałów o średnicy ziaren większych od 2 mm i dochodzących do 63 mm. Oferowane są w frakcjach 1/4; 2/8; 8/16; 2/16; 16/31,5; 31,5/63 mm.

Zastosowanie

Żwiry znajdują szerokie zastosowanie w budownictwie i drogownictwie:

- do produkcji betonu zwykłego, jak również:
 - betonu architektonicznego,
 - betonu posadzkowego,
 - betonu samozagęszczalnego,
 - betonu hydrotechnicznego,
- do produkcji masywnych elementów betonowych,
- do produkcji galanterii i prefabrykatów budowlanych,
- w przemyśle materiałów autoklawizowanych,
- do produkcji podbudów z chudego betonu,
- do wykonywania robót budowlanych jako materiał na podbudowy, nasypy, umocnienia gruntów,
- do wykonywania robót budowlanych jako materiał filtracyjny, drenażowy, do opasek melioracyjnych wokół budynków,
- jako materiał dekoracyjny w ogrodnictwie, przy tworzeniu zielonej architektury.

2.3.1.3. Mieszanki pisakowo-żwirowe

Kruszywa o uziarnieniu naturalnym (0/8 mm) lub ciągłym (0/4; 0/16; 0/31,5 mm) – to wielofrakcyjny materiał naturalny, będący mieszanką piasku i żwiru o uziarnieniu granicznym od 0,063 mm do 31,5 mm. Skład granulometryczny mieszanki waha się w zależności od oferowanego asortymentu w przedziale: 0/4; 0/8; 0/16; 0/31,5 mm

Zastosowanie

Ze względu na dobre właściwości mechaniczne i filtracyjne, wysoki współczynnik zagęszczenia oraz dużą nośność, mieszanki znajdują szerokie zastosowanie w drogownictwie i budownictwie:

- jako materiał do wykonywania nasypów (kolejowych, drogowych), zasypywania wykopów,
- jako materiał do wymiany podłoża pod skomplikowane obiekty budowlane oraz podbudowę pod fundamenty,
- do wykonania warstw odsączających nasypów drogowych oraz warstw filtracyjnych przy budowie autostrad i oczyszczalni ścieków,
- do produkcji betonów i prefabrykatów budowlanych,
- na podbudowy pod kostkę betonową i granitową,
- ze względu na właściwości zagęszczające nadaje się również do budowy i remontów nawierzchni dróg gruntowych, polnych i leśnych.

2.3.1.4. Pospółka

Pospółka to wielofrakcyjny materiał naturalny, pozyskiwany bezpośrednio ze złoża.

Zastosowanie

Pospółka, ze względu na dobre właściwości mechaniczne i filtracyjne, wysoki współczynnik zagęszczenia oraz dużą nośność, znajduje szerokie zastosowanie w drogownictwie i budownictwie:

- jako materiał do wykonywania nasypów (kolejowych, drogowych), zasypywania wykopów,
- jako materiał do wymiany podłoża pod skomplikowane obiekty budowlane oraz podbudowę pod fundamenty,
- do wykonania warstw odsączających nasypów drogowych oraz warstw filtracyjnych przy budowie autostrad i oczyszczalni ścieków,

- do produkcji betonu,
- na podbudowy pod kostkę betonową i granitową,
- do budowy i remontów nawierzchni dróg gruntowych, polnych i leśnych.

2.3.2. Kruszywa naturalne łamane

2.3.2.1. Kruszywa wapienne

Kruszywo wapienne o barwie jasnoszarej lub żółtawej, frakcji ziarnowej: 0/31,5; 0/63 i 31,5/63 mm.

Stosowane są do:

- mieszanek stabilizacyjnych i mrozoodpornych
- jako warstwa pomocnicza i mrozoodporna oraz warstwa zasadnicza podbudowy dróg.

2.3.2.1. Mieszanka wapienna

Kruszywo wapienne barwy jasnoszarej lub żółtawej o uziarnieniu ciągłym 0/10 mm.

Znajduje zastosowanie:

- przy stabilizacji gruntu,
- jako dodatek drugorzędny w składzie cementu.

2.3.3. Kruszywa specjalne

2.3.3.1. Kruszywo 0/2 extra

Kruszywo 0/2 extra (piasek extra) jest kruszywem drobnym, naturalnym wykorzystywanym do produkcji wyrobów, w których nie dopuszczalna jest zawartość części organicznych. Produkt charakteryzuje się stabilnością parametrów fizyko-chemicznych oraz wysoką czystością, co wynika ze sposobu jego uszlachetniania w procesie na mokro, przy użyciu separatora fluidalnego ASTRO 2400/3.

Kruszywo 0/2 extra z uwagi na bardzo wysoki stopień czystości wykorzystywane jest przede wszystkim do produkcji dachówki betonowej i spełnia wszystkie wymagania związane z tym zastosowaniem, a mianowicie:

- stabilny skład ziarnowy w przedziale 0/2 mm,
- całkowity brak zanieczyszczeń organicznych,

Zastosowanie

- do produkcji dachówek betonowych,
- do betonu posadzkowego,
- do betonów zwykłych i specjalnych,
- do wielkowymiarowych wyrobów betonowych prefabrykowanych,
- do sporządzania zapraw murarskich i tynkarskich,
- do wykonawstwa specjalistycznych robót inżynierskich.

2.3.3.2. Piasek formierski 0/1 mm

Piasek formierski 0/1 mm jest kruszywem drobnym, naturalnym o wysokiej zawartości kwarcu, w przedziale 96-98,5%.

Zastosowanie

Zaletą tego piasku jest bardzo wysoka zawartość kwarcu, co pozwala na jego wykorzystanie do produkcji odlewniczych materiałów formierskich tj. do sporządzania mas formierskich dla odlewów stalowych, żeliwnych i z metali nieżelaznych.

Piasek formierski 0/1 można również stosować do:

- betonów zwykłych i specjalnych,
- produkcji prefabrykatów betonowych,
- produkcji zapraw murarskich i tynkarskich,
- specjalistycznych robót inżynierskich.

2.3.3.3. Piasek kwarcowy – suszony

Piasek kwarcowy – suszony dostępny jest we frakcjach ziarnowych: 0/0,5; 0,5/1,0; 0/1 mm. Charakteryzuje się wysoką zawartością kwarcu, w przedziale 96-98%. Piaski kwarcowe – suszone oferowane są luzem, w workach foliowych po 25 kg oraz big-bagach.

Zastosowanie

Właściwości piasków suszonych, takie jak: uziarnienie, wysoka temperatura spiekania, wysoka twardość i wytrzymałość powodują, że piasek ten jest wysoko cenionym składnikiem:

- produktów chemii budowlanej (tynki, kleje, zaprawy),
- wkładów do kotłów fluidalnych,
- jako wypełniacz nowoczesnych nawierzchni boisk sportowych,
- posadzek żywicznych i antykorozyjnych,
- do piaskowania powierzchni metalicznych.

Piasek kwarcowy – suszony wykorzystywany jest również do sporządzania zapraw murarskich i tynkarskich.

2.3.3.4. Piasek z atestem higienicznym 0/1 mm

Piasek z atestem higienicznym 0/1 mm – to piasek kwarcowy – suszony o uziarnieniu od 0,063 mm do 1,0 mm.

Produkt posiada ATEST HIGIENICZNY HK/B/0671/01/2013 wydany przez Państwowy Zakład Higieny. Oferowany jest w workach 25 kg oraz w big-bagach. Istnieje również możliwość, na życzenie klienta, realizacji dostaw frakcji piasku: 0/0,5; 0,5/1,0; 0/1 mm w big-bagach.

Zastosowanie:

- do piaskownic,
- budowa boisk siatkówki plażowej,
- roboty ogólnobudowlane,
- zaprawy murarsko-tynkarskie,
- piaskowanie, usuwanie starych farb i rdzy z metalu,
- obsypki rur kanalizacyjnych, kabli energetycznych,
- filtrowanie wody z drobnych zanieczyszczeń,
- aranżacja ogrodów, tworzenie dekoracji w ogrodzie,
- wypełnianie akwariów, kuwet dla zwierząt.



2.3.3.5. Piasek 0/2 CBR

Piasek 0/2 CBR jest kruszywem naturalnym, drobnoziarnistym, pochodzenia rzecznego, o stabilnym składzie ziarnowym i wysokiej zawartości kwarcu (>92%). Piasek CBR zawiera od 55 do 80% frakcji poniżej 0,5 mm, co klasyfikuje go w grupie najdrobniejszych kruszyw, FP wg wymagań normy PN-EN 12620+A1:2010.

Zastosowanie

Ze względu na wysoki współczynnik zagęszczenia piasek CBR znajduje zastosowanie:

- jako materiał do wykonywania nasypów (kolejowych, drogowych),
- do zasypywania i uszczelniania wykopów,
- jako materiał do wymiany podłoża,
- do produkcji betonów i prefabrykatów budowlanych,
- jako podbudowa pod kostkę betonową i granitową,
- do remontów dróg gruntowych, polnych i leśnych.

2.3.3.5. Otoczaki dekoracyjne

Otoczaki, naturalnie ukształtowane kamienie o wymiarach większych od 63 mm, które znajdują zastosowanie:

- jako materiał dekoracyjny, do aranżacji ogrodów, tarasów, alejek, ścieżek, parków, oczek wodnych, skalników, itp.,
- do budowy ogrodzeń, palenisk, kwietników,
- do budowy elementów gabionowych o unikalnym surowym, a jednocześnie ekologicznym charakterze.

2.4. Usługi laboratoryjne i badawcze świadczone przez Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.

Centrum Technologicznym Betotech Sp. z o.o., należące do Górażdże Cement S.A., świadczy usługi w zakresie:

- badania składników do produkcji betonu zwykłego (kruszyw, cementu, dodatków mineralnych, wody),
- badania właściwości mieszanki betonowej (gęstość, konsystencja, lepkość, przepływalność, podatność na segregację, zawartość powietrza, temperatura, itp.),
- określenia właściwości fizycznych i mechanicznych stwardniałego betonu i materiałów budowlanych (kostki brukowej, krawężników, płyt chodnikowych, elementów prefabrykowanych, elementów ceramicznych),
- badania właściwości zapraw budowlanych w stanie plastycznym i stwardniałym,
- projektowania mieszanek betonowych do określonych zastosowań w budownictwie, optymalizacji receptur,
- szeroko pojętego doradztwa technologicznego, w obszarach bezpośrednio związanych z produktami Grupy Górażdże,
- współpracy z jednostkami naukowo-badawczymi, uczelniami wyższymi przy realizacji projektów badawczych, grantów naukowych, itp.,
- działalności szkoleniowej z zakresu problematyki normalizacyjnej i technologii betonu (szkolenie personelu laboratoriów zakładowych, operatorów węzłów betoniarских, kadry inżynierjno-technicznej).

Funkcjonujące, w ramach Centrum Technologicznego Betotech, Akredytowane Laboratorium Materiałów Budowlanych (nr akredytacji AB 829), świadczy usługi badawcze w zakresie podanym w tab. od 2.4 do 2.9 (www.betotech.pl lub www.pca.gov.pl).

Tab 2.4. Cement

Badana właściwość	Metoda badawcza wg
Wytrzymałość na ściskanie	PN-EN 196-1:2006
Pełna analiza chemiczna	PN-EN 196-2:2013
Zawartość chromu (VI)	PN-EN 196-10:2008
Czasy wiązania	PN-EN 196-3+A1:2011
Stalność objętości	PN-EN 196-3+A1:2011
Stożek zmielenia – powierzchnia właściwa	PN-EN 196-6:2011
Ciepło hydratacji – metoda semiadiabatyczna	PN-EN 196-9:2010
Skurcz	PN-B-30016:1989
Odporność na agresję siarczanową	PN-B-19707:2013
Gęstość	PN-EN 196-6:2011

Tab 2.5. Dodatki do betonu (popiół lotny, pył krzemionkowy, zmielony granulowany żużel wielkopiecowy)

Badana właściwość	Metoda badawcza wg
Pełna analiza chemiczna	PN-EN 196-2:2013
Zawartość wolnego tlenku wapnia (CaO_w)	PN-EN 451-1:2004
Miałkość	PN-EN 451-2:1998
Wskaźnik aktywności	PN-EN 450-1:2012 PN-EN 13263-1:+A1:2010 PN-EN 15167-1:2007
Gęstość	PN-EN 196-6:2011
Stalność objętości	PN-EN 450-1:2012
Wodoodporność*	PN-EN 450-1:2012, załącznik B

Tab 2.6. Mieszanka betonowa i stwardniały beton

Badana właściwość	Metoda badawcza wg
Konsystencja – metoda opadu stożka	PN-EN 12350-2:2011
Konsystencja – metoda stopnia zagęszczalności	PN-EN 12350-4:2011
Konsystencja – metoda stolika rozpluwowego	PN-EN 12350-5:2011
Konsystencja betonu samozagęszczalnego – metoda V-leja	PN-EN 12350-9:2012
Konsystencja betonu samozagęszczalnego – metoda L-box	PN-EN 12350-10:2012
Konsystencja betonu samozagęszczalnego – metoda J pierścienia	PN-EN 12350-12:2012
Gęstość	PN-EN 12350-6:2011
Zawartość powietrza	PN-EN 12350-7:2011
Odsączenie wody z mieszanki betonowej (bleeding)	ASTM C 232
Wytrzymałość na ściskanie	PN-EN 12390-3:2011 PN-B-06250:1988
Wytrzymałość na zginanie	PN-EN 12390-5:2011
Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu	PN-EN 12390-6:2011
Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem	PN-EN 12390-8:2011
Badanie przepuszczalności wody (W-2 ÷ W-8)	PN-B-06250:1988
Gęstość	PN-EN 12390-7:2011
Odporność na działanie mrozu (F25 ÷ F300)	PN-B-06250:1988
Odporność na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odładzającej	CEN/TS 12390-9:2007
Nasiąkliwość	PN-B-06250:1988
Przenikalność jonów chlorkowych	ASTM C 1202-05
Odporność na karbonatyzację	CEN/TS 12390-12:2010
Moduł sprężystości (E-moduł, Moduł Younga)	Instrukcja ITB 194/98
Skurcz	PN-B-06714-23:1984
Wytrzymałość odwiertów rdzeniowych	PN-EN 12504-1:2011

Tab 2.7. Prefabrykaty drobnowymiarowe (kostka brukowa, krawężniki, płyty brukowe)

Badana właściwość	Metoda badawcza wg
Wytrzymałość	PN-EN 1338:2005, załącznik F PN-EN 1340:2004, załącznik F PN-EN 1339:2005, załącznik F
Nasiąkliwość	PN-EN 1338:2005, załącznik E PN-EN 1340:2004, załącznik E PN-EN 1339:2005, załącznik E
Odporność na zamrażanie/rozmarzanie z udziałem soli odladzającej	PN-EN 1338:2005, załącznik D PN-EN 1340:2004, załącznik D PN-EN 1339:2005, załącznik D
Ścieralność na tarczy Böhme	PN-EN 1338:2005, załącznik H PN-EN 1340:2004, załącznik H PN-EN 1339:2005, załącznik H

Tab 2.8. Kruszywa do betonu

Badana właściwość	Metoda badawcza wg
Skład ziarnowy	PN-EN 933-1:2012
Zawartość pyłów	PN-EN 933-1:2012
Kształt ziarn za pomocą wskaźnika płaskości	PN-EN 933-3:2012
Kształt ziarn za pomocą wskaźnika kształtu	PN-EN 933-4:2008
Mrozoodporność w wodzie	PN-EN 1367-1:2007
Mrozoodporność w obecności soli	PN-EN 1367-6:2008
Reaktywność alkaliczna	PN-B-06714-34:1991

Tab 2.9. Zaprawy i tynki budowlane

Badana właściwość	Metoda badawcza wg
Wytrzymałość na ściskanie i zginanie	PN-EN 1015-11:2001 PN-EN 13892-2:2004
Ścieralność wg Böhme (podkłady podłogowe)	PN-EN 13892-3:2005
Mrozoodporność	PN-B-04500:1985
Konsystencja – metoda stolika rozptywowego	PN-EN 1015-3:2000
Konsystencja – metoda stożka opadowego	PN-B-04500:1985
Konsystencja – metoda penetrometru	PN-EN 1015-4:2000



Rys. 2.14. Laboratorium Materiałów Budowlanych w Strzelcach Opolskich – pracownia analityczna)



Rys. 2.15. Laboratorium w Dąbrowie Górniczej – badanie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem



Rys. 2.16. Prasa do badań wytrzymałości betonów i drobnowymiarowych elementów prefabrykowanych



Rys. 2.17. Badanie odporności betonu na działanie mrozu metodą zwykłą



Rys. 2.18. Dojrzewalnia próbek



Rys. 2.19. Kalorymetr semiadiabacyjny

3

Zasady odpowiedzialności za produkt

3.1. Zasady odpowiedzialności za produkt Górażdże Cement S.A.

3.1.1. Wstęp

Użyte w „Zasadach odpowiedzialności za produkt Górażdże Cement S.A.” określenia *) oznaczają:

Strony umowy:

- Górażdże Cement S.A.,
- Partner (Klient);

Cement – oznacza cement workowany i/lub luzem

Produkt – oznacza wyrób (cement i/lub zaprawy budowlane) wyprodukowany lub wprowadzony do obrotu przez Górażdże Cement S.A. o właściwościach opisanych w „Deklaracji Właściwości Użytkowych”.

Reklamacja – pisemne zawiadomienie przez Partnera – składającego reklamację – o wadzie produktu w celu realizacji przysługujących z tego tytułu uprawnień.

*) użyte w niniejszych zasadach określenia w znaczeniu jak wyżej mogą być stosowane z dużej lub małej litery.

3.1.2. Gwarancja

Górażdże Cement zapewnia o dobrej jakości oferowanych w sprzedaży produktów i ich zgodności z wymaganiami aktualnych norm:

- PN-EN 197-1:2012 „Cement. Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dla cementów powszechnego użytku”,
- PN-B 19707:2013 „Cement – Cement specjalny – skład, wymagania i kryteria zgodności”,
- PN-EN 14216:2005 „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”,
- PN-EN 998-1:2012 „Wymagania dotyczące zapraw do murów – Część 1: Zaprawa tynkarska”,
- PN-EN 998-2:2012 „Wymagania dotyczące zapraw do murów – Część 2: Zaprawa murarska”

- PN-EN 13813:2003 „Podkłady podłogowe oraz materiały do ich wykonania – Materiały – Właściwości i wymagania”,

co jest potwierdzone wystawianą „Deklaracją Właściwości Użytkowych”.

Górażdże Cement S.A. na sprzedawane produkty udziela gwarancji:

- 30 dni na cement klasy wytrzymałościowej 52,5R,
- 60 dni na cement klasy wytrzymałościowej 22,5, 32,5N; 32,5R; 42,5N; 42,5R; 52,5N,
- 120 dni, niezależnie od klasy wytrzymałościowej, na cement pakowany w worki z przekładką foliową,
- 12 miesięcy, na zaprawy budowlane tj. „Zaprawa murarska”, „Zaprawa Tynkarska” i „Wylewka Betonowa”.

Okres gwarancji w przypadku cementu luzem liczony jest od daty umieszczonej na dokumencie WZ, natomiast cementu workowanego i zapraw budowlanych od daty workowania umieszczonej na worku. Towar zostaje objęty gwarancją pod warunkiem przechowywania zgodnie z zasadami określonymi w pkt 3.1.3 niniejszych zasad.

3.1.3. Zasady przechowywania produktu

3.1.3.1. Miejsca przechowywania produktu

a) cementu workowanego i zapraw budowlanych:

- składy otwarte (wydzielone miejsca zadaszone na otwartym terenie, zabezpieczone z boków przed opadami),
- magazyny zamknięte (budynki lub pomieszczenia o szczelnym dachu i ścianach);

b) cementu workowanego i zapraw budowlanych na paletach z kapturami foliowymi:

- składy otwarte (wydzielone miejsca zadaszone na otwartym terenie, zabezpieczone z boku przed opadami),
- magazyny zamknięte (budynki lub pomieszczenia o szczelnym dachu i ścianach),
- składy otwarte niezadaszone o utwardzonym podłożu zabezpieczonym przed gromadzeniem się wody (np. wskutek opadów atmosferycznych) – folia kapturów nie może być uszkodzona;

c) cementu luzem:

- magazyny specjalne (zbiorniki stalowe, żelbetowe lub betonowe przystosowane do pneumatycznego załadunku i rozładunku cementu luzem, zaopatrzone w urządzenia do przeprowadzania kontroli objętości cementu znajdującego się w zbiorniku lub otwory do przeprowadzenia pomiarów poziomu cementu, włązy do oczyszczania oraz klamry na wewnętrznych ścianach).

3.1.3.2. Warunki przechowywania produktu

- Podłoża składów otwartych powinny być twarde i suche, odpowiednio pochylone, zabezpieczające produkt przed ściekami wody deszczowej i zanieczyszczeniem. Podłogi magazynów zamkniętych powinny być suche i czyste, zabezpieczające produkt przed zawilgoceniem i zanieczyszczeniem.
- Warunki jakie winny spełniać magazyny specjalne określa punkt 3.1.3.1 ppkt c).

3.1.3.3. Okres przechowywania produktu

Dopuszczalny okres przechowywania produktu zależny jest od miejsca przechowywania:

- okres przechowywania w magazynach zamkniętych i magazynach specjalnych nie powinien być dłuższy od gwarantowanego okresu zachowania cech normowych produktu, określonych w pkt 3.1.2;
- okres przechowywania produktów w składach otwartych nie powinien być dłuższy niż 10 dni (w znacznym stopniu zależy od aktualnych warunków atmosferycznych) – nie dotyczy to cementu workowanego i zapraw budowlanych na paletach z kapturami foliowymi, do którego stosuje się pkt 3.1.3.2.a).

3.1.3.4. Technika przechowywania

a) Przechowywanie cementu workowanego i zapraw budowlanych

- Worki z cementem lub zaprawą należy układać w stosy płaskie. Liczba worków w stosie nie powinna przekraczać 6 sztuk;
- Poszczególne partie produktu, z podziałem na rodzaje, klasy, powinny być układane w oddzielnych stosach. Między stosami ułożonych worków należy pozostawić wolne przestrzenie umożliwiające dostęp do

poszczególnych stosów. Szerokość dróg przejazdowych powinna być dostosowana do używanego w magazynie środka transportu;

- Przechowywanie cementu workowanego i zapraw budowlanych na paletach z kapturami foliowymi dopuszczalne jest na wysokość maksymalnie dwóch pakietów;

b) Przechowywanie cementu luzem

- W każdym ze zbiorników należy przechowywać wyłącznie cement jednego rodzaju i jednej klasy wytrzymałościowej, pochodzący od jednego dostawcy;

c) Znakowanie przechowywanego produktu

- Stosy worków z cementem, zaprawami budowlanymi oraz zbiorniki cementu luzem (magazyny specjalne) powinny być zaopatrzone w tabliczki zawierające informacje o rodzaju produktu nazwę wytwórni i miejscowość, masę produktu w partii i datę wysyłki lub datę workowania.

3.1.4. Postępowanie reklamacyjne

3.1.4.1. Zgłoszenie reklamacji o wadliwej jakości cementu

- a) Reklamacja powinna być złożona przez Partnera na piśmie niezwłocznie, nie później niż 14 dni od stwierdzenia niezachowania przez produkt wymogów jakościowych lecz przed upływem okresu trwania gwarancji, w zależności od rodzaju produktu i opakowania – patrz pkt 3.1.2. Prawo do złożenia reklamacji wygasa po upływie terminów określonych w pkt 3.1.2.;
- b) Do reklamacji powinien być dołączony, pod rygorem jej odrzucenia, dowód zakupu produktu (dokument WZ, faktura lub rachunek);
- c) Składający reklamację powinien posiadać, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, reklamowaną partię wyrobu, np. do poboru prób kwestionowanego produktu lub oględzin uszkodzonych opakowań;
- d) Górażdże Cement S.A. zastrzega sobie prawo, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, do oględzin reklamowanych partii produktu oraz, jeżeli jest to niezbędne do wyjaśnienia przyczyn reklamacji, do poboru prób reklamowanego produktu w terminie i miejscu ustalonym ze Składającym reklamację.

3.1.4.2. Odpowiedzialność Górażdże Cement S.A. z tytułu braków ilościowych oraz wadliwych opakowań produktu

Odpowiedzialność Górażdże Cement S.A. w tym zakresie kształtuje się na zasadach ogólnych.

Transport kolejowy

- a) Reklamacja opakowania (opakowań) powinna być złożona na piśmie najpóźniej 7 dni od daty odbioru produktu przez Składającego reklamację;
- b) Reklamacja dotycząca niezgodności pomiędzy ilością produktu deklarowaną w dokumentach wysyłkowych, a ilością produktów odebraną przez Składającego reklamację powinna być złożona na piśmie najpóźniej w terminie 7 dni od daty odbioru produktu przez Składającego reklamację;
- c) Do reklamacji powinien być dołączony, pod rygorem jej odrzucenia, dowód zakupu produktu (faktura lub rachunek) oraz:
 - protokół kolejowy sporządzony przez PKP opisujący rodzaj i wielkość strat w przypadku transportu produktu w workach lub
 - dokument ważenia kontrolnego, dokument legalizacyjny wagi kontrolnej w przypadku niedoboru ilościowego produktu transportowanego luzem;
- d) Składający reklamację powinien posiadać, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, reklamowaną partię produktu;
- e) Górażdże Cement S.A. zastrzega sobie prawo, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, do oględzin reklamowanych partii produktu w terminie i miejscu ustalonym ze Składającym reklamację.

Transport samochodowy

- a) Reklamacja opakowań, jak również niezgodności pomiędzy ilością produktu deklarowaną na fakturze (rachunku), a odebraną przez Składającego reklamację lub upoważnionego przez niego przewoźnika, powinna zostać złożona natychmiast przy odbiorze towaru przez jedną z tych osób – ustnie do protokołu lub na piśmie;
- b) Po przyjęciu towaru bez zastrzeżeń, potwierdzonym podpisem na przepustce materiałowej, odpowiedzialność za powierzony towar w zakresie prawidłowych warunków transportu przejmuje przewoźnik;

- c) W przypadku stwierdzenia braków ilościowych produktu lub uszkodzeń opakowań nieujawnionych przed przyjęciem towaru, reklamacja powinna zostać złożona na piśmie w terminie 7 dni od daty odbioru, wraz z pisemnym potwierdzeniem szkody przez przewoźnika;
- d) Do reklamacji powinien być dołączony, pod rygorem jej odrzucenia, dowód zakupu produktu (faktura lub rachunek) oraz, w przypadku braków ilościowych produktu luzem, protokół ważenia wraz z dokumentem legalizacyjnym wagi kontrolnej;
- e) Górażdże Cement S.A. zastrzega sobie prawo, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, do oględzin reklamowanych partii produktu w terminie i miejscu ustalonym ze Składającym reklamację.

3.1.4.3. Postępowanie wyjaśniające

Rozpatrzenie reklamacji to nie tylko samo zadośćuczynienie stronie poszkodowanej, ale także wskazówka na przyszłość:

- a) Zgłoszenie reklamacji przyjmują kompetentni pracownicy Górażdże Cement S.A. i rozpoczynają postępowanie wyjaśniające, zgodnie z procedurami obowiązującymi w Górażdże Cement S.A.;
- b) Przy wystąpieniu rozbieżności w ocenie jakości produktu decydujące znaczenie mają wyniki ekspertyzy, którą przeprowadza się zgodnie z odpowiednią normą jakościową dotyczącą danego produktu. Próby do badań wszystkich produktów pobiera się wg PN-EN 196-7:2009 część 7 „Metody badania cementu. Sposoby pobierania i przygotowania próbek cementu”. Koszty ekspertyzy ponosi strona, na której niekorzyść reklamacja będzie rozpatrzona;
- c) Postępowanie wyjaśniające kończy się ustaleniem dalszego trybu postępowania w stosunku do zgłoszonej reklamacji, o którym Składający reklamację powinien zostać poinformowany w terminie 14 dni, licząc od daty wpłynięcia reklamacji do Górażdże Cement S.A.;
- d) W przypadku uznania reklamacji Górażdże Cement S.A. naprawi szkodę na zasadach uzgodnionych przez strony lub określonych w kodeksie cywilnym;
- e) W razie wniesienia bezpodstawnej reklamacji Górażdże Cement S.A. zastrzega sobie prawo do obciążenia Składającego reklamację kosztami postępowania wyjaśniającego;
- f) Od decyzji negatywnych Składający reklamację może się odwoływać zgodnie z obowiązującymi przepisami.

3.2. Zasady odpowiedzialności za produkt Górażdże Beton Sp. z o.o.

3.2.1. Wstęp

Użyte określenia w „Zasadach odpowiedzialności za produkt Górażdże Beton” oznaczają:

Strony umowy:

- Sprzedający: Górażdże Beton Sp. z o.o.,
- Kupujący: Partner handlowy.

Reklamacja – pisemne zgłoszenie skierowane przez Kupującego do Sprzedającego, zawierające opis przyczyny niezadowolenia z jakości towaru lub usług celem realizacji uprawnień przysługujących Kupującemu.

3.2.2. Odpowiedzialność Sprzedającego

- Sprzedający zapewnia, że mieszanka betonowa, oferowana wg. cennika jest wytwarzana zgodnie z obowiązującymi dla tego produktu warunkami technicznymi i dostarczona do miejsca odbioru lub wydawana przez Sprzedającego w stanie pełnym i nienaruszonym.
- Odpowiedzialność Sprzedającego za jakość towaru wygasa, jeżeli kupujący lub osoba działająca w jego imieniu dodaje do mieszanki betonowej domieszki, dodatki i wodę z placu budowy lub też w inny sposób zmienia lub poleca zmieniać zakupiony produkt.
- Odpowiedzialność Sprzedającego za usterki jawne wygasa w przypadku potwierdzenia odbioru towaru przez Kupującego.
- Kupujący traci prawo do dochodzenia wymiany towaru na pozbawiony wad, jeżeli nie powiadomił Sprzedającego o wykryciu w nim wad niezwłocznie po stwierdzeniu tego faktu.
- Próbkę betonu pobrane przez Kupującego są tylko wtedy uważane przez Sprzedającego jako wiarygodne, gdy zostały wykonane i oznaczone w sposób zgodny z normą przedmiotową, w obecności przedstawiciela Sprzedającego.

- Jeżeli niezawinione przez Sprzedającego okoliczności utrudniają lub opóźniają wykonanie przyjętego zamówienia, to jest on upoważniony do poinformowania o tym Kupującego i zapewnienia mu nowego terminu dostawy.
- Jeżeli niezawinione przez Sprzedającego okoliczności uniemożliwiają wykonanie dostawy, wówczas Sprzedający ma prawo odstąpić od umowy w całości lub w części.
- Okolicznościami niezawinionymi przez Sprzedającego są:
 - decyzje władz uniemożliwiające całkowicie lub częściowo realizację zamówienia,
 - zakłócenia w ruchu zakładu Sprzedającego spowodowane okolicznościami siły wyższej,
 - strajk o zasięgu ogólnym,
 - brak potrzebnych do produkcji materiałów i surowców powstały z wyłącznej winy ich dostawców,
 - opóźnienia w transporcie w wyniku zakłóceń komunikacyjnych, których Sprzedający nie mógł przewidzieć ani im zapobiec.
- Za dostarczenie Sprzedającemu niewłaściwych lub niepełnych danych objętych zamówieniem odpowiedzialny jest Kupujący.
- Droga dojazdowa dla pojazdu z betonem musi być dobrana przez Kupującego tak, aby pojazd ten mógł dotrzeć w umówione miejsce, poruszając się po trasach zdatnych do przejazdu ciężkich pojazdów ciężarowych. Jeżeli warunek ten jest niespełniony wówczas Kupujący odpowiada za wszelkie wynikiłe stąd szkody.
- Pojazd musi być opróżniony niezwłocznie po dotarciu na plac budowy w sposób niezagrażający pojazdowi lub jego obsłudze.
- Jeżeli Kupujący prowadzi działalność gospodarczą, to osoby podpisujące dowód dostawy uznane są jako upoważnione wobec Sprzedającego do odbioru mieszanki betonowej i potwierdzenia zgodności dostawy z zamówieniem pod względem ilości i rodzaju.

3.2.3. Przeniesienie ryzyka

- Ryzyko przypadkowej utraty lub przypadkowego pogorszenia jakości mieszanki betonowej przechodzi na Kupującego z chwilą odbioru towaru lub w momencie gdy odbiór ten był możliwy, a nie nastąpił na skutek okoliczności, za które Sprzedający nie ponosi odpowiedzialności.
- W przypadku, gdy towar nie jest dostarczony do miejsca odbioru transportem Sprzedającego, ryzyko to przechodzi na Kupującego równocześnie z odbiorem towaru w zakładzie produkcyjnym.

3.2.4. Postępowanie reklamacyjne

3.2.4.1. Zgłoszenie reklamacji – usterka produktu

- a) W dniu wydania towaru przez Sprzedającego a przyjęcia przez Kupującego, Kupujący dokonuje w miejscu jego przekazania odbioru ilościowego towaru oraz sprawdza jakość towaru w zakresie widocznych parametrów fizycznych.
- b) W przypadku stwierdzenia niezgodności dostarczonego towaru z zamówieniem w zakresie przedmiotu zamówienia Kupujący niezwłocznie informuje Sprzedającego pisemnie (faxem, elektronicznie) o wystąpieniu stwierdzonych nieprawidłowości.
- c) Osobami upoważnionymi do przyjmowania reklamacji jest wyłącznie kierownictwo zakładu produkcyjnego.
- d) Usterki niezauważalne zewnętrznie, tzw. usterki ukryte, obojętnie jakiego rodzaju, Kupujący powinien reklamować niezwłocznie po ich stwierdzeniu.
- e) Sprzedający zastrzega sobie prawo, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, do oględzin reklamowanych partii produktu w terminie i miejscu ustalonym z Kupującym.

3.2.4.2. Zgłoszenie reklamacji – braki ilościowe

- a) Reklamacja dotycząca niezgodności pomiędzy ilością mieszanki betonowej deklarowaną na dokumencie wydania WZ (liście przewozowym) lub fakturze (rachunku), a odebraną przez Kupującego, powinna zostać złożona natychmiast przy odbiorze towaru – ustnie do protokołu, telefonicznie lub na piśmie.

3.2.4.3. Postępowanie wyjaśniające

- a) Sprzedający rozpoznaje reklamację Kupującego w terminie 14 dni od daty otrzymania pisemnego zgłoszenia reklamacji z zastrzeżeniem wykonania przez Kupującego obowiązków określonych w punkcie: 3.2.4.1.a. Bieg terminu do rozpoznania reklamacji ulega zawieszeniu na czas trwania okoliczności, z powodu których Sprzedający nie może podjąć decyzji w przedmiocie rozpoznania reklamacji, a w szczególności przez czas potrzebny laboratorium do wykonania badań i wystawienia orzeczenia.
- b) Kupujący zgłaszający reklamację jest zobowiązany umożliwić Sprzedającemu, pod rygorem utraty roszczeń reklamacyjnych, dokonanie oględzin i pobrania reprezentatywnych próbek z reklamowanej partii towaru w terminie i miejscu ustalonym wspólnie przez Kupującego i Sprzedającego:
 - jednej do badania w laboratorium Sprzedającego,
 - drugiej do ewentualnego badania rozjemczego przez niezależne i akredytowane laboratorium wybrane za porozumieniem stron: Sprzedającego i Kupującego.
- c) Sprzedający nie ponosi odpowiedzialności za postępowanie z towarem przez Kupującego, jeżeli miało to miejsce po zgłoszeniu wady i reklamacji, a przed jej rozpatrzeniem.
- d) W przypadku wystąpienia rozbieżności w ocenie jakości towaru wiążący jest wynik badania dokonanego przez niezależne laboratorium, o którym mowa w pkt 3.2.4.3.b.
- e) Sprzedający odmówi rozpatrzenia reklamacji każdego towaru niezakupionego bezpośrednio u Sprzedającego.
- f) Zgłoszenie reklamacji nie zwalnia Kupującego z obowiązku terminowej zapłaty z tytułu należności wynikającej z umowy sprzedaży lub zamówienia.
- g) Od decyzji negatywnych Kupujący może się odwoływać zgodnie z obowiązującymi przepisami.

3.3. Zasady odpowiedzialności za produkt Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.

3.3.1. Wstęp

Użyte określenia w „Zasadach odpowiedzialności za produkt Górażdże Kruszywa” oznaczają strony:

- **Sprzedający:** Górażdże Kruszywa Sp. z o.o.
- **Kupujący:** Partner Handlowy
- **Reklamacja** – pisemne zgłoszenie skierowane przez Kupującego do Sprzedającego, zawierające opis przyczyny niezadowolenia z jakości towaru lub usług celem realizacji uprawnień przysługujących Kupującemu

3.3.2. Gwarancja

- Sprzedający udziela kupującemu gwarancji na jakość towaru zgodnie z zapisami w zamówieniu Kupującego i parametrami kruszywa deklarowanymi wyraźnie przez Sprzedającego w formie pisemnej lub na stronie internetowej w dniu złożenia zamówienia.
- Sprzedający nie odpowiada za pogorszenie jakości towaru w wyniku nieprawidłowego składowania, pobierania kruszywa do dalszych procesów lub nieprawidłowego przewożenia w inne miejsce.
- Kruszywo płukane, będące produktem naturalnym posiada wilgotność wynikającą z procesu przeróbki na mokro (za wyjątkiem kruszywa suszonego) na poziomie:
 - do 5% dla kruszywa grubego ($d \geq 1$ i $D \leq 4$ mm oraz $d \geq 1$ i $D > 4$ mm)* do 10% dla kruszyw drobnych ($d = 0$ i $D \leq 4$ mm)*,* gdzie: przyjęto oznaczenie wymiaru kruszywa poprzez określenie dolnego (d) i górnego (D) wymiaru sita.

Kruszywo zawierające wilgotność do w/w poziomów nie podlega reklamacji.

3.3.3. Zasady przechowywania produktów

3.3.3.1. Miejsca przechowywania produktów

Miejscami przechowywania kruszyw mogą być:

- składowiska otwarte, bez lub z zadaszeniem
- zbiorniki metalowe

3.3.3.2. Warunki przechowywania

Podłoża składów otwartych powinny być twarde i suche, odpowiednio pochylone, zabezpieczające produkt przed ściekami wody deszczowej i zanieczyszczeniem.

Zbiorniki metalowe powinny być czyste, pozbawione jakichkolwiek zanieczyszczeń, nie powodujące frakcjonowania się kruszywa.

3.3.3.3. Technika przechowywania

Asortymenty kruszyw powinny być składowane w wyznaczonych miejscach zgodnie z ich przeznaczeniem w zakresie przedziału frakcyjnego.

Odległości pomiędzy składowiskami różnych asortymentów kruszyw powinny zapewnić całkowity brak możliwości ich mieszania się w trakcie przechowywania.

3.3.3.4. Znakowanie przechowywanego produktu

Miejsca składowania kruszyw powinny oznaczone tabliczkami zawierającymi informacje o rodzaju przechowywanego w danym miejscu produktu (frakcja).

3.3.4. Postępowanie reklamacyjne

3.3.4.1. Zgłoszenie reklamacji o wadliwej jakości produktu

- a) W dniu wydania towaru przez Sprzedającego, a przyjęcia przez Kupującego, Kupujący dokonuje w miejscu jego przekazania, odbioru ilościowego towaru oraz sprawdzenia jakości towaru w zakresie widocznych cech fizycznych

- b) W przypadku stwierdzenia niezgodności dostarczonego towaru z zamówieniem, w zakresie przedmiotu zamówienia, Kupujący niezwłocznie poinformuje Sprzedającego pisemnie (faxem, elektronicznie) o wystąpieniu stwierdzonych nieprawidłowości.
- c) Kupujący w terminie do 3 dni od daty przyjęcia towaru przesyła Sprzedającemu (faxem, elektronicznie, pocztą) na wskazany adres przez Sprzedającego, zgłoszenie reklamacyjne zawierające:
- opis stwierdzonej wady towaru i protokół spisany przez Kupującego w miejscu dostawy podpisany przez przewodnika oraz osoby reprezentujące Kupującego i Sprzedającego
 - kserokopię dowodu wydania towaru Wz i faktury sprzedaży wystawionej przez Sprzedającego
 - określenie roszczenia Kupującego z tytułu zgłaszanej reklamacji
- d) Kupujący w nieprzekraczalnym terminie 3 dni od daty przyjęcia towaru dokonuje oceny jakościowej w zakresie cech fizykochemicznych
- e) W przypadku wykrycia wad dostarczonego towaru w zakresie cech fizykochemicznych Kupujący bezzwłocznie informuje pisemnie Sprzedającego o stwierdzonych nieprawidłowościach
- f) Kupujący w terminie do 3 dni od daty przyjęcia towaru przesyła Sprzedającemu (faxem, elektronicznie, pocztą) na wskazany adres przez Sprzedającego, zgłoszenie reklamacyjne dot. niezgodnej z zamówieniem jakości kruszywa zawierające:
- opis stwierdzonej wady towaru
 - kserokopię dowodu wydania towaru Wz i faktury sprzedaży wystawionej przez Sprzedającego
 - określenie roszczenia Kupującego z tytułu zgłaszanej reklamacji
- g) Składający reklamację powinien posiadać, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, reklamowaną partię towaru.
- h) Sprzedający zastrzega sobie prawo, pod rygorem nieuwzględnienia reklamacji, do oględzin reklamowanych partii produktu w terminie i miejscu ustalonym z Kupującym.
- i) Zaniechanie przez Kupującego chociażby jednego z obowiązków, o których mowa w punktach: 3.3.4.1.a) do 3.3.4.1.h) powoduje utratę uprawnień do wszczęcia postępowania reklamacyjnego, o których

mowa w punkcie 3.3.4.3. oraz roszczeń, o których mowa w punkcie 3.3.4.4.

W przypadku uznania reklamacji odpowiedzialność Sprzedawcy jest ograniczona do wysokości ceny uzyskanej za sprzedany towar.

3.3.4.2. Zgłoszenie reklamacji z tytułu braków ilościowych.

Transport samochodowy / kolejowy

- a) Reklamacja dotycząca niezgodności pomiędzy ilością towaru deklarowaną na dokumencie wydania WZ (liście przewozowym) lub fakturze (rachunku), a odebraną przez Kupującego lub upoważnionego przez niego przewoźnika, powinna zostać złożona natychmiast przy odbiorze towaru przez jedną z tych osób – ustnie do protokołu lub na piśmie.
- b) Po przyjęciu towaru bez zastrzeżeń, potwierdzonym podpisem na dowodzie wydania towaru WZ (liście przewozowym), odpowiedzialność za powierzony towar w zakresie prawidłowych warunków transportu, przejmuje przewoźnik.
- c) W przypadku stwierdzenia braków ilościowych produktu, reklamacja powinna zostać złożona na piśmie w terminie 3 dni od daty odbioru wraz z pisemnym potwierdzeniem szkody przez przewoźnika.
- d) Oprócz w/w dokumentacji do reklamacji należy dołączyć kopię faktury, dokument WZ (list przewozowy) oraz protokół ważenia wraz z dokumentem legalizacyjnym wagi kontrolnej.

3.3.4.3. Postępowanie wyjaśniające

- a) Sprzedający rozpoznaje reklamację Kupującego w terminie 14 dni od daty otrzymania pisemnego zgłoszenia reklamacji z zastrzeżeniem wykonania przez Kupującego obowiązków określonych w punktach: 3.3.4.1.a) do 3.3.4.1.h). Bieg terminu do rozpoznania reklamacji ulega zawieszeniu na czas trwania okoliczności, z powodu których Sprzedający nie może podjąć decyzji w przedmiocie rozpoznania reklamacji, a w szczególności przez czas potrzebny laboratorium do wykonania badań i wystawienia orzeczenia.
- b) Kupujący zgłaszający reklamację, jest zobowiązany umożliwić Sprzedającemu, pod rygorem utraty roszczeń reklamacyjnych, dokonanie oględzin i pobrania co najmniej dwóch reprezentatywnych próbek

reklamowanej partii towaru, w terminie i miejscu ustalonym wspólnie przez Kupującego i Sprzedającego:

- jednej do badania w laboratorium Sprzedającego
- drugiej do ewentualnego badania rozjemczego przez niezależne i akredytowane laboratorium, wybrane za porozumieniem stron: Sprzedającego i Kupującego

- c) Sprzedający nie ponosi odpowiedzialności za zużycie towaru przez Kupującego, jeżeli miało to miejsce po zgłoszeniu wady i zgłoszeniu reklamacji, a przed jej rozpatrzeniem.
- d) W przypadku wystąpienia rozbieżności w ocenie jakości towaru, wiążący jest wynik badania dokonanego przez niezależne laboratorium, o którym mowa w punkcie 4.3.b). Koszty tego badania ponosi strona, dla której wynik badania jest niekorzystny.
- e) Sprzedający odmówi rozpatrzenia reklamacji każdego towaru nie zakupionego bezpośrednio u Sprzedającego.
- f) Zgłoszenie reklamacji, nie zwalnia Kupującego z obowiązku terminowej zapłaty z tytułu należności Umowy Sprzedaży lub zamówienia.
- g) Od decyzji negatywnych Kupujący może się odwoływać zgodnie z obowiązującymi przepisami.

3.3.4.4. Roszczenia z tytułu gwarancji

Sprzedający w ramach gwarancji udziela Kupującemu możliwość występowania z roszczeniami o:

- a) wymianę wadliwego towaru na towar wolny od wad w odniesieniu do wad jakościowych
- b) uzupełnienie ilości towaru w przypadku braków ilościowych wyłącznie w odniesieniu do partii towaru, co do której Sprzedający uznał reklamację za zasadną
- c) zwrot całości lub części ceny sprzedaży za ilość towaru, co do której Sprzedający uznał reklamację za zasadną

4

Normy

4.1. Normy – cementowe

- **PN-EN 197-1:2012** „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”,
- **PN-EN 197-2:2014** „Cement. Część 2: Ocena zgodności”,
- **PN-B-19707:2013** „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”,
- **PN-EN 14216:2005** „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”.
- **PN-EN 15743:2010** „Cement supersiarczanowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności”
- **PN-EN 14647:2007** „Cement glinowo-wapniowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności”

4.1.1. Norma PN-EN 197-1: 2012 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”

Norma PN-EN 197-1:2012 definiuje i podaje wymagania dotyczące 27 rodzajów cementów powszechnego użytku oraz ich składników. Definicja każdego cementu obejmuje proporcje, w jakich poszczególne składniki są zestawiane w celu wytworzenia danych cementów każdy z cementów może być produkowany w trzech klasach wytrzymałości normowej. Norma dodatkowo PN-EN 197-1:2012 podaje kryteria zgodności i związane z nimi zasady oraz określa niezbędne wymagania dotyczące trwałości.

4.1.1.1. Składniki cementu

Cement zgodnie z normą PN-EN 197-1:2012 oznaczany jest **CEM** – jest to spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, który po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą.

Cement zgodny z PN-EN 197-1:2012 odpowiednio odmierzony i zmieszany z kruszywem i wodą powinien tworzyć beton lub zaprawę, które wystarczająco długo zachowują urabialność i po określonym czasie powinny uzyskać ustalony poziom wytrzymałości, jak również powinny zachować długotrwałą stałość objętości.

W skład cementu powszechnego użytku wchodzi:

- **składniki główne** – specjalnie dobrane materiały nieorganiczne, których udział przekracza 5,0% masy w stosunku do sumy masy wszystkich składników głównych i składników drugorzędnych,
- **składniki drugorzędne** – specjalnie dobrane materiały nieorganiczne, których udział w stosunku do sumy masy wszystkich składników głównych i składników drugorzędnych nie przekracza 5,0% masy. Składniki drugorzędne powinny być odpowiednio przygotowane, czyli wyselekcjonowane, ujednorodnione, wysuszone i rozdrobnione w zależności od postaci, w jakiej są uzyskiwane lub dostarczane. Nie powinny one zwiększać wodozjadności cementu, osłabiać w żaden sposób trwałości betonu lub zaprawy, lub obniżać odporności na korozję zbrojenia,
- **siarczan wapnia** – dodawany do innych składników podczas wytwarzania cementu. Pełni rolę regulatora czasu wiązania cementu. Siarczan wapnia może występować jako gips (dwuwodny siarczan wapnia, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), półhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) lub anhydryt (bezwodny siarczan wapnia, CaSO_4), bądź jako ich mieszanina. Gips i anhydryt występują jako materiały naturalne. Siarczan wapnia jest również dostępny jako produkt uboczny pewnych procesów przemysłowych, np. jako produkt odsiarczania spalin w energetyce (reagips),
- **dotatki** – stosowane w celu poprawy wytwarzania bądź właściwości cementu. Całkowita ilość dodatków nie powinna przekraczać 1,0% masy cementu (z wyjątkiem pigmentów). Ilość dodatków organicznych w przeliczeniu na stan suchy nie może przekraczać 0,2% masy cementu. Większe ilości dodatków mogą być dodawane do składu cementów pod warunkiem, że maksymalna ilość, w %, będzie deklarowana na opakowaniu i/lub dokumencie dostawy.

Dotatki takie nie powinny powodować korozji zbrojenia lub pogarszać właściwości cementu, betonu oraz zaprawy. Gdy do cementu dodaje się domieszki chemiczne stosowane do betonu, zaprawy lub zaczynów zgodne z serią norm PN-EN 934 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu”, na workach lub w dokumencie dostawy należy podać oznaczenie znormalizowane domieszki.

SKŁADNIKI GŁÓWNE

Klinkier cementu portlandzkiego (K) – materiał hydrauliczny składający się z krzemianów wapnia ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ i $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) oraz glinianów ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) i glinianożelazianów wapnia ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Wytwarzany jest przez spiekanie surowców zawierających: tlenek wapnia (CaO), dwutlenek krzemu (SiO_2), tlenek glinu (Al_2O_3), tlenek żelaza (Fe_2O_3) i niewielkie ilości innych materiałów.

Wymagania:

- zawartość krzemianów wapnia ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ i $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) i pozostałości zawierającej glin i żelazo związane w fazach klinkierowych $\geq 67\%$ masy,
- stosunek masy $\text{CaO}/\text{SiO}_2 \geq 2,0$,
- zawartość tlenku magnezu $\text{MgO} \leq 5,0\%$ masy.

Granulowany żużel wielkopieczowy (S) – jest wytwarzany przez gwałtowne chłodzenie płynnego żużla o odpowiednim składzie, otrzymanego przy wytopianiu rudy żelaza w wielkim piecu. Jest to materiał, który wykazuje właściwości hydrauliczne po odpowiedniej aktywacji.

Wymagania:

- zawartość fazy szklistej $\geq 67\%$ masy,
- zawartość $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 \geq 67\%$ masy,
- stosunek masy $(\text{CaO} + \text{MgO})/\text{SiO}_2 > 1,0$.

Pucolana (P, Q) – materiały pochodzenia naturalnego lub przemysłowego, krzemianowe lub glino-krzemianowe lub stanowiące zestawienie obydwu. Pucolany po zmieszaniu z wodą same nie twardnieją, lecz drobno zmielone i w obecności wody reagują w normalnej temperaturze otoczenia z rozpuszczonym wodorotlenkiem wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$, tworząc związki krzemianów wapnia i glinianów wapnia o rosnącej wytrzymałości. Związki te są podobne do związków, które tworzą się podczas twardnienia materiałów hydraulicznych. Pucolany zawierają reaktywny dwutlenek krzemu (SiO_2) i tlenek glinu (Al_2O_3). Pozostałość zawiera tlenek żelaza (Fe_2O_3) oraz inne tlenki.

Pucolany mogą być dwojakiego rodzaju:

- pucolana naturalna (**P**) – materiał pochodzenia wulkanicznego lub skały osadowe o odpowiednim składzie chemiczno-mineralogicznym,

- pucolana naturalna wypalana (**Q**) – materiały pochodzenia wulkanicznego, gliny, łupki lub skały osadowe, aktywowane przez obróbkę termiczną.

Wymagania:

- zawartość reaktywnego $\text{SiO}_2 \geq 25,0\%$ masy.

Popioły lotne (V, W)

Popiół lotny to drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszkliwionych ziaren, otrzymywany jest przez elektrostatyczne lub mechaniczne osadzanie pylistych cząstek spalin z palenisk opalanych pyłem węglowym, przy udziale lub bez udziału materiałów współspalanych. Popiół otrzymywany innymi metodami nie powinien być stosowany w cemencie zgodnym z normą PN-EN 197-1:2012.

Norma wyróżnia dwa rodzaje popiołów lotnych:

- **popiół lotny krzemionkowy (V)** – charakteryzuje się właściwościami pucolanowymi, składa się z reaktywnego dwutlenku krzemu (SiO_2) i tlenku glinu (Al_2O_3). Pozostałość zawiera tlenek żelaza (Fe_2O_3) i inne związki.

Wymagania dla popiołu lotnego krzemionkowego:

- udział reaktywnego $\text{CaO} < 10,0\%$ masy,
- zawartość wolnego $\text{CaO} \leq 1,0\%$ masy (jeżeli zawartość wolnego CaO mieści się w przedziale 1,0–2,5% masy, należy wtedy wykonać badania stałości objętości mieszaniny: 30% masy popiołu i 70% masy cementu CEM I; zmiana objętości nie może przekroczyć 10 mm),
- zawartość reaktywnego $\text{SiO}_2 \geq 25\%$ masy,
- zawartość straty prażenia (ilość niespalonego węgla), oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2:2013 (przy czasie prażenia wynoszącym 1h), powinna się mieścić w jednym z następujących przedziałów:
 - a) od 0 do 5,0% masy,
 - b) od 2 do 7,0% masy,
 - c) od 4 do 9,0% masy.

Górną granicę straty prażenia popiołu lotnego stosowanego jako składnik główny do produkcji cementu należy podać na opakowaniu i/lub w dokumencie dostawy.

- **popiół lotny wapienny (W)** – charakteryzuje się właściwościami hydraulicznymi i/lub pucolanowymi, Składa się z reaktywnego tlenku

wapnia (CaO), reaktywnego dwutlenku krzemu (SiO₂) i tlenku glinu (Al₂O₃). Pozostałość zawiera tlenek żelaza (Fe₂O₃) i inne związki.

Wymagania dla popiołu lotnego wapiennego:

- udział reaktywnego CaO $\geq 10,0\%$ masy,
- zawartość reaktywnego SiO₂ $\geq 25\%$ masy (jeżeli udział reaktywnego CaO mieści się w przedziale 10 – 15% masy),
- jeżeli zawartość reaktywnego CaO $> 15\%$ masy, to zaczyn popiołowy powinien wykazywać wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $\geq 10,0$ MPa,
- stałość objętości ≤ 10 mm (mieszanina 30% masy zmielonego popiołu i 70% masy cementu CEM I zgodnego z PN-EN 197-1:2012).
- zawartość straty prażenia (ilość niespalonego węgla), oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2:2013 (lecz przy czasie prażenia wynoszącym 1h), powinna się mieścić w jednym z następujących przedziałów:
 - a) od 0 do 5,0% masy,
 - b) od 2 do 7,0% masy,
 - c) od 4 do 9,0% masy.

Górną granicę straty prażenia popiołu lotnego stosowanego jako składnik główny do produkcji cementu należy podać na opakowaniu i/lub w dokumencie dostawy.

Łupek palony (T) – wytwarzany jest w specjalnym piecu w temperaturze około 800°C. Ze względu na skład materiału naturalnego i proces wytwarzania łupek palony zawiera fazy klinkierowe, głównie krzemian dwuwapniowy oraz glinian jednowapniowy. Zawiera również, oprócz niewielkich ilości wolnego tlenku wapnia i siarczanu wapnia, większe ilości tlenków o reaktywności pucolanowej, szczególnie dwutlenek krzemu. W konsekwencji, w drobno zmielonym stanie, łupek palony wykazuje wyraźne właściwości hydrauliczne, podobnie jak cement portlandzki oraz dodatkowo, właściwości pucolanowe.

Wymagania:

- zaprawa wykonana ze zmielonego łupka palonego powinna wykazywać wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach $\geq 25,0$ MPa,
- stałość objętości ≤ 10 mm (mieszanina 30% masy zmielonego łupka palonego i 70% masy cementu CEM I zgodnego z PN-EN 197-1:2012).

Wapień (kamień wapienny) (L, LL)

Wapień powinien spełniać następujące wymagania:

- zawartość węgla wapnia $\text{CaCO}_3 \geq 75\%$ masy,
- zawartość gliny (iłów), oznaczona metodą adsorpcji błękitu metylowego zgodnie z normą PN-EN 933-9:2013, nie powinna przekraczać 1,2g/100g wapienia,
- stopień rozdrobnienia wapienia do badań powinien wynosić ok. $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ wg Blaine'a,
- całkowita zawartość węgla organicznego (TOC) powinna spełniać jedno z kryteriów:
 - a) LL: nie powinna przekraczać 0,20% masy,
 - b) L: nie powinna przekraczać 0,50% masy.

Pył krzemionkowy (D) – składa się z bardzo drobnych kulistych cząstek o zawartości krzemionki bezpostaciowej co najmniej w 85%. Powstaje podczas redukcji kwarcu wysokiej czystości w obecności węgla w elektrycznych piecach łukowych przy produkcji krzemu lub stopów żelazokrzemu.

Wymagania:

- zawartość krzemu pierwiastkowego $\text{Si} \leq 0,4\%$ masy,
- strata prażenia przy czasie prażenia 1 godziny, nie powinna przekroczyć 4,0% masy,
- powierzchnia właściwa (BET) powinna wynosić co najmniej $15 \text{ m}^2/\text{g}$.

4.1.1.2. Rodzaje i skład cementów powszechnego użytku

Norma PN-EN 197-1:2012 wyróżnia następujące rodzaje cementów:

- CEM I** – cement portlandzki
- CEM II** – cement portlandzki wieloskładnikowy
- CEM III** – cement hutniczy
- CEM IV** – cement pucolanowy
- CEM V** – cement wieloskładnikowy

Z uwagi na zawartość składników głównych, innych niż klinkier portlandzki, w składzie cementu, wyróżnia się trzy odmiany: A, B i C (tab. 4.1).

Tab. 4.1. Rodzaje cementów powszechnego

Nazwa cementu	Oznaczenie cementu wg PN-EN 197-1:2012	Maksymalna zawartość nieklinkierowych składników głównych [% wag.]
Cement portlandzki	CEM I	—
Cement portlandzki wieloskładnikowy	CEM II/A CEM II/B	20 35
Cement hutniczy	CEM III/A CEM III/B CEM III/C	65 80 95
Cement pucolanowy	CEM IV/A CEM IV/B	35 55
Cement wieloskładnikowy	CEM V/A CEM V/B	60 80

Składnikami głównymi cementu mogą być, obok klinkieru cementu portlandzkiego (oznaczonego w normie symbolem K), składniki wymienione w tab. 4.2.

Tab. 4.2. Składniki główne wchodzące w skład cementu

Nazwa składnika	Oznaczenie składnika
Granulowany żużel wielkopiecowy	S
Popiół lotny krzemionkowy	V
Popiół lotny wapienny	W
Pucolana naturalna	P
Pucolana przemysłowa	Q
Łupek palony	T
Wapień	L, LL
Pył krzemionkowy	D

Skład poszczególnych rodzajów cementu, ich nazwy oraz skróty pokazano w tab. 4.3.

4.1.1.3. Właściwości cementu – wymagania mechaniczne i fizyczne

Wymagania mechaniczne

Wytrzymałość normowa

Wytrzymałość normowa cementu jest to wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, oznaczona zgodnie z PN-EN 196-1:2006, powinna spełniać wymagania zgodnie z tab. 4.4.

Norma PN-EN 197-1:2012 rozróżnia trzy klasy wytrzymałości normowej (wytrzymałość na ściskanie wyrażona w N/mm²; 1 MPa = 1N/mm²):

- **klasa 32,5**
- **klasa 42,5**
- **klasa 52,5.**

Wytrzymałość wczesna

Wytrzymałość wczesna cementu jest to wytrzymałość na ściskanie po 2 lub po 7 dniach, oznaczona zgodnie z PN-EN 196-1:2006; powinna spełniać wymagania zgodnie z tab. 4.4.

Zgodnie z normą PN-EN 197-1:2012 dla każdej klasy wytrzymałości normowej rozróżnia się trzy klasy wytrzymałości wczesnej:

– klasa o niskiej wytrzymałości wczesnej (**oznaczona symbolem L**):

- **32,5L**
- **42,5L**
- **52,5L**

Klasa L odnosi się tylko do cementów hutniczych CEM III.

– klasa normalnej wytrzymałości wczesnej (**oznaczona symbolem N**):

- **32,5N**
- **42,5N**
- **52,5N**

– klasa wysokiej wytrzymałości wczesnej (**oznaczona symbolem R**):

- **32,5R**
- **42,5R**
- **52,5R**

Tab. 4.3. Rodzaje i skład cementów powszechnego użytku

Główne rodzaje		Nazwa	Skład (udział w procentach masy) ^{a)}											Składniki drugorzędne		
			Składniki główne												wapień	
			klinkier	żużel wielkopiecowy	pył krzemionkowy	pucolana		popiół lotny		łupek palony	L	LL				
naturalna	naturalna wypalana	krzemionkowy				wapienny										
			K	S	D ^{b)}	P	Q	V	W	T						
CEM I	cement portlandzki	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	cement portlandzki	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	żużłowy	CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
CEM II	cement portlandzki krzemionkowy	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	cement portlandzki	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	pucolany	CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5		
	nowy	CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5		
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5		
	CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	0-5			
	CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	0-5			

CEM II	cement portlandzki łąpkowy	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
		CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	0-5
	cement portlandzki wieloskładnikowy ^{c)}	CEM II/A-M	80-88	<----- 12-20 ----->									0-5
		CEM II/B-M	65-79	<----- 21-35 ----->									0-5
CEM III	cement hutniczy	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	cement pucalano- wy ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	<----- 11-35 ----->							0-5	
		CEM IV/B	45-64	—	<----- 36-55 ----->							0-5	
CEM V	cement wieloskładnikowy ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	<----- 18-30 ----->				—	—	—	—	0-5
		CEM V/B	20-38	31-49	<----- 31-49 ----->				—	—	—	—	0-5

a) Wartości w tabeli odnoszą się do sumy składników głównych i składników drugorzędnych.

b) Udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 10%.

c) W cementach portlandzkich wieloskładnikowych CEM II/A-M i CEM II/B-M, w cementach pucalano-
wych CEM IV/A i CEM IV/B i w cementach wieloskładnikowych CEM V/A i CEM V/B główne składniki
inne niż klinkier należy deklarować poprzez oznaczenie cementu

Wymagania fizyczne

Początek czasu wiązania

Cement wg normy PN-EN 197-1:2012 powinien charakteryzować się określonym początkiem czasu wiązania. Wymagany normą minimalny czas początku wiązania, dla poszczególnych klas wytrzymałościowych podano w tab. 4.4.

Stalność objętości

Wszystkie cementy powszechnego użytku zgodne z normą PN-EN 197-1:2012 muszą wykazywać stalność objętości (rozszerzalność). Warunek ten jest spełniony, jeżeli oznaczone metodą Le Chateliera zmiany objętości są mniejsze niż 10 mm (tab. 4.4).

Tab. 4.4. Właściwości mechaniczne i fizyczne cementów

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]			Początek czasu wiązania	Stalność objętości (rozszerzalność)	
	Wytrzymałość wczesna		Wytrzymałość normowa			
	po 2 dniach	po 7 dniach	po 28 dniach	[min]	[mm]	
32,5 L ^{a)}	—	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 N	—	≥ 16,0				
32,5 R	≥ 10,0	—				
42,5 L ^{a)}	—	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 N	≥ 10,0	—				
42,5 R	≥ 20,0	—				
52,5 L ^{a)}	≥ 10,0	—	≥ 52,5	—	≥ 45	
52,5 N	≥ 20,0	—				
52,5 R	≥ 30,0	—				

^{a)} klasa wytrzymałości definiowana tylko dla cementów hutniczych CEM III

4.1.1.4. Właściwości cementu – wymagania chemiczne

Wymagania normy PN-EN 197-1:2012 w zakresie właściwości chemicznych cementów, w zależności od rodzaju i klasy wytrzymałości, podano w tab. 4.5.

Tab. 4.5. Wymagania chemiczne dla cementów powszechnego użytku

Właściwość	Metoda badania	Rodzaj cementu	Klasa wytrzymałości	Wymagania ^{a)}
Strata prażenia	PN-EN 196-2	CEM I CEM III	wszystkie	≤ 5,0%
Pozostałość nierozpuszczalna	PN-EN 196-2 ^{b)}	CEM I CEM III	wszystkie	≤ 5,0%
Zawartość siarczanów (jako SO ₃)	PN-EN 196-2	CEM I CEM II ^{c)} CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0%
		CEM III ^{d)}	wszystkie	
Zawartość chlorków	EN 196-2	wszystkie ^{e)}	wszystkie	≤ 0,10% ^{f)}
Pucolanowość	EN 196-5	CEM IV	wszystkie	wynik pozytywny

^{a)} Wymagania podano jako procent masy gotowego cementu.
^{b)} Oznaczanie pozostałości nierozpuszczalnej w kwasie solnym i węglanie sodu.
^{c)} Cement rodzaju CEM II/B-T i CEM II/B-M z udziałem T > 20% może zawierać do 4,5% siarczanów (jako SO₃) dla wszystkich klas wytrzymałości.
^{d)} Cement rodzaju CEM III/C może zawierać do 4,5% siarczanów.
^{e)} Cement rodzaju CEM III może zawierać więcej niż 0,10% chlorków, lecz wówczas maksymalną zawartość chlorków należy podać na opakowaniu i/lub w dokumencie dostawy.
^{f)} Do zastosowań do betonu sprężonego mogą być produkowane cementy, w których wartość wymagania dotycząca zawartości chlorków jest niższa. Wówczas wartość 0,10% należy zastąpić tą niższą wartością i podać ją w dokumencie dostawy.

4.1.1.5. Właściwości specjalne cementów w normie PN-EN 197-1: 2012

Cementy odporne na siarczany SR

Norma PN-EN 197-1:2012 definiuje siedem wyrobów z grupy cementów powszechnego użytku odpornych na siarczany (oznaczenie SR). Zostały one pogrupowane w trzy główne rodzaje w następujący sposób:

- a) Cement portlandzki odporny na siarczany:
 - CEM I-SR 0 – Cement portlandzki odporny na siarczany (o zawartości C_3A w klinkierze = 0%),
 - CEM I-SR 3 – Cement portlandzki odporny na siarczany (o zawartości C_3A w klinkierze $\leq 3\%$),
 - CEM I-SR 5 – Cement portlandzki odporny na siarczany (o zawartości C_3A w klinkierze $\leq 5\%$),
- b) Cement hutniczy odporny na siarczany:
 - CEM III/B-SR – Cement hutniczy odporny na siarczany (brak wymagań odnośnie zawartości C_3A w klinkierze),
 - CEM III/C-SR – Cement hutniczy odporny na siarczany (brak wymagań odnośnie zawartości C_3A w klinkierze),
- c) Cement pucolanowy odporny na siarczany:
 - CEM IV/A-SR – Cement pucolanowy odporny na siarczany (o zawartości C_3A w klinkierze $\leq 9\%$),
 - CEM IV/B-SR – Cement pucolanowy odporny na siarczany (o zawartości C_3A w klinkierze $\leq 9\%$).

Skład każdego z siedmiu wyrobów z grupy cementów powszechnego użytku odpornych na siarczany podano w tablicy 4.6. W celu rozróżnienia cementów odpornych na siarczany norma PN-EN 197-1:2012 wprowadza dodatkowe oznaczenia: SR 0, SR 3, SR 5 dla cementów CEM I i tylko „SR” dla cementów CEM III i CEM IV.

Właściwości chemiczne cementów odpornych na siarczany SR

Wymagania w zakresie właściwości chemicznych cementów odpornych na siarczany SR wg normy PN-EN 197-1:2012 podano w tab. 4.7.

Tab. 4.6. Rodzaje i skład cementów powszechnego użytku odpornych na siarczany SR

Główne rodzaje	Nazwa	Skład (udział w procentach masy ^{a)})					Składniki drugorzędne
		klinkier	żużel wielkopiecowy	pucolana naturalna	popiół lotny krzemionkowy		
					S	P	
CEM I	Cement portlandzki odporny na siarczany	CEM I-SR 0	—	—	—	—	0-5
		CEM I-SR 3	95-100	—	—	—	
		CEM I-SR 5	—	—	—	—	
CEM III	Cement hutniczy odporny na siarczany	CEM III/B-SR	20-34	66-80	—	—	0-5
		CEM III/C-SR	5-19	81-95	—	—	
CEM IV	Cement pucolanowy odporny na siarczany ^{b)}	CEM IV/A-SR	65-79	—	<-----21-35----->	—	0-5
		CEM IV/B-SR	45-64	—	<-----36-55----->	—	

a) Wartości w tablicy odnoszą się do sumy składników głównych i drugorzędnych.

b) W cementach pucolanowych odpornych na siarczany CEM IV/A-SR i CEM IV/B-SR – główne składniki inne niż klinkier należy deklorować poprzez oznaczenie cementu.

Tab. 4.7. Wymagania chemiczne dla cementów odpornych na siarczany SR

Właściwość	Metoda badania	Rodzaj cementu	Klasa wytrzymałości	Wymagania a)
Zawartość siarczanów (jako SO ₃)	EN 196-2	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 ^{b)} CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,0%
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 3,5%
C ₃ A w klinkierze ^{c)}	EN 196-2 ^{d)}	CEM I-SR 0	wszystkie	=0%
		CEM I-SR 3		≤ 3,0%
		CEM I-SR 5		≤ 5,0%
— ^{e)}	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR		≤ 9,0%	
Pucolanowość	EN 196-5	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	wszystkie	wynik pozytywny po 8 dniach

a) Wymagania podano jako procent masy gotowego cementu.
 b) Dla szczególnych zastosowań cementy CEM I-SR 5 mogą być produkowane zgodnie z wyższą zawartością siarczanów. W takich przypadkach wartość liczbowa tego wyższego wymagania dotyczącego zawartości siarczanów należy zadeklarować w dokumencie dostawy.
 c) Metoda badania dotycząca oznaczania zawartości C₃A w klinkierze z analizy gotowego cementu jest w trakcie opracowywania w CEN/TC 51.
 d) W szczególnym przypadku cementów CEM I, dopuszcza się obliczanie zawartości C₃A w klinkierze z analizy chemicznej cementu. Zawartość C₃A należy obliczyć z równania: C₃A = 2,65 A – 1,69 F.
 e) Do czasu zakończenia prac nad metodą badania, zawartości C₃A w klinkierze należy oznaczać na podstawie analizy klinkieru, w ramach wykonywanej przez producenta zakładowej kontroli produkcji (PN-EN 197-2:2014).

Cementy o niskim cieple hydratacji LH

Norma PN-EN 197-1:2012 określa dodatkowo wymagania dla cementu o niskim cieple hydratacji (oznaczenie LH), które podano w tab. 4.8.

Tab. 4.8. Wymagania dla cementów o niskim cieple hydratacji LH

Rodzaj cementu LH	Wymagania
CEM I CEM II CEM III CEM IV CEM V	Ciepło hydratacji po 41 godzinach ≤ 270 J/g (oznaczone metodą semiadiabatyczną wg PN-EN 196-9:2010)
	Ciepło hydratacji po 7 dniach ≤ 270 J/g (oznaczone metodą ciepła rozpuszczania wg PN-EN 196-8:2010)

4.1.1.6. Wymagania dotyczące trwałości

W wielu zastosowaniach, szczególnie w surowych warunkach środowiskowych, wybór cementu ma wpływ na trwałość betonu, zaprawy i zaczynów (tj. mrozoodporność, odporność chemiczną i ochronę zbrojenia przed korozją).

Wybór cementu zgodnego z PN-EN 197-1:2012, w szczególności w odniesieniu do rodzaju i klasy wytrzymałości dla różnych zastosowań i klas ekspozycji (rozdział 4.3), powinien uwzględniać odpowiednie normy i/lub przepisy dotyczące betonu lub zaprawy obowiązujące w miejscu stosowania.

Cementy powszechnego użytku o niskiej wytrzymałości wczesnej mogą wymagać dodatkowych środków ostrożności w ich stosowaniu, tj. przedłużenia czasu rozformowywania i ochrony podczas niekorzystnych warunków pogodowych. We wszystkich pozostałych przypadkach ich właściwości i przydatność do stosowania będzie podobna do innych cementów powszechnego użytku, tego samego rodzaju i klasy wytrzymałości normowej.

4.1.1.7. Oznaczenia cementów

Cementy powszechnego użytku należy oznaczać przez, co najmniej, nazwę rodzaju cementu (CEM I ÷ V) oraz liczb **32,5**, **42,5** lub **52,5** wskazujących klasę wytrzymałości. W celu wskazania klasy wytrzymałości wczesnej należy dodać odpowiednio literę **N**, **R** lub **L**. Cementy odporne na siarczany należy dodatkowo identyfikować symbolem **SR**. Cementy, które nie są objęte normą PN-EN 197-1:2012 w odniesieniu do ich właściwości odporności na siarczany lecz, zgodnie z normami krajowymi, są uznane za cementy odporne na siarczany, nie należy identyfikować symbolem SR.

PRZYKŁAD 1

Cement portlandzki, o klasie wytrzymałości 42,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej jest identyfikowany przez:

cement portlandzki EN 197-1 – CEM I 42,5 R

PRZYKŁAD 2

Cement portlandzki wapienny, zawierający 6–20% masy wapienia, o zawartości TOC nieprzekraczającej 0,50% masy (L), o klasie wytrzymałości 32,5 i normalnej wytrzymałości wczesnej jest identyfikowany przez:

cement portlandzki wapienny EN 197-1 – CEM II/A-L 32,5 N

PRZYKŁAD 3

Cement portlandzki wieloskładnikowy zawierający granulowany żużel wielkopiecowy (S), popiół lotny krzemionkowy (V) i wapień (L) w łącznej ilości 12–20% masy, o klasie wytrzymałości 32,5 i o wysokiej wytrzymałości wczesnej jest identyfikowany przez:

cement portlandzki wieloskładnikowy EN 197-1 – CEM II/A-M (S-V-L) 32,5 R

PRZYKŁAD 4

Cement wieloskładnikowy zawierający 18–30% masy granulowanego żużla wielkopiecowego (S) i 18–30% masy popiołu lotnego krzemionkowego (V), o klasie wytrzymałości 32,5 i normalnej wytrzymałości wczesnej jest identyfikowany jako:

cement wieloskładnikowy EN 197-1 – CEM V/A (S-V) 32,5 N

PRZYKŁAD 5

Cement hutniczy zawierający 66–80% masy granulowanego żużla wielkopiecowego oraz 20–34% klinkieru, o klasie wytrzymałościowej 32,5, normalnym przyroście wytrzymałości wczesnej i niskim ciepłe hydratacji (LH) i odporny na siarczany jest identyfikowany jako:

cement hutniczy EN 197-1 – CEM III/B 32,5N – LH/SR

PRZYKŁAD 6

Cement portlandzki o klasie wytrzymałości 42,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej, odporny na siarczany i przy zawartości C_3A w klinkierze $\leq 3\%$, jest oznaczany przez:

cement portlandzki EN 197-1 – CEM I 42,5 R – SR 3

PRZYKŁAD 7

Cement pucolanowy zawierający pomiędzy 21–35% masy pucolanu naturalnej (P), o klasie wytrzymałości 32,5 i normalnej wytrzymałości wczesnej, odporny na siarczany i przy zawartości C_3A w klinkierze $\leq 9\%$, spełniający wymagania pucolanowości, jest oznaczany przez:

cement pucolanowy EN 197-1 – CEM IV/A (P) 32,5 N – SR

PRZYKŁAD 8

Cement hutniczy zawierający granulowany żużel wielkopiecowy S w ilości pomiędzy 81–95%, o klasie wytrzymałości 32,5 i niskiej wytrzymałości wczesnej, o niskim cieple hydratacji i odporny na siarczany:

cement hutniczy EN 197-1 – CEM III/C 32,5L – LH/SR

4.1.2. Krajowa norma PN-B-19707:2013

„Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”

Przedmiotem normy PN-B-19707: 2013 są cementy specjalne, których szczególnymi cechami użytkowymi są:

- odporność na siarczany,
- niska zawartość alkaliów.

4.1.2.1. Klasyfikacja cementów ze względu na właściwości specjalne

Cement w zależności od właściwości specjalnych, co do których wymagania zawarte są w normie PN-B-19707:2013, dzieli się na:

- cement odporny na siarczany – **HSR**,
- cement niskoalkaliczny – **NA**.

Cement odporny na siarczany – HSR

Cement odporny na siarczany HSR jest to cement powszechnego użytku, spełniający dodatkowo wymagania dotyczące odporności na siarczany, umożliwiające projektowanie i wykonywanie konstrukcji trwałych w warunkach agresji siarczanowej, nie uwzględniony w grupie cementów odpornych na siarczany SR objętych normą PN-EN 197-1:2012. Cement odporny na siarczany HSR powinien spełniać wymagania normy PN-EN 197-1:2012 oraz dodatkowe wymagania podane w tab.4.9.

Tab. 4.9. Skład i wymagania cementu specjalnego odpornego na siarczany HSR

Rodzaj cementu HSR	Skład cementu specjalnego	Odporność na siarczany	Klinkier
	Wymagania dodatkowe ^{a)}	Wymagania	
CEM II/A-V CEM II/A-S CEM II/A-M (S-V) CEM II/B-S	—	Wartość ekspansji w roztworze Na ₂ SO ₄ po 52 tygodniach ≤ 0,5% ^{c)}	Zawartość glinianu trójwapniowego ^{d)} C ₃ A ≤ 5%
CEM II/B-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{b)} V ≥ 25%		—
CEM II/B-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{b)} V ≥ 20%		—
CEM III/A	udział granulowanego żużła wielkopieczowego S ≤ 49%		Zawartość glinianu trójwapniowego ^{d)} C ₃ A ≤ 9%
CEM III/A	udział granulowanego żużła wielkopieczowego S ≥ 50%		—
CEM V/A (S-V) CEM V/B (S-V)	—		—

^{a)} Wymagania podstawowe dotyczące składu wg PN-EN 197-1 (tab. 4.3)
^{b)} Popiół lotny krzemionkowy (V) powinien spełniać wymagania zawarte w PN-EN 197-1:2012, dodatkowo strata prażenia nie może przekraczać 5,0% masy, oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2:2013, lecz przy czasie prażenia wynoszącym 1 h.
^{c)} Badanie sprawdzające.
^{d)} Zawartość glinianu trójwapniowego C₃A wyliczona z równania:
 $C_3A = 2,65 \times Al_2O_3 - 1,69 \times Fe_2O_3$, na podstawie zawartości Al₂O₃ i Fe₂O₃ oznaczanych wg PN-EN 196-2:2013.

Cement niskoalkaliczny – NA

Cement niskoalkaliczny NA jest to cement powszechnego użytku, spełniający dodatkowo wymagania dotyczące zawartości alkaliów, umożliwiające projektowanie i wykonywanie konstrukcji odpornych na uszkodzenia w wyniku korozyjnego oddziaływania alkaliów aktywnych w betonie. Cement niskoalkaliczny NA powinien spełniać wymagania normy PN-EN 197-1:2012 oraz dodatkowe wymagania podane w tab. 4.10.

Tab. 4.10. Skład i wymagania dla cementu specjalnego niskoalkalicznego NA

Rodzaj cementu NA	Skład cementu specjalnego	Całkowita zawartość alkaliów wyrażona jako $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ ^{b)}
	Wymagania dodatkowe ^{a)}	Wymagania
CEM I CEM II/A-LL	—	≤ 0,60%
CEM II/A-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 14%	≤ 1,20%
CEM II/A-S	udział granulowanego żużla wielkopiecowego S ≥ 14%	≤ 0,70%
CEM II/A-M (S-V)	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} i granulowanego żużla wielkopiecowego (S+V) ≥ 14%	≤ 1,20%
CEM II/B-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 25%	≤ 1,50%
CEM II/B-S	—	≤ 0,80%
CEM II/B-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 20%	≤ 1,30%
CEM III/A	udział granulowanego żużla wielkopiecowego S ≤ 49%	≤ 0,95%
	udział granulowanego żużla wielkopiecowego S ≥ 50%	≤ 1,10%
CEM III/B CEM III/C	—	≤ 2,00%
CEM IV/A (V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 25%	≤ 1,50%
CEM IV/B (V)	—	≤ 2,00%
CEM V/A (S-V)	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} i granulowanego żużla wielkopiecowego (S+V) ≤ 49%	≤ 1,60%
	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} i granulowanego żużla wielkopiecowego (S+V) ≥ 50%	≤ 2,00%
CEM V/B (S-V)	—	≤ 2,00%

a) Wymagania podstawowe dotyczące składu wg PN-EN 197-1:2012 (tab. 4.3)
b) Zawartość $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ określana wg PN-EN 196-2:2013.
c) Popiół lotny krzemionkowy (V) powinien spełniać wymagania zawarte PN-EN 197-1:2012, dodatkowo strata prażenia nie może przekraczać 5,0% masy, oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2:2013, lecz przy czasie prażenia wynoszącym 1 h.

4.1.2.2. Oznaczenia cementów

Oznaczenie cementu spełniającego wymagania normy PN-B-19707:2013 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności” powinno zawierać co najmniej nazwę i symbol cementu wg PN-EN 197-1:2012, numer normy, symbol rodzaju, liczby wskazujące klasę wytrzymałości i literowe wskazanie wytrzymałości wczesnej: N, R lub L oraz literowe oznaczenie właściwości specjalnych (HSR, NA).

PRZYKŁAD 1

Oznaczenie cementu portlandzkiego popiołowego, zawierającego 25–35% masy popiołu lotnego krzemionkowego (V), o klasie wytrzymałości 32,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej (R) oraz odpornego na siarczany (HSR):

cement portlandzki popiołowy PN-B-19707 – CEM II/B-V 32,5 R – HSR

PRZYKŁAD 2

Oznaczenie cementu hutniczego, zawierającego 50–65% masy granulowanego żużla wielkopiecowego (S), o klasie wytrzymałości 32,5 i normalnej wytrzymałości wczesnej (N), o niskim cieple hydratacji (LH), odpornego na siarczany (HSR) i niskoalkalicznego (NA):

cement hutniczy PN-B-19707 – CEM III/A 32,5 N – LH/HSR/NA

PRZYKŁAD 3

Oznaczenie cementu portlandzkiego wieloskładnikowego (S-V), zawierającego co najmniej 20% masy popiołu lotnego krzemionkowego (V) i nie więcej niż 16% masy granulowanego żużla wielkopiecowego (S), o klasie wytrzymałości 32,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej (R), odpornego na siarczany (HSR) i niskoalkalicznego (NA):

**cement portlandzki wieloskładnikowy
PN-B-19707 – CEM II/B-M (S-V) 32,5 R – HSR/NA**

PRZYKŁAD 4

Oznaczenie cementu hutniczego, zawierającego 66–80% masy granulowanego żużla wielkopiecowego (S), o klasie wytrzymałości 32,5 i niskiej wytrzymałości wczesnej (L), o niskim cieple hydratacji (LH), odpornego na siarczany (SR) i niskoalkalicznego (NA):

cement hutniczy PN-B-19707 – CEM III/B 32,5 L – LH/SR/NA

PRZYKŁAD 5

Oznaczenie cementu portlandzkiego, wyprodukowanego z klinkieru

o zawartości glinianu trójwapniowego C_3A nie przekraczającej 3% masy, o klasie wytrzymałości 42,5 i wysokiej wytrzymałości wczesnej (R), odpornego na siarczany (SR) i niskoalkalicznego (NA):

cement portlandzki PN-B-19707 – CEM I 42,5 R – SR 3/NA

4.1.3. Norma PN-EN 14216:2005 „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”

4.1.3.1. Cement specjalny o bardzo niskim cieple hydratacji VLH

Cement o bardzo niskim cieple hydratacji zgodnie z normą PN-EN 14216:2005 oznaczany jest **VLH** – jest to spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, który po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą. Zachodzące reakcje i procesy hydratacji są identyczne jak w przypadku cementów powszechnego użytku, lecz z uwagi na skład, stopień zmielenia lub reaktywność składników proces hydratacji jest wolniejszy.

Składniki cementów o bardzo niskim cieple hydratacji są takie same jak w przypadku cementów powszechnego użytku. Powinny one odpowiadać wymaganiom zawartym w normie PN-EN 197-1:2012 (patrz 4.1).

4.1.3.2. Rodzaje i skład

Cementy specjalne o bardzo niskim cieple hydratacji dzielą się na trzy główne rodzaje:

VLH III – cement hutniczy

VLH IV – cement pucolanowy

VLH V – cement wieloskładnikowy

W tab. 4.12 podano wymagania odnośnie składu cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji.

4.1.3.3. Wymagania mechaniczne i fizyczne

Wymagania mechaniczne

Wytrzymałość normowa

Wytrzymałość normowa cementu o bardzo niskim cieple hydratacji jest to wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach dojrzewania, oznaczona zgodnie z PN-EN 196-1:2006, powinna spełniać wymagania wg tab. 4.11.

Norma PN-EN 14216:2005 definiuje tylko jedną klasę wytrzymałości normowej (określaną po 28 dniach dojrzewania) – **klasę 22,5**.

Cechą charakterystyczną tego rodzaju cementów jest znaczny przyrost wytrzymałości w późniejszym okresie dojrzewania (po 56, 90 dniach).

Wymagania fizyczne

Początek czasu wiązania

Początek czasu wiązania oznaczony zgodnie z PN-EN 196-3:2011, powinien spełniać wymagania wg tab. 4.11.

Stołość objętości

Rozszerzalność oznaczona zgodnie z PN-EN 196-3:2011, powinna spełniać wymagania wg tab. 4.11.

Tab. 4.11. Właściwości mechaniczne i fizyczne cementów VLH

Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie, MPa		Początek czasu wiązania	Stołość objętości (rozszerzalność)
	Wytrzymałość normowa			
	po 28 dniach		min	mm
22,5	≥ 22,5	≤ 42,5	≥ 75	≤ 10

4.1.3.4. Ciepło hydratacji

Ciepło hydratacji cementów o bardzo niskim cieple hydratacji nie powinno przekroczyć wartości charakterystycznej **220 J/g** oznaczane wg PN-EN 196-8:2010 po 7 dniach lub wg PN-EN 196-9:2010 po 41 godzinach (tab. 4.13)

Tab. 4.12. Rodzaje i skład cementu o bardzo niskim ciepłe hydratacji

Główne rodzaje	Nazwa	Skład (udział w procentach masy ^{a)})										Składniki drugorzędne
		klinkier	żużel wielkopiecowy	pył krzemionkowy	pucolana		popiółlotny wapienny	Składniki drugorzędne				
					naturalna	wypalana						
		K	S	D ^{b)}	P	Q	V	W				
VLH III	cement hutniczy	VLH III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		VLH III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	0-5
VLH IV	cement pucolanowy ^{c)}	VLH IV/A	65-89	—	<	11-35	----->	----->	----->	----->	----->	0-5
		VLH IV/B	45-64	—	<	36-55	----->	----->	----->	----->	----->	0-5
VLH V	cement wieloskładnikowy ^{c)}	VLH V/A	40-64	18-30	—	<	18-30	----->	----->	----->	----->	0-5
		VLH V/B	20-38	31-50	—	<	31-50	----->	----->	----->	----->	0-5

a) Wartości w tabeli odnoszą się do sumy składników głównych i drugorzędnych.

b) Udział pyłu krzemionkowego jest ograniczony do 10%.

c) W cementach pucolanowych VLH IV/A i VLH IV/B oraz w cementach wieloskładnikowych VLH V/A i VLH V/B – główne składniki inne niż klinkier należy deklarować poprzez oznaczenie cementu

Tab. 4.13. Wymagania dla cementów o bardzo niskim cieple hydratacji VLH

Rodzaj cementu VLH	Wymagania
VLH III/B i C VLH IV VLH V	Ciepło hydratacji po 41 godzinach ≤ 220 J/g (oznaczone metodą semiadiabatyczą wg PN-EN 196-9:2010)
	Ciepło hydratacji po 7 dniach ≤ 220 J/g (oznaczone metodą ciepła rozpuszczania wg PN-EN 196-8:2010)

4.1.3.5. Wymagania chemiczne

Wymagania w zakresie właściwości chemicznych cementów o bardzo niskim cieple hydratacji wg normy PN-EN 14216:2005 podano w tab. 4.14.

Tab. 4.14. Wymagania chemiczne

Właściwość	Metoda badania	Rodzaj cementu	Wymagania ^{a)}
Strata prażenia	EN 196-2	VLH III	$\leq 5,0\%$
Pozostałość nierozpuszczalna	EN 196-2 ^{b)}	VLH III	$\leq 5,0\%$
Zawartość siarczanów (jako SO ₃)	EN 196-2	VLH IV VLH V	$\leq 3,5\%$
		VLH III/B	$\leq 4,0\%$
		VLH III/C	$\leq 4,5\%$
Zawartość chlorków	EN 196-21	wszystkie ^{c)}	$\leq 0,10\%$
Pucolanowość	EN 196-5	VLH IV	wynik pozytywny

^{a)} Wymagania podano jako procent masy gotowego cementu.
^{b)} Oznaczanie pozostałości nierozpuszczalnej w kwasie chlorowodorowym i węglanie sodu.
^{c)} Cement rodzaju VLH III może zawierać więcej niż 0,10% chlorków, lecz wówczas maksymalną zawartość chlorków należy podać na opakowaniu i/lub w dokumencie dostawy.

4.1.3.6. Wymagania dotyczące trwałości

W wielu zastosowaniach, szczególnie w surowych warunkach środowiskowych, wybór cementu ma wpływ na trwałość betonu, zaprawy i zaczynów (tj. mrozoodporność, odporność chemiczną i ochronę zbrojenia przed korozją).

Wybór cementu zgodnego z PN-EN 14216:2005, szczególnie pod względem rodzaju i ciepła hydratacji dla różnych zastosowań i klas ekspozycji (rozdział 4.3), powinien uwzględniać odpowiednie normy i/lub przepisy dotyczące betonu lub zaprawy przyjęte w miejscu stosowania. Zaprawa

lub beton wykonany z cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji wymaga dodatkowej ochrony przed wysychaniem i karbonatacją podczas pielęgnacji.

4.1.3.7. Oznaczenia cementów

Oznaczenie cementu spełniającego wymagania normy PN-EN 14216:2005 „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji” powinno zawierać nazwę rodzaju cementu oraz liczbę 22,5 wskazującą klasę wytrzymałości normowej.

PRZYKŁAD 1

Cement specjalny o bardzo niskim cieple zawierający granulowany żużel wielkopiecowy (S) w ilości 81–95%, o klasie wytrzymałości 22,5 i o bardzo niskim cieple hydratacji jest oznaczony w sposób następujący:

cement specjalny hutniczy o bardzo niskim cieple hydratacji EN 14216 – VLH III/C 22,5.

PRZYKŁAD 2

Cement specjalny o bardzo niskim cieple zawierający pucolanę naturalną (P) w ilości 36%–55%, o klasie wytrzymałości 22,5 i o bardzo niskim cieple hydratacji jest oznaczony w sposób następujący:

cement specjalny pucolanowy o bardzo niskim cieple hydratacji EN 14216 – VLH IV/B (P) 22,5.

PRZYKŁAD 3

Cement specjalny o bardzo niskim cieple, zawierający granulowany żużel wielkopiecowy (S) w ilości 18%–30% i popiół lotny krzemionkowy (V), w ilości 18%–30% masy, o klasie wytrzymałości 22,5 i o bardzo niskim cieple hydratacji jest oznaczony w sposób następujący:

cement specjalny wieloskładnikowy o bardzo niskim cieple hydratacji EN 14216 – VLH V/A (S-V) 22,5.

4.1.4. Inne normy na cement

Oprócz wymienionych w rozdziale 4.1.1, 4.1.2 i 4.1.3 norm zawierających wymagania dla cementów powszechnego użytku, cementów specjalnych czy cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji, w krajach Unii Europejskiej, w tym także w Polsce aktualnie funkcjonują następujące normy:

- **Norma PN-EN 413-1:2011 „Cement murarski – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności”**, w której określono definicje i skład cementów murarskich, powszechnie używanych w Europie do produkcji zapraw murarskich i tynkarskich oraz do obrzutek i tynków (do oceny zgodności cementów murarskich stosowana jest norma PN-EN 413-2:2006).
- **Norma PN-EN 15743:2010 „Cement supersiarczanowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności”**, w której zdefiniowano i podano wymagania dotyczące cementu supersiarczanowego i jego składników. Norma określa wymagania mechaniczne, fizyczne i chemiczne oraz kryteria zgodności.
- **Norma PN-EN 14647:2007 „Cement glinowo-wapniowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności”**, w której określono definicje i skład cementu glinowo-wapniowego. W normie podano wymagania dotyczące właściwości mechanicznych, fizycznych i chemicznych, jak również kryteria zgodności i zasady zgodności.

4.2. Normy – kruszywa

Aktualnymi normami (stan na czerwiec 2014) dla kruszyw stosowanych w różnych obszarach budownictwa są:

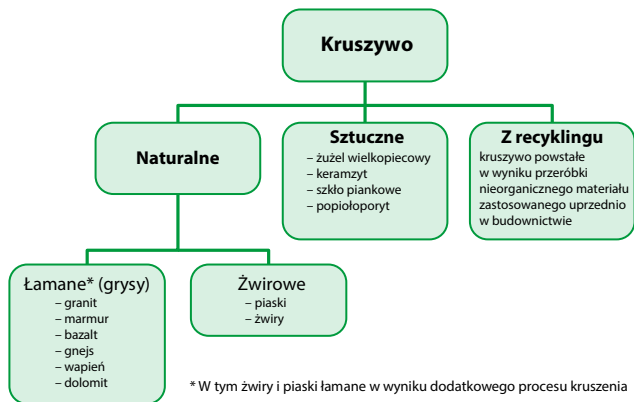
- **PN-EN 12620+A1:2010** „Kruszywa do betonu”,
- **PN-EN 13139:2003/AC:2004** „Kruszywa do zaprawy”,
- **PN-EN 13055-1:2003** „Kruszywa lekkie. Część 1: Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy”,
- **PN-EN 13242+A1:2010** „Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym”,
- **PN-EN 13043:2004/Ap 1:2010** „Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu”.

4.2.1. PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu

4

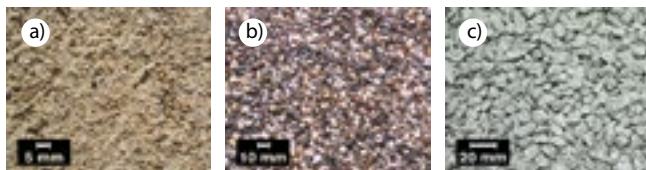
Norma na kruszywa do betonu wprowadza następujący podział (rys. 4.1):

- **Kruszywo naturalne**
 - kruszywo pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce.
- **Kruszywo sztuczne**
 - kruszywo pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego obróbkę termiczną lub inną modyfikację.
- **Kruszywo z recyklingu**
 - kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie.



Rys. 4.1. Podział kruszyw wg normy PN-EN 12620+A1:2010 wraz z przykładami

Przykłady kruszyw wykorzystywanych w budownictwie przedstawiono na rys. 4.2.



Rys 4.2. Kruszywa budowlane: a) piasek 0-2 mm, b) żwir 2-8 mm, c) grys granitowy 8-16 mm

4.2.1.1. Wymagania geometryczne

Wymiar kruszywa

Wymiar kruszywa określany jest wymiarami dolnego (d) i górnego (D) sita [przez które przechodzi 100% materiału (D) i na którym zostaje 100% materiału (d)]. Wymiar kruszywa wyrażany jest jako stosunek d/D , za wyjąt-

kiem kruszyw dodawanych jako wypełniacze, które należy specyfikować jako kruszywa wypełniające – opis w dalszej części rozdziału. Oznaczenie to dopuszcza obecność pewnej ilości nadziarna – zatrzymanego na sicie górnym i podziarna – przechodzącego przez sito dolne. Wymiary kruszywa należy określać za pomocą dwóch wymiarów sit wybranych z zestawu podstawowego lub podstawowego plus zestaw 1 lub zestaw 2 co przedstawiono w tab. 4.15.

Łączenie wymiarów z zestawu 1 i 2 jest niedopuszczalne. Wymiary kruszywa powinny posiadać stosunek D/d nie mniejszy niż 1,4.

Tab. 4.15. Wymiary otworów sit do określenia wymiarów ziaren kruszywa

Zestaw podstawowy [mm]	Zestaw podstawowy plus zestaw 1. [mm]	Zestaw podstawowy plus zestaw 2. [mm]
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5,6 (5)	-
-	-	6,3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11,2 (11)	-
-	-	12,5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22,4 (22)	-
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
-	-	40
-	45	-
63	63	63

Wymiarów w zaokrąglonych w nawiasach można używać przy uproszczonym opisie wymiarów kruszywa.

Uziarnienie kruszywa

Uziarnienie kruszywa jest to rozkład wymiaru ziaren, wyrażony jako procent masy przechodzącej przez określony zestaw sit. Uziarnienie określane jest jako kategoria (G), dla której obowiązują dane wartości graniczne masy przechodzącej przez sita kontrolne (2D, 1,4D, D, d, d/2). Podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia kruszyw podano w tab. 4.16. Ze względu na uziarnienie norma PN-EN 12620:2010 wprowadza podział kruszyw na: grube, drobne, naturalne 0/8, o ciągłym uziarnieniu i wypełniające (rys. 4.3).

Tab. 4.16. Podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia kruszyw

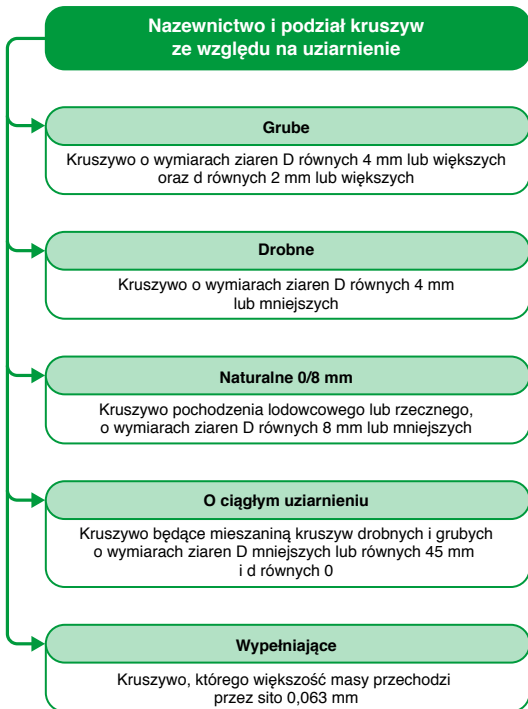
Kruszywo	Wymiar [mm]	Masa przechodząca [%]					Kategoria G ^{d)}
		2 D	1,4 D ^{a), b)}	D ^{c)}	d ^{b)}	d/2 ^{a), b)}	
Grube	D/d ≤ 2	100	98 – 100	85 – 99	0 – 20	0 – 5	G _C 85/20
	D ≤ 11,2	100	98 – 100	80 – 99	0 – 20	0 – 5	G _C 80/20
	D/d > 2 D > 11,2	100	98 – 100	90 – 99	0 – 15	0 – 5	G _C 90/15
Drobne	D ≤ 4 d = 0	100	95 – 100	85 – 99	–	–	G _F 85
Naturalne 0/8	D = 8 d = 0	100	98 – 100	90 – 99	–	–	G _{NC} 90
O ciągłym uziarnieniu	D ≤ 45 d = 0	100	98 – 100 98 – 100	90 – 99 85 – 99	–	–	G _A 90 G _A 85

a) Tam gdzie określone sita nie są dokładnymi numerami z serii R20 wg ISO 565: 1990, należy przyjąć następnny najbliższy wymiar sita.

b) Dla betonu o nieciągłym uziarnieniu lub w innych specjalnych zastosowaniach mogą być określone inne wymagania dodatkowe.

c) Procentowa zawartość ziaren przechodzących przez D może być większa niż 99% masy, ale w takim przypadku producent powinien udokumentować i zadeklarować typowe uziarnienie, łącznie z sitami D, d, d/2 oraz sitami zestawu podstawowego plus zestaw 1 lub zestawu podstawowego plus zestaw 2, dla wartości pośrednich pomiędzy d i D. W przypadku sit o stosunku mniejszym niż 1,4 następnne niższe sito można wykluczyć.

d) W normach dotyczących innych kruszyw podano inne wymagania odnoszące się do kategorii.



Rys. 4.3. Stosowane nazewnictwo kruszyw ze względu na skład ziarnowy

W tab. 4.17 podano wybrane przykłady zastosowań kruszyw w zależności od uziarnienia.

Tab. 4.17. Zastosowanie kruszyw o odpowiednim uziarnieniu

Uziarnienie [mm]	Zastosowanie
Piaski 0/2; 0/2 ^{extra} , 0/4	produkcja betonów i prefabrykatów betonowych; tynki i zaprawy budowlane; dachówka cementowa; budownictwo ogólne, drogowe i hydrotechniczne
Żwiry 2/8; 8/16; 16/31,5; 2/16; 4/16; 16/31,5; 31,5/63; mieszanka 0/8; 0/16; 0/31,5; 0/63	produkcja betonów i prefabrykatów; budownictwo ogólne, drogowe i hydrotechniczne
Grysy 2/8; 8/16; 16/22,5	produkcja betonów i prefabrykatów betonowych – szczególnie wyższych klas wytrzymałościowych; warstwy ścieralne
Piaski kwarcowe suszone 0/0,5; 0/1,0	suche mieszanki: tynki, kleje i zaprawy budowlane

Kruszywo grube

Kruszywo o wymiarach ziaren $D \geq 4$ mm oraz $d \geq 2$ mm. Wszystkie kruszywa grube powinny spełniać podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia podane w tab. 4.16, odpowiednio do oznaczenia ich wymiaru d/D i wybranych kategorii G.

Do kruszywo grubych, gdzie:

- a) $D > 11,2$ mm i $D/d > 2$ lub
- b) $D \leq 11,2$ mm i $D/d > 4$,

należy stosować następujące dodatkowe wymagania (1) i (2), określające procent masy przechodzącej przez sito pośrednie:

1. Wszystkie uziarnienia powinny mieścić się w ogólnych granicach podanych w tab. 4.18,
2. Producent powinien udokumentować, i na żądanie deklarować, typowy przesiew przez sito pośrednie oraz tolerancje kategorii zgodnie z tab. 4.18.

Dla poszczególnych wymiarów kruszywo grubych, gdzie:

- a) $D > 11,2$ mm i $D/d \leq 2$ lub
- b) $D \leq 11,2$ mm i $D/d \leq 4$,

nie ma żadnych dodatkowych wymagań, oprócz tych podanych w tab. 4.16.

Tab. 4.18. Ogólne granice i tolerancje uziarnienia kruszywa grubego na sitach pośrednich

D/d	Sito pośrednie [mm]	Ogólne granice i tolerancje na sitach pośrednich ([%] przechodzącej masy)		Kategoria G_T
		Ogólne granice	Tolerancje dotyczące typowego uziarnienia deklarowanego przez producenta	
<4	D/1,4	25 – 70	±15	G_T15
≥4	D/2	25 – 70	±17,5	$G_T17,5$

Tam gdzie sito pośrednie, określone jak wyżej, nie ma dokładnych wymiarów sita z serii R20 wg ISO 565:1990, należy użyć najbliższego sita z serii.

Kruszywo drobne

Kruszywo o wymiarach ziaren $D \leq 4$ mm. Kruszywo drobne może powstać w wyniku naturalnego rozdrobnienia skały albo żwiru i/lub kruszenia skały/żwiru, lub przetworzenia kruszywa sztucznego. Kruszywa drobne powinny spełniać podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia, podane w tab. 4.16 odpowiednio dotyczących wymiarów górnego sita D.

Podczas kontroli zmienności kruszywa drobnego należy stosować wymagania dodatkowe podane w tab. 4.19. Producent powinien udokumentować i na żądanie, deklarować typowe uziarnienie do każdego wymiaru wytwarzanego kruszywa drobnego.

Tab. 4.19. Tolerancje typowego uziarnienia kruszywa drobnego ogólnego zastosowania deklarowanego przez producenta

Wymiar sita [mm]	Tolerancje [%] przechodzącej masy		
	0/4	0/2	0/1
4	± 5 ^{a)}	—	—
2	—	± 5 ^{a)}	—
1	± 20	± 20	± 5 ^{a)}
0,250	± 20	± 25	± 25
0,063 ^{b)}	± 3	± 5	± 5

a) Tolerancje ±5 są ograniczone również wymaganiami wg tab. 4.16, dotyczącymi procentu masy przechodzącej przez D.
b) Oprócz podanych tolerancji ustala się dla danej kategorii maksymalną zawartość pyłów, określoną procentem masy przechodzącej przez sito 0,063 mm.

Kruszywo naturalne 0/8 mm

Kruszywo naturalne pochodzenia lodowcowego i/lub rzecznego, o wymiarach ziaren $D \leq 8$ mm. Kruszywo takie może być wytworzone również przez wymieszanie kruszywa przetworzonego. Kruszywo naturalne 0/8 mm powinno spełniać podstawowe wymagania określone w tab. 4.16.

Podczas kontroli zmienności uziarnienia kruszywa naturalnego 0/8 mm należy stosować następujące wymagania dodatkowe:

- a) producent powinien udokumentować, i na żądanie deklarować, typowe uziarnienie do każdego wytwarzanego kruszywa,
- b) uziarnienie powinno odpowiadać tolerancjom podanym w tab. 4.20.

Tab. 4.20. Tolerancje typowego uziarnienia kruszywa naturalnego 0/8 mm deklarowanego przez producenta

Wymiar sita [mm]	Tolerancje [%] przechodzącej masy
8	± 5
2	± 10
1	± 10
0,250	± 10
0,125	± 3
0,063	± 2

Kruszywo o ciągłym uziarnieniu

Kruszywo będące mieszanką kruszyw drobnych i grubych, może być wytwarzane bez rozdzielania na grube i drobne frakcje lub przez połączenie kruszywa grubego i drobnego. Kruszywo o ciągłym uziarnieniu powinno być dostarczane jako mieszanka kruszywa grubego i drobnego, o wymiarach $D \leq 45$ mm i $d = 0$, a jego uziarnienie powinno spełniać ogólne wymagania określone w tab. 4.16. Kruszywo o ciągłym uziarnieniu powinno dodatkowo spełniać wymagania procentu przechodzącej masy przez dwa sita pośrednie, stosowne do określenia wymiaru kruszywa zgodnie z tab. 4.21.

Tab. 4.21. Wymagania uziarnienia kruszyw o ciągłym uziarnieniu

Wymiar kruszywa [mm]		Ogólne granice dla podanych niżej sit [mm] (przechodząca masa [%])	
Zestaw podstawowy plus		40 ± 20	70 ± 20
zestaw 1.	zestaw 2.	Dla sita [mm]	
—	0/6,3	1	4
0/8	0/8	1	4
—	0/10	1	4
0/11,2 (11)	—	2	5,6 (5)
—	0/12,5 (12)	2	6,3 (6)
—	0/14	2	8
0/16	0/16	2	8
—	0/20	2	10
0/22,4 (22)	—	2	11,2 (11)
0,31,5 (32)	0/31,5 (32)	4	16
—	0/40	4	20
0/45	—	4	22,4 (22)

Wymiary w okrągłych nawiasach mogą być używane przy uproszczonym opisie wymiarów kruszywa

Kruszywo wypełniające

Kruszywo, którego większość masy przechodzi przez sito 0,063 mm. Może być dodawane do materiałów budowlanych w celu uzyskania pewnych właściwości. Uziarnienie kruszywa wypełniającego powinno odpowiadać wymaganiom zawartym w tab. 4.22.

Tab. 4.22. Wymagania uziarnienia dla kruszywa wypełniającego

Wymiar sita [mm]	[%] przechodzącej masy	
	Ogólny zakres poszczególnych wyników	Maksymalny zakres deklarowany przez producenta ^{a)}
2	100	—
0,125	od 85 do 100	10
0,063	od 70 do 100	10

^{a)} Zakres uziarnienia deklarowany na podstawie ostatnich 20 wartości. 90% wyników powinno znaleźć się w tym zakresie, ale wszystkie powinny mieścić się w ogólnym zakresie uziarnienia

Kruszywo specjalnego zastosowania

Jeżeli do szczególnego zastosowania betonu wymagane są kruszywa o uziarnieniu specjalnym, należy określić specjalne granice uziarnienia, stosując sita serii R 20 wg ISO 565:1990, z włączeniem odpowiednich sit spośród: 0,063 mm; 0,125 mm; 0,250 mm; 0,500 mm; 1 mm; 2 mm; 4 mm; 8 mm; 16 mm; 31,5 mm; 63 mm.

Kształt kruszywa grubego

Jeśli jest to wymagane, kształt kruszywa grubego należy oznaczać za pomocą wskaźnika płaskości wg PN-EN 933-3:2004 lub wskaźnika kształtu wg PN-EN 933-4:2008. Badaniem wzorcowym oznaczania kształtu kruszyw grubych powinno być badanie wskaźnika płaskości.

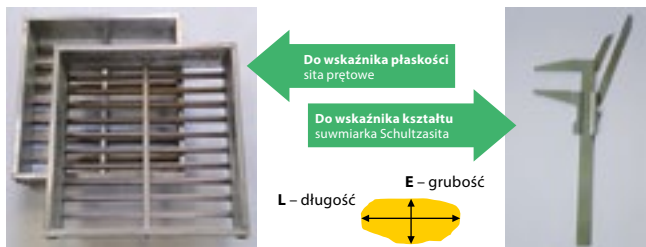
Kształt ziaren kruszywa grubego wyrażany jest jako kategoria:

- **FI** – wskaźnik płaskości, który stanowi sumę masy ziaren przechodzących przez sita prętowe (rys. 4.4.), wyrażony w [%] w stosunku do całkowitej masy suchych ziaren. Kategorie maksymalnych wartości wskaźnika płaskości podano w tab. 4.23,
- **SI** – wskaźnik kształtu (badanie przy pomocy suwmiarki Schultza rys. 4.4.), który informuje nas o zawartości ziaren o stosunku L/E (L – długość, E – grubość) większym niż 3, wyrażony w [%] całkowitej suchej masy badanych ziaren. Kategorie maksymalnych wartości wskaźnika kształtu podano w tab. 4.24.

Kształt ziaren wynika bezpośrednio z wytrzymałości i odporności na ścieranie skały macierzystej oraz ilości oddziaływań ścierających, którym poddawane były dane ziarna. W przypadku grysów jest to dodatkowo wpływ rodzaju kruszarki oraz stopnia rozdrobnienia ziaren (stopień rozdrobnienia – stosunek wymiaru ziaren materiału podawanego do kruszarki do wymiaru ziaren otrzymanego produktu).

Tab. 4.23. Kategorie maksymalnych wartości wskaźnika płaskości

Wskaźnik płaskości	Kategoria FI
≤ 15	FI ₁₅
≤ 20	FI ₂₀
≤ 35	FI ₃₅
≤ 50	FI ₅₀
> 50	FI _{Deklarowana}
Brak wymagań	FI _{NR}



Rys. 4.4. Przyrządy do badania kształtu ziaren

Tab. 4.24. Kategorie maksymalnych wartości wskaźnika kształtu

Wskaźnik kształtu	Kategoria SI
≤ 15	SI ₁₅
≤ 20	SI ₂₀
≤ 40	SI ₄₀
≤ 55	SI ₅₅
> 55	SI _{Deklarowana}
Brak wymagań	SI _{NR}

Zawartość muszli w kruszywie grubym

Zawartość muszli określa kategoria (SC) wyrażona w procentach, informuje o zawartości muszli oraz ich fragmentów w badanej próbce analitycznej. Kategorie maksymalnej zawartości muszli w kruszywach grubych podano w tab. 4.25. Zwiększoną zawartością muszli charakteryzują się kruszywa wydobywane z dna morskiego. Zawartość muszli w kruszywie znacznie pogarsza właściwości reologiczne mieszanki betonowej.

Tab. 4.25. Kategorie maksymalnej zawartości muszli w kruszywach grubych

Zawartość muszli [%]	Kategoria SC
≤ 10	SC ₁₀
> 10	SC _{Deklarowana}
Brak wymagań	SC _{NR}

Zawartość pyłów

Pyłami nazywamy frakcje kruszywa o wymiarach ziaren $< 0,063$ mm. Zawartość pyłów oznaczoną wg PN-EN 933-1:2012 należy deklorować zgodnie z odpowiednią kategorią (f) określoną w tab. 4.26. Obecność pyłów powyżej wartości granicznych obniża przyczepność między kruszywem a zaczynem cementowym, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia wytrzymałości betonu – zwłaszcza wytrzymałości na zginanie. Zatem uzyskanie dobrej przyczepności uwarunkowane jest stosowaniem kruszywa pozbawionego pyłów, części organicznych oraz cząstek minerałów ilastych (gliny).

Jakość pyłów

Nie tyle sama zawartość pyłów, ale również ich jakość przekłada się na właściwości kruszyw. Pyły uznawane są za nieszkodliwe, gdy:

- ogólna zawartość pyłów w kruszywie drobnym jest mniejsza niż 3% lub poniżej innej wartości, zgodnie z postanowieniami obowiązującymi w miejscu użycia kruszywa,
- wartość wskaźnika piaskowego (SE) badanego wg PN-EN 933-8:2012 przekracza określoną dolną granicę,
- badanie błękitem metylenowym (MB) wg PN-EN 933-9+A1:2013 daje wartość mniejszą od określonej wartości granicznej,
- stwierdzono, że zachowanie kruszywa jest równoważne z kruszywem znanym z zadowalającego zachowania lub jest dowód na bezproblemowe zastosowanie kruszywa.

4.2.1.2. Wymagania fizyczne

Odporność na rozdrabnianie kruszywa grubego (współczynnik Los Angeles)

Odporność na rozdrabnianie oznaczana jest na podstawie pomiaru rozdrobnienia kruszywa w wyniku obtaczania się kruszywa wraz ze stalowymi kulami w obracającym się bębnie (rys. 4.5a). Współczynnik Los Angeles (LA) odpowiada masie próbki analitycznej wyrażonej w %, która przeszła przez sito 1,6 mm, po pełnym cyklu obrotów bębna. Współczynnik ten pośrednio obrazuje wytrzymałość produktu finalnego – betonu. Im niższy współczynnik – tym wyższa wytrzymałość betonu. Kategorie maksymalnych wartości współczynnika Los Angeles (LA) po-

Tab. 4.26. Kategorie maksymalnych zawartości pyłów

Kruszywo	Sito 0,063 mm masa przechodząca [%]	Kategoria f
Kruszywo grube	$\leq 1,5$	$f_{1,5}$
	≤ 4	f_4
	> 4	$f_{\text{Deklarowana}}$
	brak wymagania	f_{NR}
Kruszywo naturalne 0/8 mm	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	> 16	$f_{\text{Deklarowana}}$
	brak wymagania	f_{NR}
Kruszywo drobne	≤ 3	f_3
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	$f_{\text{Deklarowana}}$
	brak wymagania	f_{NR}
Kruszywo o uziarnieniu ciągłym	≤ 3	f_3
	≤ 11	f_{11}
	> 11	$f_{\text{Deklarowana}}$
	brak wymagania	f_{NR}

Tab. 4.27. Kategorie maksymalnych wartości współczynnika Los Angeles

Współczynnik Los Angeles	Kategoria LA
≤ 15	LA_{15}
≤ 20	LA_{20}
≤ 25	LA_{25}
≤ 30	LA_{30}
≤ 35	LA_{35}
≤ 40	LA_{40}
≤ 50	LA_{50}
> 50	$LA_{\text{Deklarowana}}$
Brak wymagania	LA_{NR}

dano w tab. 4.27. Metoda badania Los Angeles powinna być badaniem wzorcowym odporności na rozdrabnianie.

Odporność na rozdrabnianie kruszywa grubego (odporność na uderzenie)

Odporność na uderzenie oznaczana jest na podstawie badania zmiany uziarnienia kruszywa frakcji 8-12mm, po 10 uderzeniach tłuczka. Stopień rozdrobnienia określany jest metodą analizy sitowej wg PN-EN 933-1:2012 z wykorzystaniem 5 sit badawczych: 8 mm, 5 mm, 2 mm, 0,63 mm, 0,2 mm. Wartość odporności na uderzenie oblicza się ze wzoru $SZ=M/5$ gdzie M jest sumą mas, wyrażoną w %, przechodzących przez każde z 5 sit badawczych. Jeśli jest to wymagane, odporność na uderzenia (oznaczaną wg PN-EN 1097-2:2006), należy deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.28.

Tab. 4.28. Kategorie maksymalnych wartości odporności na uderzenie

Odporność na uderzenie [%]	Kategoria SZ
≤ 18	SZ ₁₈
≤ 22	SZ ₂₂
≤ 26	SZ ₂₆
≤ 32	SZ ₃₂
> 32	SZ _{Deklarowana}
Brak wymagania	SZ _{NR}

Odporność na ścieranie kruszywa grubego (współczynnik mikro-Devala)

Odporność na ścieranie oznaczana jest przez pomiar zużycia kruszywa spowodowanego tarciem pomiędzy kruszywem a materiałem ściernym w obracającym się bębnie (rys. 4.5b). Oznaczanie współczynnika mikro-Devala polega na określeniu procentowego ubytku początkowej masy próbki w czasie jej ścierania do wymiarów poniżej 1,6 mm. Jeśli jest to wymagane, odporność na ścieranie kruszywa grubego (współczynnik mikro-Devala [M_{DE}]), należy oznaczać wg PN-EN 1097-1:2011 i deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią, określoną w tab. 4.29.



a) Bęben Los Angeles zgodnie z PN-EN 1097-2:2006



b) Bęben micro-Devala zgodnie z PN-EN – 1097-1:2011

Rys. 4.5. Urządzenia do badania odporności kruszyw na rozdrabnianie i ścieranie

Tab. 4.29. Kategorie maksymalnych wartości odporności na ścieranie

Współczynnik mikro-Devala	Kategoria M_{DE}
≤ 10	$M_{DE} 10$
≤ 15	$M_{DE} 15$
≤ 20	$M_{DE} 20$
≤ 25	$M_{DE} 25$
≤ 35	$M_{DE} 35$
> 35	M_{DE} Deklarowana
Brak wymagania	$M_{DE} NR$

Odporność na polerowanie i ścieranie kruszywa grubego, stosowanego w warstwach nawierzchniowych

Odporność na polerowanie (polerowalność – PSV)

Polerowalność jest miarą odporności kruszywa na polerujące działanie opon pojazdów w warunkach zbliżonych do tych, jakie występują na powierzchni drogi (rys. 4.6). Istotą badania jest określenie tarcia zmierzonego dla wypolerowanej próbki, którego wartość wykorzystywana jest do obliczenia współczynnika PSV. Jeśli jest to wymagane, odporność na polerowanie kruszywa grubego, przewidzianego na warstwy nawierzchniowe, należy oznaczać wg PN-EN 1097-8:2009 i deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.30.

Tab. 4.30. Kategorie minimalnych wartości odporności na polerowanie

Polerowalność	Kategoria PSV
≥ 68	PSV ₆₈
≥ 62	PSV ₆₂
≥ 56	PSV ₅₆
≥ 50	PSV ₅₀
≥ 44	PSV ₄₄
Wartości pośrednie oraz < 44	PSV _{Deklarowana}
Brak wymagania	PSV _{NR}

Odporność na ścieranie powierzchniowe (ścieralność – AAV)

Ścieralność (AAV) jest miarą odporności kruszywa na ścieranie powierzchni w warunkach ruchu drogowego. Istotą badania jest określenie różnicy mas próbek przed i po ścieraniu na obracającej się poziomo tarczy, wraz z podawanym w sposób ciągły materiałem ściernym (piaskiem). Jeśli jest to wymagane, odporność na ścieranie powierzchniowe (ścieralność – AAV) należy oznaczać wg PN-EN 1097-8:2009 i deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.31.

Tab. 4.31. Kategorie maksymalnych wartości odporności na ścieranie powierzchniowe

Wartość ścierania kruszyw	Kategoria AAV
≤ 10	AAV ₁₀
≤ 15	AAV ₁₅
≤ 20	AAV ₂₀
Wartości pośrednie oraz > 20	AAV _{Deklarowana}
Brak wymagania	AAV _{NR}

Odporność na ścieranie abrazyjne przez opony z kolcami (ścieralność – AN)

Odporność na ścieranie abrazyjne przez opony z kolcami oznaczana jest na podstawie pomiaru rozdrobnienia kruszywa w wyniku obracania się próbki w bębnie, ze stalowymi kulami i wodą.



Próbka do badania PSV



Koło drogowe z próbkami



Maszyna do badania polerowania PSV

Rys. 4.6. Urządzenia do badania odporności kruszyw na polerowanie

Kategoria ścieralności AN wynika z ubytku masy wysuszonej próbki analitycznej (w 110°C przez 1h), wyrażonej w %, która przeszła przez sito 2 mm. Jeżeli jest to wymagane, odporność na ścieranie abrazyjne przez opony z kolcami należy oznaczać wg PN-EN 1097-9:2014 i deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.32.

Tab. 4.32. Kategorie maksymalnych wartości odporności na ścieranie abrazyjne przez opony z kolcami

Wartość ścieralności według badania skandynawskiego	Kategoria A_N
≤ 7	$A_N 7$
≤ 10	$A_N 10$
≤ 14	$A_N 14$
≤ 19	$A_N 19$
≤ 30	$A_N 30$
Wartości pośrednie oraz > 30	A_N Deklarowana
Brak wymagania	$A_N NR$

Gęstość ziaren i nasiąkliwość

Gęstość objętościowa ziaren

Określa stosunek masy próbki kruszywa wysuszonej w suszarce, do objętości, jaką próbka zajmie w wodzie, wraz z wewnętrznymi zamkniętymi pustymi przestrzeniami, lecz bez pustych przestrzeni dostępnych dla wody. Gęstość objętościowa, wyrażona w g/cm^3 , zależy od gęstości minerałów wchodzących w skład kruszywa oraz od ilości i objętości porów.

Nasiąkliwość

Określa zwiększenie masy próbki kruszywa wysuszonego w suszarce spowodowane penetracją wody do dostępnych dla niej pustych przestrzeni. Jest miarą zdolności kruszywa do wchłaniania i magazynowania wody w porach oraz drobnych spękaniach, co w konsekwencji ma istotny wpływ na mrozoodporność (szczególnie pory o wymiarach mniejszych od $4\ \mu\text{m}$). Kruszywo może być uznane za mrozoodporne jeżeli nasiąkliwość oznaczana wg PN-EN 1097-6:2006 nie przekracza 1%. Jednakże, szereg dobrych kruszyw wykazuje większą nasiąkliwość. Przykładowo, niektóre jurajskie wapienie i piaskowce charakteryzują się nasiąkliwością powyżej 4%, z kolei nasiąkliwość żużli wielkopieczowych, permskich wapieni, dolomitów i karbońskich piaskowców często przekracza 2%. Mimo podwyższonej nasiąkliwości kruszywa te mogą spełniać kryterium mrozoodporności.

Gęstość nasypowa

Gęstość nasypowa w stanie luźnym jest to iloraz niezagęszczonej masy suchego kruszywa wypełniającego określony pojemnik do objętości tego pojemnika, wyrażona w g/cm^3 . Gęstość nasypowa zależy od stopnia zagęszczenia (stopnia upakowania).

Trwałość

Mrozoodporność kruszywa grubego

Mrozoodporność (F) określana jest na podstawie ubytku masy próbek po cyklicznym zamrażaniu i rozmrażaniu, wyrażonego w % (tab. 4.33). Istotą badania jest całkowite nasycenie badanego kruszywa wodą, a następnie jego zamrażanie w wodzie. Po 10 cyklach zamrażania i rozmrażania określa się rodzaj pęknięć, utratę masy, zmiany wytrzymałości. W warunkach

niekorzystnego klimatu lub stosowania soli odladzających, bardziej odpowiednie mogą być badania z wykorzystaniem 1-procentowego roztworu chlorku sodu (NaCl) lub nasyconego roztworu mocznika. Odporność kruszywa na wielokrotne cykle zamrażania i rozmrażania zależy najczęściej od jego nasiąkliwości, czyli ilości wody pozostającej wewnątrz ziaren podczas zamrażania.

Tab. 4.33. Kategorie maksymalnych wartości mrozoodporności

Zamrażanie-rozmrażanie ubytek masy [%] ^{a)}	Kategoria F
≤ 1	F ₁
≤ 2	F ₂
≤ 4	F ₄
> 4	F _{Deklarowana}
Brak wymagania	F _{NR}

^{a)} W warunkach wyjątkowo zimnego klimatu i/lub środowiska zasolonego albo stosowania soli odladzających, bardziej odpowiednie mogą być badania z wykorzystaniem roztworu soli albo mocznika, takie jak opisano w PN-EN 1367-1:2007. Wtedy nie stosuje się wymagań podanych w niniejszej Tabelcy.

Tab. 4.34. Kategorie maksymalnych wartości w badaniach siarczanem magnezu

Badanie siarczanem magnezu ubytek masy [%]	Kategoria MS
≤ 18	MS ₁₈
≤ 25	MS ₂₅
≤ 35	MS ₃₅
> 35	MS _{Deklarowana}
Brak wymagania	MS _{NR}

Mrozoodporność kruszywa grubego w roztworze siarczanu magnezu

Mrozoodporność (MS) określana jest na podstawie ubytku masy kruszywa poddanego 5 cyklom zanurzenia w nasyconym roztworze siarczanu magnezu (MgSO₄), a następnie suszeniu w temp. 110°C. Wywołuje to w kruszywie efekt rozsadzenia pod wpływem cyklicznej krystalizacji i uwodnienia siarczanu magnezu w porach. Niszczenie w wyniku rozsadzenia jest mierzone ilością powstałego materiału drobniejszego niż

10 mm. Mrozoodporność kruszywa grubego w roztworze siarczanu magnezu należy deklарować zgodnie z odpowiednią kategorią wg tab. 4.34.

Stաłość objętości – skurcz przy wysychaniu

Metoda polega na badaniu wpływu kruszywa na skurcz betonu przy wysychaniu. Badanie przeprowadza się na próbkach betonu o ustalonym składzie, wykonanym z kruszywa o maksymalnym wymiarze ziaren 20 mm. Po całkowitym nasyceniu wodą, próbki poddaje się suszeniu w 110°C i oznacza zmianę długości po przejściu ze stanu pełnego nasycenia do stanu suchego. Nadmierny skurcz przy wysychaniu betonu przypisuje się kruszywu i wyraża w procentach jako przeciętną zmianę długości beleczek. Tam gdzie mogą występować destrukcyjne spękania skurczowe betonu, z powodu właściwości kruszywa, to skurcz przy wysychaniu określony wg PN-EN 1367-4:2010 nie powinien być większy niż 0,075%, a wyniki należy deklарować.

Reaktywność alkaliczno-krzemionkowa

Niektóre rodzaje kruszyw mogą zawierać reaktywną krzemionkę, która wchodzi w reakcję z wodorotlenkami alkalicznymi znajdującymi się w cieczy porowej. W pewnych niesprzyjających warunkach w obecności wilgoci, reakcja alkalia-reaktywna krzemionka może prowadzić do pęcznienia, a następnie do pęknięcia i destrukcji betonu. Własność ta decyduje o przydatności danego kruszywa do stosowania w betonach specjalnych. Zgodnie z normą PN-EN 12620:2010 właściwość tą należy oceniać zgodnie z postanowieniami ważnymi w miejscu zastosowania (patrz rozdział 6). Wszystkie kruszywa z recyklingu należy traktować je jako kruszywa potencjalnie reaktywne, chyba że zostaną wyraźnie określone jako kruszywa niereaktywne.

Klasyfikacja składników kruszyw grubych z recyklingu

Kruszywa z recyklingu powstają w wyniku przeróbki materiałów wykorzystanych uprzednio w budownictwie. Wymagane jest oznaczanie proporcji materiałów składowych wg EN 933-11:2009 oraz deklарowanie wyników zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.35.

Tab. 4.35. Kategorie zawartości składników grubych kruszyw z recyklingu

Składniki	Zawartość [%] masy	Kategorie
Rc	≥ 90 ≥ 80 ≥ 70 ≥ 50 < 50	Rc ₉₀ Rc ₈₀ Rc ₇₀ Rc ₅₀ Rc Deklarowana
	Brak wymagania	Rc _{NR}
Rc + Ru	≥ 95 ≥ 90 ≥ 70 ≥ 50 < 50	Rcu ₉₅ Rcu ₉₀ Rcu ₇₀ Rcu ₅₀ Rcu Deklarowana
	Brak wymagania	Rcu _{NR}
Rb	≤ 10 ≤ 30 ≤ 50 > 50	Rb ₁₀ Rb ₃₀ Rb ₅₀ Rb Deklarowana
	Brak wymagania	Rb _{NR}
Ra	≤ 1 ≤ 5 ≤ 10	Ra ₁₋ Ra ₅₋ Ra ₁₀₋
X + Rg	$\leq 0,5$ ≤ 1 ≤ 2	XRg _{0,5-} XRg ₁₋ XRg ₂₋
Zawartość cm³/Kg		
FL	$\leq 0,2$ ^{a)} ≤ 2 ≤ 5	FL _{0,2-} FL ₂₋ FL ₅₋

a) Kategoria $\leq 0,2$ przeznaczona jest tylko do specjalnych zastosowań, wymagających wysokiej jakości wykończenia powierzchni.

Rc – beton, wyroby betonowe, zaprawa, betonowe elementy murowe,
Ru – kruszywo niezwiązane, kamień naturalny, kruszywo związane hydraulicznie,
Rb – ceramiczne elementy murowe (tj. cegły i dachówki), silikatowe elementy murowe, beton napowietrzony nie pływający w wodzie,
Ra – materiały bitumiczne,
FL – materiał pływający w wodzie, objętościowo,
X – inne: spoiste (np. glina i grunt), metale różne (żelazne i nieżelazne), nie pływające w wodzie drewno, plastik i guma, tynk gipsowy,
Rg – szkło.

4.2.1.3. Wymagania chemiczne dla kruszyw

Konieczność badania i deklarowania wszystkich właściwości określonych w niniejszym podpunkcie powinna być ograniczona do poszczególnych zastosowań lub pochodzenia kruszywa. Jeśli jest to wymagane, w celu oznaczenia odpowiednich właściwości chemicznych (szczególnie dla kruszyw z recyklingu), należy przeprowadzić poniższe badania.

Zawartość chlorków w kruszywach naturalnych

Chlorki w kruszywach naturalnych mogą występować w postaci soli sodu i potasu, w ilościach zależnych od pochodzenia kruszywa. Sole te znacznie wpływają na całkowitą zawartość chlorków i alkaliów w betonie. W celu zminimalizowania ryzyka korozji znajdujących się wewnątrz elementów metalowych np. zbrojenia, zwykle ogranicza się całkowitą zawartość jonów chlorkowych we wszystkich składnikach betonu. Zawartość jonów chlorkowych rozpuszczalnych w wodzie, w kruszywach pochodzących z większości śródlądowych złóż jest bardzo mała. Tam, gdzie wiadomo, że zawartość chlorków nie jest większa niż 0,01%, wartość ta może być użyta w metodzie obliczeniowej opartej na maksymalnej zawartości chlorków w składnikach betonu. Zawartość jonów chlorkowych rozpuszczalnych w wodzie, w kruszywach do betonu należy oznaczać wg PN-EN 1744-1:2013.

Zawartość chlorków w kruszywach z recyklingu

W kruszywach z recyklingu, a zwłaszcza w tych powstałych z przekruszenia betonu lub zaprawy, chlorki mogą być związane w glinianie wapnia lub w innych fazach stwardniałego zaczynu cementowego. Wyekstrahowanie związanych chlorków z użyciem wody, według procedur podanych w PN-EN 1744-1:2013 jest mało prawdopodobne, nawet jeśli wcześniej próbka zostanie zmielona.

Zaleca się zatem, aby przeprowadzić badanie zawartości chlorków rozpuszczalnych w kwasie zgodnie z PN-EN 1744-5:2008. Wynik badania prawdopodobnie będzie zawyżony, jednak wartość tą zaleca się stosować przy obliczaniu zawartości jonów chlorkowych w betonie. Pozwoli to zapewnić odpowiedni margines bezpieczeństwa.

Zawartość siarczanów rozpuszczalnych w kwasie

W kruszywach i kruszywach wypełniających do betonu zawartość siarczanów rozpuszczalnych w kwasie należy oznaczać wg PN-EN 1744-1:2013 i deklarować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.36. Siarczany w kruszywach mogą zwiększać ryzyko pęknięcia betonu. W przypadku żużla wielkopieczowego znaczna ilość siarczanów zamknięta jest w formach krystalicznych – nie ulega rozpuszczeniu i dlatego nie uczestniczy w procesie hydratacji cementu. Z tego względu dopuszczane są wyższe zawartości siarczanów w żużlu.

Tab. 4.36. Kategorie maksymalnych zawartości siarczanów rozpuszczalnych w kwasie

Kruszywa	Zawartość siarczanów rozpuszczalnych w kwasie [%]	Kategoria AS
Kruszywa oprócz żużla wielkopieczowego chłodzonego powietrzem	≤ 0,2 ≤ 0,8 > 0,8	AS _{0,2} AS _{0,8} AS _{Deklarowana}
	Brak wymagania	AS _{NR}
Żużel wielkopieczowy chłodzony powietrzem	≤ 1,0 > 1,0	AS _{1,0} AS _{Deklarowana}
	Brak wymagania	AS _{NR}

Zawartość siarki całkowitej

Zawartość siarki całkowitej w kruszywach i kruszywach wypełniających, oznaczona wg PN-EN 1744-1:2013, nie powinna przekraczać:

- 2,0% S masy, dla żużla wielkopieczowego chłodzonego powietrzem,
- 1,0% S masy, dla kruszyw innych niż żużel wielkopieczowy chłodzony powietrzem.

Szczególne środki ostrożności są konieczne, jeżeli w kruszywie występuje pirotyn (niestabilna postać siarczku żelaza FeS). Jeśli wiadomo, że minerał ten występuje – maksymalna zawartość siarki całkowitej S powinna wynosić 0,1%.

Zawartość siarczanów rozpuszczalnych w wodzie w kruszywach z recyklingu

W przypadku kruszyw z recyklingu dodatkowo oznacza się zawartość siarczanów rozpuszczalnych w wodzie wg PN-EN 1744-1:2013, którą należy deklарować zgodnie z odpowiednią kategorią określoną w tab. 4.37. Siarczany rozpuszczalne w wodzie w kruszywach z recyklingu, na ogół są siarczanami potencjalnie reaktywnymi (np. tynk gipsowy). Mogą więc zwiększać ryzyko pęknięcia (destrukcji) betonu i obniżenia jego trwałości.

Tab. 4.37. Kategorie maksymalnych zawartości siarczanów rozpuszczalnych w wodzie w kruszywach z recyklingu Inne składniki

Zawartość siarczanów rozpuszczalnych w wodzie	Kategoria
< 0,2	SS _{0,2}
Brak wymagania	SS _{NR}

Składniki, które wpływają na szybkość wiązania i twardnienia betonu

Są to składniki kruszyw i kruszyw wypełniających, zawierające substancje organiczne lub inne substancje w ilościach, które wpływają na szybkość wiązania i twardnienia betonu. Składniki te powinny być ocenione pod względem ich wpływu na czas tężenia i wytrzymałość na ściskanie zapraw zgodnie z PN-EN 1744-1:2013.

Ilość tych materiałów powinna być taka, by nie powodować:

- wydłużenia czasu wiązania zaprawy powyżej 120 min w stosunku do zaprawy wzorcowej,
- spadku wytrzymałości na ściskanie zaprawy, nie więcej niż 20% po 28 dniach dojrzewania, w stosunku do zaprawy wzorcowej.

W przypadku kruszyw z recyklingu wpływ zawartości materiałów rozpuszczalnych w wodzie na początek czasu wiązania zaczynu cementowego należy oceniać zgodnie z normą PN-EN 1744-6:2008. Zmiana początku czasu wiązania t_e powinna odpowiadać wymaganiom podanym w tab. 4.38.

Składniki, które wpływają na stałość objętości żużla wielkopiecowego używanego jako kruszywo niezwiązane

Zgodnie z normą PN-EN 12620:2010 kruszywo z żużla wielkopiecowego chłodzonego powietrzem nie powinno wykazywać rozpadu krzemianowego oraz rozpadu związków żelaza, badanych wg PN-EN 1744-1:2013.

Tab. 4.38. Kategorie wpływu materiałów rozpuszczalnych w wodzie obecnych w kruszywach z recyklingu na początek czasu wiązania zaczynu cementowego

Zmiana początku czasu wiązania t_e [min]	Kategoria A
≤ 10	A ₁₀
≤ 40	A ₄₀
> 40	A _{Deklarowana}
Brak wymagania	A _{NR}

Zawartość węgla w kruszywach drobnych do warstwy ścieralnej nawierzchni betonowych

Jeżeli jest to wymagane kontrolę zawartości węgli w kruszywach drobnych, stosowanych do warstwy ścieralnej nawierzchni betonowej, należy oznaczać wg PN-EN 196-2:2013, a wyniki deklorować.

Składniki wpływające na wykończenie powierzchni betonu

Tam gdzie istotny jest wygląd betonu, zaleca się aby kruszywa nie zawierały materiałów w ilościach niekorzystnie wpływających na jakość powierzchni lub trwałość. Nawet niewielkie zanieczyszczenie kruszyw, w procentach masy, może mieć znaczący wpływ na wykończenie powierzchni betonu. Konieczne jest zwracanie uwagi na przydatność źródła kruszywa do danego zastosowania. Zaleca się, aby w typowych zastosowaniach, zawartość lekkich zanieczyszczeń organicznych oznaczana wg PN-EN 1744-1:2013 nie przekraczała:

- 0,5% masy kruszywa drobnego lub,
- 0,1% masy kruszywa grubego.

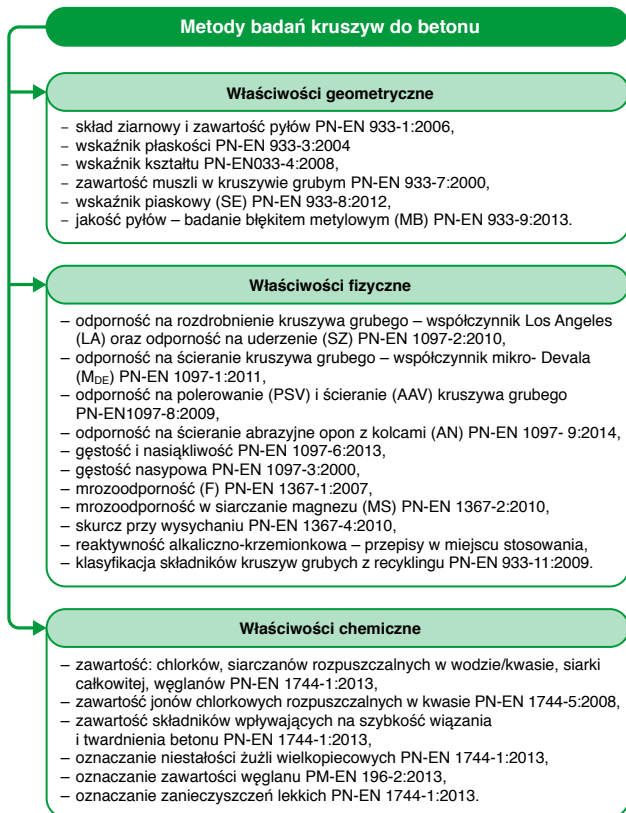
Jeżeli ważny jest wygląd powierzchni betonu, zaleca się aby zawartość lekkich zanieczyszczeń organicznych określona wg PN-EN 1744-1:2013 zazwyczaj nie przekraczała:

- 0,25% masy kruszywa drobnego lub,
- 0,05% masy kruszywa grubego.

W pewnych sytuacjach, na przykład dla uzyskania doskonałej powierzchni betonu, konieczne może być dodatkowe ograniczenie zawartości lekkich zanieczyszczeń organicznych.

Metodyka badań

Metodykę badań właściwości kruszyw do betonu zgodnie z PN-EN 12620:2010 przedstawiono na rys. 4.7.



Rys. 4.7. Metody badań kruszyw do betonu spełniających wymagania normy PN-EN 12620:2010

4.2.2. Norma PN-EN 13055-1:2003 Kruszywa lekkie

Kruszywem lekkim nazywamy kruszywo o gęstości ziaren nie większej niż 2000 kg/m³ lub gęstości nasypowej w stanie luźnym nie większej niż 1200 kg/m³. Norma na kruszywa lekkie wprowadza podział (rys. 4.8.) na:

Kruszywo naturalne

- kruszywo pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce,

Kruszywo sztuczne

- kruszywo pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego obróbkę termiczną lub inną modyfikację,

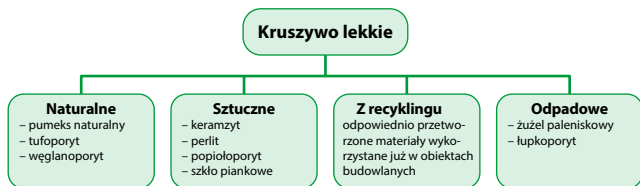
Kruszywo z recyklingu

- kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie,

Kruszywo odpadowe

- kruszywo pochodzenia mineralnego z jakiegokolwiek procesu przemysłowego, poddane następnie jedynie obróbce mechanicznej.

Przykłady oraz podział kruszyw lekkich według normy PN-EN 1055-1:2003 przedstawia rys. 4.8.



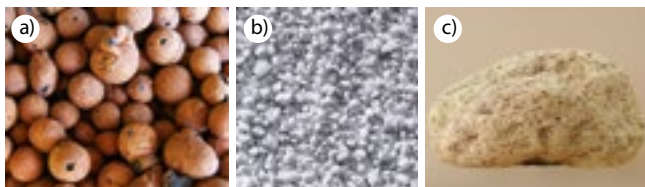
Rys. 4.8. Podział kruszyw lekkich wg normy PN-EN 13055-1:2003 wraz z przykładami

Wymiary kruszywa lekkiego należy określać za pomocą wymiarów otworów sit wybranych z zestawu podstawowego lub z zestawu podstawowego plus zestaw 1 lub zestaw 2, wg normy PN-EN 13055-1:2003, zgodnie z tab. 4.39.

Wymiar kruszywa powinien uwzględniać obecność ziaren, które pozostaną na górnym sicie (nadziarno) i ziaren, które przejdą przez dolne sito (podziarno) gdzie:

- ilość podziarna nie powinna przekraczać 15%,
- ilość nadziarna nie powinna przekraczać 10% masy, jeśli jest to wymagane, należy deklarować wymiar otworu sita przez, które przechodzi 100% materiału.

Przykłady kruszyw lekkich wykorzystywanych w budownictwie przedstawiono na rys. 4.9.



Rys 4.9. Kruszywa lekkie: a) keramzyt, b) perlit, c) pumeks naturalny

Tab. 4.39. Wymiary otworów sit do określenia wymiarów ziaren kruszywa lekkiego

Zestaw podstawowy [mm]	Zestaw podstawowy plus zestaw 1. [mm]	Zestaw podstawowy plus zestaw 2. [mm]
0	0	0
0,25	0,25	0,25
0,5	0,5	0,5
1	1	1
2	2	2
—	2,8 (3)	3,15 (3)
4	4	4
—	5,6 (5)	—
—	—	6,3 (6)
8	8	8
—	—	10
—	11,2 (11)	—
—	—	12,5 (12)
—	—	14
16	16	16
—	—	20
—	22,4 (22)	—
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
—	—	40
—	45	—
63	63	63

Wymiarów w zaokrąglonych w nawiasach można używać przy uproszczonym opisie wymiarów kruszywa.

Wymagania dotyczące kruszyw lekkich

W odniesieniu do wszystkich wymagań stwierdza się, że konieczność badania i deklarowania właściwości powinna być ograniczona do poszczególnych zastosowań lub pochodzenia kruszywa. Jeżeli jest wymagane, to w celu oznaczenia odpowiednich właściwości lub określenia zawartości odpowiednich substancji chemicznych należy przeprowadzić badanie

zgodnie z rys. 4.10. Dla niektórych cech tj. dla gęstości norma podaje tolerancje wartości deklarowanej:

- gęstość nasypowa w stanie luźnym $\pm 15\%$, maksymalnie $\pm 100 \text{ kg/m}^3$,
- gęstość ziaren $\pm 15\%$, maksymalnie $\pm 150 \text{ kg/m}^3$.

Do pozostałych wymagań norma stosuje zapis „jeśli jest to wymagane, to należy oznaczać zgodnie z podaną normą i deklarować”. Jedynie w odniesieniu do zawartości substancji chemicznych (chlorki i związki zawierające siarkę) norma podaje sposób przeliczenia wartości mierzonej na wartość porównawczą zgodnie z następującym równaniem:

$$V_c = V_m \frac{\text{gęstość nasypowa w stanie luźnym}}{1500}$$

gdzie:

V_c – wartość porównawcza,

V_m – wartość zmierzona zgodnie z PN-EN 1744-1:2013,

1500 – przyjęta nominalnie gęstość nasypowa w stanie luźnym dla kruszywa zwykłego.

Ze względu na zamierzone zastosowanie kruszyw lekkich w obiektach budowlanych i produkcji prefabrykowanych elementów budowlanych istotnymi właściwościami są:

- kształt i wymiar ziaren,
- gęstość nasypowa w stanie luźnym,
- zawartość ziaren przekruszonych,
- obecność zanieczyszczeń,
- odporność na rozdrabnianie i miażdżenie,
- stałość objętości (odporność na rozpad),
- nasiąkliwość,
- substancje niebezpieczne (w tym promieniowanie),
- trwałość (zamrażanie/rozmarzanie, reaktywność alkaliczno-krzemionkowa).

Metodyka badań

Metodykę badań właściwości kruszyw lekkich zgodnie z PN-EN 13055-1:2003 przedstawiono na rys. 4.10.

Metodyka badań kruszyw lekkich

Właściwości fizyczne

- gęstość nasypowa w stanie luźnym PN-EN 1097-3:2000,
- gęstość PN-EN 1097-6:2013,
- skład ziarnowy i zawartość pyłów PN-EN 933-1:2006,
- uziarnienie wypełniaczy PN-EN 933-10:2009,
- nasiąkliwość PN-EN 1097-6:2013,
- zawartość wody PN-EN 1097-5:2008
- odporność na miazdzenie PN-EN 13055-1:2003,
- zawartość ziaren przekruszonych PN-EN 933-5:2005,
- odporność na rozpad PN-EN 13055-1:2003,
- mrozoodporność PN-EN 13055-1:2003

Właściwości chemiczne

- zawartość: chlorków, siarczanów rozpuszczalnych w wodzie/kwasie, siarki całkowitej PN-EN 1744-1:2013,
- straty przy prażeniu (tylko dla popiołów) PN-EN 1744-1:2013,
- zanieczyszczenia organiczne PN-EN 1744-1:2013,
- reaktywność alkaliczno-krzemionkowa – przepisy w miejscu stosowania.

Rys. 4.10. Metody badań kruszyw lekkich spełniających wymagania normy z PN-EN 13055-1:2003

4.2.3. Wymagania dotyczące kruszyw stosowanych w obiektach inżynierii komunikacyjnej

Normami dotyczącymi kruszyw w obiektach inżynierii komunikacyjnej są normy:

- **PN-EN 13242+A1:2010** „Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym”,
- **PN-EN 13043:2004/Ap 1:2010** „Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.

Tab. 4.40. Podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia kruszyw wg PN-EN 13242+A1:2010

Kruszywo	Wymiar [mm]	Masa przechodząca [%]					Kategoria G
		2 D ^{a)}	1,4 D ^{b), c)}	D ^{d)}	d ^{c), e)}	d/2 ^{b), c)}	
Grube	d ≥ 1	100	98 – 100	85 – 99	0 – 15	0 – 5	G _C 85-15
	D > 2	100	98 – 100	80 – 99	0 – 20	0 – 5	G _C 80-20
Drobne	d = 0	100	98 – 100	85 – 99	—	—	G _F 85
	D ≤ 6,3	100	98 – 100	80 – 99	—	—	G _F 80
O naturalnym składzie	d = 0	—	100	85 – 99	—	—	G _A 85
	D > 6,3	100	98 – 100	80 – 99	—	—	G _A 80
		100	—	75 – 99	—	—	G _A 75

a) Dla kruszyw o wymiarach D większych niż 63 mm (np. 80 mm i 90 mm) mają jedynie wymagania dotyczące nadziarna odnoszące się do sita 1,4 D, gdyż sit z serii ISO 565/R20 większych od 125 mm nie ma.

b) Gdy wartości obliczone z 1,4D oraz d/2 nie są dokładnymi wymiarami sit z serii ISO 565/R20, należy przyjąć następnny wyższy albo niższy wymiar sita.

c) W przypadku zastosowań specjalnych mogą być wprowadzone dodatkowe wymagania.

d) Procentowa zawartość ziaren przechodzących przez D może być większa niż 99% masy, ale w takich przypadkach producent powinien udokumentować i zadeklarować typowe uziarnienie, łącznie z sitami D, d, d/2 oraz sitami zestawu podstawowego plus zestaw 1 lub zestawu podstawowego plus zestaw 2 dla wartości pośrednich pomiędzy d i D. W przypadku sit o stosunku mniejszym niż 1,4 następnne niższe sito można wykluczyć.

e) Gdy trzeba zapewnić dobre uziarnienie, granice masy przechodzącej przez d w %, mogą być zmienione na 1 do 15 dla G_C85 oraz na 1 do 20 dla G_C80-20.

Tab. 4.41. Podstawowe wymagania dotyczące uziarnienia kruszyw wg PN-EN 13043:2004/Ap 1:2010

Kruszywo	Wymiar [mm]	Masa przechodząca [%]					Kategoria Gd)
		2 D	1,4 D ^{a), b)}	D ^{c)}	d ^{b)}	d/2 ^{a), b)}	
Grube	D > 2	100	100	90 – 99	0 – 10	0 – 2	G _C 90/10
		100	98 – 100	90 – 99	0 – 15	0 – 5	G _C 90/15
		100	98 – 100	90 – 99	0 – 20	0 – 5	G _C 90/20
		100	98 – 100	85 – 99 ^{c)}	0 – 15	0 – 2	G _C 85/15
		100	98 – 100	85 – 99 ^{c)}	0 – 20	0 – 5	G _C 85/20
		100	98 – 100	85 – 99 ^{c)}	0 – 35	0 – 5	G _C 85/35
Drobne	D ≤ 2	100	—	85 – 99	—	—	G _F 85
O ciągłym uziarnieniu	D ≤ 45 d = 0	100	98 – 100	90 – 99	—	—	G _A 90
		100	98 – 100	85 – 99	—	—	G _A 85

a) Gdy wartości obliczone z 1,4D oraz d/2 nie są dokładnymi wymiarami sit z serii ISO 565/R20, należy przyjąć następny wyższy albo niższy wymiar sita.
 b) Jeżeli pozostałość na sicie D jest mniejsza niż 1% masy, producent powinien udokumentować i deklarować uziarnienie typowe, w tym z wykorzystaniem sit D, d, d/2 oraz sit z zestawu podstawowego plus zestaw 1 lub zestawu podstawowego plus zestaw 2 dla wartości pośrednich pomiędzy d i D.
 c) Dla poszczególnych wymiarów kruszyw grubych d/D, gdzie D/d < 2, o kategorii G_C85/15, G_C85/20, G_C85/35 wartość masy przechodzącej przez D – zgodnie z danym zastosowaniem – może być zmniejszona o 5%.

4.3. Norma betonowa PN-EN 206:2014 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”

Norma PN-EN 206:2014 obejmuje swoim zakresem beton wykonywany na placu budowy, beton towarowy oraz beton produkowany w wytwórni elementów prefabrykowanych.

Norma ta stosuje się do betonu:

- lekkiego o gęstości w stanie suchym $\geq 800 \text{ kg/m}^3$ i $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$,
- zwykłego o gęstości w stanie suchym $> 2000 \text{ kg/m}^3$ i $\leq 2600 \text{ kg/m}^3$,
- ciężkiego o gęstości w stanie suchym $> 2600 \text{ kg/m}^3$.

Normy nie stosuje się do:

- betonu komórkowego,
- betonu spienionego,

- betonu o gęstości $< 800 \text{ kg/m}^3$,
- betonu ogniotrwałego.

Głównym założeniem normy PN-EN 206:2014 jest zapewnienie odpowiedniej trwałości konstrukcji betonowych pracujących w określonych warunkach środowiska – zdefiniowanych jako klasy ekspozycji. Norma szczegółowo precyzuje wymagania dotyczące:

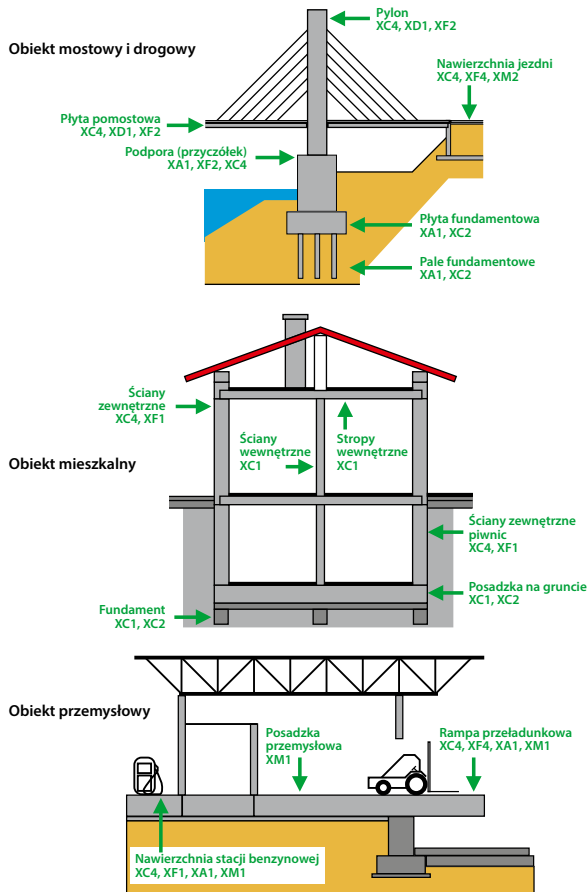
- składników betonu,
- właściwości mieszanki betonowej i betonu oraz ich weryfikacji,
- ograniczeń dotyczących składu betonu,
- specyfikacji betonu,
- dostaw mieszanki betonowej,
- procedur kontroli produkcji,
- kryteriów zgodności i ich oceny.

4.3.1. Klasy ekspozycji związane z oddziaływaniem środowiska

Oddziaływanie środowiska na beton lub znajdujące się w nim elementy metalowe (np. zbrojenie), może mieć charakter chemiczny lub fizyczny. Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 oddziaływania te sklasyfikowano za pomocą 18 klas ekspozycji, opisujących wpływ środowiska na beton w czasie jego pracy w konstrukcji (rys. 4.11). Poszczególnym klasom ekspozycji (tab. 4.42) przyporządkowane są wymagania dotyczące składu mieszanki betonowej obejmujące:

- dopuszczalne rodzaje i klasy składników,
- maksymalny współczynnik wodno-cementowy,
- minimalną zawartość cementu,
- minimalną klasę wytrzymałości betonu na ściskanie,
- dla niektórych klas środowiskowych – minimalne napowietrzenie betonu i wymagania dla materiałów (cementy SR lub HSR, kruszywo mrozoodporne).

Beton może być poddany więcej niż jednemu oddziaływaniu opisanemu w tab. 4.42, a zatem warunki środowiska, w których jest eksploatowany, mogą wymagać określenia za pomocą kombinacji kilku klas ekspozycji. Różne elementy danej konstrukcji betonowej mogą być narażone na różne oddziaływania środowiska (patrz rys. 4.11).



Rys. 4.11. Przykłady klas ekspozycji dla wybranych obiektów budowlanych

Tab. 4.42. Klasy ekspozycji oraz wymagania dotyczące betonu wg PN-EN 206:2014, w tabeli uwzględniono klasy ekspozycji XM wg krajowego uzupełnienia PN-B-06265:2004

Klasa ekspozycji		Środowisko	w/c max	Zawartość cementu min. [kg]	Klasa betonu min.	Inne wymagania
Brak ryzyka korozji lub brak oddziaływania	X0	nieagresywne	—	—	C12/15	—
Karbonatyzacja	XC1	suche	0,65	260	C20/25	—
	XC2	stałe mokre	0,60	280	C25/30	—
	XC3	umiarkowanie wilgotne	0,55	280	C30/37	—
	XC4	cyklicznie mokre i suche	0,50	300	C30/37	—
Chlorki nie pochodzące z wody morskiej	XD1	umiarkowanie wilgotne	0,50	300	C30/37	—
	XD2	mokre, sporadycznie suche	0,55	300	C30/37	—
	XD3	cyklicznie mokre i suche	0,45	320	C35/45	—
Chlorki pochodzące z wody morskiej	XS1	działanie soli zawartych w powietrzu	0,50	300	C30/37	—
	XS2	stałe zanurzenie w wodzie	0,45	320	C35/45	—
	XS3	strefa pływów, rozbryzgów i aerozoli	0,45	340	C35/45	—
Agresja mrozowa ^{a)}	XF1	umiarkowane nasycenie wodą	0,55	300	C30/37	—
	XF2	umiarkowane nasycenie wodą ze środkami odładzającymi	0,55	300	C25/30	Napowietrzenie min. 4,0%

Tab. 4.42. cd

Klasa ekspozycji		Środowisko	w/c max	Zawartość cementu min. [kg]	Klasa betonu min.	Inne wymagania
Agresja mrozowa ^{a)}	XF3	silne nasycenie wodą bez środków odładzających	0,50	320	C30/37	Napowietrzenie min. 4,0%
	XF4	silne nasycenie wodą ze środkami odładzającymi	0,45	340	C30/37	Napowietrzenie min. 4,0%
Środowisko agresywne chemicznie ^{b)}	XA1	słaba agresja chemiczna	0,55	300	C30/37	—
	XA2	umiarkowana agresja chemiczna	0,50	320	C30/37	cement odporny na siarczanowy SR lub HSR
	XA3	silna agresja chemiczna	0,45	360	C35/45	
Ścieranie ^{c)}	XM1	umiarkowane zagrożenie ścieraniem	0,55	300	C30/37	—
	XM2	silne zagrożenie ścieraniem	0,55	300	C30/37	obróbka powierzchni betonu ^{d)}
	XM3	ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem	0,45	320	C35/45	kruszywo o wysokiej odporności na ścieranie

^{a)} Kruszywo zgodne z PN-EN 12620:2010 o odpowiedniej odporności na zamrażanie/rozmarzanie.

^{b)} W klasach ekspozycji XA2 i XA3 w przypadku agresji siarczanowej należy stosować cementy SR lub HSR.

^{c)} klasy ekspozycji XM wg krajowego uzupełnienia PN-B-06265 Zaleca się stosować kruszywa o uziarnieniu do 4 mm, składające się głównie z kwarcu lub materiałów co najmniej tej samej twardości; frakcje grubsze – ze skał magmowych czy metamorficznych lub tworzyw sztucznych o dużej odporności na ścieranie. Zaleca się, aby ziarna odznaczały się umiarkowanie chropowatą powierzchnią oraz wypukłą formą. Mieszanka kruszyw winna być możliwie gruboziarnista. Powierzchnia betonu może być uszlachetniana materiałami odpornymi na ścieranie.

^{d)} Np. poprzez wygładzanie i próżnowanie betonu.

Zgodnie z założeniami normy PN-EN 206:2014 należy oczekiwać, że beton wykonany według wymagań podanych w tabeli 4.42 będzie trwał w środowisku, do jakiego został zaprojektowany, pod warunkiem:

- właściwego ułożenia, zagęszczenia i pielęgnacji,
- zapewnienia otulenia zbrojenia,
- zaprojektowania konstrukcji betonowej zgodnie z rzeczywistymi wymaganiami warunków środowiska,
- eksploatacji konstrukcji w warunkach dla jakich została zaprojektowana,
- przestrzegania właściwej konserwacji.

Szczególnym zagrożeniem dla betonu jest agresja chemiczna (klasy ekspozycji XA). Dotyczy gruntu naturalnego i wody gruntowej o temperaturze od 5°C do 25°C, przy nieznacznej prędkości jej przepływu, umożliwiającą uznanie warunków za statyczne. Klasę ekspozycji określa najbardziej niekorzystna wartość dla dowolnej pojedynczej charakterystyki chemicznej tab. 4.43. W przypadku agresji chemicznej, potrzebne mogą być specjalne badania w celu ustalenia odpowiednich warunków ekspozycji, w których występują:

- inne ograniczenia niż wymienione w tab. 4.43,
- inne agresywne substancje chemiczne,
- zanieczyszczony chemicznie grunt lub woda,
- woda o dużej prędkości w połączeniu z substancjami chemicznymi uwzględnionymi w tab. 4.43.

W przypadku, gdy dwie lub więcej agresywnych charakterystyk wskazuje na tę samą klasę, środowisko należy zakwalifikować do następnej, wyższej klasy, chyba że specjalne badania dotyczące tego szczególnego przypadku wykażą, że nie jest to konieczne.

Tab. 4.43. Wartości graniczne dla klas ekspozycji XA

Właściwość chemiczna	Metoda badawcza	XA1	XA2	XA3
Woda gruntowa				
SO ₄ ²⁻ [mg/l]	EN 196-2	≥ 200 i ≤ 600	> 600 i ≤ 3000	> 3000 i ≤ 6000
pH	ISO 4316	≤ 6,5 i ≥ 5,5	< 5,5 i ≥ 4,5	< 4,5 i ≥ 4,0
CO ₂ agresywny [mg/l]	EN 13577	≥ 15 i ≤ 40	> 40 i ≤ 100	> 100 aż do nasycenia
NH ₄ ⁺ [mg/l]	ISO 7150-1	≥ 15 i ≤ 30	> 30 i ≤ 60	> 60 i ≤ 100
Mg ²⁺ [mg/l]	EN ISO 7980	≥ 300 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 3000	> 3000 aż do nasycenia
Grunt				
SO ₄ ²⁻ całkowite ^{a)} [mg/kg]	EN 196-2 ^{b)}	≥ 200 i ≤ 3000 ^{c)}	> 3000 ^{c)} i ≤ 12000	> 12000 i ≤ 24000
Kwasowość wg Baumanna Gully'ego [ml/kg]	prEN 16502	> 200	nie spotykane w praktyce	
^{a)} Grunty gliniaste o przepuszczalności poniżej 10 ⁻⁵ m/s mogą być przesunięte do niższej klasy. ^{b)} Metoda badania przewiduje ekstrakcję SO ₄ ²⁻ z użyciem kwasu chlorowodorowego; alternatywnie można zastosować ekstrakcję wodną, jeżeli takie badania były już wcześniej prowadzone w miejscu stosowania betonu. ^{c)} W przypadku, gdy istnieje ryzyko akumulacji jonów siarczanowych w betonie na skutek cyklicznego wysychania i nawilżania lub podciągania kapilarnego, wartość graniczną 3000 mg/kg należy zmniejszyć do 2000 mg/kg				

4.3.2. Wymagania dotyczące składników betonu

Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 do betonu należy stosować wyłącznie składniki o ustalonej przydatności. W przypadku, gdy nie ma normy europejskiej dotyczącej danego składnika, ustalenie jego przydatności można przeprowadzić na podstawie:

- europejskiej oceny technicznej, dotyczącej w szczególności zastosowania tego składnika do betonu,
- przepisów obowiązujących w miejscu stosowania betonu, dotyczących w szczególności tego składnika.

Należy jednak pamiętać, że ustalona ogólna przydatność danego składnika nie oznacza jego przydatności w przypadku dowolnego zastosowania.

Cement

Podczas doboru cementu do konkretnego elementu betonowego (betonu) należy zwrócić szczególną uwagę na:

- realizację robót,
- przeznaczenie betonu,
- warunki pielęgnacji (np. obróbka cieplna),
- wymiary konstrukcji (wydzielanie ciepła),
- warunki środowiska, na którego działanie będzie narażona konstrukcja (klasy ekspozycji),
- potencjalną reaktywność kruszywa z alkaliowymi związkami zawartymi w składnikach.

Ogólną przydatność cementu ustala się zgodnie z:

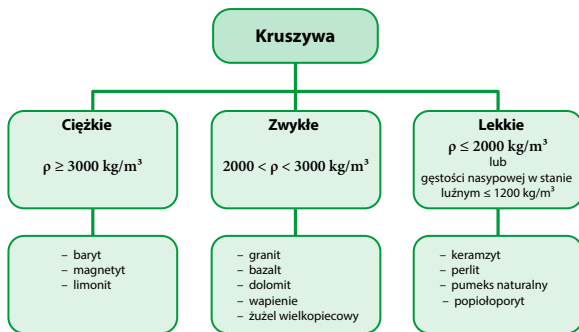
- PN-EN 197-1:2012 – cementy powszechnego użytku, w tym właściwości specjalne LH i SR,
- PN-EN 14216:2005 – cementy specjalne o bardzo niskim ciepłe hydratacji VLH (w przypadku konstrukcji masywnych),
- PN-B-19707:2013 – cementy specjalne HSR i NA,
- PN-EN 14647:2007 – cement glinowo-wapniowy,
- PN-EN 15743:2010 – cement supersiarczanowy,

Kruszywa

Kruszywo stanowi około 70-80% całkowitej objętości betonu. Oczywiście jest zatem, że przy tak dużym udziale ma ono znaczący wpływ na kształtowanie się cech, zarówno mieszanki betonowej, jak i stwardniałego betonu.

Ogólną przydatność kruszywa ustala się w odniesieniu do:

- naturalnych kruszyw zwykłych, kruszyw ciężkich oraz żuźla wielkopiecowego chłodzonego powietrzem, zgodnie z PN-EN 12620:2010 (rys. 4.12),
- kruszyw lekkich zgodnie z PN-EN 13055-1:2003 (rys. 4.12),
- kruszyw z odzysku,
- kruszyw z recyklingu i kruszyw przetworzonych, innych niż żuźel wielkopiecowy chłodzony powietrzem (dopuszcza się do stosowania jako kruszywa do betonu, jeżeli ich przydatność określona jest w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania).



Rys. 4.12. Podział i przykłady kruszyw ze względu na gęstość objętościową w stanie suchym

Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 rodzaj i kategorie kruszywa, np. dotyczące uziarnienia, płaskości, mrozoodporności, odporności na ścieranie, zawartości pyłów, należy dobrać biorąc pod uwagę:

- realizację robót,
- przeznaczenie betonu,
- warunki środowiska, na którego działanie będzie narażony beton,
- wszelkie wymagania dotyczące odsłoniętego kruszywa lub kruszywa stosowanego w przypadku mechanicznej obróbki powierzchni betonu.

Kruszywo o ciągłym uziarnieniu

Kruszywo o ciągłym uziarnieniu o zakresie wymiarów większym niż 0/8 zgodnie z PN-EN 12620:2010 należy stosować wyłącznie do betonów klas wytrzymałości na ściskanie \leq C12/15.

Kruszywo z odzysku

Norma wyróżnia dwa rodzaje kruszyw „odzyskanych”:

- kruszywo uzyskane przez wyplukanie z mieszanki betonowej,
- kruszywo uzyskane przez rozkruszenie stwardniałego betonu, który nie był wcześniej zastosowany w konstrukcji.

Kruszywo z odzysku można stosować jako kruszywo do betonu pod warunkiem, że jest ono stosowane wyłącznie przez producenta lub grupę producentów betonu, od którego pochodzi to kruszywo. Podczas stosowania kruszyw z odzysku należy pamiętać, że:

- jeżeli kruszywo z odzysku nie jest rozdzielone na frakcje, nie należy dodawać go w ilościach większych niż 5% całkowitej masy kruszywa,
- w przypadku, gdy ilość kruszywa odzyskanego przez wyflukanie jest większa niż 5% całkowitej masy kruszywa, kruszywo to powinno być rozdzielone na kruszywo grube i drobne oraz powinno być zgodne z PN-EN 12620:2010,
- w przypadku, gdy ilość kruszywa odzyskanego przez przekruszenie jest większa niż 5% całkowitej masy kruszywa, kruszywo to powinno być traktowane jako kruszywo z recyklingu.

Kruszywo grube z recyklingu

Kruszywem z recyklingu nazywamy kruszywo uzyskane w wyniku przetworzenia materiału nieorganicznego zastosowanego wcześniej w konstrukcji. W tab. 4.44 podano ograniczenia dotyczące zastępowania naturalnych kruszyw grubych kruszywami grubymi z recyklingu ($d \geq 4$ mm), w odniesieniu do klas ekspozycji.

Tab. 4.44. Maksymalny procent zastąpienia kruszyw grubych (% masowo) wg PN-EN 206:2014

Typ kruszywa z recyklingu	Klasa ekspozycji			
	X0	XC1, XC2	XC3, XC4, XF1, XA1, XD1	Inne klasy ekspozycji ^{a)}
Typ A: (RC ₉₀ , Rcu ₉₅ , Rb ₁₀ –, Ra ₁ –, Fl ₂ –, Rg ₁ –)	50%	30%	30%	0%
Typ B ^{b)} : (RC ₅₀ , Rcu ₇₀ , Rb ₃₀ –, Ra ₅ –, Fl ₂ –, XRG ₂ –)	50%	20%	0%	0%

^{a)} Kruszywa z recyklingu typu A znanego pochodzenia można stosować przy klasach ekspozycji, na które zaprojektowano oryginalny beton, przy maksymalnym procencie zastąpienia 30%.

^{b)} Nie zaleca się stosowania kruszyw z recyklingu typu B do betonu klas wytrzymałości na ściskanie > C30/37.

Odporność na reakcję alkalia-krzemionka

W przypadku, gdy kruszywo zawiera odmiany krzemionki podatne na reakcję z alkaliami (Na_2O i K_2O , pochodzące ze składu cementu, środków odładzających lub innych źródeł), a beton narażony jest na działanie środowiska wilgotnego, należy podjąć działania w celu zapobiegania szkodliwej reakcji, uwzględniając przepisy obowiązujące w miejscu stosowania betonu.

Woda zarobowa

Ogólna przydatność wody zarobowej ustalana jest zgodnie z PN-EN 1008:2004. Woda odzyskana z procesów w przemyśle betonowym, samodzielnie lub w połączeniu z wodą pitną lub wodą gruntową, zgodną z PN-EN 1008:2004, może być stosowana jako woda zarobowa do betonu zawierającego lub niezawierającego zbrojenia lub innych elementów metalowych oraz do betonu sprężonego, pod warunkiem, że spełnia wymagania PN-EN 1008:2004.

Domieszki chemiczne

Przydatność domieszek do betonu ustala się zgodnie z PN-EN 934-2:2012. Domieszki nie uwzględnione w PN-EN 934-2:2012 (np. środki stosowane do mieszanek pompowalnych) powinny spełniać ogólne wymagania PN-EN 934-1:2009 oraz przepisów obowiązujących w miejscu stosowania betonu. Stosując domieszki do betonu należy kierować się następującymi zasadami:

- całkowita ilość domieszek nie powinna przekraczać maksymalnej ilości zalecanej przez producenta oraz nie powinna być większa niż 50 g (w postaci dostarczonej) na kilogram cementu, chyba że znany jest i uwzględniony wpływ większej zawartości domieszek na właściwości i trwałość betonu,
- domieszki stosowane w ilościach mniejszych niż 2 g/kg cementu należy wymieszać z częścią wody zarobowej. Nie dotyczy to sytuacji, w których niemożliwe jest jednorodne rozprowadzenie domieszki w wodzie zarobowej (np. z powodu tworzenia się żelu). W takim przypadku można stosować inne metody dozowania domieszki do betonu,

- jeżeli całkowita ilość domieszek ciekłych przekracza 3 l/m^3 betonu, zawartą w nich wodę należy uwzględnić przy obliczaniu współczynnika woda/cement.
- w przypadku stosowania więcej niż jednej domieszki należy sprawdzić ich kompatybilność w badaniach wstępnych.

Dodatki mineralne

Dodatek mineralny jest to drobnoziarnisty nieorganiczny składnik stosowany do betonu w celu poprawy pewnych właściwości lub uzyskania właściwości specjalnych. Zasady stosowania dodatków mineralnych do betonu opisano w punkcie 4.3.2.1.

Włókna

Ogólną przydatność włókien ustala się w odniesieniu do:

- włókien stalowych zgodnie z PN-EN 14889-1:2007,
- włókien polimerowych zgodnie z PN-EN 14889-2:2007.

Dodawanie do mieszanki betonowej wyspecyfikowanej ilości włókien danego rodzaju powinno odbywać się według procedury, która zapewni ich równomierne rozmieszczenie w całej mieszance. Więcej informacji w rozdziale 6.2.

4.3.2.1. Stosowanie dodatków do betonu w ujęciu normy PN-EN 206:2014

Norma PN-EN 206:2014 definiuje dodatki mineralne jako składniki o drobnym uziarnieniu stosowane do poprawy właściwości betonu, a także uzyskania właściwości specjalnych. W normie wyróżnia się dwa typy dodatków:

- **typ I** – dodatki prawie obojętne. Ogólną przydatność dodatków typu I ustala się w odniesieniu do:
 - kruszywa wypełniającego zgodnie z PN-EN 12620:2010 lub PN-EN 13055-1:2003,
 - pigmentów zgodnie z PN-EN 12878:2014, w przypadku betonu zbrojonego tylko pigmentów kategorii B.
- **typ II** – dodatki o właściwościach pucolanowych lub utajonych właściwościach hydraulicznych. Ogólną przydatność dodatków typu II ustala się w odniesieniu do:
 - popiołu lotnego zgodnie z PN-EN 450-1:2012

- pyłu krzemionkowego zgodnie z PN-EN 13263-1:2010
- mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego zgodnie z PN-EN 15167-1:2007.

Koncepcja współczynnika k

Koncepcja współczynnika k jest koncepcją zalecaną. Stosuje się w przypadku dodatków typu II. Opiera się ona na porównaniu trwałości (lub wytrzymałości jako kryterium zastępczego dla trwałości) betonu referencyjnego z cementem „A” oraz betonu, w którym część cementu „A” zastąpiono dodatkiem, biorąc pod uwagę współczynnik woda/cement i zawartość dodatku. W przypadku dodatków typu II norma wprowadza pojęcie współczynnika k , co umożliwi uwzględnienie dodatków w składzie betonów przez zastąpienie terminu „współczynnik woda/cement” terminem „współczynnik woda/(cement + $k \times$ dodatek)”:

$$w/(c + k \times d)$$

gdzie:

- w – zawartość wody [kg],
- c – zawartość cementu [kg],
- d – zawartość dodatku:
- p – popiół lotny [kg],
- pk – pył krzemionkowy [kg],
- $ggbs$ – mielony granulowany żużel wielkopieczowy [kg].

Ilość spoiwa (cement + $k \times$ dodatek) nie powinna być mniejsza niż minimalna zawartość cementu wymagana ze względu na odpowiednią klasę ekspozycji.

Ogólne zasady stosowania dodatków typu II i ich uwzględniania w składzie betonu przedstawiono w tab. 4.45.

Tab. 4.45. Zasady stosowania dodatków typu II zgodnie z normą PN-EN 206:2014

	Rodzaj dodatku			
	popiół lotny zgodny z PN-EN 450-1:2012		pył krzemionkowy klasy 1 ^{c)} zgodny z PN-EN 13263:2010	mielony granulowany żużel wielkopiecowy zgodny z PN-EN 15167-1:2007
Maksymalna zawartość dodatku w betonie ^{a)}	CEM I	popiół lotny/cement ≤ 0,33	pył krzemionkowy/cement ≤ 0,11	ggbs/cement ≤ 1,0
	CEM II/A	popiół lotny/cement ≤ 0,25		
Wartość k ^{b)}	k = 0,4 dla cementu CEM I i CEM II/A		Dla cementu CEM I i CEM II/A: k ^{b)} = 2,0 dla w/c ≤ 0,45 k ^{b)} = 2,0 dla w/c > 0,45 z wyjątkiem klas ekspozycji XC i XF, dla których k = 1,0	k=0,6 dla cementu CEM I i CEM II/A
Minimalna zawartość cementu	ilość (cement + k × dodatek) nie powinna być mniejsza niż minimalna zawartość cementu wymagana ze względu na odpowiednią klasę ekspozycji		min. zawartość cementu nie powinna być zmniejszona o więcej niż 30 kg/m ³	ilość (cement + k × dodatek) nie powinna być mniejsza niż minimalna zawartość cementu wymagana ze względu na odpowiednią klasę ekspozycji

a) W przypadku wyższej zawartości dodatku w betonie, nadmiaru tego nie należy uwzględniać przy obliczaniu współczynnika $w/(c + k \times d)$.

b) Z wyjątkiem cementów z dodatkiem pyłu krzemionkowego.

c) W przypadku pyłu krzemionkowego klasy 2 stosuje się przepisy obowiązujące w miejscu stosowania betonu.

Stosowanie dodatków typu II w składzie betonu powinno być potwierdzone badaniami wstępnymi (załącznik A do normy PN-EN 206:2014).

Oprócz koncepcji współczynnika „k” dodatkowo norma wyróżnia koncepcje:

- równoważnych właściwości betonu (ECPC),
- kombinacji równoważnych właściwości użytkowych (EPCC).

Wykorzystuje się je w przypadku stosowania specjalnych dodatków lub cementów. Koncepcje te dopuszczają:

- zmiany wymagań dotyczących minimalnej zawartości cementu,
- zmiany maksymalnego współczynnika woda/cement,
- kombinacji cementu zgodnego z PN-EN 197-1:2012 wraz z dodatkiem (lub dodatkami).

Szczegółowe informacje na temat podanych koncepcji znajdują się w Raporcie Technicznym opracowanym przez Europejski Komitet Normalizacyjny CEN/TR 16639.

Koncepcja równoważnych właściwości użytkowych betonu

Zasady „koncepcji równoważnych właściwości betonu” dopuszczają zmiany wymagań dotyczących minimalnej zawartości cementu oraz maksymalnego współczynnika woda/cement, w przypadku zastosowania specjalnych dodatków i specjalnych cementów, których pochodzenie oraz charakterystyki są dokładnie określone i udokumentowane. Koncepcję tę należy stosować wyłącznie w przypadku użycia cementów, zgodnych z PN-EN 197-1:2012, wraz z dodatkami. W zakresie wymagań według PN-EN 206:2014 należy sprawdzić, czy właściwości betonu, w szczególności te związane z odpornością na oddziaływania środowiska, są równoważne z właściwościami betonu referencyjnego, zgodnie z wymaganiami dotyczącymi danej klasy ekspozycji.

4

Koncepcja kombinacji równoważnych właściwości

Zasady „koncepcji kombinacji równoważnych właściwości” dopuszczają określony zestaw kombinacji cementu, zgodnego z PN-EN 197-1:2012 i dodatku (lub dodatków), które w całości mogą być uwzględnione w wymaganiach dotyczących maksymalnego współczynnika woda/cement i minimalnej zawartości cementu, określonych w odniesieniu do betonu.

Metodyka postępowania obejmuje następujące elementy:

- identyfikację rodzaju cementu, który jest zgodny z normą europejską dotyczącą cementu i ma skład taki sam lub podobny jak założona kombinacja,
- ocenę czy betony zawierające taką kombinację mają podobną wytrzymałość i trwałość, z uwzględnieniem określonej klasy ekspozycji, jak betony zawierające zidentyfikowany rodzaj cementu,

- wprowadzenie kontroli produkcji, która zapewni określenie i wdrożenie tych wymagań w odniesieniu do betonów zawierających odpowiednią kombinację.

4.3.3. Mieszanka betonowa

4.3.3.1. Klasy konsystencji mieszanki betonowej

Do oznaczenia konsystencji mieszanki betonowej według wymagań normy PN-EN 206:2014 dopuszczalne jest stosowanie jednej z metod pomiarowych:

- metoda opadu stożka wg PN-EN 12350-2:2011,
- metoda stopnia zagęszczalności wg PN-EN 12350-4:2011,
- metoda stolika rozplwowego wg PN-EN 12350-5:2011,
- metoda rozplwyu stożka wg PN-EN 12350-8:2012,
- metodami specjalnymi, uzgodnionymi pomiędzy specyfikującym i producentem, do specjalnych zastosowań betonu (np. mieszanki wilgotne).

W znowelizowanej normie PN-EN 206:2014 do oznaczenia konsystencji nie stosuje się metody Ve-Be.

W tab. 4.46 przedstawiono klasy konsystencji mieszanki betonowej i dopuszczalne graniczne wartości dla każdej klasy. W przypadku betonu samozagęszczalnego (SCC) stosuje się wyłącznie klasy konsystencji określone według metody rozplwyu stożka.

Ze względu na ograniczoną czułość metod badań konsystencji, zaleca się stosowanie poszczególnych metod w następujących zakresach:

- metoda opadu stożka ≥ 10 mm i ≤ 210 mm;
- metoda stopnia zagęszczalności $\geq 1,04$ i $< 1,46$;
- metoda rozplwyu > 340 mm i ≤ 620 mm;
- metoda rozplwyu stożka > 550 mm i ≤ 850 mm.

Tab. 4.46. Klasy konsystencji mieszanki betonowej wg normy PN-EN 206:2014

Metoda	Klasa	Wartości graniczne
Opad stożka [mm] zgodnie z PN-EN 12350-2	S1	10–40
	S2	50–90
	S3	100–150
	S4	160–210
	S5	≥220
Stopień zagęszczalności zgodnie z PN-EN 12350-4	C0	≥ 1,46
	C1	1,45–1,26
	C2	1,25–1,11
	C3	1,10–1,04
	C4 ^{a)}	< 1,04
Średnica rozplwy [mm] zgodnie z PN-EN 12350-5	F1	≤ 340
	F2	350–410
	F3	420–480
	F4	490–550
	F5	560–620
	F6	≥630
Rozplwy stożka ^{b)} [mm] zgodnie z PN-EN 12350-8	SF1	550–650
	SF2	660–750
	SF3	760–850
^{a)} C4 stosuje się wyłącznie do betonu lekkiego, ^{b)} Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D_{max} większym niż 40 mm.		

Klasy dodatkowych właściwości betonu samozagęszczalnego – SCC

Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 beton samozagęszczalny (SCC) jest to beton, który pod własnym ciężarem rozplwa się i zagęszcza, wypełnia deskowanie ze zbrojeniem, kanały, ramy itp., zachowując jednorodność.

Właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej (SCC) opisuje się za pomocą:

- lepkości VF lub VS,
- przepływalności PL lub PJ,
- odporności na segregację SR.

Zgodność wskazanych właściwości mieszanki betonowej (SCC) należy określić w czasie jej stosowania lub w przypadku betonu towarowego w czasie dostawy. W przypadku dostawy mieszanki betonowej w betoniarnie samochodowej lub w urządzeniu mieszającym, jej właściwości należy badać stosując albo próbkę złożoną (uśrednioną z próbek punktowych) albo próbkę punktową zgodnie z PN-EN 12350-1:2011.

Lepkość mieszanki betonowej

Lepkość mieszanki betonowej jest to opór stawiany przez rozpluwającą się mieszankę betonową. Pomiar lepkości samozagęszczalnej mieszanki betonowej można przeprowadzić dwiema metodami:

- oznaczając czas t_v , podając odpowiednie klasy (VF) wg tab. 4.47 badanych zgodnie z PN-EN 12350-9:2012,
- oznaczając czas t_{500} , podając odpowiednie klasy (VS) wg tab. 4.48 badanych zgodnie z PN-EN 12350-8:2012.

Tab. 4.47. Klasy lepkości – t_v wg PN-EN 206:2014

Klasa	t_v ^{a)} [s]
VF1	< 9,0
VF2	9,0 – 25,0

^{a)} Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D_{max} większym niż 22,4 mm

Tab. 4.48. Klasy lepkości – t_{500} wg PN-EN 206:2014

Klasa	t_{500} ^{a)} [s]
VS1	< 2,0
VS2	≥ 2,0

^{a)} Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D_{max} większym niż 40 mm

Pomiar czasu t_{500} podczas wykonywania badania rozplwy stożka, może być pomocny przy potwierdzaniu jednorodności betonu samozagęszczalnego w różnych zarobach.

Przepływalność

Przepływalność jest to zdolność mieszanki betonowej do przepływania, bez utraty jednorodności lub blokowania się, przez ograniczone przeszerzenie i wąskie szczeliny, takie jak obszary gęsto zbrojone. Przy określa-

niu przepływalności konieczne jest uwzględnienie geometrii zbrojenia oraz najmniejszego obszaru przepływu (obszaru, przez który mieszanka SCC powinna przepłynąć w sposób ciągły, aby szczelnie wypełnić deskowanie). W przypadku złożonych konstrukcji o wymiarze najmniejszego obszaru przepływu mniejszym niż 60 mm, konieczne mogą być specjalne badania próbne z zastosowaniem odpowiedniego modelu deskowania naturalnej wielkości. W celu oznaczenia przepływalności samozagęszczalnej mieszanki betonowej, jej pomiar należy wykonać jedną z metod:

- metodą pojemnika L zgodnie z PN-EN 12350-10:2012, podając odpowiednie klasy (PL) wg tab. 4.49,
- metodą pierścienia J zgodnie z PN-EN 12350-12:2012, podając odpowiednie klasy (PJ) wg tab. 4.50.

Tab. 4.49. Klasy przepływalności według metody pojemnika L wg PN-EN 206:2014

Klasa	Wskaźnik przepływalności według metody pojemnika L
PL1	≥ 0,80 dla 2 prętów
PL2	≥ 0,80 dla 3 prętów

4

Tab. 4.50. Klasy przepływalności według metody pierścienia J wg PN-EN 206:2014

Klasa	Parametr przepływalności według metody pierścienia J ^{a)} [mm]
PJ1	≤ 10 z 12 prętami
PJ2	≤ 10 z 16 prętami

^{a)} Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D_{max} większym niż 40 mm

Oporność na segregację

Oporność na segregację jest to zdolność mieszanki betonowej do zachowania jednorodności. Mieszanka betonowa SCC może podlegać, zarówno dynamicznej segregacji podczas układania, jak i statycznej segregacji po ułożeniu, przed stwardnieniem. Statyczna segregacja jest najbardziej niebezpieczna w przypadku wysokich elementów, ale nawet w cienkich płytach może prowadzić do uszkodzeń powierzchni betonu. Badania oporności na segregację nie stosuje się w przypadku betonu zawierającego włókna lub kruszywo lekkie. W celu oznaczenia oporności na segregację samozagęszczalnej mieszanki betonowej, jej pomiar

należy wykonać metodą sitową zgodnie z metodyką zawartą w normie PN-EN 12350-11:2012, podając odpowiednie klasy (SR) wg tab. 4.51.

Tab. 4.51. Klasy odporności na segregację według metody sitowej wg PN-EN 206:2014

Klasa	Udział segregacji ^{a)} [%]
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

^{a)} Klasyfikacji nie stosuje się do betonu z kruszywem o D_{max} większym niż 40 mm

4.3.3.2. Wymagania dotyczące zawartości składników w mieszance betonowej

Zawartość cementu

Zawartość cementu w mieszance betonowej uzależniona jest od warunków środowiska na jakie będzie narażony beton. Klasy ekspozycji podane w normie PN-EN 206:2014 określają minimalną zawartość cementu. W przypadku, gdy w składzie betonu uwzględnia się dodatki z uwagi na minimalną zawartość cementu i maksymalny współczynnik woda/cement, zawartość cementu zastępuje się:

- zawartością (cement + k x dodatek) lub,
- zawartością (cement + dodatek),
- zależnie od stosowanej koncepcji (patrz 4.3.2.1).

Jeśli przewiduje się oznaczenie zawartości cementu, należy ją określić, wybierając jedną z poniższych możliwości:

- na podstawie wydruku z przyrządu rejestrującego skład betonu,
- na podstawie zapisu z produkcji w powiązaniu z instrukcją dozowania,
- analityczne, metoda badania oraz tolerancje powinny być uzgodnione między specyfikującym a producentem.

Współczynnik woda/cement

Współczynnik woda/cement jest to stosunek masowy efektywnej zawartości wody (różnica między całkowitą ilością wody w mieszance betonowej a ilością wody zaabsorbowaną przez kruszywo) do zawartości cementu w mieszance betonowej.

Jeśli przewiduje się oznaczenie współczynnika woda/cement mieszanki betonowej, należy go obliczyć na podstawie oznaczonej zawartości cementu oraz efektywnej zawartości wody.

Ilość wody zaadsorbowanej przez kruszywo (nasiąkliwość kruszywa) należy określać zgodnie z PN-EN 1097-6:2013 (wyjątek: nasiąkliwość grubego kruszywa lekkiego w mieszance betonowej należy określać po 1 godzinie, stosując kruszywo w stanie wilgotności naturalnej). Badania nasiąkliwości można modyfikować uwzględniając wszystkie pyły, pod warunkiem, że jest to zgodne z przepisami obowiązującymi w miejscu stosowania.

Zawartość powietrza

Odpowiednia zawartość pęcherzyków powietrza w mieszance betonowej pochodzącego z napowietrzania ma szczególne znaczenie ze względu na trwałość (mrozoodporność) wykonanego elementu. Jeżeli warunki pracy betonu odpowiadają klasom ekspozycji XF2 ÷ XF4 wymagana jest minimalna zawartość powietrza w betonie wynosząca 4%. Oznaczenie zawartości powietrza w mieszance betonowej, należy wykonać zgodnie z metodyką podaną w normie PN-EN 12350-7:2011 w przypadku betonu zwykłego i ciężkiego oraz zgodnie z normą ASTM C 173 w przypadku betonu lekkiego. Zaleca się, aby specyfikujący uwzględnił straty powietrza, które mogą wystąpić po dostarczeniu mieszanki na miejsce w wyniku pompowania, układania, zagęszczania, itp. Istotnym są też warunki środowiskowe (temperatura otoczenia).

Zawartość włókien

Jeśli przewiduje się oznaczenie zawartości włókien, należy ją określić, wybierając jedną z poniższych możliwości:

- na podstawie wydruku z przyrzędu rejestrującego skład betonu,
- na podstawie zapisu z produkcji w powiązaniu z instrukcją dozowania.

Dodawanie do mieszanki betonowej wyspecyfikowanej ilości włókien danego rodzaju, powinno odbywać się według procedury, która zapewni równomierne rozmieszczenie w całej objętości.

Zawartość chlorków

Zawartość chlorków w betonie, wyrażona jako procentowa zawartość jonów chlorkowych w odniesieniu do masy cementu, nie powinna przekraczać wartości dla wybranej klasy, podanej w tab. 4.52. W celu oznaczenia zawartości chlorków w betonie należy określić sumę ich udziałów w składnikach, stosując jedną z poniższych metod lub ich kombinację:

- obliczanie na podstawie maksymalnej zawartości chlorków w składniku, dopuszczonej w normie dotyczącej danego składnika, albo deklarowanej przez producenta każdego składnika,
- obliczanie na podstawie zawartości chlorków w składnikach, określanej co najmniej raz na miesiąc jako suma średnich z ostatnich 25 oznaczeń zawartości chlorków oraz iloczynu $1,64 \times \sigma$ (σ – obliczone odchylenie standardowe dla każdego składnika). Metoda jest szczególnie przydatna w przypadku kruszyw wydobywanych z dna morskiego oraz przy braku danych dotyczących deklarowanej lub normowej wartości maksymalnej.

Do betonu zawierającego zbrojenie stalowe, sprzężające zbrojenie stalowe oraz inne elementy metalowe nie należy dodawać chlorku wapnia oraz domieszek zawierających chlorki.

Tab. 4.52. Maksymalna zawartość chlorków w betonie

Zastosowanie betonu	Klasa zawartości chlorków ^{a)}	Maksymalna zawartość Cl ⁻ odniesiona do masy cementu ^{b)} [%]
Bez zbrojenia stalowego lub innych elementów metalowych, z wyjątkiem uchwytów odpornych na korozję	Cl 1,0	1,0
Ze zbrojeniem stalowym lub innymi elementami metalowymi	Cl 0,20	0,20
	Cl 0,40 ^{c)}	0,40
Ze stalowym zbrojeniem sprzężającym, bezpośrednio stykającym się z betonem	Cl 0,10	0,10
	Cl 0,20	0,20

^{a)} Do specjalnego zastosowania betonu; klasa zależy od postanowień obowiązujących na miejscu zastosowania betonu.

^{b)} W przypadku stosowania dodatków oraz ich uwzględniania w masie cementu, zawartość chlorków wyraża się jako procentową zawartość jonów chlorkowych w odniesieniu do masy cementu wraz z całkowitą masą uwzględnianych dodatków

^{c)} W przypadku betonów zawierających cementy CEM III dopuszcza się różne klasy zawartości chlorków zgodnie z przepisami obowiązującymi w miejscu stosowania betonu.

Temperatura mieszanki betonowej

Temperatura mieszanki betonowej w czasie dostawy nie powinna być niższa niż 5°C. W przypadku gdy wymagana jest inna (minimalna lub maksymalna) temperatura mieszanki betonowej, wartość tą należy wyspecyfikować z podaniem dopuszczalnych tolerancji. Wszelkie wymagania dotyczące sztucznego chłodzenia lub podgrzewania mieszanki, przed jej dostarczeniem, powinny być uzgodnione między producentem a wykonawcą.

4.3.4. Wymagania dotyczące betonu stwardniałego

Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie należy określić na podstawie badań przeprowadzonych na próbkach walcowych o wymiarach 150/300 mm lub próbkach sześciennych o boku 150 mm zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2011. Do oceny wytrzymałości można stosować próbki formowane o innych wymiarach oraz inne warunki pielęgnacji, pod warunkiem, że z wystarczającą dokładnością ustalono i udokumentowano relacje z normowymi próbkami lub warunkami. W przypadku stosowania prób sześciennych o boku 100 mm (wg krajowego uzupełnienia PN-B-06265) należy zastosować mnożnik 0,95 do każdego pojedynczego wyniku badania (rys. 4.13).

Z uwagi na poziom wytrzymałości charakterystycznej norma PN-EN 206:2014 wyróżnia klasy wytrzymałości na ściskanie betonu – dla betonu zwykłego i ciężkiego wg tab.4.53, dla betonu lekkiego wg tab.4.54.

Klasa wytrzymałości na ściskanie jest określona symbolem literowo-liczbowym według schematu:

- beton zwykły lub ciężki: C X/Y
- beton lekki: LC X/Y

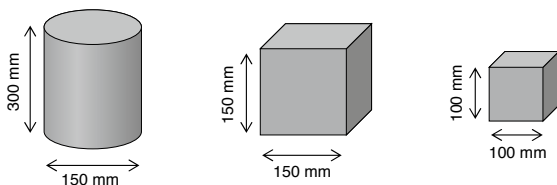
gdzie:

X – wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie po 28 dniach oznaczona na próbkach walcowych o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm ($f_{ck, cyl}$),

Y – wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie po 28 dniach oznaczona na próbkach sześciennych o boku 150 mm ($f_{ck, cube}$).

O ile nie określono inaczej, wytrzymałość na ściskanie oznacza się po 28 dniach dojrzewania. W szczególnych przypadkach może istnieć konieczność określenia wytrzymałości na ściskanie w wieku wcześniejszym lub późniejszym niż 28 dni (np. dla masywnych elementów konstrukcyjnych) lub po przechowywaniu w warunkach specjalnych (np. obróbka cieplna).

Producent mieszanki betonowej przed dostawą powinien określić, na jakich próbkach: walcowych czy sześciennych, będzie oznaczana wytrzymałość na ściskanie. Przyjęcie innych zasad musi być uzgodnione między specyfikującym a producentem. Jeżeli istnieje przypuszczenie, że wyniki badania wytrzymałości na ściskanie będą niereprezentatywne, np. w przypadku mieszanek betonowych o konsystencji C0 lub o konsystencji gęstszej niż S1, należy zmodyfikować metodę badania albo ocenić wytrzymałość na ściskanie w istniejącej konstrukcji lub elemencie konstrukcyjnym.



Rys. 4.13. Wymiary próbek do określania wytrzymałości na ściskanie

Tab. 4.53. Klasy wytrzymałości na ściskanie betonu zwykłego i ciężkiego

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach walcowych $f_{ck,cyl}$ [N/mm ²]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach sześciennych $f_{ck,cube}$ [N/mm ²]
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu

Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu, należy badać zgodnie z PN-EN 12390-6:2011. O ile nie określono inaczej, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu oznacza się na próbkach po 28 dniach. Wytrzymałość charakterystyczna betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu powinna być równa lub większa od wyspecyfikowanej wartości.

Uwaga: przy oznaczaniu wytrzymałości na zginanie można stosować takie samo podejście jak podczas określania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu. W takim przypadku badanie wytrzymałości na zginanie należy przeprowadzić zgodnie z metodyką zawartą w normie PN-EN 12390-5:2011.

Tab. 4.54. Klasy wytrzymałości na ściskanie betonu lekkiego

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach walcowych $f_{ck,cyl}$ [N/mm ²]	Minimalna wytrzymałość charakterystyczna oznaczona na próbkach sześciennych $f_{ck,cube}$ [N/mm ²]
LC8/9	8	9
LC12/13	12	13
LC16/18	16	18
LC20/22	20	22
LC25/28	25	28
LC30/33	30	33
LC35/38	35	38
LC45/50	45	50
LC50/55	50	55
LC55/60	55	60
LC60/66	60	66
LC70/77	70	77
LC80/88	80	88

Gęstość

Gęstość betonu należy określać w stanie suchym zgodnie z PN-EN 12390-7:2011. Gęstość betonu zwykłego w stanie suchym powinna być większa niż 2000 kg/m³ i nie powinna przekraczać 2600 kg/m³. Gęstość betonu lekkiego w stanie suchym powinna zawierać się między wartościami granicznymi określonej klasy gęstości tab. 4.55. Gęstość betonu ciężkiego w stanie suchym powinna być większa niż 2600 kg/m³. W przypadku, gdy gęstość betonu jest wyspecyfikowana jako wartość założona, tolerancja wynosi ± 100 kg/m³, o ile nie ustalono inaczej.

Tab. 4.55. Klasy gęstości betonu lekkiego wg PN-EN 206:2014

Klasa gęstości	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Zakres gęstości badanej kg/m ³	≥ 800 i ≤ 1000	> 1000 i ≤ 1200	> 1200 i ≤ 1400	> 1400 i ≤ 1600	> 1600 i ≤ 1800	> 1800 i ≤ 2000

Odporność na penetrację wody pod ciśnieniem

W przypadku oznaczania odporności na penetrację wody pod ciśnieniem, metoda badania oraz kryteria zgodności powinny być uzgodnione między specyfikującym a producentem. Jeżeli nie uzgodniono metody badania, odporność na penetrację wody pod ciśnieniem może być określona pośrednio za pomocą wartości granicznych dotyczących składu betonu (współczynnik w/c, zawartość cementu).

Ognioodporność

Beton wykonany ze składników odpowiadających wymaganiom PN-EN 206:2014, zgodnie z decyzją Komisji Europejskiej 94/611/EC, jest zakwalifikowany do klasy ognioodporności Euro A1 i nie wymaga badania.

4.3.5. Specyfikacja betonu

Specyfikacja przekazywana producentowi betonu, zgodnie z założeniami normy PN-EN 206:2014, powinna zawierać wszystkie istotne wymagania dotyczące właściwości betonu oraz warunków jego transportu, zabudowy, pielęgnacji oraz dalszych zabiegów. W tym ujęciu specyfikujący jest zobowiązany uwzględnić:

- przeznaczenie mieszanki betonowej i betonu stwardniałego,
- warunki pielęgnacji,
- wymiary konstrukcji (wydzielanie ciepła),
- oddziaływanie środowiska, w którym konstrukcja będzie eksploatowana,
- projektowy okres użytkowania,
- wymagania dotyczące wykończenia powierzchni betonu,
- wszelkie wymagania, które mają wpływ na wyspecyfikowane wartości uziarnienia kruszywa,
- wszelkie ograniczenia dotyczące stosowania składników o ustalonej przydatności, np. wynikające z klas ekspozycji.

W oparciu o wymienione założenia ogólne zamawiany beton powinien być określony jako:

- **beton projektowany (o określonych właściwościach)**
 - beton, którego wymagane właściwości i ewentualne dodatkowe cechy są podane producentowi, odpowiedzialnemu

za dostarczenie betonu zgodnego z wymaganymi właściwościami i dodatkowymi cechami,

- **beton recepturowy (o określonym składzie)** – beton, którego skład i składniki, jakie powinny być użyte, są podane producentowi odpowiedzialnemu za dostarczenie betonu o tak określonym składzie.

W przypadku betonu projektowanego specyfikacja powinna zawierać wymagania przedstawione w tab. 4.56.

Tab. 4.56. Wymagania dotyczące betonu projektowanego

Wymagania podstawowe	Wymagania dodatkowe
<ul style="list-style-type: none"> ■ wymaganie zgodności z PN-EN 206:2014 ■ klasa wytrzymałości na ściskanie ■ klasa ekspozycji ■ maksymalny wymiar ziaren kruszywa ■ klasa zawartości chlorków ■ klasę gęstości lub założoną gęstość^{a)} ■ klasę konsystencji lub założoną wartość konsystencji^{b)} 	<ul style="list-style-type: none"> ■ specjalne rodzaje lub klasy cementu, np. cement o niskim ciepłe hydratacji LH ■ specjalne rodzaje lub kategorie kruszywa^{c)}, np. kruszywo mrozoodporne ■ rodzaj, funkcję oraz minimalną zawartość włókien lub klasy właściwości użytkowych betonu zbrojonego włóknami ■ wymagana temperatura mieszanki betonowej ■ opóźnione wiązanie betonu ■ rozwój wytrzymałości betonu ■ głębokość penetracji wody ■ odporność na ścieranie ■ wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu ■ skurcz od wysychania, pęcznienie, moduł sprężystości ■ dodatkowe wymagania dotyczące betonu do specjalnych robót geotechnicznych ■ dodatkowe właściwości betonu samozagęszczalnego ■ inne wymagania techniczne, np. dotyczące wykończenia powierzchni lub metod układania
<p>a) dodatkowo w przypadku betonu ciężkiego lub lekkiego. b) dodatkowo w przypadku betonu towarowego oraz wykonanego na placu budowy. c) W tych przypadkach specyfikujący jest odpowiedzialny za skład betonu, zapewniający najmniejsze zagrożenie wystąpieniem szkodliwej reakcji alkalia-krzemionka</p>	

Określając skład betonu recepturowego, specyfikujący powinien zapewnić spełnienie wymagań normy PN-EN 206:2014 oraz odpowiadać za osiągnięcie projektowanych parametrów mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Wymagania dla betonu recepturowego przedstawiono w tab. 4.57.

Tab. 4.57. Wymagania dotyczące betonu recepturowego

Wymagania podstawowe	Wymagania dodatkowe
<ul style="list-style-type: none"> ■ wymaganie zgodności z PN-EN 206 ■ zawartość cementu ■ rodzaj i klasa cementu ■ współczynnik w/c lub klasa konsystencji ■ rodzaj kruszywa wraz z zawartością chlorków w kruszywie ■ w przypadku betonu lekkiego lub betonu ciężkiego odpowiednio maksymalną lub minimalną gęstość kruszywa ■ maksymalny wymiar ziaren kruszywa ■ rodzaj i ilość domieszek, dodatków lub włókien, jeśli są stosowane ■ pochodzenie domieszek, dodatków lub włókien, jeśli są stosowane, oraz cementu 	<ul style="list-style-type: none"> ■ pochodzenie składników betonu ■ dodatkowe wymagania dla kruszywa ■ wymagana temperatura mieszanki betonowej ■ inne wymagania techniczne

4.3.6. Dostawa mieszanki betonowej

Informacje przekazywane producentowi betonu przez wykonawcę

Wykonawca powinien uzgodnić z producentem:

- datę, godzinę i wielkość dostawy,
- oraz, tam gdzie to właściwe, poinformować producenta o:

- specjalnym transporcie na budowie,
- specjalnych metodach układania,
- ograniczeniach dotyczących pojazdu dostawczego, np. o jego rodzaju (urządzenie mieszające, niemieszające), wielkości, wysokości lub masie brutto.

Informacje przekazywane wykonawcy przez producenta betonu

Na życzenie wykonawcy producent powinien przekazać następujące informacje dotyczące betonu projektowanego:

- rodzaj i klasę wytrzymałości cementu oraz rodzaj kruszywa,
- rodzaj domieszek, rodzaj dodatków, jeśli są stosowane,
- opis włókien zgodnie z PN-EN 14889-1:2007 lub PN-EN 14889-2:2007 oraz ich zawartość, jeśli jest wyspecyfikowana,
- opis włókien zgodnie z PN-EN 14889-1:2007 lub PN-EN 14889-2:2007, jeśli są wyspecyfikowane za pomocą klasy właściwości użytkowych betonu zbrojonego włóknami,

- założony współczynnik woda/cement,
- wyniki istotnych wcześniejszych badań betonu, np. z kontroli produkcji lub kontroli zgodności lub z badań wstępnych,
- rozwój wytrzymałości,
- pochodzenie składników,
- wartość deklarowana najgrubszej frakcji kruszywa.

Pielęgnacja młodego betonu ma na celu osiągnięcie projektowanych właściwości stwardniałego betonu. Odpowiedni dobór metod i czasu pielęgnacji zależy od warunków klimatycznych i rozwoju wytrzymałości betonu (rozdział 6). Przy określaniu czasu pielęgnacji, informacje o rozwoju wytrzymałości betonu mogą być podane według tab. 4.58, lub w postaci krzywej rozwoju wytrzymałości betonu w temperaturze 20°C między 2 a 28 dniem dojrzewania. Współczynnik wytrzymałości, charakteryzujący rozwój wytrzymałości, jest stosunkiem średniej wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania ($f_{cm,2}$) do średniej wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania ($f_{cm,28}$), określonym na podstawie badań wstępnych lub znanych właściwości użytkowych betonu o porównywalnym składzie.

Tab. 4.58. Rozwój wytrzymałości betonu w 20°C

Rozwój wytrzymałości	Współczynnik wytrzymałości $r = f_{cm,2} / f_{cm,28}$
Szybki	$\geq 0,5$
Umiarkowany	$\geq 0,3$ do $< 0,5$
Wolny	$\geq 0,15$ do $< 0,3$
Bardzo wolny	$< 0,15$

Dowód dostawy betonu towarowego

Norma PN-EN 206:2014 określa szczegółowe wymagania w zakresie dokumentacji dostawy mieszanki betonowej. Do obowiązku producenta należy dostarczenie odbiorcy dowodu dostawy, dołączonego do każdego ładunku mieszanki betonowej. Dokument ten powinien zawierać następujące pozycje:

- nazwa wytwórni betonu towarowego,
- numer dowodu dostawy,
- datę i godzinę załadunku,
- numer ciężarówki lub oznaczenie pojazdu,

- dane nabywcy,
- nazwę i lokalizację miejsca dostawy,
- szczegóły specyfikacji, np. numer przepisu, numer zamówienia,
- ilość mieszanki betonowej [m³],
- deklarację zgodności z powołaniem na specyfikację oraz normę PN-EN 206:2014,
- nazwę lub oznaczenie jednostki certyfikującej (jeśli dotyczy),
- godzinę dostawy betonu na miejsce, rozpoczęcia rozładunku i zakończenia rozładunku.

Dowód dostawy powinien dodatkowo zawierać:

a) dla betonu projektowanego:

- klasę wytrzymałości,
- klasę ekspozycji,
- maksymalny górny wymiar ziaren kruszywa,
- klasę zawartości chlorków,
- klasę konsystencji lub jej wartość założoną,
- wartości graniczne składu betonu, jeśli są wyspecyfikowane,
- rodzaj i klasę wytrzymałości cementu, jeśli są wyspecyfikowane,
- rodzaj domieszki i rodzaj dodatku, jeśli są wyspecyfikowane,
- rodzaj i zawartość włókien lub klasę właściwości użytkowych betonu zbrojonego włóknami, jeśli są wyspecyfikowane,
- właściwości specjalne, jeśli są wymagane,
- maksymalny wymiar ziaren kruszywa,
- w przypadku betonu lekkiego lub ciężkiego: klasę gęstości lub założoną gęstość;

b) dla betonu recepturowego:

- szczegóły dotyczące składu, np. zawartość cementu,
- współczynnik w/c lub klasę konsystencji,
- maksymalny wymiar ziaren kruszywa,
- rodzaj i zawartość włókien, jeśli są wyspecyfikowane.

Zmiany składu mieszanki betonowej po zasadniczym procesie mieszania, a przed rozładunkiem

W ogólnym przypadku nie dopuszcza się zmian proporcji mieszanki po zasadniczym procesie mieszania. Jednak w szczególnych przypadkach domieszki, pigmenty, włókna lub wodę można dodać:

- na odpowiedzialność producenta,
- jeśli konsystencja i wartości graniczne będą odpowiadały wyspecyfikowanym wartościom; i
- jeśli w ramach zakładowej kontroli produkcji istnieje udokumentowana procedura gwarantująca bezpieczną realizację takiego procesu.

Ponadto, w przypadku dodawania wody, kontrolę zgodności należy przeprowadzić na próbkach pobranych z mieszanki betonowej po tej modyfikacji. W każdym przypadku na dowodzie dostawy należy zapisać dodaną do betoniarki samochodowej ilość wody, domieszek, pigmentów lub włókien (jeśli wyspecyfikowano zawartość włókien).

4.3.7. Kontrola i kryteria zgodności betonu zgodnie z normą PN-EN 206:2014

4.3.7.1. Kontrola i kryteria zgodności betonu projektowanego

Pobieranie i badanie próbek w ramach kontroli zgodności betonu (producent betonu)

Kontrola zgodności obejmuje ogół działań i decyzji podejmowanych według zasad zgodności, przyjętych przed sprawdzeniem zgodności betonu z jego specyfikacją. Jednym z etapów kontroli zgodności betonu towarowego jest kontrola i ocena wyspecyfikowanych właściwości mieszanki betonowej oraz stwardniałego betonu.

W celu usystematyzowania częstotliwości oraz ilości pobieranych prób do badań w normie PN-EN 206:2014 zdefiniowano minimalną częstotliwość poboru prób do badań w ramach oceny zgodności. Należy podkreślić, że wytyczne te dotyczą wyłącznie producenta betonu, a częstotliwość kontroli prowadzonej przez odbiorcę podlega innym zasadom i powinna być zgodna z wytycznymi dotyczącymi badań identyczności.

Przy poborze prób rozróżniamy dwa rodzaje produkcji:

- początkową – obejmuje produkcję do momentu otrzymania co najmniej 35 wyników badań,
- ciągłą – osiąga się, gdy uzyska się co najmniej 35 wyników badań w okresie nie przekraczającym 12 miesięcy.

W przypadku, gdy produkcja betonu o odrębnym składzie lub rodziny betonów, została wstrzymana na dłużej niż 12 miesięcy, producent powinien przyjąć kryteria, plan pobierania i badania próbek przewidziane dla produkcji początkowej. Próbki mieszanki betonowej należy wybierać losowo i pobierać zgodnie z PN-EN 12350-1:2011. Minimalna częstotliwość pobierania i badania próbek betonu powinna być zgodna z tab. 4.59. Należy przyjmować wartość, zapewniającą największą liczbę próbek w odniesieniu do rozważanej produkcji, początkowej lub ciągłej.

Niezależnie od wymagań dotyczących pobierania próbek, próbki należy pobierać po każdym dodaniu, na odpowiedzialność producenta, wody lub domieszek do mieszanki betonowej. Natomiast dopuszcza się pobieranie próbek przed dodaniem domieszki uplastyczniającej lub upłynniającej w celu modyfikacji konsystencji, w przypadku potwierdzenia w badaniach wstępnych, że domieszka w stosowanych ilościach nie wywiera negatywnego wpływu na wytrzymałość betonu.

Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na ściskanie

Zgodność wytrzymałości na ściskanie ocenia się na próbkach badanych po 28 dniach dojrzewania. Jeśli wytrzymałość jest wyspecyfikowana w odniesieniu do innego wieku, zgodność ocenia się na próbkach badanych w wieku określonym w specyfikacji. Każdy pojedynczy wynik badania f_{ci} , powinien spełniać warunek: $f_{ci} \geq (f_{ck} - 4) N/mm^2$.

Uzyskanie wyspecyfikowanej wytrzymałości charakterystycznej, dotyczącej wyników średnich, należy ocenić jedną z poniższych metod:

- **metoda A – produkcja początkowa:** w przypadku produkcji początkowej, średnia wytrzymałość nienakładających się lub nakładających się zbiorów trzech kolejnych wyników badań f_{cm} ,
- **metoda B – produkcja ciągła:** może być stosowana, gdy warunki produkcji ciągłej są ustalone. W przypadku produkcji ciągłej, średnia wytrzymałość nienakładających się lub nakładających się zbiorów

kolejnych wyników uzyskanych na pojedynczym betonie lub rodzinie betonów w okresie oceny badania,

- **metoda C – stosowanie kart kontrolnych:** polegająca na stosowaniu kart kontrolnych, może być alternatywnie stosowana do oceny zgodności, jeśli warunki produkcji ciągłej są ustalone, a produkcja betonu objęta jest certyfikacją strony trzeciej.

Tab. 4.59. Minimalna częstotliwość pobierania próbek do oceny zgodności

Produkcja	Minimalna częstotliwość pobierania próbek		
	Pierwsze 50 m ³ produkcji	Po pierwszych 50 m ³ produkcji ^{a)}	
		beton z certyfikatem kontroli produkcji	beton bez certyfikatu kontroli produkcji
Początkowa (do momentu uzyskania co najmniej 35 wyników badań)	3 próbki	1/200 m ³ lub 1/3 dni produkcji ^{d)}	1/150 m ³ lub 1/dzień produkcji ^{d)}
Ciągła ^{b)} (po uzyskaniu co najmniej 35 wyników w czasie 3 do 12 miesięcy)	—	1/400 m ³ lub 1/5 dni produkcji ^{c) d)} lub 1/miesiąc kalendarzowy	

^{a)} Pobieranie próbek powinno być rozłożone w czasie produkcji i nie zaleca się pobierania więcej niż 1 próbki z każdych 25 m³ mieszanki.

^{b)} W przypadku gdy odchylenie standardowe ostatnich 15 lub więcej wyników badania przekracza górne granice s_n wg tab. 4.61, częstotliwość pobierania próbek należy zwiększyć do częstotliwości wymaganej w przypadku produkcji początkowej, do uzyskania następnych 35 wyników badań.

^{c)} Lub raz na tydzień kalendarzowy, gdy na 7 kolejnych dni kalendarzowych przypada więcej niż 5 dni produkcji.

^{d)} Definicja dnia produkcji powinna być określona w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania betonu.

Zgodność jest potwierdzona, jeśli kryteria podane w tab. 4.60 dla produkcji początkowej lub ciągłej (metoda A lub B) są spełnione.

Tab. 4.60. Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na ściskanie

Produkcja	Liczba „n” wyników badań wytrzymałości na ściskanie w zbiorze	średnia z „n” wyników (f_{cm}) [N/mm ²]	dowolny pojedynczy wynik badania (f_{ci}) [N/mm ²]
Początkowa	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Ciągła	≥ 15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

f_{ck} – wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie
 f_{cm} – średnia z „n” wyników badania wytrzymałości
 f_{ci} – pojedynczy wynik badania wytrzymałości w danej serii
 σ – odchylenie standardowe

Pod koniec produkcji początkowej należy oszacować odchylenie standardowe (σ) populacji na podstawie co najmniej 35 kolejnych wyników badań uzyskanych w okresie nieprzekraczającym trzech miesięcy. Gdy rozpoczyna się produkcję ciągłą, wartość odchylenia standardowego należy stosować do sprawdzenia zgodności w okresie pierwszej oceny. Pod koniec pierwszego i następnych okresów oceny sprawdza się, stosując ograniczenia podane w tab. 4.61, czy odchylenie standardowe znacząco się zmieniło. W przypadku znaczącej zmiany odchylenia standardowego, na podstawie ostatnich 35 kolejnych wyników oblicza się nową wartość odchylenia standardowego i stosuje się ją w następnym okresie oceny.

4

Tab. 4.61. Wartości do weryfikacji odchylenia standardowego

Liczba wyników badań	Granice s_n
15 do 19	$0,63 \sigma \leq s_n \leq 1,37 \sigma$
20 do 24	$0,68 \sigma \leq s_n \leq 1,31 \sigma$
25 do 29	$0,72 \sigma \leq s_n \leq 1,28 \sigma$
30 do 34	$0,74 \sigma \leq s_n \leq 1,26 \sigma$
35 ^{a)}	$0,76 \sigma \leq s_n \leq 1,24 \sigma$

a) W przypadku liczby wyników badań większej niż 35, stosuje się wzór:

$$\sqrt{\frac{\chi_{0,025;n-1}^2}{(n-1)}} \sigma \leq s_n \leq \sqrt{\frac{\chi_{0,975;n-1}^2}{(n-1)}} \sigma$$

Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Gdy wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu jest wyspecyfikowana, ocenę zgodności należy przeprowadzić na podstawie wyników badań uzyskanych w okresie oceny zgodności, który nie powinien przekraczać okresu określonego przez jeden z poniższych przypadków, w zależności od częstotliwości badania:

- w przypadku zakładów stosujących mniejszą częstotliwość badań (liczba wyników badań betonu projektowanego mniejsza niż 35 na trzy miesiące), okres oceny powinien obejmować co najmniej 15 wyników i nie więcej niż 35 kolejnych wyników uzyskanych w okresie nie przekraczającym 6 miesięcy,
- w przypadku zakładów stosujących większą częstotliwość badań (liczba wyników badań betonu projektowanego co najmniej 35 na trzy miesiące), okres oceny powinien obejmować co najmniej 15 kolejnych wyników i nie powinien przekraczać trzech miesięcy.

Zgodność wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu ocenia się na próbkach badanych po 28 dniach dojrzewania (chyba, że wyspecyfikowano inny wiek badania) w odniesieniu do:

- zbiorów n nienakładających się lub nakładających się kolejnych wyników badań $f_{ctm,sp}$ (kryterium 1),
- każdego pojedynczego wyniku badania $f_{cti,sp}$ (kryterium 2).

Zgodność z charakterystyczną wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywaniu ($f_{ctk,sp}$) jest potwierdzona, jeśli wyniki badań spełniają oba kryteria podane w tab. 4.62 odpowiednio dla produkcji początkowej albo ciągłej.

Tab. 4.62. Kryteria zgodności dotyczące wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

Produkcja	Liczba n wyników w zbiorze	Kryterium 1	Kryterium 2
		Średnia z n wyników ($f_{ctm,sp}$) [N/mm ²]	Dowolny pojedynczy wynik ($f_{cti,sp}$) [N/mm ²]
Początkowa	3	$\geq f_{ctk,sp} + 0,5$	$\geq f_{ctk,sp} - 0,5$
Ciągła	Nie mniej niż 15	$\geq f_{ctk,sp} + 1,48 s$	$\geq f_{ctk,sp} - 0,5$

4.3.7.2. Pobieranie i badanie próbek w ramach oceny identyczności (odbiorca betonu)

Ocenę identyczności przeprowadza się w celu wskazania czy określona objętość betonu należy do tej samej populacji, która w ramach oceny zgodności została zweryfikowana przez producenta jako zgodna. Wykonuje się ją wtedy, gdy istnieją wątpliwości co do zarobu, ładunku lub jeżeli jest wymagana w specyfikacji projektu.

Przy wykonywaniu badań identyczności należy określić partię betonu, która będzie poddawana ocenie, np. jako:

- pojedynczy zarób lub ładunek, w przypadku wątpliwości związanych z jakością,
- beton dostarczony na każdą kondygnację budynku lub grupę, np.: belek, płyt, słupów, ścian lub innych porównywanych elementów konstrukcyjnych,
- beton dostarczony na miejsce w ciągu jednego tygodnia, ale nie więcej niż 400 m³.

Z każdej partii należy określić ilość pobieranych prób przy uwzględnieniu wytycznych z tab. 4.63.

Tab. 4.63. Minimalna częstotliwość pobierania próbek do oceny identyczności

Warunki kontroli produkcji	Minimalna częstotliwość pobierania próbek z partii
Beton bez certyfikatu kontroli produkcji	3 próbki
Beton z certyfikatem kontroli produkcji	1 próba

Kryteria identyczności dotyczące wytrzymałości na ściskanie

Identyczność betonu ocenia się dla każdego pojedynczego wyniku badania wytrzymałość na ściskanie oraz dla średniej z „n” niepokrywających się pojedynczych wyników zgodnie z tab. 4.64.

Tab. 4.64. Kryteria identyczności dotyczące wytrzymałości na ściskanie

Warunki kontroli produkcji (producent)	Liczba „n” wyników badan wytrzymałości na ściskanie w próbach z określonej objętości betonu	Średnia z „n” wyników (f_{cm}) [N/mm ²]	Dowolny pojedynczy wynik badania (f_{ci}) [N/mm ²]
Beton z certyfikatem kontroli produkcji	1	nie stosuje się	$\geq f_{ck} - 4$
	2–4	$\geq f_{ck} + 1$	$\geq f_{ck} - 4$
	5–6	$\geq f_{ck} + 2$	$\geq f_{ck} - 4$
Beton bez certyfikatu kontroli produkcji	≥ 3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$

Kryteria identyczności dotyczące zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej

W przypadku kryteriów identyczności zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej należy pobrać trzy próbki z ładunku podczas jego rozładowywania, po jednej z każdej trzeciej części jego objętości: początkowej, środkowej i końcowej. Uznaje się, że beton pochodzi z populacji o potwierdzonej zgodności, jeżeli spełnione są oba kryteria podane w tab. 4.65.

Tab. 4.65. Wspólne kryteria identyczności dotyczące zawartości włókien i jednorodności mieszanki betonowej

Stosuje się do	Kryterium
Każdej próbki	$\geq 0,80$ wyspecyfikowanej wartości minimalnej
Średniej z 3 próbek pobranych z ładunku	$\geq 0,85$ wyspecyfikowanej wartości minimalnej

Procedura badania zawartości włókien polimerowych klasy II i jednorodności mieszanki betonowej (z wyjątkiem pobierania próbek) powinna być zgodna z PN-EN 14488-7:2007. W przypadku włókien polimerowych klasy Ia i Ib należy stosować metody badań obowiązujące w miejscu stosowania betonu.

4.3.7.3. Kontrola zgodności betonu recepturowego, w tym normowego betonu recepturowego

Zgodność każdego zarobu lub ładunku betonu recepturowego należy ocenić pod względem:

- zawartości cementu,
- maksymalnego wymiaru i proporcji kruszyw (jeśli są wyspecyfikowane),

w odpowiednich przypadkach:

- współczynnika woda/cement,
- ilości domieszki lub dodatku.

Zgodność składników betonu należy oceniać przez porównanie zapisu z produkcji oraz dokumentów dostawy składników z wyspecyfikowanymi wymaganiami.

Ilości cementu, kruszywa, domieszki i dodatku (każdego wyspecyfikowanego wymiaru), jakie zarejestrowano w zapisie produkcji lub na wydruku z przyrządu rejestrującego zarób, powinny zawierać się w granicach tolerancji dotyczących wyspecyfikowanych wartości. Współczynnik woda/cement powinien zawierać się w granicach $\pm 0,04$ wartości wyspecyfikowanej.

Przy ocenie zgodności składu betonu za pomocą analizy mieszanki betonowej, wykonawca i producent powinni wcześniej uzgodnić metody badania oraz granice zgodności, uwzględniając granice tolerancji ilości składników oraz dokładność metod badań.

4.3.7.4. Działania podejmowane w przypadku niezgodności wyrobu

W przypadku niezgodności producent powinien podjąć następujące działania:

- sprawdzić wyniki badań i, jeśli są nieprawidłowe, podjąć działania mające na celu wyeliminowanie błędów,
- jeśli niezgodność została potwierdzona, podjąć działania korygujące, łącznie z przeglądem odpowiednich procedur kontroli produkcji, wykonywanym przez kierownictwo,
- jeśli niezgodność ze specyfikacją betonu została potwierdzona, co nie było wiadome przy dostawie, powiadomić o tym specyfikującego

(specyfikujących) oraz wykonawcę (wykonawców), aby uniknąć negatywnych skutków niezgodności.

Jeśli niezgodność betonu spowodowana jest dodaniem wody lub domieszek na miejscu (patrz 4.3.6), producent powinien podjąć działania jedynie wówczas, gdy sam podjął decyzję o takim dodaniu.

Jeśli producent powiadomił o niezgodności betonu lub jeśli wyniki badań zgodności nie spełniają wymagań, mogą być wymagane badania uzupełniające, zgodnie z PN-EN 12504-1:2011, przeprowadzone na rdzeniach pobranych z konstrukcji lub elementów, albo kombinacja badań przeprowadzonych na rdzeniach z badaniami nieniszczącymi. Wytyczne dotyczące oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji lub w elementach konstrukcyjnych znajdują się w PN-EN 13791:2008.

4.3.8. Dodatkowe wymagania przy specyfikacji betonów do specjalnych robót geotechnicznych

Norma PN-EN 206:2014 podaje wymagania dotyczące specyfikacji i zgodności betonów do specjalnych robót geotechnicznych, stosowanych przy wykonywaniu:

- pali wierconych wykonywanych zgodnie z PN-EN 1536:2010 „Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale wiercone”,
- ścian szczelinowych wykonywanych zgodnie z PN-EN 1538:2010 „Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Ściany szczelinowe”,
- pali przemieszczeniowych wykonywanych zgodnie z PN-EN 12699:2003 „Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Pale przemieszczeniowe”,
- mikropali wykonywanych zgodnie z PN-EN 14199:2008 „Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale”.

W odniesieniu do betonów do specjalnych robót geotechnicznych norma podaje wymagania w zakresie:

- stosowanych surowców,
- kompozycji składu mieszanki betonowej z uwzględnieniem minimalnych zawartości cementu oraz jego rodzaju,
- wymagania w zakresie współczynnika wodno-cementowego,
- wymagania dla stosowanych kruszyw,
- właściwości reologicznych mieszanki betonowej.

Wymagania dotyczące składników betonu

Cement

Norma dopuszcza wykonanie betonu do specjalnych robót geotechnicznych z wykorzystaniem cementów zgodnych z PN-EN 197-1:2012:

- cement portlandzki CEM I,
- cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S i II/B-S,
- cement portlandzki krzemionkowy CEM II/A-D,
- cement portlandzki pucolanowy CEM II/A-P i II/B-P,
- cement portlandzki popiołowy CEM II/A-V i II/B-V,
- cement portlandzki łupkowy CEM II/A-T i II/B-T,
- cement portlandzki wapienny CEM II/A-LL,
- cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A-M (S-V) i CEM II/B-M (S-V),
- cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A-M (S-LL, V-LL) i CEM II/B-M (S-LL, V-LL),
- cement hutniczy CEM III/A, III/B i III/C.

Pozostałe, niewymienione rodzaje cementów, mogą być stosowane na podstawie przepisów krajowych potwierdzających ich przydatność do zastosowań geotechnicznych.

Minimalna zawartość frakcji drobnych i minimalna zawartość cementu

Norma PN-EN 206:2014 dla betonów do specjalnych robót geotechnicznych podaje szczegółowe wymagania dotyczące minimalnej zawartości cementu i drobnych frakcji ziaren poniżej 0,125 mm (tab. 4.66) w zależności od:

- elementu,
- technologii wykonania,
- wielkości użytego kruszywa.

Tab. 4.66. Minimalna zawartość cementu i drobnych ziaren poniżej 0,125 mm w betonach do specjalnych robót geotechnicznych

Pale wiercone i przemieszczeniowe			
Zawartość cementu	Beton układany na sucho		$\geq 325 \text{ kg/m}^3$
	Beton wykonywany pod wodą lub w cieczy stabilizującej		$\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Zawartość ziaren poniżej 0,125 mm łącznie z cementem i dodatkami	Kruszywo grube	$D_{\text{lower}} > 8$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
		$D_{\text{upper}} > 8$	
		$D_{\text{lower}} \geq 4$	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$
		$D_{\text{upper}} \geq 8$	
Pale przemieszczeniowe wykonywane z półsuchych mieszanek betonowych ¹⁾			
Zawartość cementu		$\geq 350 \text{ kg/m}^3$	
Mikropale			
Zawartość ziaren poniżej 0,125 mm łącznie z cementem i dodatkami ²⁾		$\geq 375 \text{ kg/m}^3$	
Ściany szczelinowe			
Zawartość cementu	Kruszywo grube	$D_{\text{max}} = 32 \text{ mm}^3$	$\geq 350 \text{ kg/m}^3$
		$D_{\text{max}} = 22,4 \text{ mm}$	$\geq 380 \text{ kg/m}^3$
		$D_{\text{max}} = 16 \text{ mm}$	$\geq 400 \text{ kg/m}^3$
Zawartość ziaren poniżej 0,125 mm łącznie z cementem i dodatkami		$D_{\text{max}} = 32 \text{ mm}^3$	$450 \div 550 \text{ kg/m}^3$
D_{lower} najmniejszy wymiar kruszywa w odniesieniu do najgrubszej frakcji kruszywa w betonie D_{upper} największy wymiar kruszywa w odniesieniu do najgrubszej frakcji kruszywa w betonie D_{max} wartość deklarowana najgrubszej frakcji kruszywa			
¹⁾ minimalna klasa wytrzymałości betonu C25/30 ²⁾ Górny wymiar ziaren nie powinien przekraczać 16 mm ³⁾ zawartość kruszywa drobnego ($D \leq 4\text{mm}$) w stosie okrucowym powyżej 40% masy			

Kruszywo

W celu zminimalizowania segregacji mieszanki betonowej zgodnie z normą zaleca się stosowanie kruszyw otczakowych o ciągłym uziarnieniu i o maksymalnym wymiarze ziaren nieprzekraczającym w przypadku:

- pali wierconych i ścian szczelinowych: 32 mm i 1/4 odległości między prętami zbrojenia podłużnego,
- pali przemieszczeniowych: 32 mm i 1/3 odległości między prętami zbrojenia podłużnego,

- mikropali: 16 mm i 1/4 odległości między prętami zbrojenia podłużnego,
 - betonowania podwodnego: 1/6 wewnętrznej średnicy rury wlewowej lub pompy,
- przyjmując najmniejszą z wartości.

Wymagania dotyczące betonu

Współczynnik woda/cement

Maksymalny współczynnik wodno-cementowy nie powinien być większy niż współczynnik podany w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania betonu w odniesieniu do określonych klas ekspozycji (patrz tab. 4.42) oraz 0,60; przyjmując mniejszą z wartości.

Mieszanka betonowa

Projekt mieszanki powinien spełniać wymagania specyfikacji uwzględniającej konieczność uzyskania:

- wysokiej odporności na segregację,
- odpowiedniej plastyczności i dobrej spoiwości,
- odpowiedniej zdolności do rozptywu,
- odpowiedniej zdolności do zagęszczenia pod wpływem własnego ciężaru,
- odpowiedniej urabialności podczas układania oraz usuwania wszelkich tymczasowych elementów osłonowych.

Przedstawiony projekt mieszanki powinien być zaakceptowany przed rozpoczęciem produkcji.

Konsystencja mieszanki betonowej, z wyjątkiem mieszanki półsuchej, powinna być specyfikowana jako założony rozptyw i/lub opad stożka w zależności od technologii wbudowywania betonu wg wartości podanych w tab. 4.67. Beton układany za pomocą pompy lub w warunkach zanurzenia (średnica rozptywu co najmniej 560 mm lub opad stożka co najmniej 160 mm) może być produkowany bez stosowania domieszek znacznie redukujących ilość wody (upłynniających).

**Tab. 4.67. Wartości założone konsystencji mieszanki betonowej,
do specjalnych robót geotechnicznych**

Średnica rozplywu zgodnie z PN-EN 12350-5:2011 [mm]	Opad stożka zgodnie z PN-EN 12350-2:2011 [mm]	Typowe warunki zastosowania (przykłady)
500	150	beton układany w warunkach suchych
560	180	beton układany pod wodą za pomocą pompy lub rury wlewowej
600	200	beton układany w cieczy stabilizującej za pomocą rury wlewowej

5

Cement – właściwości i zastosowanie

5.1. Podstawowe właściwości cementu

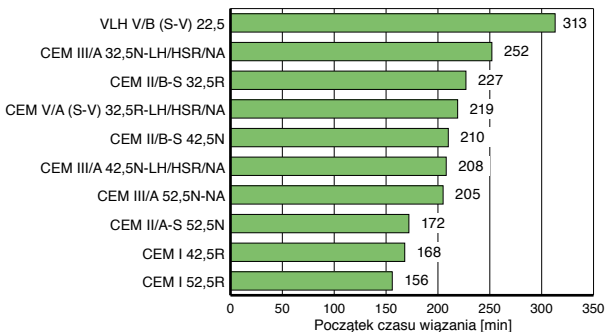
5.1.1. Czas wiązania

Według normy PN-EN 197-1:2012 cement powinien charakteryzować się określonym początkiem czasu wiązania. Jest to informacja ważna w praktyce budowlanej. Zazwyczaj betony zawierające cementy o długim czasie wiązania są dłużej urabialne, co jest istotne, kiedy należy dostarczyć beton na dalekie odległości, planować postój betonowozów w korkach ulicznych lub prowadzić prace budowlane w podwyższonej temperaturze w okresie letnim.

Analizując początek czasu wiązania cementów pochodzących z poszczególnych cementowni, można zauważyć pewne prawidłowości:

- cementy zawierające dodatki mineralne jako składniki główne (CEM II, CEM III, CEM V lub cement VLH V) mają dłuższe czasy wiązania niż cementy portlandzkie CEM I,
- cementy o wyższych klasach wytrzymałości mają krótsze czasy początku wiązania,
- niższa temperatura zewnętrzna powoduje wydłużenie czasów wiązania, przy czym stosowanie cementów z dodatkami mineralnymi zwiększa ten efekt (należy mieć tego świadomość przy doborze cementu do betonowania w obniżonych temperaturach),
- wyższy współczynnik w/c powoduje wydłużenie czasu wiązania cementu.

Wyniki badań przedstawione na rys. 5.1 potwierdzają wspomniane zależności. W okresie letnim (wysokie temperatury) w miejsce cementów portlandzkich CEM I zaleca się stosowanie cementów z grup CEM II ÷ CEM V tych samych klas wytrzymałości. Jakość betonu nie ulegnie zmianie, natomiast w dłuższym okresie czasu zachowane zostaną właściwości reologiczne (konsystencja, urabialność) mieszanki betonowej.



Rys. 5.1. Początek czasu wiązania cementów z oferty handlowej Górażdże Cement S.A.

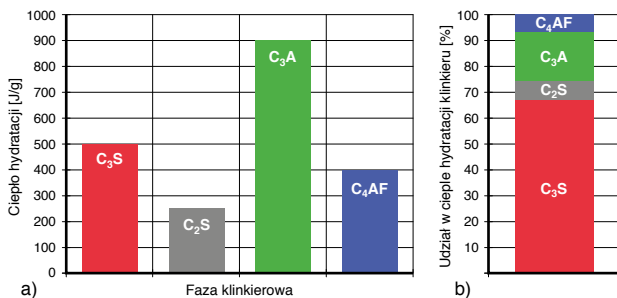
5.1.2. Ciepło hydratacji

Reakcja cementu z wodą ma charakter egzotermiczny, tzn. przebiega z wydzielaniem ciepła, które podnosi temperaturę betonu. Ilość wydzielanego ciepła zależy od składu mineralnego klinkieru portlandzkiego, ilości i rodzaju pozostałych składników oraz klasy wytrzymałości cementu.

Największy wpływ na ilość wydzielanego ciepła ma klinkier portlandzki, który składa się z 4 podstawowych faz: krzemianu trójwapniowego (C_3S), krzemianu dwuwapniowego (C_2S), glinianu trójwapniowego (C_3A) i fazy glinożelazianowej (C_4AF) (tab. 5.1). Na rys. 5.2 przedstawione zostały ilości wydzielanego ciepła podczas hydratacji poszczególnych faz klinkierowych. Najwyższym ciepłem hydratacji charakteryzuje się glinian trójwapniowy (C_3A). Biorąc pod uwagę średni skład mineralny klinkieru, największy wpływ na sumaryczną ilość wydzielanego ciepła ma C_3S , którego udział w składzie klinkieru jest największy (tab. 5.1, rys. 5.2).

Tab. 5.1. Charakterystyka głównych faz klinkieru portlandzkiego

Nazwa	Wzór chemiczny	Zapis uproszczony	Ciepło hydratacji [J/g]	Średni udział w składzie klinkieru [%]
Krzemian trójwapniowy Alit	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S	500	65
Krzemian dwuwapniowy Belit	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S	250	14
Glinian trójwapniowy	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	900	10
Faza glikożelazianowa Brownmilleryt	$\text{Ca}_2(\text{Al}_x\text{Fe}_{1-x})_2\text{O}_5$	C_4AF	400	8

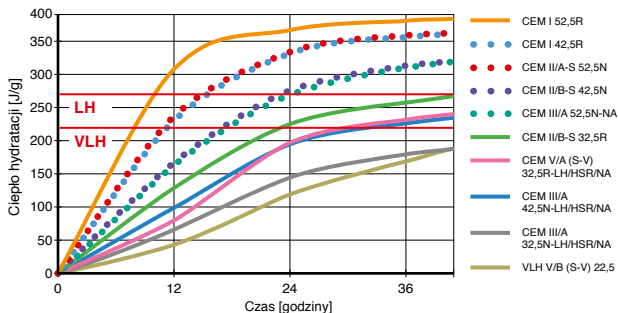


Rys. 5.2. Ciepło hydratacji faz klinkierowych (a) oraz ich udział w całkowitym cieple hydratacji klinkieru portlandzkiego (b)

Ilość wydzielanego ciepła w trakcie wiązania i twardnienia cementu przekłada się na przyrost jego wytrzymałości, zwłaszcza w początkowym okresie. Orientacyjne ilości wydzielonego ciepła hydratacji cementu, w poszczególnych klasach wytrzymałości, podano w tab. 5.2. Ciepło hydratacji cementów oferowanych przez Górażdże Cement S.A. przedstawiono na rys. 5.3.

Tab. 5.2. Ciepło hydratacji cementu

Klasa cementu	Tempo wydzielania ciepła i narastania wytrzymałości	Ciepło twardnienia cementu oznaczone przy temperaturze 18–21°C w J/g po upływie dni			
		1	3	7	28
32,5N	powolne	60 – 175	125 – 250	150 – 300	200 – 375
32,5R; 42,5N	normalne	125 – 200	200 – 335	275 – 375	300 – 425
42,5R; 52,5N; 52,5R	szybkie	200 – 275	300 – 350	325 – 375	375 – 425



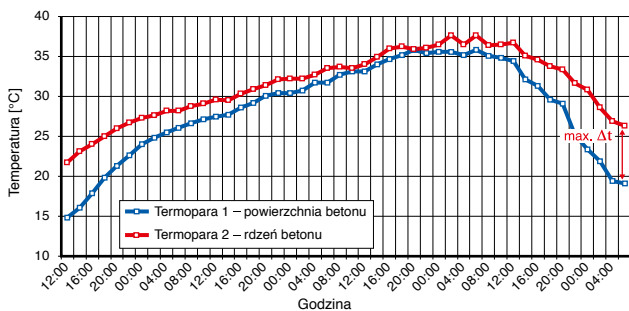
Rys. 5.3. Ciepło hydratacji cementów z oferty handlowej Górażdże Cement S.A.

Znajomość efektów cieplnych związanych z procesem hydratacji cementu jest niezwykle istotna w przypadku wykonywania betonowych elementów masywnych, np. w budownictwie hydrotechnicznym, oczyszczalniach ścieków, przy budowie fundamentów, podpór mostów, itp. Powstanie dużych różnic temperatur pomiędzy powierzchnią elementu betonowego a jego wnętrzem, może skutkować wystąpieniem naprężeń termicznych prowadzących do spękań. Przyjmuje się, że dopuszczalna różnica temperatury na odległości 1 m w elemencie betonowym, nie powinna przekraczać 20°C.

Stosowanie cementów o niskim cieple hydratacji (LH) lub o bardzo niskim cieple hydratacji (VLH) minimalizuje ryzyko powstania naprężeń termicznych w betonie. Wymagania dla cementów LH oraz dla cementów VLH przedstawiono w rozdziale 4.1. Przykładem zastosowania cementu o niskim cieple hydratacji (LH) jest wykonana płyta fundamentowa,

o grubości 1,80 m, z betonu klasy C30/37. Kontrola temperatury w twardniejącym betonie była prowadzona przez 7 dni za pomocą termopar umieszczonych w rdzeniu fundamentu i przy jego powierzchni w warunkach zimowych (rys. 5.4).

Zastosowanie cementu hutniczego CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA oraz odpowiednia pielęgnacja pozwoliły zachować niewielką różnicę temperatur między powierzchnią a warstwami wewnętrznymi płyty. Maksymalna różnica temperatur w twardniejącym betonie wyniosła 9°C. W efekcie gradient temperatury (Δt) nie przekroczył maksymalnej wartości 20°C/m i ograniczone zostało powstawanie szkodliwych naprężeń termicznych, które mogłyby spowodować spękania betonu. W konstrukcji nie zaobserwowano uszkodzeń, a beton osiągnął pożądaną wytrzymałość oraz wysoką szczelność, co przełoży się na wysoką trwałość w trakcie życia obiektu betonowego.

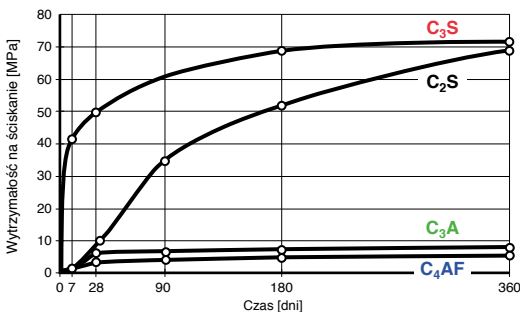


Rys. 5.4. Temperatura betonu w płycie fundamentowej

5.1.3. Wytrzymałość na ściskanie i szybkość jej narastania w czasie

Twardnienie cementu jest procesem złożonym i składa się z równoległe przebiegających procesów chemicznych i fizycznych. Do podstawowych czynników wpływających na szybkość tych reakcji należą: skład mineralny klinkieru, zawartość i rodzaj regulatora czasu wiązania, rozdrobnienie cementu, ilość i rodzaj dodatków mineralnych w składzie cementu, a także współczynnik w/c i temperatura.

Szybkość reakcji hydratacji cementu, a w efekcie przyrost wytrzymałości, jest silnie związany ze składem fazowym klinkieru. Największy wpływ na wytrzymałość cementu ma zawartość krzemianów wapnia (rys. 5.5).

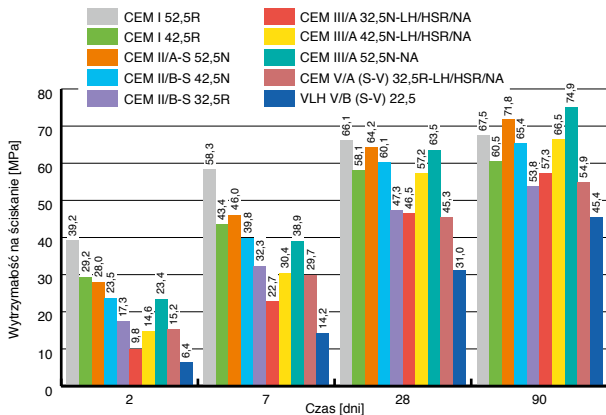


Rys. 5.5. Rozwój wytrzymałości na ściskanie faz klinkierowych w okresie 360 dni

Dynamika narastania wytrzymałości cementu w okresie początkowym ma wpływ na przebieg realizacji robót budowlanych i produkcji elementów prefabrykowanych (możliwość szybszego rozformowania elementów, zwiększenie rotacji form, wytrzymałość transportową oraz wytrzymałość normową). Najwyższą wytrzymałością wczesną na ściskanie, charakteryzują się cementy portlandzkie CEM I oraz cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A – np. cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S 52,5N (rys. 5.6). Z kolei cementy z dodatkami mineralnymi (CEM II ÷ CEM V) charakteryzują się niższą wytrzymałością wczesną, której poziom zależy od ilości dodatku oraz klasy wytrzymałości cementu

(cementy klas wytrzymałości 42,5 i 52,5 charakteryzują się wyższą wytrzymałością początkową).

W późniejszych okresach twardnienia (28, 90 dni) cementy z dodatkami mineralnymi, a zwłaszcza z dodatkiem żużla wielkopieczowego i popiołu lotnego (CEM III, CEM V), charakteryzują się wyższą wytrzymałością niż cement portlandzki tej samej klasy wytrzymałości (rys. 5.6). Dalszy przyrost wytrzymałości cementów z dodatkami mineralnymi obserwowany jest nawet po wielu latach (tab. 5.3). Dlatego badania trwałościowe betonów z cementów CEM II÷CEM V (nasiąkliwość, penetracja wody pod ciśnieniem, mrozodporność, odporność na agresję chemiczną) należy wykonywać po 56 lub 90 dniach.



Rys. 5.6. Porównanie wytrzymałości na ściskanie cementów z oferty Górażdże Cement S.A.

Tab.5.3. Wytrzymałość betonu wykonanego z cementu hutniczego CEM III

Budowla	Wiek betonu [dni]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wiek betonu [lata]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Przyrost wytrzymałości [%]
Oczyszczalnia	28	41	18	59	44
Wieża chłodnicza	28	40	19	61	53
Zapora wodna	28	40	23	80	100
Śluza	28	29	25	54	86
Śluza odwadniająca	28	30	25	55	83

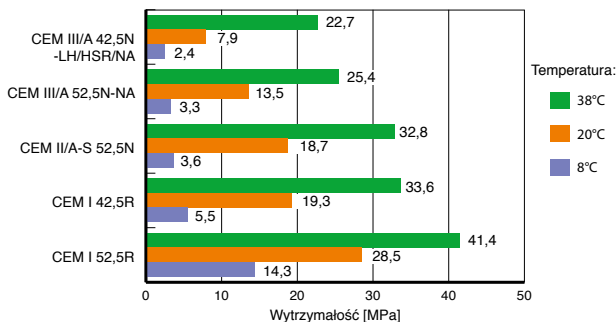
5.1.4. Wpływ temperatury na szybkość przyrostu wytrzymałości na ściskanie cementu

Temperatura ma znaczący wpływ na zachowanie właściwości mieszanki betonowej w czasie oraz na właściwości stwardniałego betonu w konstrukcji. Laboratoryjne badania cech wytrzymałościowych zapraw normowych i betonów przeprowadza się w temperaturze około 20°C. Jednak w praktyce budowlanej betony wykonywane są w różnych temperaturach w zależności od pory roku. W praktyce należy więc kierować się podstawowymi zależnościami:

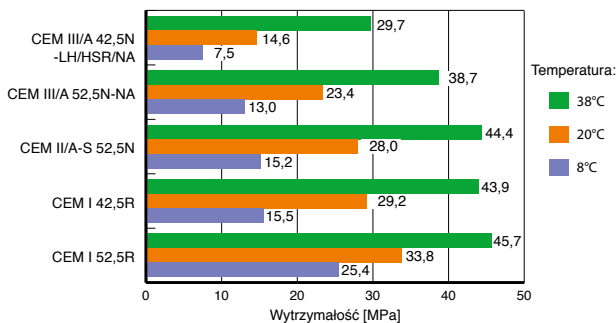
- podwyższona temperatura otoczenia skutkuje szybszym przyrostem wytrzymałości zapraw i betonów, skróceniem czasu wiązania cementu, ale też szybszym odparowaniem wody z powierzchni betonu,
- obniżona temperatura otoczenia skutkuje wolnym przyrostem wytrzymałości, długim czasem wiązania cementu, a w niskich temperaturach zamarzaniem wody zarobowej i możliwym zniszczeniem struktury betonu.

Oprócz odpowiedniego doboru rodzaju cementu do wykonywania betonu w określonych warunkach temperaturowych niezbędna jest właściwa pielęgnacja betonu.

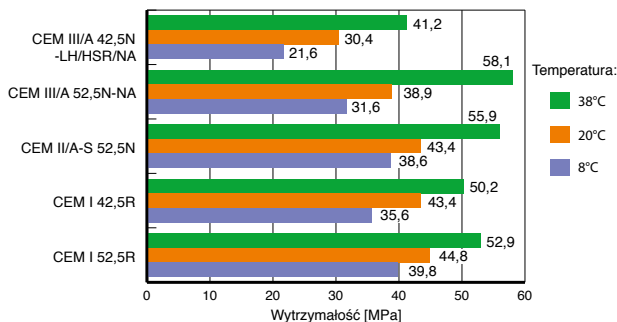
Na rys. 5.7–5.12 przedstawiono wytrzymałość na ściskanie zapraw normowych wykonanych z cementów z oferty Górażdze Cement S.A. Badania prowadzono w różnych temperaturach otoczenia.



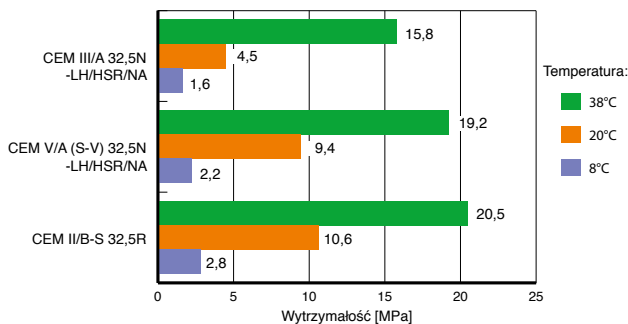
Rys. 5.7. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z cementów klasy 42,5 i 52,5 po 1 dniu twardnienia w różnych temperaturach



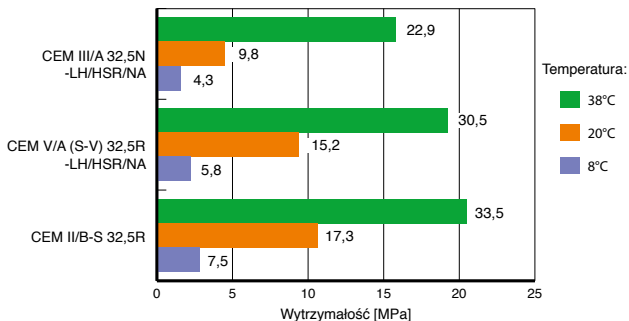
Rys. 5.8. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z cementów klasy 42,5 i 52,5 po 2 dniach twardnienia w różnych temperaturach



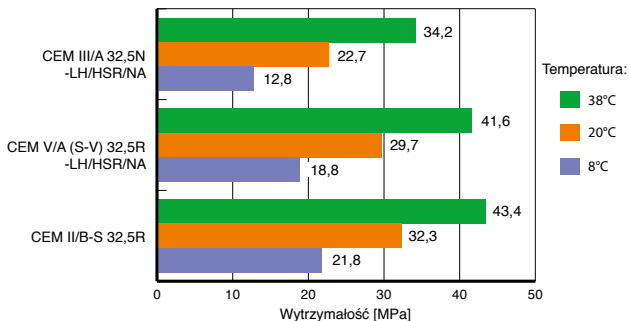
Rys. 5.9. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z cementów klasy 42,5 i 52,5 po 7 dniach twardnienia w różnych temperaturach



Rys. 5.10. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z cementów klasy 32,5 po 1 dniu twardnienia w różnych temperaturach



Rys. 5.11. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z cementów klasy 32,5 po 2 dniach twardnienia w różnych temperaturach



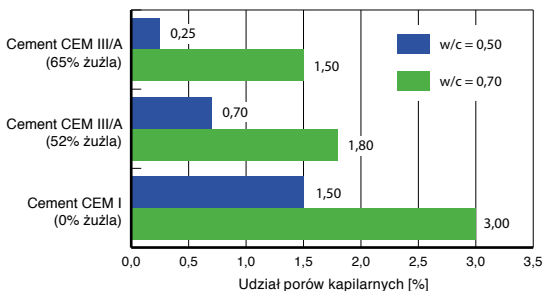
Rys. 5.12. Wytrzymałość na ściskanie zapraw z cementów klasy 32,5 po 7 dniach twardnienia w różnych temperaturach

5.1.5. Odporność na agresję chemiczną

Podwyższoną odpornością na agresję chemiczną charakteryzuje się beton wykonany z cementu zawierającego dodatki mineralne (CEM II, CEM III, CEM V). W przypadku odporności betonu szczególną uwagę należy zwrócić na: gęstość, strukturę porowatości oraz przepuszczalność. O wyższej odporności na korozję chemiczną cementów z dodatkami mineralnymi (CEM II ÷ CEM V) decydują przede wszystkim następujące czynniki:

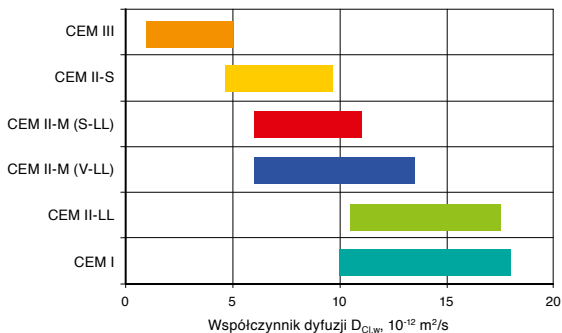
- zmiana mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego w wyniku aktywności pucolanowej i/lub hydraulicznej dodatku mineralnego,
- doszczelnienie struktury przez ziarna dodatku mineralnego (tzw. efekt pyłowy),
- ograniczenie zawartości faz klinkierowych podatnych na korozję tj. glinianu trójwapniowego w składzie cementu, co wiąże się ze zmniejszeniem udziału klinkieru w składzie cementu,
- zmniejszenie zawartości $\text{Ca}(\text{OH})_2$ w stwardniałej matrycy spoiwowej, a zwiększenie udziału żelowej fazy C-S-H o niskim stosunku C/S.

Zwiększona szczelność betonu, w którym zmniejszeniu ulega przede wszystkim porowatość kapilarna zaczynu (rys. 5.13), skutkuje utrudnieniem dyfuzji jonów agresywnych do wnętrza zaprawy lub betonu.



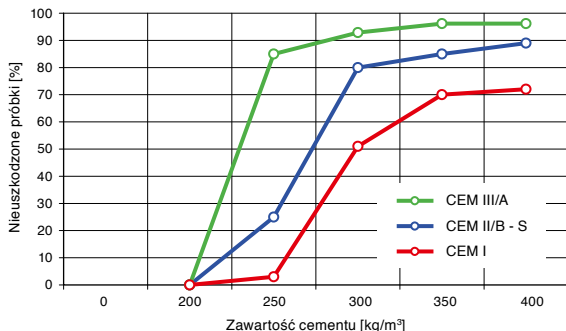
Rys. 5.13. Udział porów kapilarnych w 12-letnim betonie wykonanym z cementu o różnej zawartości granulowanego żuźla wielkopieczowego

Na rys. 5.14 przedstawiono współczynniki dyfuzji jonów chlorkowych w betonach wykonanych z użyciem różnych rodzajów cementów. W porównaniu z cementem portlandzkim CEM I, cementy zawierające dodatki mineralne CEM II ÷ CEM III (granulowany żużel wielkopiecowy S, popiół lotny V, kamień wapienny LL) charakteryzują się niższą przepuszczalnością chlorków.



Rys. 5.14. Współczynnik dyfuzji jonów chlorkowych w betonach wykonanych z użyciem różnych cementów po 28 dniach twardnienia ($w/c = 0,5$; zawartość cementu – 320 kg/m^3 ; dojrzewanie w wodzie)

Zastosowanie cementów z dodatkami mineralnymi i wynikająca z tego faktu wysoka szczelność betonu, zapewnia trwałość konstrukcji betonowych eksploatowanych w środowiskach korozyjnych: siarczanowych, magnezjowych, chlorkowych, wodach bogatych w agresywny CO_2 , soli amonowych, kwasów nieorganicznych i organicznych, wodach morskich (rys. 5.15), kopalnianych, itp.



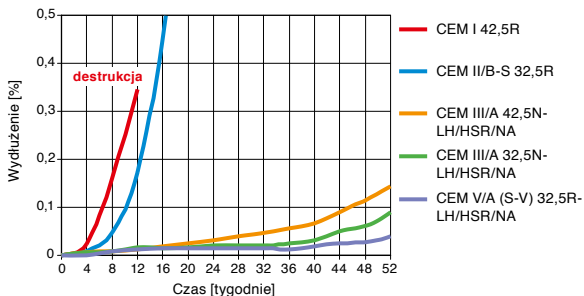
Rys. 5.15. Wpływ rodzaju cementu na odporność betonu w środowisku sztucznej wody morskiej

Podkreśleniem dużego znaczenia właściwości fizycznych dla trwałości betonu jest fakt, że wielu autorów na pierwszym miejscu stawia jego przepuszczalność, stąd odporność chemiczna samego cementu przy prawidłowo zaprojektowanym i dobrze wykonanym betonie może być rozważana jako cecha o drugorzędnym znaczeniu.

Normy określają wymagania dla cementu odpornego na siarczany SR wg PN-EN 197-1:2012 lub HSR wg PN-B-19707:2013 oraz cementu o niskiej zawartości aktywnych alkaliów NA wg PN-B-19707:2013 stosowanego w przypadku użycia w składzie betonu kruszyw reaktywnych (patrz rozdział 4.1).

5.1.5.1. Cement odporny na siarczany (SR/HSR)

Cementy odporne na siarczany (SR/HSR) zalecane są do betonów, które są narażone na agresywne środowisko siarczanowe, tzn. gdy obecność siarczanów w glebie lub wodzie gruntowej wskazuje na klasę ekspozycji XA2 lub XA3 (zgodnie z PN-EN 206:2014). Na rys. 5.16 pokazano wyniki badań odporności cementów na agresję siarczanową prowadzonych w roztworze siarczanu sodu o stężeniu SO_4^{2-} ($16,0 \pm 0,5$ g/l), zgodnie z metodyką badań zawartą w normie PN-B-19707:2013.



Rys. 5.16. Odporność na korozję siarczanową zapraw z wybranych cementów

Zaprawa wykonana z cementu CEM I uległa destrukcji po 12 tygodniach przebywania w środowisku korozyjnym (rys. 5.16), a wykonana z CEM II uległa znacznemu wydłużeniu. Cementy odporne na siarczany wykazały bardzo niewielkie zmiany nawet po 52 tygodniach przebywania w środowisku korozyjnym.

5.1.5.2. Cement z niską zawartością aktywnych alkaliów (NA)

Niektóre kruszywa, takie jak: opal, chalcedon, czy trydymit zawierają reaktywną krzemionkę, która może reagować z alkaliami pochodzącymi ze składu cementu, a obecnymi w porach betonu (reakcja ASR). W wyniku przebiegu reakcji ASR mogą powstać ekspansywne produkty, które w skrajnych przypadkach prowadzą do zniszczenia betonu (patrz rozdział 6.2). Jednym ze sposobów uniknięcia tego negatywnego zjawiska jest stosowanie cementów niskoalkalicznych NA zawierających ograniczoną ilość alkaliów aktywnych (tab. 5.4).

W reakcję z kruszywem wchodzi jony sodu Na^+ i potasu K^+ zawarte w fazie ciekłej, obecnej w porach betonu. Alkalia w cieczy porowej mogą pochodzić z cementu, wody zarobowej, stosowanych dodatków mineralnych i domieszek chemicznych oraz kruszywa (rozpuszczalne alkalia).

Tab. 5.4. Cementy niskoalkaliczne NA, wg PN-B 19707:2013 oraz zawartość alkaliów aktywnych

Rodzaj cementu NA	Skład cementu specjalnego	Całkowita zawartość alkaliów wyrażona jako Na ₂ O _{eq} ^{b)} [% mas.]	Alkalia aktywne ^{d)} Na ₂ O _{eq} [% mas.]
	Wymagania dodatkowe ^{a)}		
CEM I CEM II/A-LL	—	≤ 0,60	0,30-0,47
CEM II/A-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 14%	≤ 1,20	0,51
CEM II/A-S	udział granulowanego żużła wielkopiecowego S ≥ 14%	≤ 0,70	0,48
CEM II/A-M (S-V)	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} i granulowanego żużła wielkopiecowego (S+V) ≥ 14%	≤ 1,20	0,47
CEM II/B-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 25%	≤ 1,50	0,52
CEM II/B-S	—	≤ 0,80	0,48
CEM II/B-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 20%	≤ 1,30	0,51
CEM III/A	udział granulowanego żużła wielkopiecowego S ≤ 49%	≤ 0,95	0,28
	udział granulowanego żużła wielkopiecowego S ≥ 50%	≤ 1,10	0,34
CEM III/B CEM III/C	—	≤ 2,00	0,18-0,25
CEM IV/A (V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} V ≥ 25%	≤ 1,50	0,48
CEM IV/B (V)	—	≤ 2,00	0,36
CEM V/A (S-V)	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} i granulowanego żużła wielkopiecowego (S+V) ≤ 49%	≤ 1,60	0,28
	udział sumy popiołu lotnego krzemionkowego ^{c)} i granulowanego żużła wielkopiecowego (S+V) ≥ 50%	≤ 2,00	0,16
CEM V/B (S-V)	—	≤ 2,00	0,16-0,21

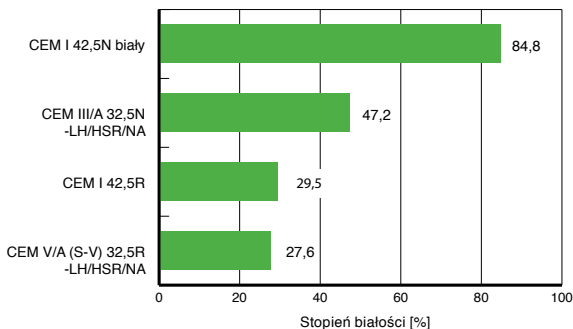
a) Wymagania podstawowe dotyczące składu wg PN-EN 197-1:2012
b) Zawartość Na₂O_{eq} określana wg PN-EN 196-2:2013
c) Popiół lotny krzemionkowy (V) powinien spełniać wymagania zawarte w PN-EN 197-1, dodatkowo strata prażenia nie może przekraczać 5,0% masy, oznaczana zgodnie z PN-EN 196-2, lecz przy czasie prażenia wynoszącym 1h
d) Oznaczono wg ASTM C 114-04

W wytycznych niektórych krajów europejskich (Wielka Brytania, Belgia, Holandia) dopuszczalna zawartość w betonie aktywnych alkaliów powinna spełniać wymaganie $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} \leq 3,0 \text{ kg na } 1 \text{ m}^3 \text{ betonu}$. Spełnienie tego wymagania zapewnia trwałość, nawet przy stosowaniu kruszyw reaktywnych.

5.1.6. Barwa cementu

Barwa cementu nie jest właściwością normową cementów powszechnego użytku. Wymagania co do barwy stawiane są tylko cementom białym, dla których określa się stopień białości wg PN-B-30010:1990.

Barwa cementu zależy od wielu czynników: rodzaju użytych surowców w produkcji klinkieru cementowego, technologii produkcji cementu, zastosowanych dodatków mineralnych i stopnia zmielenia cementu (powierzchni właściwej). Cementy zawierające dodatek popiołu lotnego zazwyczaj posiadają barwę ciemną, która jest efektem obecności niespalonego węgla w składzie popiołu. Z kolei barwa jasna jest charakterystyczna dla cementów z wysoką zawartością granulowanego żużla wielkopieczowego np. cement hutniczy CEM III/A. Stopień rozdrobnienia wpływa na barwę cementu – im wyższa powierzchnia właściwa cementu tym barwa jaśniejsza. Na rys. 5.17 pokazano stopień białości cementów „szarych” w porównaniu do cementu białego.



Rys. 5.17. Porównanie stopnia białości wybranych cementów

5.1.7. Gęstość właściwa i ciężar nasypowy cementu

Gęstość właściwa cementu jest w głównej mierze uzależniona od jego składu, czyli zawartości klinkieru portlandzkiego i innych składników głównych. Cementy CEM II, CEM III, CEM V zawierające w swoim składzie popiół lotny i/lub granulowany żużel wielkopiecowy charakteryzują się niższą gęstością właściwą niż cement portlandzki CEM I. Należy pamiętać, że zastosowanie w produkcji betonu, np. cementu hutniczego CEM III w tej samej ilości, co cementu portlandzkiego CEM I, spowoduje wprowadzenie większej objętości cementu (zaczynu), co poprawia urabialność i pompowalność mieszanki betonowej (tab. 5.5).

Tab. 5.5. Gęstość właściwa klinkieru, dodatków mineralnych i cementu

Material	Gęstość właściwa [kg/dm ³]	Objętość 100 kg materiału [dm ³]
Klinkier portlandzki	3,10	32,3
Popiół lotny krzemionkowy	2,21	45,2
Mielony żużel wielkopiecowy	2,92	34,2
Mielony kamień wapienny	2,75	36,4
CEM I 42,5R	3,10	32,3
CEM I 52,5R	3,11	32,2
CEM II/B-S 32,5R	3,05	32,8
CEM II/B-S 42,5N	3,06	32,7
CEM II/A-S 52,5N	3,09	32,4
CEM III/A 32,5N	2,99	33,4
CEM III/A 42,5N	3,00	33,3
CEM III/A 52,5N	3,05	32,8
CEM V/A (S-V) 32,5R	2,95	33,9
VLH V/B (S-V) 22,5	2,75	36,4

Znajomość ciężaru nasypowego cementu jest szczególnie istotna w przypadku transportu cementu (np. pojemność cementonaczepy) czy projektowania wymiarów worków na cement lub wielkości silosów do składowania cementu luzem.

Ciężar nasypowy jest przede wszystkim uzależniony od stopnia zagęszczenia cementu, niemniej w poszczególnych rodzajach cementu obserwuje się podobne zależności jak opisane dla gęstości właściwej.

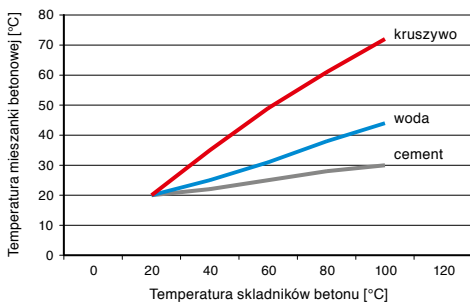
Zazwyczaj ciężar nasypowy cementu w stanie luźnym wynosi: 0,9–1,2 kg/dm³, a dla cementu w stanie zagęszczonym 1,4–1,9 kg/dm³.

5.1.8. Temperatura cementu

Temperatura cementu nie jest właściwością normową.

W okresie letnim oraz w pełni sezonu budowlanego odbierany z cementowni cement może mieć wyższą temperaturę. Podwyższona o 10°C temperatura cementu powoduje podniesienie temperatury mieszanki betonowej o ok. 1°C. W celu uniknięcia kłopotów związanych z podwyższoną temperaturą cementu należy zgromadzić odpowiednią jego ilość w silosach i unikać stosowania cementu dostarczonego bezpośrednio z cementowni w produkcji betonu.

Należy zwrócić uwagę, że w okresie letnim również pozostałe składniki mieszanki betonowej mogą mieć wysoką temperaturę (rys. 5.18 – wg Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA). Największy udział objętościowy w mieszance betonowej mają kruszywa, które w znacznym stopniu podnoszą jej temperaturę. Z tego też powodu latem, kruszywo powinno być przechowywane pod zadaszeniem.



Rys. 5.18. Wpływ temperatury składników betonu na podwyższenie temperatury mieszanki betonowej

5.1.9. Stałość objętości

Głównym czynnikiem, który ma wpływ na pęcznienie kompozytów cementowych jest obecność spieczonych ziaren tlenku wapnia (CaO) i tlenku magnezu (MgO) w składzie cementu (klinkieru). Tlenki te w powolnej reakcji z wodą tworzą kolejno wodorotlenek wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i wodorotlenek magnezu $\text{Mg}(\text{OH})_2$, zwiększając tym samym swoją objętość. Przebieg tej reakcji w stwardniałej zaprawie lub betonie, może prowadzić do wzrostu lokalnych naprężeń, co w efekcie może spowodować powstawanie odprysków, spękania a w efekcie obniżoną trwałość elementu.

Wszystkie cementy zgodne z wymaganiami normy PN-EN 197-1:2012 muszą wykazywać stałość objętości. Badanie przeprowadza się metodą Le Chateliera (wg PN-EN 196-3+A1:2011). Stałość objętości cementu jest zachowana, jeżeli rozszerzalność igieł pierścienia Le Chateliera jest mniejsza niż 10 mm.

5.1.10. Skurcz

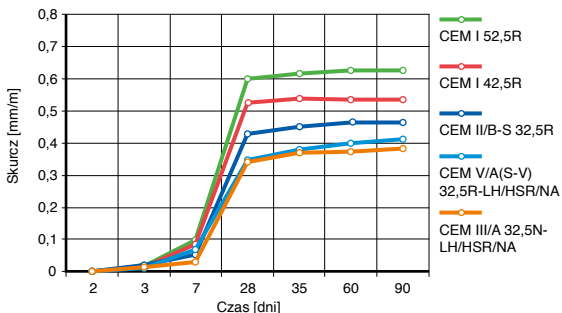
Skurcz nie jest wadą jakościową cementu, jest wynikiem błędnego wykonawstwa.

Zmiany skurczowe pojawiają się w twardniejącym betonie. Wywoływane są powstawaniem produktów o mniejszej objętości (skurcz chemiczny), utratą wody przyłączanej w reakcjach lub odparowanej (skurcz plastyczny – będący wynikiem niewłaściwej pielęgnacji) oraz skurcz termiczny – będący wynikiem powstających naprężeń pomiędzy powierzchnią a wnętrzem betonu. Skurcz zaprawy normowej nie oddaje skurczu betonu, który zależy od wielu czynników:

- wielkości współczynnika w/c ,
- rodzaju cementu,
- ilości cementu w składzie betonu,
- składu ziarnowego kruszywa (zwłaszcza ilości piasku),
- właściwej pielęgnacji betonu.

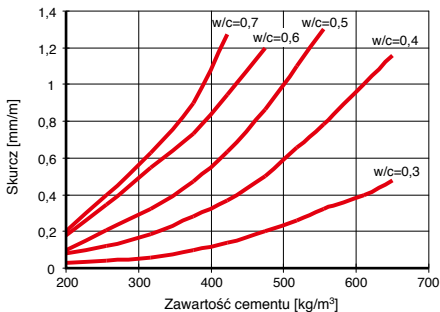
Na rys. 5.19 przedstawiono skurcz zapraw normowych wykonanych z cementów oferowanych przez Górażdże Cement S.A. Najmniejszy skurcz wykazują zaprawy wykonane z cementów z dodatkiem granulowanego żużla wielkopieczowego (np. CEM III/A) i popiołu lotnego (np. CEM V/A).

Z kolei zaprawy z cementów portlandzkich CEM I charakteryzują się wyższym skurczem.

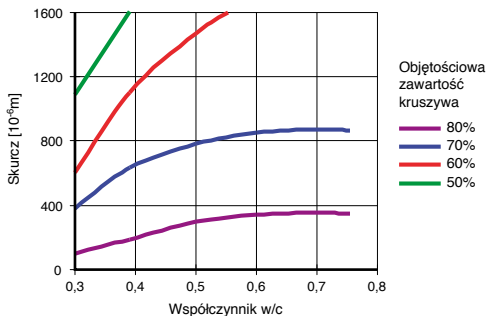


Rys. 5.19. Skurcz normowych zapraw cementowych

Na rys. 5.20 i 5.21 pokazano zależność skurczu betonu od ilości wprowadzonego cementu i kruszywa oraz wartości współczynnika w/c.



Rys. 5.20. Wielkość skurczu betonu w zależności od zawartości cementu i wartości współczynnika w/c.



Rys. 5.21. Wpływ wartości współczynnika w/c i zawartości kruszywa na skurcz betonu

5.2. Środki ostrożności przy pracy z cementem

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dn. 11.07.2002 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji i preparatów chemicznych (DzU nr 140, poz. 1172) cement jest klasyfikowany jako preparat stwarzający potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia, co wiąże się z drażniącym działaniem pyłu cementowego na oczy, układ oddechowy i skórę. Aby nie narazić się na podobne zagrożenia należy unikać wdychania pyłu cementowego, chronić oczy oraz skórę przed bezpośrednim kontaktem z cementem.

Szczególnie niebezpieczny jest kontakt cementu z oczami lub jego obecność w drogach oddechowych. W przypadku przedostania się cementu do dróg oddechowych należy zapewnić poszkodowanemu dostęp świeżego powietrza. Jeżeli wystąpią trudności z oddychaniem konieczne jest wezwanie pomocy lekarskiej. Przedostanie się pyłu cementowego do oczu wymaga przemywania ich dużą ilością wody (unikać silnego strumienia wody, ze względu na ryzyko uszkodzenia rogówki). Jeżeli objawy podrażnienia utrzymują się, należy wezwać lekarza.

Zagrożenie dla zdrowia stanowi zawarty w cemencie rozpuszczalny chrom (VI), który może wywoływać reakcje alergiczne. Jego maksymalny poziom ograniczany jest za pomocą środków redukujących i wynosi 2 mg/kg całkowitej suchej masy. Szczególną ostrożność należy także zachować przy kontakcie z mieszanką betonową (zaczynem cementowym), ponieważ jednym z podstawowych produktów reakcji cementu z wodą jest wodorotlenek wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$. W efekcie zaczyn cementowy (mieszanka betonowa) posiada silnie zasadowy odczyn (pH 12 – 12,5), co przy kontakcie z oczami lub skórą prowadzi do podrażnień. Podczas pracy z cementem należy koniecznie unikać kontaktu zaczynu ze skórą lub oczami. Indywidualne środki ostrożności, jak noszenie rękawic czy okularów ochronnych, są nieodzowne przy pracy z betonem.

Według Rozporządzenia Ministra Zdrowia z dn. 20.04.2012 w sprawie oznakowania opakowań substancji niebezpiecznych i mieszanin niebezpiecznych oraz niektórych mieszanin (Dz. U. 2012 nr 0 poz. 445), każda partia cementu luzem lub każdy worek posiada etykietę, zawierającą informację o zagrożeniach wynikających z kontaktu z cementem oraz warunkach jego bezpiecznego stosowania. Etykieta zawiera również znak i symbol ostrzegawczy określający kategorię niebezpieczeństwa, co zaprezentowano poniżej.

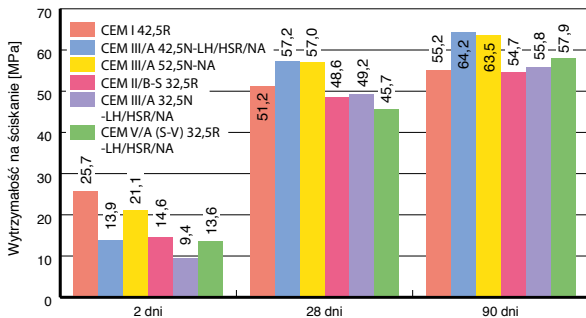
Rodzaj zagrożenia:		Nazwa produktu:
	<p>601/08 Działa drażniąco na skórę</p> <p>602/08 Działa drażniąco na błony śluzowe i skórę</p> <p>603 Ryzyko poważnego uszkodzenia oczu</p> <p>604 Może powodować uszkodzenia w kontakcie ze skórą</p>	<p>Cement portlandzki szary E5 150-1 C3EM 9,9-1 22,58</p>
	<p>Procedury postępowania:</p> <p>S2 Chronić przed dziećmi</p> <p>S22 Nie wdychać pyłu</p> <p>S24/25 Unikaj kontaktu skóry i oczu</p> <p>S36 Zaoszczędzone odpady przemyć natychmiast dużą ilością wody i zebrać pozostałości</p> <p>S36/37/39 W razie wystąpienia objawów zdrowotnych, od razu skontaktować z lekarzem i lekarzem lub szpitalem (jeżeli w razie wystąpienia objawów zdrowotnych)</p> <p>T06 W razie wystąpienia objawów zdrowotnych (jeżeli w razie wystąpienia objawów zdrowotnych)</p>	<p>Producent:</p> <p>Cemex S.A. Osada, ul. Cementowa 1 41-216 Górzeńka tel. 71 777 80 00</p>
	<p>Xn DRAŻNIĄCE</p>	

5.3. Cement w produkcji betonu towarowego

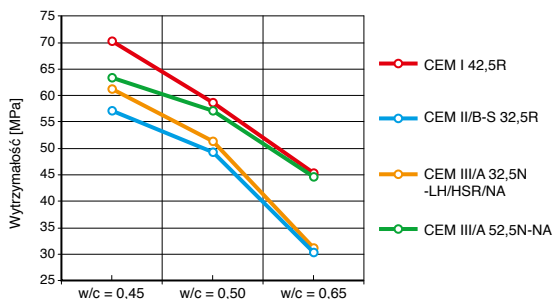
W produkcji betonu towarowego, o doborze rodzaju i klasy cementu, decyduje zazwyczaj specyfikowana klasa wytrzymałości betonu oraz warunki środowiskowe (klasa ekspozycji), w jakich beton będzie eksploatowany. Decydując się na wybór określonego rodzaju cementu należy uwzględnić również czas transportu mieszanki betonowej, sposób jej zabudowy i zagęszczania, a także warunki pielęgnacji.

Wymagania dla stwardniałego betonu są określone przez projektanta, natomiast właściwości mieszanki betonowej, zależą od rodzaju konstrukcji, techniki układania i zagęszczania oraz warunków transportu. Przystępując do projektowania składu mieszanki betonowej należy uwzględnić te wszystkie czynniki i tak dobrać skład betonu, aby było to działanie optymalne z punktu widzenia ekonomicznego i technicznego.

Kierując się projektowaną klasą betonu, zwykle dla betonu klasy $\leq C25/30$ stosowane są cementy 32,5, natomiast w przypadku klas betonu $\geq C30/37$ dobiera się cementy wyższych wytrzymałości, tj. 42,5 lub 52,5. Biorąc pod uwagę rodzaj cementu, w miejsce cementów portlandzkich CEM I z powodzeniem stosowane mogą być cementy z grup CEM II, CEM III, CEM V. Możliwość ich zastosowania potwierdzają wyniki badań wytrzymałości betonów na ściskanie przedstawione na rys. 5.22. W składzie poszczególnych betonów zmianie ulegał jedynie rodzaj cementu, natomiast ilość pozostałych składników była niezmienna. Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że wytrzymałość betonów wykonanych przy użyciu cementów CEM II, CEM III i CEM V w okresie wczesnym (po 2 dniach) jest niższa, ale po 28 i 90 dniach przekracza wytrzymałości betonów wykonanych z cementu portlandzkiego CEM I. Beton wykonany z cementu z dodatkami mineralnymi w późniejszym okresie czasu charakteryzuje się wyższą trwałością niż beton z cementu portlandzkiego. Z tego względu badania trwałościowe betonu na cementach CEM II ÷ CEM V (nasiąkliwość, penetracja wody pod ciśnieniem, mrozoodporność, odporność na agresję chemiczną) należy wykonywać po 56 lub 90 dniach.



Rys. 5.22. Wytrzymałość na ściskanie betonów po 2, 28 i 90 dniach ($w/c=0,5$; ilość cementu w 1 m^3 betonu – 350 kg)



Rys. 5.23. Zależności pomiędzy współczynnikiem w/c a wytrzymałością na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania (ilość cementu w 1 m^3 betonu – 350 kg).

W przypadku betonu towarowego należy również mieć na uwadze utrzymanie w trakcie produkcji i układania mieszanki betonowej zaprojektowanego współczynnika w/c . Zwiększanie ilości wody w mieszance betonowej, przy niezmienniej ilości cementu, powoduje znaczny spadek wytrzymałości betonu. Jest to ważne, gdyż w praktyce często występują przypadki nadmiernego, niekontrolowanego dozowania wody w celu

„poprawy” ciekłości mieszanki. Takie działanie może w konsekwencji obniżyć klasę wytrzymałości wykonanego betonu w stosunku do projektowanego i wpłynąć negatywnie na bezpieczeństwo i trwałość konstrukcji (rys. 5.23).

5.4. Cement w produkcji prefabrykatów i galanterii betonowej

Cementy stosowane w produkcji prefabrykatów i galanterii betonowej (kostka brukowa, krawężniki, obrzeża, palisady, dachówki cementowe) powinny charakteryzować się wysoką wytrzymałością wczesną. Pozwala to na szybką rotację form lub podkładów oraz bezpieczne magazynowanie i paletyzowanie elementów uformowanych.

W technologii produkcji elementów prefabrykowanych wyróżnia się:

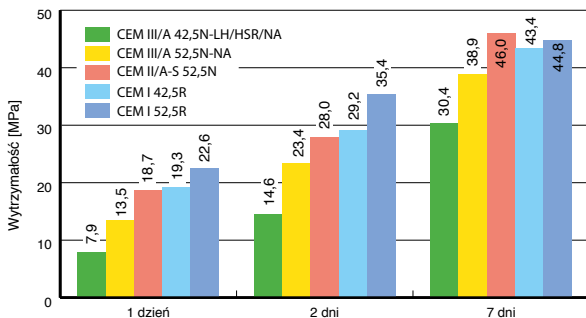
- wytrzymałość umożliwiającą bezpieczne rozformowanie elementu bez uszkodzeń i jego transport na miejsce dojrzewania,
- wytrzymałość składowania umożliwiającą ustawienie elementów w stosie, która określana jest jako połowa wytrzymałości po 28 dniach,
- wytrzymałość montażową umożliwiającą przewóz na miejsce wbudowania i montaż konstrukcji, która wynosi min. 70% wytrzymałości po 28 dniach.

Jednym ze sposobów spełnienia wymagań technologicznych i jakościowych przewidzianych dla elementów prefabrykowanych jest właściwe zaprojektowanie mieszanki betonowej, a zwłaszcza właściwy dobór cementu i jego ilości. Najczęściej wymagane właściwości prefabrykatów w okresie początkowym osiąga się poprzez:

- stosowanie cementu wysokiej klasy wytrzymałościowej (42,5; 52,5),
- stosowanie cementu o wysokiej wytrzymałości wczesnej (R),
- przyspieszanie procesu wiązania cementu poprzez stosowanie domieszek chemicznych, co jest istotne zwłaszcza przy obniżonych temperaturach dojrzewania betonu,
- obniżenie współczynnika w/c poprzez stosowanie domieszek chemicznych,
- stosowanie obróbki cieplnej betonu.

Cementy zalecanych klas wytrzymałości charakteryzują się szybkim przyrostem wytrzymałości wczesnej, wysoką wytrzymałością normową oraz wysokim ciepłem hydratacji. Nie bez znaczenia jest fakt, że w przypadku stosowania cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II lub cementu hutniczego CEM III uzyskuje się także podwyższoną trwałość elementów prefabrykowanych oraz lepszą urabialność mieszanki betonowej. Cementy zawierające w swoim składzie granulowany żużel wielkopiecowy charakteryzują się także jaśniejszą barwą, co jest istotne zwłaszcza przy wykonywaniu barwionych prefabrykatów betonowych.

Szybkość narastania wytrzymałości wczesnej zapraw wykonanych z cementów portlandzkich CEM I oraz cementów CEM II i CEM III klasy wytrzymałości 42,5 i 52,5 pokazano na rys. 5.24.



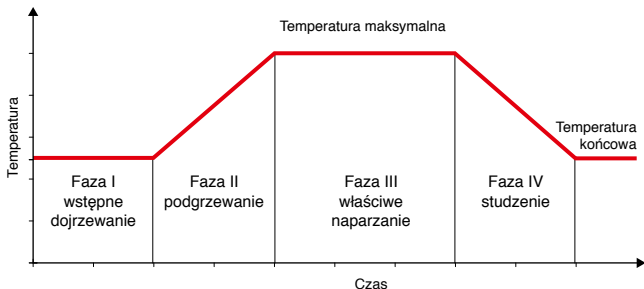
Rys. 5.24. Przyrost wczesnej wytrzymałości na ściskanie normowych zapraw cementowych

Jednym ze sposobów poprawy wytrzymałości wczesnej prefabrykatów jest stosowanie obróbki cieplnej. Najczęściej stosowanymi metodami są:

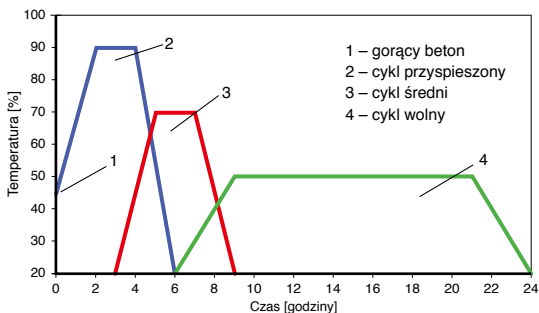
- niskoprężne naparzanie,
- przyspieszona karbonatyzacja i dojrzewanie z wykorzystaniem komory VAPOR.

Inne rodzaje obróbki cieplnej to formowanie na gorąco, elektonagrzewanie oraz nagrzewanie promieniowaniem podczerwonym.

Podczas niskoprężnego naparzenia czynnikami przyspieszającym hydratację cementu jest temperatura i wilgotność. W procesie tym wyróżniamy 4 fazy (rys. 5.25), które mogą być realizowane w różnych cyklach (rys. 5.26).

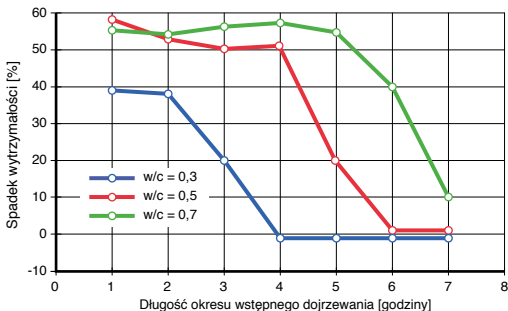


Rys. 5.25. Schemat technologiczny obróbki cieplnej

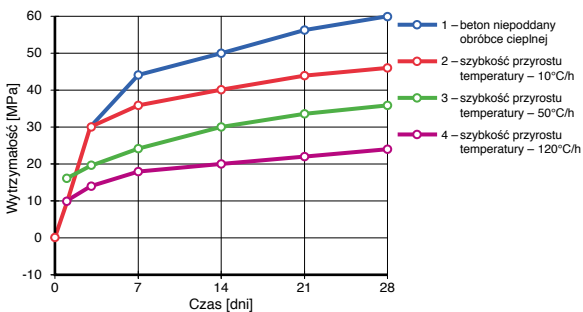


Rys. 5.26. Cykle niskoprężnego naparzenia

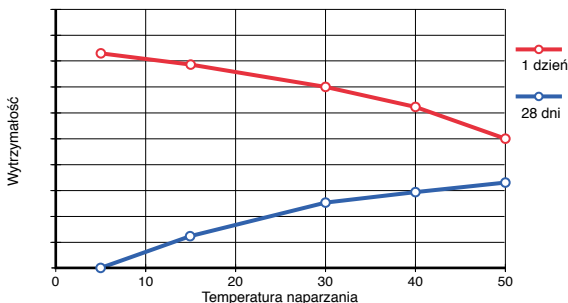
Przebieg procesu niskoprężnego naparzenia ma wpływ na końcową wytrzymałość stwardniałego betonu (spadek wytrzymałości). Potwierdzają to wyniki badań przedstawione na rys. 5.27 ÷ 5.29.



Rys. 5.27. Wpływ długości okresu wstępnego dojrzewania na wytrzymałość betonu



Rys. 5.28. Wpływ szybkości podwyższania temperatury na wytrzymałość betonu



Rys. 5.29. Wpływ wysokości temperatury na wytrzymałość betonu

Obróbka cieplna betonu pozwala osiągnąć podwyższone wytrzymałości wczesne. Skutkuje to jednak obniżeniem końcowej wytrzymałości. Spadek wytrzymałości końcowej betonu można ograniczyć poprzez wydłużenie czasu wstępnego dojrzewania. Należy także dobrać optymalną szybkość przyrostu temperatury, zgodnie z zasadą, że im wolniejszy przyrost temperatury, tym wyższe wytrzymałości końcowe. Ponadto, wyniki badań przedstawione na rys. 5.29 pokazują, że optymalizacja procesu obróbki cieplnej musi uwzględnić optymalną temperaturę naparzenia. Zbyt wysoka temperatura odbije się znacznym spadkiem wytrzymałości końcowych.

Duże znaczenie w procesie obróbki cieplnej ma zawartość dodatków mineralnych (np. popioły lotne, granulowany żużel wielkopieczowy) w składzie cementów. Podwyższona temperatura przyspiesza reakcję składników żużla i popiołu z wodorotlenkiem wapnia. W związku z tym wytrzymałość betonu z udziałem tych cementów po obróbce cieplnej będzie znacznie wyższa niż wytrzymałość betonu dojrzewającego w naturalnych warunkach.

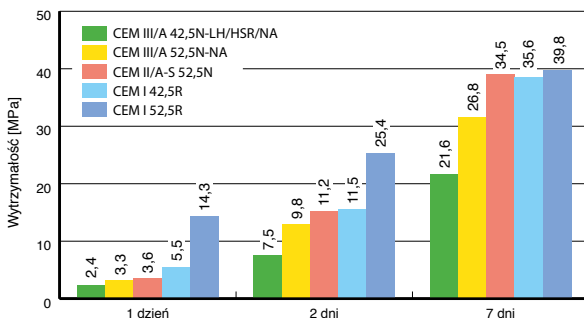
Innym rodzajem obróbki cieplnej jest technologia VAPOR, która jest połączeniem naparzenia niskoprężnego z przyspieszonym procesem karbonatyzacji betonu. Proces ten jest prowadzony w komorach o podwyższonej temperaturze (45°C), wilgotności (85%) oraz podwyższonej zawartości dwutlenku węgla. Gwarantuje to uzyskanie, po 24 godzinach

dojrzwania, wytrzymałości betonu na poziomie 70% wytrzymałości projektowanej. Dodatkowo, podwyższona zawartość dwutlenku węgla w komorach, w których dojrzewa beton, powoduje przyspieszenie procesu przejścia wodorotlenku wapnia Ca(OH)_2 , w węglan wapnia CaCO_3 , czego rezultatem jest:

- zwiększenie szczelności zewnętrznej warstwy betonu, poprzez zmniejszenie wymiaru kapilar,
- przypowierzchniowe zwiększenie wytrzymałości betonu,
- znaczne ograniczenie na powierzchni elementów tzw. „wtórnych wykwitów węglanowych”.

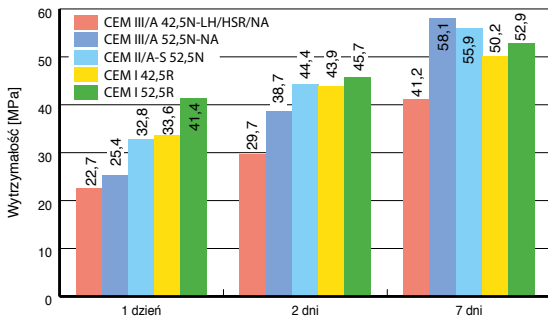
Ten sposób obróbki cieplnej najczęściej stosowany jest w produkcji galanterii betonowej (kostka brukowa, palisady, obrzeża, itp.), zwłaszcza barwionej (praktycznie nie występują wtórne wykwitwy węglanowe).

W przypadku obniżonej temperatury dojrzewania zapraw (8°C) przyrost wytrzymałości wczesnej na ściskanie jest wolniejszy dla wszystkich rodzajów cementów, co pokazano na rys. 5.30. Najwyższy poziom wytrzymałości, w warunkach obniżonych temperatur dojrzewania, osiągną przez cementy portlandzkie CEM I 52,5R i CEM I 42,5R oraz cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S 52,5N.



Rys. 5.30. Wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych w temperaturze $+8^\circ\text{C}$

Natomiast podwyższenie temperatury dojrzewania do 38°C znacznie przyspiesza proces twardnienia zapraw cementowych, zwłaszcza wykonanych z cementów zawierających w swoim składzie granulowany żużel wielkopiecowy (rys. 5.31). W takich warunkach dojrzewania tj. w okresie od maja do końca września, stosowanie cementu hutniczego CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA oraz CEM III/A 52,5N-NA jest uzasadnione technologicznie i ekonomicznie.

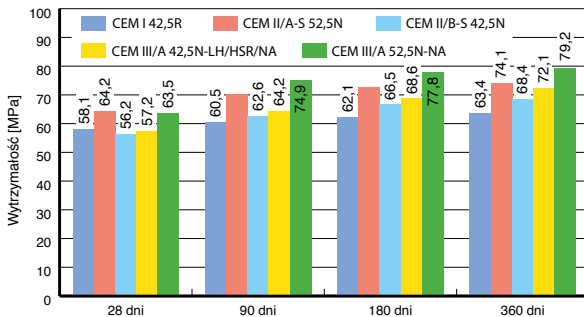


Rys. 5.31. Wytrzymałość na ściskanie normowych zapraw cementowych w temperaturze +38°C

Normowa wytrzymałość na ściskanie (28 dni) cementów zawierających granulowany żużel wielkopiecowy, takich jak cement portlandzki żużlowy CEM II/A-S 52,5N lub cementy hutnicze CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA i CEM III/A 52,5N-NA jest zbliżona lub wyższa w porównaniu z wytrzymałością cementu portlandzkiego CEM I. W późniejszych okresach przyrost wytrzymałości cementów żużlowych i hutniczych jest znacznie większy niż cementów CEM I (rys. 5.32).

Przyrost wytrzymałości zapraw i betonów w długich okresach twardnienia jest związany z tworzeniem się zwartej struktury betonu, co zapewnia wysoką trwałość obiektom budowlanym, nawet po wielu latach eksploatacji. Efekty te są szczególnie widoczne przy stosowaniu cementu hutniczego CEM III. Z tego powodu w przypadku prefabrykatów narażonych na agresywne wpływy środowiska (np. elementy zbiorników w oczyszczalniach ścieków, elementy nabrzeży morskich, płyty

chodnikowe, kostka brukowa itp.) wskazane jest stosowanie cementu CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA lub CEM III/A 52,5N-NA. Właściwie wykonane elementy prefabrykowane, przy użyciu omawianych cementów, charakteryzują się, wysoką szczelnością oraz podwyższoną odpornością na agresywne działanie czynników chemicznych.



Rys. 5.32. Wytrzymałość cementu na ściskanie po 28 dniach i w dłuższych okresach twardnienia w temperaturze +20°C

Dużym problemem producentów prefabrykatów betonowych są powstające na ich powierzchni wykwity węglanowe. Stosowanie cementów z dodatkiem granulowanego żużla wielkopiecowego (np. CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA lub CEM III/A 52,5N-NA) zmniejsza tendencję do występowania wykwitów. Spowodowane jest to ograniczeniem zawartości klinkieru w składzie cementu oraz zmniejszoną porowatością, a za razem zwiększoną szczelnością stwardniałego betonu. Zmiany w strukturze twardniejącego betonu spowodowane są tym, że aktywne składniki granulowanego żużla wielkopiecowego reagują z Ca(OH)_2 pochodzącym z hydratacji faz krzemianowych klinkieru. Produktem tej reakcji jest dodatkowa ilość żelowej fazy C-S-H, która wypełnia kapilary powstałe przez związanie i/lub odparowanie wody. W ten sposób zmianie ulega struktura porów; zwiększa się ilość bardzo drobnych porów żelowych, które są zamknięte dla cieczy, a zmniejszeniu ulega ilość porów kapilarnych odpowiedzialnych za transport czynników korozyjnych do wnętrza betonu (patrz rozdział 6.5).

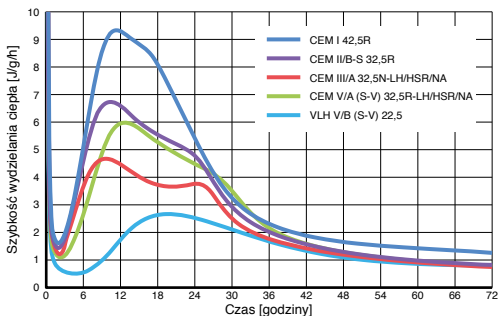
5.5. Cement jako składnik betonów masywnych i hydrotechnicznych

Pod pojęciem beton masywny (o dużej objętości) należy rozumieć konstrukcje (elementy) o niskim stosunku powierzchni do objętości występujące w budownictwie hydrotechnicznym, oczyszczalniach ścieków, przy budowie fundamentów, podpór mostów, itp. Cement stosowany w wykonawstwie do tego rodzaju konstrukcji powinien charakteryzować się:

- niskim ciepłem hydratacji (LH) lub bardzo niskim ciepłem hydratacji (VLH),
- podwyższoną odpornością na agresję chemiczną,
- wydłużonym początkiem czasu wiązania (praca w terenie, dalekie odległości, warunki zabudowy).

Cement o takiej charakterystyce można uzyskać na drodze modyfikacji składu mineralnego klinkieru (ograniczona zawartość C_3S i C_3A) lub wprowadzić do jego składu odpowiedniej jakości dodatki mineralne. Takimi cementami są cementy hutnicze CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA, CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA, CEM III/A 52,5N-NA, cement wieloskładnikowy CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA oraz cement specjalny o bardzo niskim ciepłe hydratacji VLH V/B (S-V) 22,5. Są to idealne materiały wiążące dla potrzeb budowy elementów masywnych, co potwierdzają wyniki badań zaprezentowane na rys. 5.33. Stosowanie cementów CEM III ÷ CEM V pozwala ograniczyć ilość wydzielanego ciepła w trakcie hydratacji cementu, przez co ogranicza się powstawanie rys termicznych i w znaczący sposób poprawia trwałość.

Szczególną uwagę przy produkcji betonu masywnego i hydrotechnicznego należy zwrócić na projektowanie, wykonanie i zabudowę betonu w obiekcie. W celu uzyskania dobrego jakościowo betonu niezbędne jest stosowanie domieszek chemicznych, zwłaszcza superplastyfikatorów, które redukują zawartość wody w mieszance betonowej. Bardzo ważna jest także właściwa pielęgnacja poprzez tradycyjne zraszanie wodą, pokrywanie folią i matami oraz nanoszenie powłok wodoszczelnych przez rozpylanie. W przypadku betonów masywnych i hydrotechnicznych zaleca się wydłużyć okres pielęgnacji wilgotnościowej nawet do 2 tygodni (patrz rozdział 6.7).



Rys. 5.33. Szybkość wydzielenia ciepła wewnątrz elementów betonowych wykonanych z różnych cementów

5.6. Cement w wykonawstwie posadzek betonowych

Jakość i trwałość betonu posadzkowego zależy od wielu czynników technologicznych. Ważna jest także świadomość, że mieszanka betonowa przeznaczona do wykonania posadzki powinna spełniać wiele dodatkowych wymagań, które nie są specyfikowane w przypadku betonu towarowego.

Posadzki betonowe najczęściej wykonuje się z betonu klasy C20/25 ÷ C35/45. Zalecane klasy wytrzymałości cementu to 32,5 (R, N) lub 42,5N. Rodzaj cementu należy dobrać uwzględniając temperaturę otoczenia, projektowaną klasę wytrzymałości betonu oraz klasę ekspozycji (warunki środowiskowe pracy betonu). W przypadku wysokich temperatur otoczenia i korozyjnego oddziaływania środowiska wskazane jest stosowanie cementów portlandzkich żużlowych CEM II/B-S 32,5R, CEM II/B-S 42,5N lub cementów hutniczych CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA i CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA. Cementy te, w porównaniu do cementów portlandzkich CEM I, charakteryzują się wydłużonym czasem wiązania i opóźnionym przyrostem wytrzymałości (w poszczególnych klasach wytrzymałości), co jest bardzo korzystne w przypadku wykonywania posa-

dziek utwardzanych powierzchniowo. Wydłużony czas wiązania przekłada się na dłuższy okres, w którym można nanieść posypkę utwardzającą. Cementy zawierające dodatki mineralne poprawiają także urabialność mieszanki betonowej, ograniczają wydzielanie wody na powierzchni wykonywanej posadzki (bleeding) oraz korzystnie wpływają na szczelność stwardniałego betonu.

W przypadku użycia cementu zawierającego w swoim składzie popiół lotny i/lub stosowania popiołu lotnego w składzie mieszanki betonowej należy zwrócić uwagę na zawartość niespalonego węgla w popiele (strata prażenia). Zaleca się stosowanie popiołu lotnego kategorii A o zawartości straty prażenia do 5%. Niespalony węgiel (koksik) zawarty w popiele może wypływać na powierzchnię wykonywanej posadzki, a jego zwiększona zawartość w warstwie wierzchniej może powodować pylenie i łuszczenie. Pogarsza to nie tylko estetykę wykonanej posadzki, ale także utrudnia wcieranie posypki utwardzających, klejenie płytek, itp. Dlatego w składzie betonu posadzkowego należy stosować popioły lotne w ograniczonej ilości i tylko wysokiej jakości.

Podkreślić także należy wagę pielęgnacji wilgotnościowej wykonanej posadzki i terminowe wykonywanie szczelin dylatacyjnych.

5.7. Cement w budowie dróg i mostów

Beton stosowany do budowy dróg i mostów musi charakteryzować się wysoką jakością, ponieważ poddawany jest dużym obciążeniom mechanicznym oraz działaniu zmiennych temperatur i środków odładzających. Beton mostowy i drogowy powinien być zaprojektowany z odpowiedniej jakości materiałów (cementu, kruszyw niereaktywnych), prawidłowo wykonany, bardzo dobrze zagęszczony oraz odpowiednio pielęgnowany.

Zalecenia odnośnie doboru cementu w obiektach inżynierii komunikacyjnej zawarte są w Ogólnych Specyfikacjach Technicznych (OST) opracowanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad w ramach tworzenia Wzorcowych Dokumentów Kontraktowych. Zgodnie z decyzją Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad stanowią one obowiązującą podstawę sporządzenia specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych (STWiORB) przy zlecaniu i re-

alizacji robót na drogach krajowych. Zalecane są także do wykorzystania przy zlecaniu robót na drogach wojewódzkich, powiatowych i gminnych (<http://www.gddkia.gov.pl>).

Tab. 5.6. Wymagania OST dotyczące betonu konstrukcyjnego w elementach obiektu drogowego

Rodzaj betonu	Wymagania odnośnie cementu
Beton konstrukcyjny	Cement portlandzki CEM I o całkowitej zawartości alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2:2013 do 0,8% i początku wiązania wg PN-EN 196-3:2011 powyżej 120 minut.
	Cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S o całkowitej zawartości alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ według PN-EN 196-2:2013 do 0,8%.
	Cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S o całkowitej zawartości alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2:2013 do 0,9%.
Beton konstrukcyjny sprężony	Powinien być stosowany cement portlandzki CEM I.
Beton konstrukcyjny masywny	Zaleca się stosowanie cementów takich jak dla betonu konstrukcyjnego lecz o niskim cieple hydratacji LH. Dopuszcza się również stosowanie cementu hutniczego CEM III za wyjątkiem klasy ekspozycji XF4.
Beton konstrukcyjny w klasach ekspozycji XA2, XA3, XD3 i XS3	Cement portlandzki CEM I odporny na siarczany SR wg PN-EN 197-1:2012 lub Cement portlandzki żuźlowy CEM II/A,B-S HSR i cement hutniczy CEM III/A HSR wg PN-B-19707:2013.
Dopuszcza się, w razie potrzeby, zastosowanie cementów o wysokiej wytrzymałości wczesnej (R). Do betonu klasy wytrzymałości na ściskanie wyższej niż C30/37 powinien być stosowany cement klasy nie niższej niż 42,5.	

Warunki doboru cementu, zawarte w OST, opierają się na rodzaju i funkcji elementu konstrukcji w drogowym obiekcie inżynierskim oraz warunkach środowiskowych (klasach ekspozycji wg PN-EN 206:2014), w jakich będą pracować. Wymagania te przedstawiono w tabeli 5.6 i 5.7. Specyfikacje, w przeciwieństwie do wytycznych zawartych w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2000 roku, rozszerzają asortyment cementów możliwych do zastosowania w inżynierii komunikacyjnej o cemy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II i cemy hutnicze CEM III.

Korzystnym rozwiązaniem jest stosowanie w budownictwie drogowym i mostowym cementów z dodatkiem mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego, np.:

- cement portlandzki żużlowy CEM II/A-S 52,5N
– płyty pomostowe, podpory, pylony,
- cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA,
CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA – pale, fundamenty podpór mostowych, przyczółki, nawierzchnie jezdni.

Zaletą takiego rozwiązania jest:

- obniżone ciepło hydratacji (cementy CEM II/B-S lub CEM III/A),
- niższy skurcz betonu,
- podwyższona odporność betonu na czynniki agresywne (wody gruntowe, zanieczyszczone rzeki, opady atmosferyczne, środki odladzające itp.),
- dobra urabialność mieszanki betonowej.

Tab. 5.7. Wymagania OST dotyczące betonowych nawierzchni drogowych

Rodzaj nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania specjalne	Kategorie ruchu
Nawierzchnia betonowa z odkrytym kruszywem w górnej warstwie	Cement portlandzki CEM I: <ul style="list-style-type: none"> ■ 32,5 R lub N ■ 42,5 R lub N 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Właściwa ilość wody wg PN-EN 196-3 $\leq 28,0\%$ ■ Wytrzymałość po 2 dniach wg PN-EN 196-1 $\leq 29,0$ MPa ■ Początek czasu wiązania wg PN-EN 196-3 ≥ 120 minut ■ Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$ 	KR5 ÷ KR7
	Cement portlandzki żuźlowy CEM II/A-S	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$	
	Cement portlandzki żuźlowy CEM II/B-S	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,90$	
Nawierzchnia betonowa do wczesnego obciążenia ruchem	Cement portlandzki CEM I: <ul style="list-style-type: none"> ■ 32,5 R lub N ■ 42,5 R lub N ■ 52,5 R lub N 	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$	KR1 ÷ KR7
Typowa nawierzchnia betonowa: dolne warstwy nawierzchni; nawierzchnie dwuwarstwowe z tej samej mieszanki; nawierzchnie jednowarstwowe	Cement portlandzki CEM I 32,5	<ul style="list-style-type: none"> ■ Właściwa ilość wody wg PN-EN 196-3 $\leq 28,0\%$ ■ Wytrzymałość po 2 dniach wg PN-EN 196-1 $\leq 29,0$ MPa ■ Stopień zmielenia wg PN-EN 196-6 ≤ 3500 cm^2/g ■ Początek czasu wiązania wg PN-EN 196-3 ≥ 120 minut ■ Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$ 	KR1 ÷ KR7

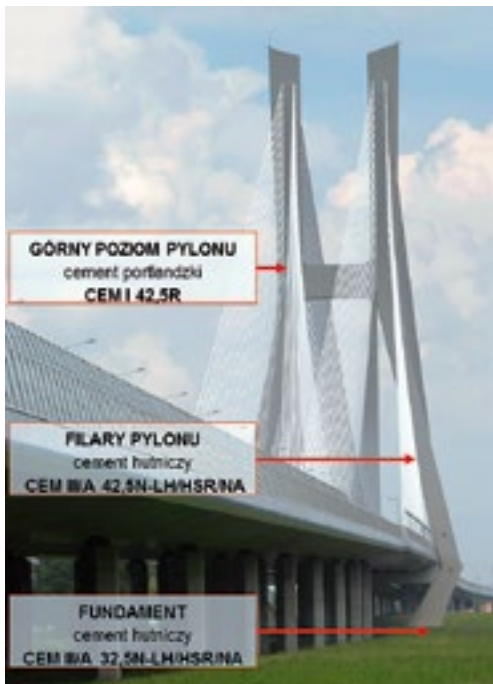
ciąg dalszy na następnej stronie

Tab. 5.7. cd

Rodzaj nawierzchni	Rodzaj cementu	Wymagania specjalne	Kategorie ruchu
Typowa nawierzchnia betonowa: dolne warstwy nawierzchni; nawierzchnie dwuwarstwowe z tej samej mieszanki; nawierzchnie jednowarstwowe	Cement portlandzki CEM I 42,5	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$	KR1 ÷ KR7
	Cement portlandzki żuźłowy CEM II/A-S		KR1 ÷ KR7
	Cement portlandzki wapienny CEM II/A-LL		KR1 ÷ KR3
	Cement portlandzki popiołowy CEM II/A-V ¹⁾	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 1,20$	KR1 ÷ KR3
	Cement portlandzki żuźłowy CEM II/B-S	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,90$	KR1 ÷ KR7
	Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A-M (S-V) ¹⁾	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 1,20$	KR1 ÷ KR3
	Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A-M (S-LL)	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 0,80$	KR1 ÷ KR4
	Cement hutniczy CEM III/A ²⁾	Zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ wg PN-EN 196-2 $\leq 1,05$	KR1 ÷ KR4
¹⁾ jeśli nawierzchnia nie będzie poddawana działaniu środków odładzających; strata prażenia popiołu lotnego użytego do produkcji cementu nie więcej niż 5% (kategoria A wg PN-EN 450-1:2012) ²⁾ min. klasa wytrzymałości cementu 42,5			
Stosowanie cementu nisko alkalicznego NA, jest uzasadnione tylko w przypadkach, gdy dla używanych kruszyw faktycznie stwierdzono potencjalną reaktywność alkaliczną. Zgodność cementu z określoną normą, należy wykazać certyfikatem zgodności wydanym przez jednostkę certyfikującą.			

Przykładem rozsądnego podejścia przy doborze cementu do konstrukcji betonowej w inżynierii komunikacyjnej jest wykonanie pylonu Mostu Rędziańskiego we Wrocławiu (rys. 5.34). W budowie fundamentów pylonu (beton C30/37), ze względu na ich masywność zastosowano cement o niskim cieple hydratacji LH i odporny na agresję siarczanową HSR – cement hutniczy CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA. Podstawę pylonu (beton C50/60) wykonano z cementu hutniczego CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA, co pozwoliło na właściwe betonowanie w technologii ślizgowej. Natomiast górny

poziom pylonu (beton C50/60), w którym zakotwiono wanty, wykonano z cementu portlandzkiego CEM I 42,5R. Jest to przykład racjonalnego wykorzystania właściwości użytkowych poszczególnych cementów. W efekcie usprawniono proces budowy i zapewniono odpowiednią trwałość całej konstrukcji pylonu.



Rys. 5.34. Przykład doboru cementów do wykonania pylonu Mostu Rędziańskiego we Wrocławiu

5.8. Cement w produkcji suchych zapraw i tynków

Producenci suchych zapraw i tynków najczęściej korzystają z cementów portlandzkich CEM I. Wynika to z wieloletnich doświadczeń i przyzwyczajzeń, ustabilizowanej produkcji opartej na tego rodzaju cemencie. Alternatywnie można stosować cementy portlandzkie żuźlowe CEM II A-S 52,5N, CEM II/B-S 42,5N lub cementy hutnicze CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA i CEM III/A 52,5N-NA. Zmianę rodzaju cementu należy poprzedzić próbami technologicznymi.

5.9. Wybrane zastosowania cementów Góraǳe Cement S.A. w budownictwie

Cementy z Góraǳe Cement S.A. od wielu lat są z powodzeniem stosowane w różnych dziedzinach budownictwa. Wysoka jakośó oferowanych spoiw oraz ich właściwośó użytkowe umoŹliwiają wykonanie zarówno typowych, jak i specjalistycznych konstrukcji i elementów. Oto wybrane przykłady zrealizowanych obiektów:



Fot. 5.1. Rozbudowa lotniska we Wrocławiu



Fot. 5.2. Most przez Wisłę w ciągu autostrady A1



Fot. 5.3. Stadion Miejski w Poznaniu



Fot. 5.4. Andersia Tower, Poznań



Fot. 5.5. Modernizacja Cementowni Góra



Fot. 5.6. Budowa Hali Podium w Gliwicach (Hala Gliwice) – cement hutniczy CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA, CEM II/B-S 32,5R



Fot. 5.7. Budowa Parkingów Wielopoziomowych „Tychy Główne” i „Tychy Lodowisko” – CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA, CEM II/B-S 32,5R



Fot. 5.8. Przebudowa Jazu Wrocław I – CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA



Fot. 5.9. Budowa Centrum Handlowego Zielone Arkady w Bydgoszczy – CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA



Fot. 5.10. Budowa stadionu w Lublinie – CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA

6

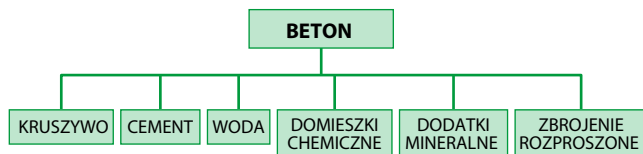
Beton **– rodzaje, właściwości** **i zastosowanie**

6.1. Beton i jego rodzaje

BETON DEFINICJE

Aktualna norma PN-EN 206:2014 „Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność” podaje kilka podstawowych definicji dotyczących betonu, przedstawionych poniżej.

Beton – materiał powstały ze zmieszania cementu, kruszywa grubego i drobnego, wody oraz ewentualnych domieszek, dodatków lub włókien (zbrojenia rozproszonego), który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu.

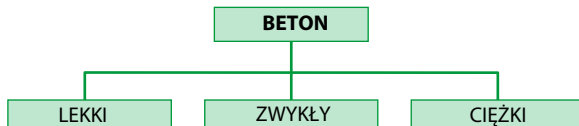


Mieszanka betonowa – w pełni wymieszany beton, który jest jeszcze w stanie umożliwiającym jego zagęszczenie wybraną metodą.

Beton samozagęszczalny (SCC) – beton, który pod własnym ciężarem rozplywa się i zagęszcza, wypełnia deskowanie ze zbrojeniem, kanały, ramy, itp., zachowując jednorodność.

Beton stwardniały – beton, który jest w stanie stałym i który osiągnął pewną wytrzymałość.

RODZAJE BETONU



Beton zwykły – beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2000 kg/m^3 i nieprzekraczającej 2600 kg/m^3 .

Beton zwykły najczęściej wykonuje się na kruszywie żwirowym, a w przypadku betonów wyższych klas na grysach uzyskiwanych w wyniku kruszenia skał o wysokich wytrzymałościach.

Beton lekki – beton gęstości w stanie suchym nie mniejszej niż 800 kg/m^3 i nie większej niż 2000 kg/m^3 .

Beton lekki wykonuje się z kruszyw lekkich (keramzyt, perlit, glinoporyt, pollytag, itp.) lub przez nadanie betonowi porowatej struktury (np. napowietrzenie lub spienienie).

Beton komórkowy nie jest klasyfikowany jako beton lekki wg PN-EN 206:2014.

Beton ciężki – beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2600 kg/m^3 .

Beton ciężki jest wykonywany z kruszyw pochodzących z ciężkich minerałów lub rud żelaza (np. magnetyt, limonit, baryt, hematyt, itp.) Stosowany jest do budowy osłon przed promieniowaniem w komorach rentgenowskich lub reaktorach atomowych.

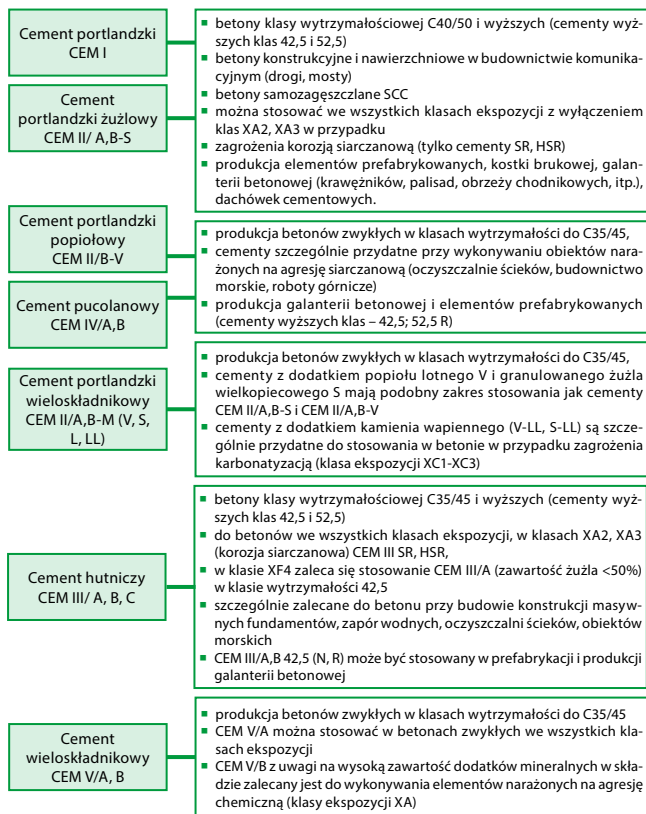
6.2. Składniki betonu

6.2.1. Cement

Cement jest podstawowym składnikiem betonu, umożliwiającym jego wiązanie i twardnienie w wyniku postępujących reakcji hydratacji. Ogólną przydatność cementu, jako składnika betonu, określa się, z uwagi na jego właściwości, według wymagań zawartych w normach PN-EN 197-1:2012, PN-EN 14216:2005 i PN-B-19707:2013. Szczegółowe wymagania dla poszczególnych rodzajów cementów podano w rozdz. 4.

W wielu przypadkach wybór cementu decyduje o trwałości betonu, tzn. o odporności betonu na działanie mrozu, mediów agresywnych chemicznie, itp. Dobór cementu, szczególnie pod względem rodzaju i klasy wytrzymałości, zależy od przeznaczenia betonu (zastosowania) oraz warunków jego pracy (klasy ekspozycji) i powinien być dokonany w oparciu o odpowiednie normy i przepisy dotyczące użytkowania obiektu budowlanego.

Orientacyjne zakresy stosowania cementów powszechnego użytku przedstawione zostały na rys. 6.1.



Rys. 6.1. Orientacyjne zakresy stosowania cementów powszechnego użytku w składzie betonu

Należy mieć na uwadze, że żaden cement nie będzie uniwersalny, tzn. najlepszy w każdych warunkach stosowania. Dobierając cement do konkretnej realizacji (np. obiektu mostowego) należy rozważyć zastosowanie kilku rodzajów cementów, w zależności od przeznaczenia i warunków pracy danego elementu (np. fundamenty – CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA, pylon – CEM III/A 42,5N-HSR/NA, zwieńczenie pylonu – strefa zakotwienia want – CEM I 42,5R).

Rodzaj i klasę cementu do betonu należy dobierać w zależności od:

- warunków realizacji (wykonania konstrukcji betonowej):
 - temperatury otoczenia,
 - warunków dojrzewania – dojrzewanie w warunkach naturalnych, obróbka cieplna – niskoprężne naparzenie,
 - sposobu pielęgnacji betonu,
 - szybkości rozformowania elementów,
 - długości transportu mieszanki betonowej,
 - objętości betonowanego elementu (element masywny – stosowanie cementów o niskim ciepłe hydratacji LH/VLH),
- wymaganych właściwości betonu:
 - klasy wytrzymałości,
 - szczelności betonu,
 - mrozoodporności,
 - potencjalnej reaktywności kruszywa z alkaliami (stosowanie cementów NA wg wymagań normy PN-B-19707:2013),
 - przeznaczenia betonu i warunków środowiska na które będzie narażona konstrukcja.

6.2.2. Woda zarobowa

Woda zarobowa, czyli woda dodawana do mieszaniny cementu i kruszywa w celu uzyskania mieszanki betonowej o żądanej konsystencji. Jakość stosowanej wody może w znaczący sposób wpływać na właściwości stwardniałego betonu. Wymagania dotyczące wody zarobowej do produkcji betonu zawarte są w normie PN-EN 1008:2004 „Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu”.

Oprócz wody pitnej, która nie wymaga badania, norma dopuszcza do stosowania, po uprzednim zbadaniu, inne rodzaje wód:

- odzyskaną z procesu produkcji betonu,
- ze źródeł podziemnych,
- naturalną wodę powierzchniową i wodę ze ścieków przemysłowych,
- morską lub zasoloną.

Wodę poddaje się wstępnej ocenie pod względem:

- zawartości olejów i tłuszczów,
- zawartości detergentów (piana powinna zanikać w ciągu 2 minut),
- barwy (bladożółta lub jaśniejsza – nie dotyczy wody z produkcji betonu),
- zawiesiny (nie więcej niż 4 ml osadu – nie dotyczy wody z produkcji betonu),
- zapachu (dopuszczalny zapach jak wody pitnej, bez zapachu H_2S po dodaniu HCl),
- kwasowości ($pH \geq 4$),
- zawartości substancji humusowych (jakościowa ocena barwy po dodaniu $NaOH$ jako żółtawobrazowa lub jaśniejsza).

W zakresie właściwości chemicznych norma stawia następujące wymagania:

- zawartość chlorków:
 - dla betonu sprężonego i zaczynu iniekcyjnego
 - do kanałów kablowych – do 500 mg/l wody,
 - dla betonów zbrojonych – do 1000 mg/l wody,
 - dla betonów niezbrojonych – do 4500 mg/l wody,
- zawartość siarczanów, jako SO_4^{2-} nie powinna przekraczać 2000 mg/l wody,
- zawartość alkaliów nie powinna przekraczać (w przeliczeniu na $NaOH$), 1500 mg/l chyba, że wykaże się brak szkodliwej reakcji reaktywnej krzemionki z alkaliami,
- inne zanieczyszczenia szkodliwe (cukry, azotany, fosforany, ołów i cynk) sprawdza się, czy nie wpływają negatywnie na czas wiązania i wytrzymałość betonu.

W przypadku wody odzyskiwanej z produkcji betonu, dodatkowo spełnione muszą być następujące wymagania:

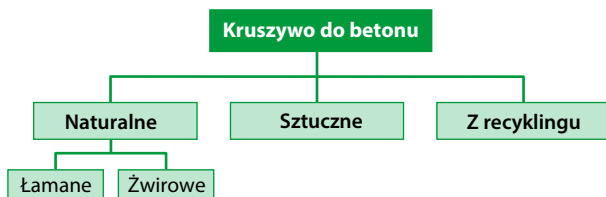
- jednorodność zawiesiny materiału stałego,

- dodatkowa masa materiału stałego w betonie wynikająca z użycia wody odzyskanej z produkcji betonu powinna być mniejsza niż 1% całkowitej masy kruszywa w betonie (obliczane na podstawie kontroli gęstości wody).

6.2.3. Kruszywo

Kruszywo stanowi ok. 70 – 80% objętości betonu, a zatem jego jakość ma znaczący wpływ na kształtowanie się właściwości betonu w konstrukcji (wytrzymałość i trwałość), a także na koszty produkcji. Ogólną przydatność kruszyw do betonu określają się zgodnie z normą PN-EN 12620:2010 dla kruszyw zwykłych i ciężkich oraz zgodnie z normą PN-EN 13055:2003 dla kruszyw lekkich. Do betonu stosowane mogą być kruszywa (rys. 6.2):

- naturalne (żwirowe i łamane),
- sztuczne (powstałe podczas obróbki termicznej materiałów ilastych lub surowców pochodzących z ubocznych produktów spalania),
- z recyklingu (np. z rozkruszonego stwardniałego betonu lub odzyskane przez wypłukanie z mieszanki betonowej).



Rys. 6.2. Podział kruszyw do betonu wg PN-EN 12620:2010

Najczęściej w produkcji betonu stosuje się kruszywa naturalne żwirowe i łamane.

Kruszywa żwirowe – rys. 6.3 – powstały w wyniku naturalnych procesów przyrodniczych, takich jak wietrzenie skał i erozyjne działanie wody. Okruchy skalne są przenoszone przez prąd rzeki, bądź falowanie wody. W efekcie tego działania uzyskały zaokrąglony kształt ziaren. Nazywane są potocznie kruszywem otoczkowym.



Rys. 6.3. Kruszywa naturalne żwirowe

Kruszywa naturalne łamane (grysy) – rys. 6.4 – powstały w wyniku mechanicznego rozdrobnienia skał litych. Najczęściej są to skały magmowe (granit, sjenit, bazalt) i skały węglanowe (wapień, dolomit). Kruszywa uzyskane ze skał magmowych charakteryzują się wysoką odpornością na ścieranie, niską porowatością, a co za tym idzie – niską nasiąkliwością, odpowiednią mrozoodpornością. Kruszywa łamane są zazwyczaj używane do produkcji betonów wysokich klas wytrzymałościowych (betony mostowe, nawierzchniowe).



Rys. 6.4. Kruszywa naturalne łamane

Przy doborze kruszywa do betonu należy kierować się zapisami normy PN-EN 206:2014, uwzględniając:

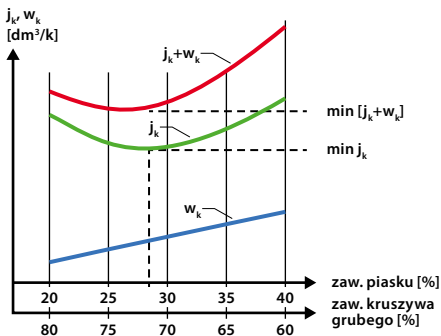
- warunki realizacji robót,
- przeznaczenie betonu,
- warunki środowiska, na które będzie narażony beton (klasa ekspozycji),
- wymagania w zakresie odsłoniętego kruszywa lub kruszywa stosowanego w przypadku mechanicznej obróbki powierzchni betonu.

W celu prawidłowego zaprojektowania mieszanki betonowej należy dobrać odpowiednie proporcje kruszywa grubego i piasku, tak aby tworzyły w betonie szczelny stos okruszowy. Uziarnienie kruszywa do betonu powinno zapewnić możliwie niskie zapotrzebowanie na za-

czyn cementowy (cement i wodę). Zapotrzebowanie to wynika głównie z dwóch cech kruszywa:

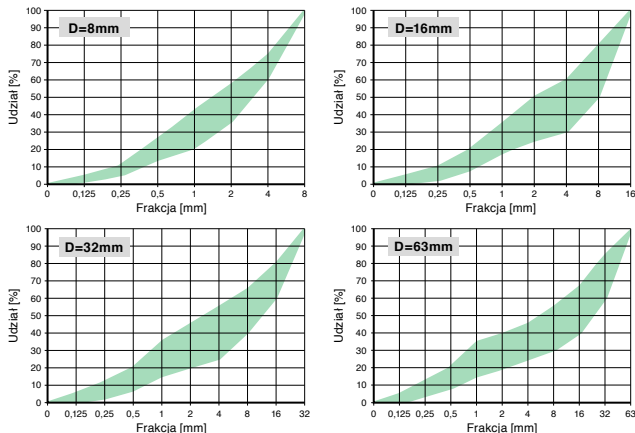
- jamistości (przepełnienie jam zaczynem),
- powierzchni zewnętrznej (otulenie powierzchni zaczynem), związanej z granulacją i wodożądnością kruszywa.

Zarówno jamistość, jak i powierzchnię zewnętrzną należy zatem minimalizować (rys. 6.5). Równoczesne uzyskanie minimum tych dwóch wielkości nie jest jednak możliwe. Optymalnym rozwiązaniem jest kompromis, którego efektem są tzw. obszary właściwego uziarnienia, zawarte w specyfikacjach technicznych i literaturze specjalistycznej (rys. 6.6). Mieszanki kruszywowe z tego obszaru spełniają równocześnie wymaganie minimalnej jamistości przy minimalnej wodożądności.

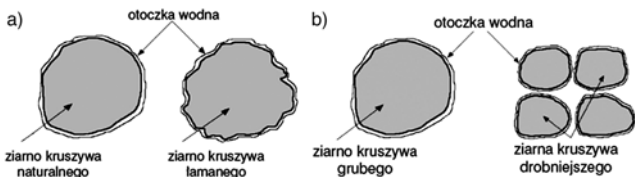


Rys. 6.5. Zmiany jamistości (j_k) i wodożądności (w_k) kruszywa w zależności od zawartości piasku

Dobór kruszywa powinien zatem gwarantować uzyskanie odpowiedniej krzywej uziarnienia mieszanki kruszywowej. Od rozwinięcia powierzchni ziaren kruszywa (rys. 6.7a) zależy ilość zaczynu cementowego niezbędnego dla uzyskania założonej konsystencji mieszanki betonowej. Najbardziej rozwiniętą powierzchnią ziaren charakteryzuje się piasek (frakcja < 2 mm) rys. 6.7b, z tego względu bardzo istotnym parametrem jest w technologii betonu tzw. „punkt piaskowy”, czyli zawartość piasku (% wag.) w mieszance kruszywowej.



Rys. 6.6. Obszary właściwego uziarnienia kruszywa w zależności od maksymalnego wymiaru ziaren D



Rys. 6.7. Wpływ rodzaju kruszywa na wodożądność: a) kruszywo żwirowe / łamane; b) kruszywo grube / drobne

W celu zapewnienia właściwego układania i zagęszczania mieszanki betonowej, z uwzględnieniem transportu, niezbędne jest dobranie odpowiedniej zawartości frakcji piaskowej (0-2mm) w stosie okruszowym kruszywa. Orientacyjnie, dla mieszanek betonowych, zależnie od sposobu zagęszczania i konsystencji mieszanki betonowej oraz od zagęszczenia wkładek zbrojeniowych w betonowanym elemencie, przyjmuje się punkt piaskowy w granicach:

- 27-30% – mieszanki betonowe układane ręcznie, zagęszczane mechanicznie (wibrowane); konsystencja plastyczna, półciekła; elementy zbrojone (stopień zbrojenia do 2,5% powierzchni przekroju elementu),
- 35-40% – mieszanki betonowe podawane pompą (pompowane) wibrowane lub samozagęszczalne; konsystencja półciekła, ciekła; elementy gęsto zbrojone
- 45-60% – mieszanki wibroprasowane; konsystencja wilgotna, gęstoplastyczna; elementy niezbrojone lub rzadko zbrojone, o prostych, nieskomplikowanym kształcie przekroju.

Brak lub niedobór pewnych frakcji ziarnowych w mieszance kruszywowej prowadzi do wyraźnego pogorszenia właściwości reologicznych mieszanki betonowej (urabialności, konsystencji) oraz obniża jakość stwardniałego betonu (wyższa nasiąkliwość, obniżona wytrzymałość i mrozoodporność). Zbyt duży udział frakcji drobnych (pył, piasek) w stosie okruszowym kruszywa prowadzi do wzrostu wodożądności, efektem czego jest pogorszenie warunków ekonomicznych produkcji betonu – więcej cementu w m³ betonu. Przy określaniu maksymalnego wymiaru ziaren kruszywa należy uwzględnić pewne ograniczenia, związane z wymiarami przekroju elementu betonowego oraz stosowanego zbrojenia (rozstaw i średnica prętów zbrojeniowych).

Maksymalny wymiar ziaren kruszywa nie może być większy niż:

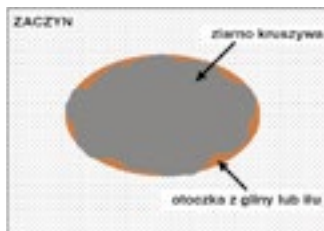
- 1/3 najmniejszego wymiaru przekroju poprzecznego elementu,
- 3/4 odległości między prętami zbrojenia.

Jakość stosowanych kruszyw jest bardzo istotna dla jakości betonu. Zanieczyszczenia organiczne, głównie kwasy humusowe powstające z rozkładu roślin, kawałki węgla kamiennego, ziarna zbóż i kawałki drewna, pochodzące np. z nieoczyszczonych naczep ciężarówek po poprzednim ładunku, wpływają niekorzystnie na przebieg hydratacji cementu. Pogarszają one estetykę i właściwości użytkowe betonu. Dotyczy to zwłaszcza betonów architektonicznych i wykonawstwa posadzek przemysłowych (odpryski na powierzchni betonu). Zanieczyszczenia organiczne, jeżeli dostaną się z kruszywem do betonu, mogą w niekontrolowany sposób zwiększać swoją objętość (pęcznieć), a w efekcie powodować złuszczenie powierzchni, odpryski, a nawet spękania posadzek betonowych.

Czynnikiem wpływającym na właściwości betonu jest zawartość pyłów mineralnych (ziaren mniejszych od 0,063 mm), szczególnie minerałów

ilastych i glin w kruszywie (rys. 6.8a). Jako ziarna posiadające największą powierzchnię właściwą, pyły zwiększają znacząco wodożądność stosu okruschowego, a co za tym idzie – współczynnik wodno-cementowy. Bardzo często ziarna pyłów tworzą powłokę na ziarnach kruszywa grubego, przez co znacząco pogarsza się przyczepność zaczynu do powierzchni ziaren, co może skutkować pogorszeniem mrozoodporności betonu.

Równie istotnym parametrem jest kształt ziaren kruszywa. Zazwyczaj kruszywa łamane mają kształt zbliżony do graniastostupów o wyraźnych, ostrych krawędziach, natomiast kruszywa naturalne są zaokrąglone, o kształcie zbliżonym do kuli. W obu przypadkach są to ziarna o najbardziej pożądanym kształcie ze względu na mały stosunek powierzchni do objętości, co minimalizuje zużycie cementu. W kruszywach mogą występować również ziarna wydłużone i płaskie, obecność których utrudnia pompowanie i szczelne ułożenie mieszanki betonowej (pogorszenie urabialności). W trakcie zagęszczania betonu pod ziarnami płaskimi może tworzyć się soczewka wodna (rys. 6.8), co może pogorszyć trwałość stwardniałego betonu.



Rys. 6.8 a) Otoczka z gliny lub minerałów ilastych



Rys. 6.8 b) Soczewki wodne pod płaskimi ziarnami kruszywa

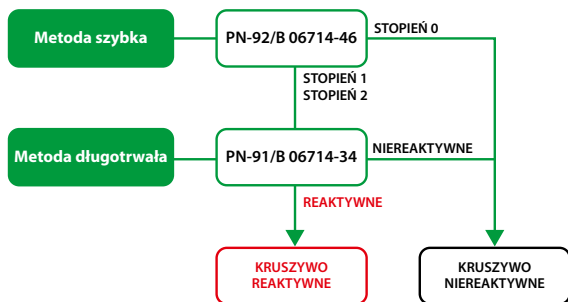
Istotną właściwością kruszywa, z uwagi na trwałość betonu, jest reaktywność alkaliczna, czyli podatność pewnych rodzajów kruszyw na reakcję z alkalią zawartymi w roztworze porowym betonu (pochodzącymi z cementu lub innych składników betonu). Kruszywo reaktywne charakteryzuje się zawartością reaktywnych form krzemionki, którymi są: opal, chalcedon i trydymit. Reaktywność alkaliczna kruszyw jest zjawiskiem złożonym, pod względem typów reakcji alkalicznych, jak i różnorodności czynników mineralogicznych, chemicznych i atmosferycznych (zwłaszcza

zmienna temperatura i wilgotność) wpływających na ich wystąpienie i przebieg. W zależności od powyższych zjawisk, metody badań oraz kryteria oceny zjawiska reaktywności alkalicznej są różne, a ich ujednoczenie jest bardzo trudne.

Zgodnie z normą PN-EN 12620:2010, jeśli jest to wymagane, reaktywność alkaliczną kruszyw należy oceniać zgodnie z zapisami obowiązującymi w miejscu stosowania, natomiast wyniki należy deklorować. W Polsce, w związku z brakiem wskazań dotyczących metod badania (brak uzupełnienia krajowego do normy PN-EN 12620:2010) stosowane mogą być trzy metody badawcze według krajowych norm:

- PN-91/B-06714-34 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczenie reaktywności alkalicznej – badanie polega na ustaleniu zmian liniowych oraz zmian destrukcyjnych beleczek betonowych (rysy, pęknięcia, zmiany barwy, wykwyty, wycieki, odpryski); norma uwzględnia ekstremalne warunki oddziaływania alkaliów na kruszywo i określa skład ilościowy kruszywa przeznaczonego do badań oraz cementu o zawartości alkaliów $1,2 \pm 0,1\%$ (w przeliczeniu na Na_2O , a także warunki przechowywania: wilgotne w temperaturze $36 \div 40^\circ\text{C}$,
- PN-92/B 06714-46 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczenie potencjalnej reaktywności alkalicznej metodą szybką – badanie polega na przeprowadzeniu reakcji kruszywa z NaOH , oznaczeniu ubytku masy kruszywa oraz określeniu zawartości reaktywnej krzemionki,
- PN-88/B 06714-47 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczenie potencjalnej reaktywności alkalicznej – oznaczenie zawartości krzemionki rozpuszczalnej w NaOH – badanie polega na określeniu metodą masową zawartości krzemionki rozpuszczalnej po reakcji odpowiednio przygotowanej próbki kruszywa z roztworem wodorotlenku sodowego, o stałym stężeniu $C_{(\text{NaOH})} = 1 \text{ mol/l}$, w temperaturze 80°C w ciągu 24 h.

W praktyce potencjalną reaktywność alkaliczną określa się wg normy PN-92/B-06714-46 oraz PN-91/B-06714-34. Schemat oceny i sposób postępowania przy określaniu reaktywności alkalicznej kruszyw według wytycznych krajowych przedstawiono na rys. 6.9.



Rys. 6.9. Sposób postępowania przy określaniu reaktywności alkalicznej kruszywa

Kruszywo o zerowym stopniu reaktywności alkalicznej można bez przeszkód stosować do produkcji betonu. Za potencjalnie reaktywne należy uznać badane kruszywo odpowiadające 1. lub 2. stopniowi reaktywności alkalicznej. W takim przypadku, dla potwierdzenia ostatecznej oceny reaktywności alkalicznej należy wykonać dodatkowe badanie kruszywa metodą beleczkową wg normy PN-91/B-06714-34. W tab.6.1 przedstawiono ocenę stopnia potencjalnej reaktywności alkalicznej.

Tab. 6.1. Ocena stopnia potencjalnej reaktywności alkalicznej wg normy PN-92/B-06714-46

Cecha	Stopień reaktywności alkalicznej		
	0	1	2
Ubytek masy dla danej frakcji kruszywa drobnego (X_1) lub grubego (X_4) pod działaniem NaOH [%]	$\leq 0,5$	$> 0,5 \leq 2,0$	$> 2,0$
Zawartość reaktywnego krzemienia (X_3) [%]	$\leq 3,0$	$> 3,0 \leq 10,0$	$> 10,0$
$5 \cdot X_4 + X_3$	$\leq 4,0$	$> 4,0 \leq 15,0$	$> 15,0$
Stopnie potencjalnej reaktywności alkalicznej: 0 – kruszywo niereaktywne 1 – kruszywo potencjalnie reaktywne 2 – kruszywo reaktywne			

W większości krajów europejskich reaktywność alkaliczna kruszyw poddawana jest ocenie według przepisów krajowych. Komitet Techniczny organizacji RILEM prowadzi prace mające na celu ujednoczenie procedur badawczych. Procedury oceny reaktywności kruszyw rekomendowane przez RILEM to 5 metod uwzględniających badania petrograficzne kruszyw oraz szybkie i długoterminowe badania zapraw i betonu:

- AAR-1 – badanie rozpoznawcze (identyfikacja),
- AAR-2 – pomiar zamian liniowych beleczek z zapraw (wymiar 25×25×285mm lub 40×40×160mm),
- AAR-3 – badanie ekspansji próbek betonu (w temp. 38°C przez 1 rok),
- AAR-4 – zmodyfikowane badanie ekspansji próbek betonu (w temp. 60°C przez 15 tygodni),
- AAR-5 – procedura oceny kruszyw węglanowych.

Schemat oceny reaktywności kruszyw wg RILEM przedstawiono na rys. 6.10.

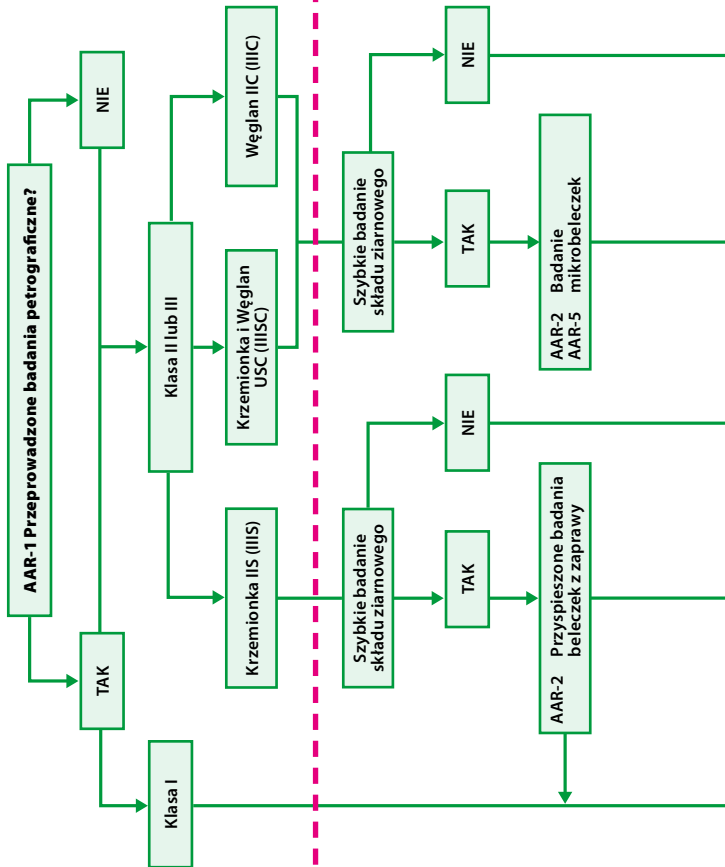
Ocena reaktywności alkalicznej kruszyw najbardziej komplementarnie ujęta jest w grupie amerykańskich norm ASTM – zestawienie zaleczanych metod badawczych zawarte jest w tabeli 6.2.

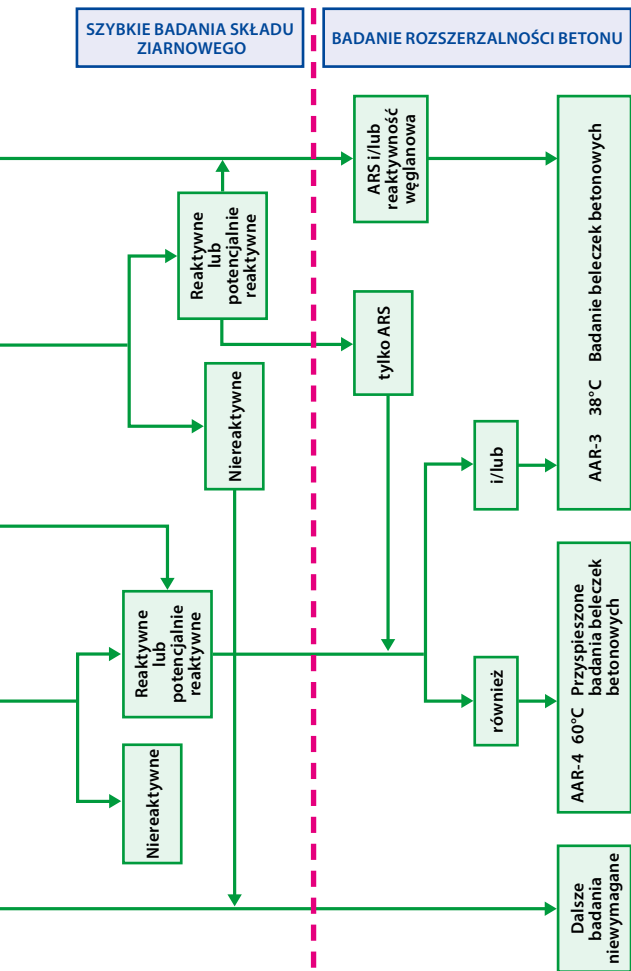
Tab. 6.2. Metody badania reaktywności kruszyw według ASTM

Norma	Opis
ASTM C295	Badanie petrograficzne kruszyw do betonu
ASTM C289	Ocena potencjalnej reaktywności kruszywa metodą chemiczną
ASTM C1260	Badanie ekspansji alkalicznej beleczek z zapraw metodą przyspieszoną
ASTM C227	Badanie ekspansji beleczek z zapraw metodą długoterminową
ASTM C1293	Badanie ekspansji beleczek z betonu metodą długoterminową
ASTM C1567	Badanie ekspansji beleczek z zapraw przy użyciu dodatków mineralnych metodą przyspieszoną
ASTM C441	Badanie efektywności pucolan i mielonego granulowanego żużla wielkopiecowego w zapobieganiu ekspansji wywołanej reakcją alkalia-krzemionka
ASTM C856	Badanie petrograficzne produktów reakcji alkalia-krzemionka w stwardniałym betonie

PETROGRAFIA

SZYBKIŁE BADAŁIA SKŁADU ZIARNOŁEGO





Rys. 6.10. Schemat oceny reaktywności kruszyw według procedury RILEM

Kolejnym czynnikiem mogącym w znaczący sposób wpływać na właściwości stwardniałego betonu jest wytrzymałość mechaniczna kruszyw w rozumieniu odporności kruszywa na rozdrabnianie. Właściwość tą określa się przez współczynnik Los Angeles (LA) wyznaczany wg PN-EN 1097-2:2010 „Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie”. Badanie według tej metody polega na określeniu procentowego ubytku masy ziaren kruszywa w wyniku ich wzajemnego ścierania, z udziałem kul stalowych w bębnie Los Angeles (rys. 6.11). Określa się współczynnik Los Angeles, LA: tj. część masy próbki analitycznej, wyrażona w procentach, która po zakończeniu badania przeszła przez sito 1,6 mm. Współczynnik Los Angeles (LA) oblicza się według następującego wzoru:

$$LA = (5000 - m) / 50$$

gdzie:

m – masa próbki po badaniu pozostająca na sicie 1,6 mm, w gramach

W zależności od wartości parametru LA (patrz tab. 6.2) określa się klasę wytrzymałości betonu, dla której dane kruszywo może być zastosowane. W tab. 6.3 podano przykładowe klasy wytrzymałości w zależności od wartości współczynnika Los Angeles (LA).

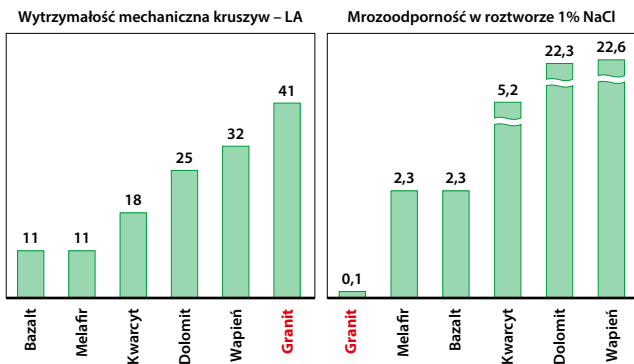


Rys. 6.11. Bęben Los Angeles

Tab. 6.3. Klasy wytrzymałości betonu w zależności od współczynnika LA

Przykładowe klasy wytrzymałości	Kategoria LA
C50/60 i wyższe	$\leq LA_{30}$
C20/25 do C50/60	$\leq LA_{35}$
C16/20 do C30/37	$\leq LA_{40}$
C8/10 do C20/25	$\leq LA_{50}$

Odporności kruszywa na rozdrabnianie jest jednym z kryterium dopuszczającym kruszywo do stosowania w betonie konstrukcyjnym w budownictwie komunikacyjnym według Ogólnej Specyfikacji Technicznej (OST) „Beton konstrukcyjny w drogowym obiekcie inżynierskim”. Beton konstrukcyjny wg OST to beton zwykły według PN-EN 206:2014 w monolitycznych elementach drogowego obiektu inżynierskiego o wytrzymałości na ściskanie nie mniejszej niż C20/25 i o dodatkowych ustalonych właściwościach. Zgonie z tabelą 6.3. beton klasy C20/25 powinien charakteryzować się kategorią $\leq LA_{35}$. OST łączy wymagania względem odporności na rozdrabnianie z mrozoodpornością kruszywa. Główne kryterium dopuszczenia kruszywa do stosowania w betonie konstrukcyjnym zastrzeżone jest do kategorii LA_{25} , gdy mrozoodporność (wg PN-EN 1367-6:2008) w obecności NaCl nie przekracza 6%. Jednocześnie OST wprowadza złagodzone kryterium dla kruszyw do betonu konstrukcyjnego LA_{40} , przy czym mrozoodporność takiego kruszywa nie może przekraczać 2% (wg PN-EN 1367-6:2008). Przyjęcie takich kryteriów jest podyktowane wieloletnim doświadczeniem w stosowaniu kruszyw granitowych w betonie, w budownictwie komunikacyjnym. Granity charakteryzują się bardzo wysoką mrozoodpornością, aczkolwiek wytrzymałość granitu na rozdrabnianie wynosi ok. 40% (LA_{40}) – rys. 6.12, co przy założonym bardzo restrykcyjnym kryterium LA_{25} , dyskwalifikowałoby całkowicie możliwość ich stosowania. Z tego powodu ustanowione zostało dodatkowe kryterium wymagań co do mrozoodporności.



Rys. 6.12. Właściwości kruszyw stosowanych w budownictwie komunikacyjnym

Ogólne specyfikacje techniczne wymagają również, aby w przypadku stosowania w betonie konstrukcyjnym bazaltu, zapewnić odpowiednią jakość tego kruszywa – wymagana kategoria SB_{LA} (spadek odporności na rozdrabnianie LA po gotowaniu w wodzie przez 36 godziny) według PN-EN 1367-3:2002 „Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych Część 3: Badanie bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania”. Mianem zgorzeli słonecznej (zgorzeli bazaltowej) – rys. 6.13 – określa się charakterystyczny rodzaj zniszczenia (wietrzenia) skały bazaltowej (niektórych rodzajów), ujawniający się pod wpływem warunków atmosferycznych. Początkowo objawia się w postaci jasnych, szarych lub niebieskawych plam, drobnych spękań oraz włoskowatych szczelin, które obniżają wytrzymałość struktury mineralnej, w końcowym efekcie prowadząc do zniszczenia, rozkruszenia kruszywa na drobne ziarna. Bazalty ze zgorzelą słoneczną wykazują nierówny, gruzelkowy lub zadziorowaty przełam. Zgorzel słoneczna w znacznym stopniu obniża właściwości fizyko-mechaniczne kruszywa, co w efekcie niekorzystnie wpływa na właściwości betonu. Zgorzel słoneczna może być przyczyną obniżenia lub nawet braku odporności bazaltu na działanie mrozu, szczególnie w obecności soli odładzających.



Rys. 6.13 Zgorzel słoneczna bazaltowa

W krajowych warunkach klimatycznych, projektując beton należy mieć na uwadze fakt, że narażony on będzie na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie, także w obecności soli odladzających. Z tego też powodu należy stosować w składzie betonu kruszywo mrozoodporne. Mrozoodporność kruszywa można oceniać wg procedury badawczej zawartej w normie PN-EN 1367-1:2007 „Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczenie mrozoodporności” (kategorie F). Mrozoodporność kruszyw można badać także w obecności mediów agresywnych chemicznie, np. w siarczanie magnezu wg PN-EN 1367-2:2010 „Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 2: Badanie w siarczanie magnezu” (kategorie MS). Badanie mrozoodporności w obecności siarczanu magnezu uważa się za bardziej oddające rzeczywiste warunki eksploatacji betonu, szczególnie w przypadku, gdy beton (kruszywo) może być narażony na działanie wody morskiej lub soli odladzających.

Kruszywo może być uznane za odpowiednie, jeżeli w warunkach zbliżonych do warunków zamierzonego zastosowania dostępne są pozytywne doświadczenia ze stosowania tego rodzaju kruszywa, np. w warunkach krajowych stosowanie kruszywa granitowego o niskiej nasiąkliwości. Jeżeli brak jest takich doświadczeń, zachodzi potrzeba wykonania badań mrozoodporności wg odpowiedniej procedury. Odpowiednią kategorię można wybrać z tab. 6.4.

Tab. 6.4. Warunki środowiskowe a wymagana mrozoodporność kruszywa

Warunki środowiskowe	Klimat		
	śródlądowo- morski	atlantycki	kontynentalny ^{a)}
Brak mrozu i sucho	nie wymagane	nie wymagane	nie wymagane
Częściowe nasycenie, brak soli	nie wymagane	F ₄ lub MS ₃₅	F ₂ lub MS ₂₅
Nasycenie, brak soli	nie wymagane	F ₂ lub MS ₂₅	F ₁ lub MS ₁₈
Sól (woda morska lub nawierzchnie drogi)	F ₄ lub MS ₃₅	F ₂ lub MS ₂₅	F ₁ lub MS ₁₈
Nawierzchnie lotnisk	F ₂ lub MS ₂₅	F ₁ lub MS ₁₈	F ₁ lub MS ₁₈

^{a)} Kategoria kontynentalna może odnosić się również do Islandii, części Skandynawii i rejonów górskich, w których występują surowe warunki zimowe.

6.2.4. Domieszki chemiczne

Stosowanie domieszek chemicznych w technologii betonu jest rozwiązaniem powszechnie praktykowanym. Nie ma współczesnego betonu bez domieszek chemicznych. Pozwalają one na skuteczne modyfikowanie właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu. Ogólną przydatność domieszek do betonu ustala się zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 934-2:2012 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie”.

Domieszki chemiczne są definiowane w normie PN-EN 206:2014 jako składniki dodawane w małych ilościach (do 5%) w stosunku do masy cementu podczas procesu przygotowania mieszanki betonowej.

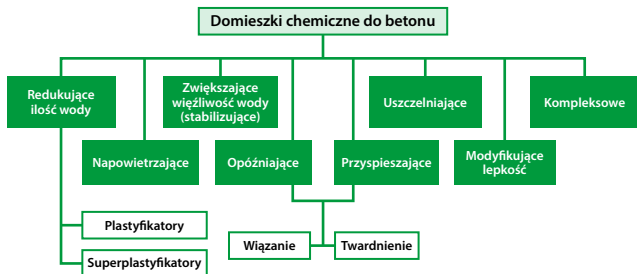
Najpowszechniej w technologii betonu stosuje się domieszki redukujące ilość wody – plastyfikatory i superplastyfikatory. Domieszki klasyfikuje się ze względu na skutki modyfikacji właściwości betonu – decydujący jest główny kierunek działania. W przypadku, gdy domieszka modyfikuje więcej niż jedną właściwość, jest traktowana jako kompleksowa (wielofunkcyjna).

Podkreślić należy, że oczekiwane rezultaty stosowania domieszek chemicznych w składzie betonu, możliwe są do uzyskania tylko wtedy, gdy beton zostanie zaprojektowany w prawidłowy sposób pod względem jakościowym i ilościowym (odpowiedni dobór pozostałych składników

mieszanki betonowej). Należy również zapewnić odpowiednie warunki produkcji i transportu mieszanki betonowej oraz jej ułożenia, zagęszczenia, a także pielęgnacji betonu.

Domieszki chemiczne nie poprawiają właściwości niewłaściwie zaprojektowanej mieszanki betonowej lub betonu niewłaściwie zabudowanego (nieterminowy transport, złe zagęszczanie, brak pielęgnacji, itp.).

Klasyfikację domieszek chemicznych do betonu, wg PN-EN 934-1:2009, przedstawiono na rys. 6.14.



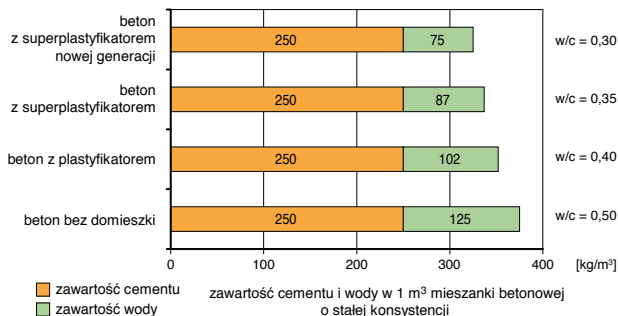
Rys. 6.14. Klasyfikacja domieszek wg PN-EN 934-2:2009

Domieszki uplastyczniające (plastyfikatory) i upłynniające (superplastyfikatory)

Najliczniejszą grupę rodzajową na rynku stanowią domieszki redukujące wodę (rys. 6.15) i jednocześnie poprawiające urabialność mieszanki betonowej. Rozróżnia się:

- domieszki uplastyczniające (redukujące ilość wody), czyli plastyfikatory, pozwalające na zmniejszenie ilości wody zarobowej w granicach 5–12%,
- domieszki upłynniające (znacznie redukujące ilość wody), tzw. superplastyfikatory, pozwalające na zmniejszenie ilości wody o więcej niż 12% (domieszki nowej generacji – nawet do 40%).

W literaturze można znaleźć informacje o hiperplastyfikatorach redukujących wodę w jeszcze większym stopniu.

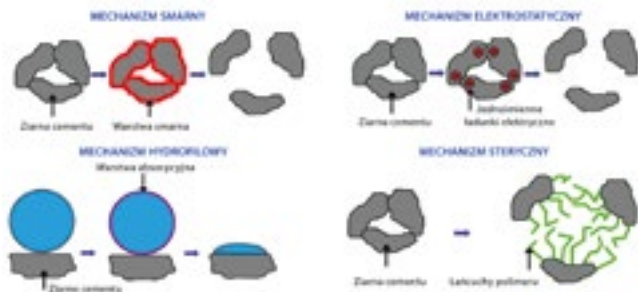


Rys. 6.15. Redukcja zawartości wody w mieszance betonowej przy zachowanej stałej konsystencji z zastosowaniem domieszki uplastyczniającej lub upłynniającej

Domieszki uplastyczniające (plastyfikatory) efektywnie redukują ilość wody niezbędnej do otrzymania określonej konsystencji. Stosowanie plastyfikatorów poprawia konsystencję mieszanki betonowej przy stałym współczynniku w/c. Obniżenie ilości wody i utrzymanie konsystencji pozwala na zwiększenie wytrzymałości betonu, a także poprawę jego trwałości poprzez zwiększenie mrozoodporności, szczelności i obniżenie nasiąkliwości. Dozując plastyfikator należy stosować się do zaleceń producenta domieszki.

Domieszki upłynniające (superplastyfikatory) umożliwiają znaczne obniżenie zawartości wody zarobowej. Efektywnie zwiększają konsystencję mieszanki betonowej (w znacznie większym stopniu niż domieszki uplastyczniające). Pozwala to na produkcję mieszanek betonowych o bardzo niskich współczynnikach w/c i odpowiedniej ciekłości. Mechanizm działania superplastyfikatorów jest różnicowany (rys. 6.16). Plastyfikatory mogą działać w dwojaki sposób – powodując powstanie na ziarnach cementu i mikrowypełniaczy warstwy „smaru”, o grubości mierzonej w wielkościach molekularnych, zmniejszającej tarcie wewnętrzne w mieszance betonowej lub otaczając ziarna cementu ładunkami ujemnymi (mechanizm elektrostatyczny), powodując ich wzajemne odpychanie się, a tym samym „rozluźnienie” struktury mieszanki betonowej. Z kolei superplastyfikatory pierwszych generacji powodują zmniejszenie napięcia

powierzchniowego wody w stosunku do cementu i mikrowypełniaczy. Najnowsza generacja upłynniaczy działa na zupełnie innej zasadzie. Ich długie łańcuchy polimerowe fizycznie uniemożliwiają ziarnom cementu zbliżanie się do siebie. Efekt ten nazywany jest efektem sterycznym. Często domieszki te działają w jeszcze bardziej wyrafinowany sposób i łączą w sobie różne „techniki” oddziaływania na mieszankę betonową. Na przykład łącząc oddziaływanie steryczne i elektrostatyczne.



Rys. 6.16. Mechanizm działania domieszek chemicznych

Efekty stosowania domieszek upłynniających mieszankę betonową mogą być trojakiemu rodzaju (rys. 6.17):

- zwiększenie ciekłości mieszanki – poprawa urabialności,
- zwiększenie wytrzymałości betonu – zmniejszenie ilości wody zarobowej przy niezmienionej zawartości cementu,
- zmniejszenie ilości wydzielanego ciepła – zmniejszenie zużycia cementu na projektowaną klasę wytrzymałości betonu.



Rys. 6.17. Możliwości kształtowania właściwości betonu z domieszkami upłynniającymi (superpalstyfikatorami).

Niektóre rodzaje superplastyfikatorów charakteryzują się krótkotrwałym efektem działania w czasie (np. 30 – 60 min), po którym mieszanka betonowa wraca do pierwotnej konsystencji i urabialności. Rozwiązanie to sprawdza się w przypadku produkcji prefabrykatów betonowych, w przypadku betonu towarowego, aby wydłużyć efekt upłynnienia, można stosować dwuetapowe dozowanie domieszki: pierwsze – podczas produkcji mieszanki betonowej na węźle, a drugie – bezpośrednio przed zabudową mieszanki w deskowaniu na placu budowy.

Wśród domieszek upłynniających na szczególną uwagę zasługuje grupa domieszek najnowszej generacji, produkowanych na bazie eterów polikarboksylowych. Upłynnacze te pozwalają na znaczną redukcję ilości wody zarobowej (nawet do 40%) oraz charakteryzują się silnym i długotrwałym efektem upłynniającym.

Domieszki napowietrzające

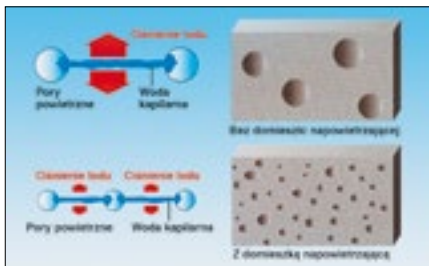
Domieszki napowietrzające tworzą i stabilizują w mieszance betonowej zamknięte pęcherzyki powietrza, które pozostają w stwardniałym betonie, jako równomiernie rozmieszczone mikropory. Pęcherzyki powstałe w wyniku wprowadzenia domieszki napowietrzającej charakteryzują się małą średnicą 20–300 μm , są rozłożone w odległościach 120–250 μm (rys. 6.18) i otoczone cienką warstwą zaczynu (rys. 6.18).

W betonie nienapowietrzonym pory powietrzne, utworzone podczas mieszania i nieusunięte w trakcie zagęszczania betonu oraz pory powstające po odparowaniu wody, pogarszają cechy użytkowe betonu.

Mikropory utworzone wskutek wprowadzenia domieszki napowietrzającej korzystnie zmieniają strukturę betonu, obniżając chłonność porów kapilarnych i zmniejszając przenikanie wody. W efekcie beton uzyskuje wyższą mrozoodporność i niższą nasiąkliwość. Na rys. 6.19 przedstawiono mechanizm działania domieszki napowietrzającej poprzez przerwanie systemu kapilar w betonie, skutkujące ograniczeniem ciśnienia wody i lodu (poprawa odporności betonu na działanie mrozu).



Rys. 6.18. Schemat napowietrzenia betonu i rozmieszczenie porów



Rys. 6.19. Ograniczenie ciśnienia lodu przez przerwanie systemu kapilar

Zgodnie z normą PN-EN 206:2014, betony eksploatowane w warunkach opisanych klasami ekspozycji XF2, XF3 i XF4, muszą być napowietrzane. Minimalna zawartość powietrza w betonie powinna wynosić 4%. Aby spełnić to wymaganie i zapewnić prawidłowe napowietrzenie betonu, należy zastosować domieszki napowietrzające. Ilość domieszki napowietrzającej, należy dobrać w taki sposób, aby uzyskać zakładany poziom napowietrzenia (zawartość porów) w betonie stwardniałym. Domieszki napowietrzające należy wprowadzać do betonu ściśle według zaleceń producenta.

Dozowanie domieszki napowietrzającej w zbyt dużych ilościach prowadzi do niekontrolowanego napowietrzenia betonu, a w konsekwencji do znacznego spadku wytrzymałości.

Domieszki opóźniające

Domieszki opóźniające wydłużają przebieg hydratacji cementu w początkowym okresie i spowalniają proces wydzielania ciepła w czasie hydratacji – przedłużają czas przejścia mieszanki betonowej ze stanu plastycznego w stan sztywny. Przy stosowaniu opóźniaczy wiązania wytrzymałość początkowa betonu może być niższa niż betonu bez domieszki, natomiast końcowa wytrzymałość jest zazwyczaj wyższa. Domieszki opóźniające dodaje się w czasie wykonywania mieszanki betonowej, najczęściej z wodą zarobową. W niektórych przypadkach konieczne może być dodawanie opóźniacza do już wymieszanej mieszanki betonowej, na przykład przy wydłużonym transporcie spowodowanym przez awarię lub

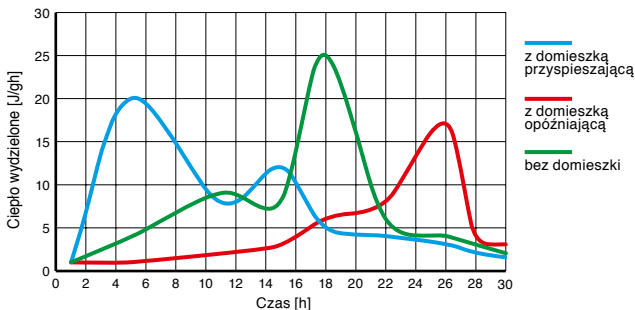
korrek uliczny (po wprowadzeniu dodatkowej ilości domieszki mieszanka betonowa musi być ponownie wymieszana).

Stosowanie domieszek opóźniających jest niezbędne, gdy zachodzi konieczność transportu betonu towarowego na większą odległość, w technologii betonów masywnych (betonowanie ciągłe warstwami) i w pracach prowadzonych w warunkach wysokich temperatur otoczenia.

Domieszki przyspieszające wiązanie

Domieszki przyspieszające zwiększają szybkość reakcji między cementem a wodą, skracając czas do przejścia mieszanki betonowej ze stanu plastycznego w sztywny. Są stosowane głównie w: szybkich naprawach (np. tamponaż), prefabrykacji betonowej, betonach natryskowych, okresie obniżonych temperatur jako środek ułatwiający betonowanie (stosowanie tego rodzaju domieszek skutkuje wyższym ciepłem hydratacji cementu w okresie początkowym – rys. 6.20).

Stosując domieszki przyspieszające wiązanie, należy mieć na uwadze pewne związane z tym niedogodności, tj.: szybki spadek konsystencji i pogorszenie urabialności mieszanki betonowej, obniżenie wytrzymałości końcowej betonu, pogorszenie warunków pasywacji stali zbrojeniowej w przypadku stosowania domieszek zawierających jony chlorkowe Cl^- .



Rys. 6.20. Kinetyka wydzielania ciepła hydratacji (beton bez domieszki oraz z domieszką opóźniającą i przyspieszającą)

Domieszki przyspieszające twardnienie

Celem stosowania domieszek przyspieszających twardnienie jest zwiększenie dynamiki przyrostu wytrzymałości betonu w czasie – działanie tych domieszek, podobnie jak domieszek przyspieszających wiązanie, polega na zwiększeniu szybkości reakcji zachodzących w zaczynie cementowym (rys. 6.20). Przyspieszony zostaje przyrost wytrzymałości początkowej betonu, zwykle przy braku negatywnego wpływu na wytrzymałość końcową. Znajdują zastosowanie w produkcji prefabrykatów i galanterii betonowej (ich użycie pozwala ograniczyć lub wyeliminować obróbkę cieplną formowanych elementów).

Domieszki stabilizujące

Domieszki stabilizujące zwiększają więźliwość wody i spójność mieszanki betonowej (ograniczają sedymentację składników mieszanki betonowej). Staje się ona bardziej jednorodna i wykazuje mniejszą skłonność do segregacji i samoistnego wycieku wody (bleedingu). Stosowane są w betonach zwykłych, lekkich, zwłaszcza w mieszankach o większej płynności (SCC), w fasadowych betonach architektonicznych.

Wśród innych domieszek chemicznych do betonów można wymienić:

- zwiększające wodoodporność (uszczelniające),
- zwiększające objętość betonu – pęczniące,
- zwiększające odporność na agresję chemiczną lub biologiczną,
- inhibitory korozji stali,
- zapobiegające wymywaniu zaczynu podczas betonowania pod wodą,
- usztywniające mieszankę betonową,
- zwiększające przyczepność betonu do stali, zaprawy, betonu i innych materiałów budowlanych.

Przy stosowaniu kilku rodzajów domieszek chemicznych należy zwrócić szczególną uwagę na ich kompatybilność (współpracę). Jeżeli stosowana jest więcej niż jedna domieszka, ich wzajemna zgodność musi być wcześniej sprawdzona i potwierdzona badaniami wstępnymi. Istotny jest także problem kompatybilności domieszek chemicznych z cementem i rodzajem dodatku typu II (rys. 6.21). Należy również to sprawdzić w badaniach wstępnych betonu wg załącznika A do normy PN-EN 206:2014 (projektowanie betonu).



Rys. 6.21. Czynniki decydujące o kompatybilności domieszek chemicznych

Według normy PN-EN 206:2014 dozowanie domieszek chemicznych dozwolone jest do 5% masy cementu (efekty i skutki większego dozowania muszą być sprawdzone z uwagi na zachowanie właściwości fizycznych i trwałość). Domieszki dozowane w ilości poniżej 0,2% masy cementu są dozwolone jeśli zostaną rozcieńczone z częścią wody zarobowej.

Domieszki chemiczne powinny być na ogół mieszane z wodą zarobową lub dodawane do mieszanki równolegle z wodą (nie należy wprowadzać domieszek wcześniej – nie stosować na suche składniki). Szczegółowe informacje w zakresie dozowania (zalecanych ilości i sposobu dozowania) są podane w kartach technicznych wyrobów.

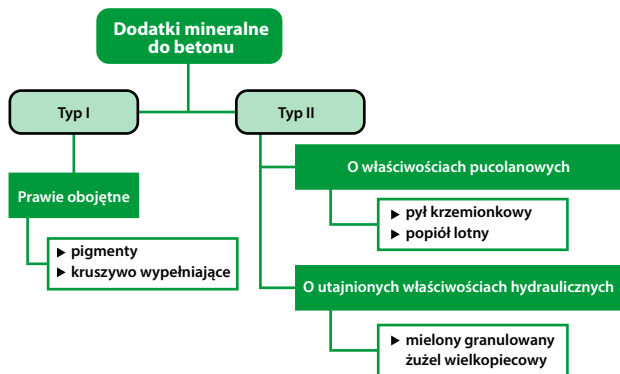
Jeśli całkowita ilość stosowanych domieszek przekracza 3 l/m^3 betonu, ilość wody zawartej w domieszkach musi być uwzględniona przy obliczaniu współczynnika woda/cement (w/c).

6.2.5. Dodatki w składzie betonu

Dodatek, zgodnie z definicją zawartą w normie PN-EN 206:2014, to drobnoziarnisty nieorganiczny składnik stosowany do betonu w celu poprawy pewnych właściwości lub uzyskania specjalnych właściwości (dodawany zazwyczaj w ilości powyżej 5% masy cementu). Dodatek może w znaczący sposób modyfikować właściwości, zarówno mieszanki betonowej, jak i stwardniałego betonu.

Wyróżnia się dwa rodzaje dodatków do betonu (rys. 6.22):

- dodatki prawie obojętne (typ I), najczęściej są to pigmenty stosowane do barwienia betonu lub kruszywo wypełniające, np. mączka wapienna,
- dodatki o właściwościach pucolanowych lub utajonych właściwościach hydraulicznych (typ II).



Rys. 6.22. Dodatki do betonu

Do znormalizowanych dodatków typu II do betonu należą:

- popiół lotny,
- pył krzemionkowy,
- mielony granulowany żużel wielkopieczowy.

Ilość dodatków stosowanych do betonu, należy określić na podstawie badań wstępnych (załącznik A do normy PN-EN 206:2014) z uwzględnieniem wpływu również na inne właściwości niż wytrzymałość. Dodatki typu II można uwzględnić w składzie betonu w ramach zawartości cementu ($\text{spoiwa} = \text{cement} + k \cdot \text{dodatek}$) oraz wartości współczynnika woda/cement ($\text{woda}/\text{spoiwo}$). Dodatki typu I i II, inne niż wymienione na rys. 6.22, można stosować w składzie betonu, jeżeli ich przydatność została określona w przepisach obowiązujących w miejscu stosowania.

Popiół lotny

Popiół lotny stosowany jako dodatek mineralny typu II do betonu musi spełniać wymagania zawarte w normie PN-EN 450-1:2012 „Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności”. Wymagania zawarte w normie szczególnie uwagę zwracają na zawartość straty prażenia (rys. 6.23) w popiołach oraz ich mialkość (pozostałość na sicie 45 μ m) – właściwości te mają duże znaczenie dla jakości betonu zawierającego popiół lotny.



Rys. 6.23. Pozostałość niespalonego węgla (straty prażenia) w popiele lotnym

W zależności od zawartości straty prażenia norma PN-EN 450-1:2012 wyróżnia trzy kategorie popiołu lotnego: A, B lub C (tab. 6.5), natomiast w zakresie mialkości 2 kategorie: N i S (tab. 6.6).

Tab. 6.5. Wymagania w zakresie składu chemicznego popiołu lotnego stosowanego jako dodatek do betonu

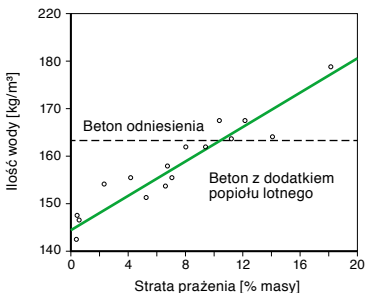
Składnik	Zawartość składnika	
	Popiół otrzymywany wyłącznie przez spalanie węgla	Popiół otrzymywany wyłącznie przez współspalanie
Straty prażenia: • kategoria A • kategoria B • kategoria C		≤5,0% ≤7,0% ≤9,0%
Chlorki		≤ 0,10%
SO ₃		≤ 3,0%
CaO wolny		≤ 1,5% ¹⁾
CaO reaktywny		≤ 10,0%
SiO ₂ reaktywny	Określenie zawartości nie jest konieczne Należy przyjąć, że wymaganie jest spełnione	≥ 25,0%
Sumaryczna zawartość tlenków: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃		≥ 70,0%
Zawartość MgO		≤ 4,0%
Całkowita zawartość alkaliów w przeliczeniu na Na ₂ O _{eq}		≤ 5,0%
Zawartość rozpuszczalnych związków fosforu w przeliczeniu na P ₂ O ₅		≤ 100 mg/kg
¹⁾ Popiół lotny, w którym zawartość wolnego CaO jest większa niż 1,5% masy może być akceptowany pod warunkiem zachowania stałości objętości – próba Le Chateliera ≤10 mm wg metodyki podanej w normie PN-EN 450-1:2012		

Tab. 6.6. Wymagania w zakresie właściwości fizycznych popiołu lotnego

Właściwość		Wymagania
Miałkość, pozostałość na sicie o oczkach 0,045 mm przy przesiewaniu na mokro wg EN 451-2 [%] ■ kategoria N ■ kategoria S		≤ 40 ≤ 12
Wskaźnik aktywności pucolanowej [%]:	po 28 dniach po 90 dniach	≥ 75 ≥ 85
Staość objętości (badanie jest konieczne, gdy zawartość CaO _{wolne} zawiera się pomiędzy 1,0 a 2,5%)		max. 10 mm
Gęstość objętościowa		maksymalna różnica ± 200 kg/m ³ w stosunku do wartości zadeklarowanej przez producenta
Początek czasu wiązania zaczynu zawierającego 25% popiołu i 75% cementu portlandzkiego CEM I		nie powinien być dwukrotnie dłuższy niż początek wiązania zaczynu wykonanego w 100% z cementu porównawczego
Wodożądność (dotyczy popiołu o miałkości w kategorii S)		≤ 95% wodożądności cementu porównawczego (CEM I)

Wpływ zawartości wybranych składników popiołu na właściwości betonu:

- niespalony węgiel (strata prażenia) zwiększa wodożądność popiołu (rys. 6.24), a w efekcie może obniżyć mrozodporność zapraw i betonu z jego udziałem. Stosowanie popiołów lotnych z wysoką zawartością niespalonego węgla zmniejsza efektywność działania domieszek chemicznych, szczególnie środków napowietrzających, plastyfikatorów i superplastyfikatorów. Od zawartości niespalonego węgla zależy także kolor popiołu lotnego: im jego zawartość jest wyższa, tym popiół ma ciemniejszy kolor. W przypadku stosowania popiołu lotnego z wysoką zawartością strat prażenia można zaobserwować także wypływanie ziaren niespalonego węgla na powierzchnię betonu. Niekorzystnie wpływa to na estetykę powierzchni betonu, a przy tym może utrudniać proces powierzchniowego utwardzania betonu z wykorzystaniem odpowiednich posypek, np. przy wykonywaniu posadzek betonowych z utwardzaniem powierzchni,

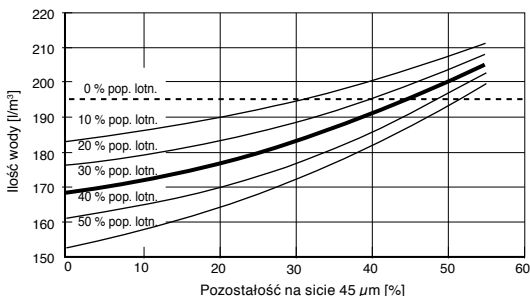


Rys. 6.24. Wpływ zawartości strat prażenia w popiele lotnym na wodożądność

- reaktywne SiO_2 (a także suma SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) decyduje o aktywności pucolanowej popiołu, która ma znaczący wpływ na wskaźnik aktywności,
- SO_3 ma wpływ na czas wiązania cementu,
- wolne (niezwiązane chemicznie) CaO i MgO mogą powodować pęcznienie i destrukcję stwardniałego betonu,
- jony chlorkowe (Cl^-) należy ograniczać ze względu na ochronę przed korozją stali zbrojeniowej,
- tlenki alkaliczne (w przeliczeniu na $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) podlegają ograniczeniu z uwagi na zagrożenie korozją alkaliczną. Jednak w popiele zawartość alkaliów zwykle nie przekracza 4%, a ponadto większość alkaliów jest trwale związana w fazie szklistej popiołu, zatem nie ulega rozpuszczaniu. Z tego powodu, stosowanie popiołu lotnego jest korzystne z uwagi na ograniczenie negatywnych skutków reakcji ASR (alkalia – krzemionka),
- rozpuszczalne związki fosforu (w przeliczeniu na P_2O_5) mogą wydłużyć czasy wiązania kompozytów cementowo-popiołowych.

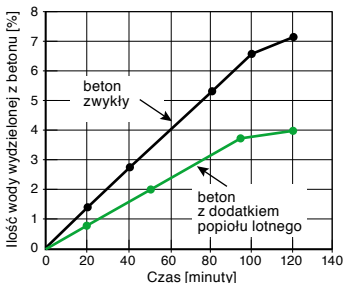
Wpływ miałkości (uziarnienia) na jakość popiołów lotnych znalazł odzwierciedlenie w podziale popiołów na kategorię N i S (tab. 6.6), przy czym jako ważną właściwość wyeksponowano zmniejszenie wodożądności przez popiół kategorii S. Popioły drobne (o bardzo niskiej pozostałości na sicie $45\ \mu\text{m}$) charakteryzują się mniejszą zawartością faz krystalicznych i większą zawartością fazy szklistej. Dodatek takiej jakości popiołu może zmniejszać ilość wody zarobowej w mieszance betonowej (rys. 6.25), a co

za tym idzie możliwe jest uzyskanie zakładanej konsystencji przy niższym w/c (wyższa wytrzymałość na ściskanie).

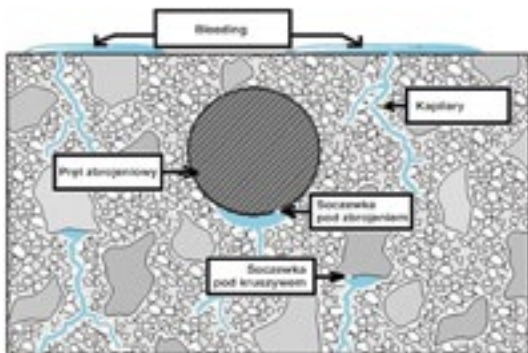


Rys. 6.25. Wpływ miąłkości popiołu lotnego na ilość wody zarobowej w betonie

Popioły lotne charakteryzują się kulistym kształtem ziaren, z tego powodu ich stosowanie wydatnie poprawia urabialność mieszanki betonowej, co jest bardzo istotne, zwłaszcza w przypadku betonów pompowalnych (łatwiejsze podawanie betonu, dłuższa żywotność pomp i innych urządzeń transportujących). Mieszanka betonowa zawierająca popioły lotne jest bardziej spoiwa i wykazuje mniejszą tendencję do samoistnego wydzielania mleczka cementowego (bleedeingu) (rys. 6.26, 6.27). Zjawisko wydzielania wody (bleedeingu) jest efektem segregacji składników mieszanki betonowej spowodowanej przez różnicę w gęstości pomiędzy wodą, a resztą składników betonu. Polega na wypływananiu wody na powierzchnię betonu przez system kanalików (porów) kapilarnych (rys. 6.27). Popioły lotne w mieszance betonowej stanowią nie tylko zamiennik części cementu (spoiwo), ale także pewnego rodzaju „mikrokruszywo”, które pozwala na uzyskanie szczelniejszego stosu kruszywowego, co dodatkowo zapobiega zjawisku odsączenia wody.



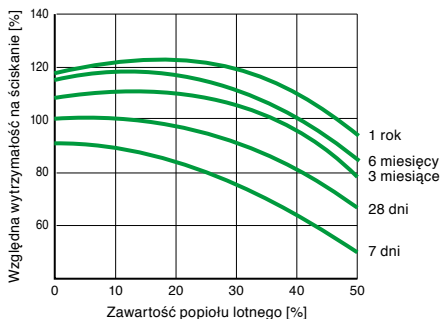
Rys. 6.26. Wpływ stosowania popiołu lotnego na ilość wody samoistnie wydzielanej z betonu



Rys. 6.27. Zjawisko samoistnego wydzielania wody na powierzchnię betonu (bleeding)

Zastąpienie części cementu popiołem lotnym może powodować obniżenie wytrzymałości betonu na ściskanie, szczególnie w początkowym okresie twardnienia. W późniejszych terminach dojrzewania (28 dni i dłużej) beton z dodatkiem popiołu lotnego osiąga wytrzymałości zbliżone lub nawet wyższe niż beton bez dodatku popiołu lotnego (rys. 6.28).

Wprowadzenie popiołu lotnego do składu betonu, przy równoczesnym zmniejszeniu zawartości cementu, skutkuje ograniczeniem skurczu betonu. Beton z dodatkiem popiołu lotnego charakteryzuje się także podwyższoną odpornością na korozyjne działanie środowisk agresywnych chemicznie.



Rys. 6.28. Wpływ dodatku popiołu na wytrzymałość betonu

Beton, w którym znaczną część cementu zastąpiono popiołem lotnym, może wykazywać mniejszą odporność na działanie mrozu. Podstawową przyczyną zmniejszenia mrozoodporności jest powolny przebieg reakcji pucolanowej i wolniejsze tempo narastania wytrzymałości betonu. Właściwa pielęgnacja betonów cementowo-popiołowych dojrzewających przez dłuższy okres może ograniczyć niekorzystny wpływ na mrozoodporność. Betony z dodatkiem popiołu lotnego po upływie 60 – 90 dni twardnienia wykazują dobrą mrozoodporność. Przeważa pogląd, że betony o podobnej wytrzymałości, niezależnie od tego, czy są wykonane z cementów portlandzkich lub cementów portlandzkich i popiołu lotnego, charakteryzują się zbliżoną odpornością na działanie mrozu. Najlepszą metodą poprawy odporności betonu na mróz, w przypadku dodatku popiołów lotnych, jest zmiana jego mikrostruktury przez wprowadzenie do składu betonu domieszek napowietrzających oraz dodatkowo domieszek uplastyczniających, które pozwalają na zmniejszenie zawartości wody w betonie i uzyskanie niższego współczynnika w/c.

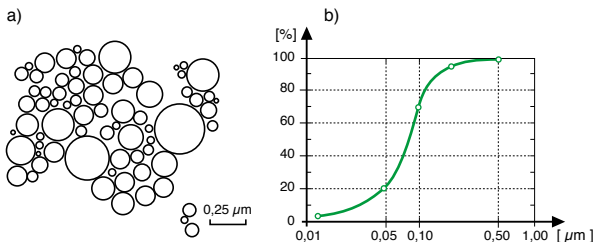
Pył krzemionkowy

Pył krzemionkowy jest surowcem wtórnym powstającym w procesie wytwarzania krzemu metalicznego, żelazokrzemu i innych stopów krzemu w elektrycznych piecach łukowych. Ziarna pyłu krzemionkowego tworzą się w wyniku utleniania i kondensacji gazowego podtlenku krzemu SiO , którego część ulatnia się z pieca łukowego w postaci gazów odlotowych.

Pyły krzemionkowe są w większości materiałami amorficznymi, charakteryzują się wysoką zawartością krzemionki SiO_2 (> 85%) i mają postać drobnych, sferycznych ziaren. Powierzchnia właściwa pyłów krzemionkowych jest znacznie większa od powierzchni właściwej cementów, mierzona metodą adsorpcji azotu (BET), zawiera się w granicach 13 000–20 000 m^2/g . Średnia gęstość pyłów krzemionkowych wynosi 2,20 kg/m^3 . Typowy rozkład wielkości cząstek wskazuje na przewagę ziaren o średnicy mniejszej od 1 μm , przy czym przeciętna średnica wynosi 0,2 μm (rys. 6.29).

Spośród dodatków do betonu o właściwościach pucolanowych, pyły krzemionkowe odznaczają się najwyższą aktywnością. Amorficzna krzemionka, o bardzo dużej mialkości, bardzo szybko reaguje z wodorotlenkiem wapnia tworząc fazę C–S–H.

Wprowadzenie pyłu krzemionkowego do składu mieszanki betonowej zmienia jej właściwości reologiczne, decydujące o urabialności, a więc przekładające się na sposób podawania (np. pompowania), układania i zagęszczania mieszanki betonowej. Bardzo drobne ziarna tego dodatku wpływają na zwiększenie spoistości i zmniejszenie plastyczności mieszanki betonowej, co skutkuje podwyższeniem wodożądności. Z tego względu, do mieszanki betonowej zawierającej dodatek pyłu krzemionkowego, niezbędne jest stosowanie odpowiedniej jakości superplastyfikatorów. Efektem jest uzyskanie żądanej konsystencji w zakładanym okresie czasu (pompowany może być beton tylko o konsystencji płynnej). Mieszanka betonowa z dodatkiem pyłu krzemionkowego, zwłaszcza z jego większą zawartością, ma także dużą skłonność do przylegania (przyklejania się) do ścianek urządzeń transportowych (ścian betonomieszarek, rurociągów pomp, pojemników – koszy, deskowań). Trudniejsze jest odpowietrzenie wbudowywanej mieszanki betonowej. W przypadku napowietrzania mieszanki betonowej z dodatkiem pyłu krzemionkowego należy liczyć się ze stosowaniem większej ilości domieszki napowietrzającej dla osiągnięcia zamierzonego poziomu napowietrzenia.



Rys. 6.29. Pył krzemionkowy: a) kształt i wielkość ziaren, b) rozkład uziarnienia pyłów krzemionkowych

Dodatek pyłu krzemionkowego zapobiega segregacji składników mieszanki betonowej (bleeding praktycznie nie występuje) i możliwe jest podawanie mieszanki betonowej z większych wysokości. Beton napowietrzony z dodatkiem pyłu krzemionkowego jest bardziej stabilny, zachowuje właściwy rozkład wprowadzonych pęcherzyków powietrza.

Pył krzemionkowy bardzo korzystnie wpływa na właściwości mechaniczne betonu. Jego stosowanie w składzie betonu przyczynia się do wzrostu wytrzymałości na ściskanie, któremu towarzyszy także wzrost modułu Younga.

Na szczególną uwagę zasługuje pozytywny wpływ dodatku pyłu krzemionkowego na trwałość betonu. Beton z dodatkiem pyłu krzemionkowego charakteryzuje się bardzo szczelną matrycą (niska porowatość), mniejszą nasiąkliwością i przepuszczalnością, w efekcie wyższą odpornością na oddziaływanie czynników agresywnych chemicznie.

Pył krzemionkowy stosowany do betonu musi spełniać wymagania zawarte w normie PN-EN 13263-1+A1:2010 „Pył krzemionkowy do betonu. Część 1: Definicje, wymagania i kryteria zgodności” (patrz tab. 6.7)

Tab. 6.7. Wymagania jakościowe dla pyłu krzemionkowego

Właściwość	Wymagania	
Powierzchnia właściwa [m ² /g]	od 15 do 35	
Strata prażenia [%]	≤ 4,0	
SiO ₂ [%]	kat. 1 ≥ 85,0	kat. 2 ≥ 80,0
Cl ⁻ [%]	≤ 0,30	
SO ₃ [%]	≤ 2,0	
CaO _{wolny} [%]	≤ 1,0	
Si _{wolny} [%]	≤ 0,4	
Wskaźnik aktywności po 28 dniach [%] (90% cementu CEM i 42,5 i 10% pyłu)	≥ 100	

Mielony granulowany żużel wielkopiecowy

Mielony granulowany żużel wielkopiecowy jest otrzymywany w wyniku zmielenia granulowanego żużla wielkopiecowego, uzyskiwanego jako produkt uboczny przy wytapianiu surówki żelaza w wielkim piecu hutniczym.

Granulowany żużel wielkopiecowy jest wysokiej jakości dodatkiem typu II o właściwościach pucolanowo – hydraulicznych. Odpowiednio aktywowany i rozdrobniony, wiąże i twardnieje w wodzie analogicznie jak cement portlandzki.

W wyniku reakcji żużla z wodą powstają podobne fazy, jak w przypadku hydratacji cementu portlandzkiego, a największy udział ma faza C–S–H. Opisane analogie właściwości wiążących są związane ze zbliżonym chemicznym składem jakościowym (tab. 6.8) oraz podobnym procesem wytwarzania żużla i klinkieru portlandzkiego na drodze obróbki termicznej surowców (żużel uzyskiwany w wielkim piecu hutniczym, klinkier w piecu obrotowym).

Tab. 6.8. Skład chemiczny klinkieru portlandzkiego i granulowanego żuźla wielkopieczowego

Składnik	Zawartość składnika, % wag.	
	Klinkier	Żużel
SiO ₂	21,6	41,3
Fe ₂ O ₃	2,70	1,0
Al ₂ O ₃	5,70	8,20
CaO	66,9	42,5
MgO	1,30	5,70

Szczegółowe wymagania dotyczące składu chemicznego (tab. 6.9) i właściwości fizycznych (tab. 6.10), dla zmielonego granulowanego żuźla wielkopieczowego, zawarte są w normie PN-EN 15167-1:2007 „Mielony granulowany żużel wielkopieczowy do stosowania w betonie, zaprawie i zaczynie. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności”.

Tab. 6.9. Wymagania odnośnie składu chemicznego dla żuźla wielkopieczowego

Składnik	Wymagania [% masy]	Metoda badawcza
MgO	≤ 18,0	EN 196-2:2013
Siarczany	≤ 2,5	
Siarczki	≤ 2,0	
Straty prażenia, z poprawką na utlenianie siarczków	≤ 3,0	
Chlorki ¹⁾	≤ 0,10	
Zawartość wilgoci	≤ 1,0	Wg załącznika B normy PN-EN15167-1
¹⁾ Mielony żużel wielkopieczowy może zawierać więcej niż 0,10% chlorków – w takim przypadku informację o faktycznej zawartości chlorków należy podać na opakowaniu lub dokumentach dostawy.		

W produkcji mielonego żuźla wielkopieczowego nie należy stosować żadnych dodatkowych materiałów, z wyjątkiem środków wspomagających mielenie. Całkowita zawartość tych środków nie powinna przekraczać 1,0% masy żuźla, a zawartość środków organicznych w ich składzie nie powinna przekraczać 0,2% masy żuźla. Środki wspomagające mielenie nie powinny powodować korozji zbrojenia lub pogarszać właściwości mielonego żuźla wielkopieczowego i betonu.

Tab. 6.10. Wymagania odnośnie właściwości fizycznych dla żużla wielkopieczowego

Właściwość	Wymagania	Metoda badawcza
Powierzchnia właściwa	$\geq 2750 \text{ cm}^2/\text{g}$	EN 196-6:2011
Początek czasu wiązania ¹⁾	nie powinien być dwukrotnie dłuższy niż początek czasu wiązania zaczynu wykonanego w 100% z masy cementu porównawczego	EN 196-3:2011
Wskaźnik aktywności po 7 dniach ²⁾	$\geq 45\%$	EN 196-1:2006
Wskaźnik aktywności po 28 dniach ²⁾	$\geq 70\%$	

¹⁾ Początek wiązania należy określać dla kombinacji 50% (masowo) mielonego żużla wielkopieczowego i 50% (masowo) cementu

²⁾ Wskaźnik aktywności należy określać jako stosunek wytrzymałości na ściskanie kombinacji 50% (masowo) mielonego żużla wielkopieczowego i 50% (masowo) cementu, do wytrzymałości na ściskanie cementu użytego do badań
Do oznaczenia początku czasu wiązania i wskaźnika aktywności należy stosować cement portlandzki CEM I klasy 42,5 lub wyższej spełniający dodatkowo następujące wymagania: powierzchnia właściwa $\geq 300 \text{ m}^2/\text{g}$, zawartość glinianu trójwapiennego C_3A od 6% do 12%, zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ od 5,0% do 1,2%.

Istotnym parametrem jakościowej oceny mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego jest wskaźnik aktywności, który określany jest jako stosunek procentowy wytrzymałości na ściskanie zaprawy normowej wykonanej z użyciem mieszaniny składającej się z 50% masy mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego i 50% masy cementu porównawczego, do wytrzymałości na ściskanie zaprawy normowej wykonanej z cementu porównawczego (cement portlandzki CEM I 42,5 lub CEM I 52,5). Wytrzymałość na ściskanie należy oznaczać przy współczynniku woda/spoiwo i woda/cement równym 0,50. Przykładowy wskaźnik aktywności dla krajowych żużli pokazano w tab. 6.11.

Tab. 6.11. Aktywność mielonych granulowanych żużli wielkopieczowych

Właściwość	Producent 1	Producent 2		Wymagania normy
		Pr. 1	Pr. 2	
Pow. właściwa [m^2/kg]	377	300	383	$\geq 275,0$
Wskaźnik aktywności [%]				
– po 7 dniach	57,3	52,7	59,0	≥ 45
– po 28 dniach	84,7	79,2	84,0	≥ 70

Zasady stosowania dodatków typu II w składzie betonu według normy PN-EN 206:2014 zostały szczegółowo opisane w rozdziale 4 (patrz. pkt 4.3.7)

6.2.6. Zbrojenie rozproszone – włókna

Zbrojenie rozproszone w postaci włókien stosowane jest w celu zapewnienia odporności na zarysowanie i pękanie. Zbrojenie rozproszone może w pewnych przypadkach zastąpić także tradycyjne zbrojenie, eliminując uciążliwe ręczne układanie zbrojenia lub zmniejszając zagęszczenie wkładek zbrojeniowych.

Modyfikacja właściwości betonu zbrojnego włóknami jest w głównej mierze uzależniona od materiału, z jakiego wykonane są włókna (rys. 6.30). Rozróżnia się dwa główne rodzaje włókien do betonu:

- włókna stalowe, wg normy PN-EN 14889-1:2007 „Włókna do betonu – Część 1: Włókna stalowe – Definicje, wymagania i zgodność” stanowią proste lub ukształtowane fragmenty drutu stalowego ciągniętego na zimno, proste lub ukształtowane włókna cięte z arkusza, włókna uzyskiwane ze stopu, włókna skrawane z drutu ciągniętego na zimno oraz włókna skrawane z bloków stalowych, odpowiednie do jednorodnego rozmieszczenia w mieszance betonowej lub zaprawie,
- włókna polimerowe, wg normy PN-EN 14889-2:2007 „Włókna do betonu – Część 2: Włókna polimerowe – Definicje, wymagania i zgodność” włókna polipropylenowe, są to proste lub ukształtowane fragmenty wytłaczanego kierunkowo i ciętego materiału polimerowego (polipropylen lub polietylen, poliester, nylon, PVA, poliakryl, aramid i ich mieszaniny), odpowiednie do jednorodnego rozmieszczenia w mieszance betonowej lub zaprawie.



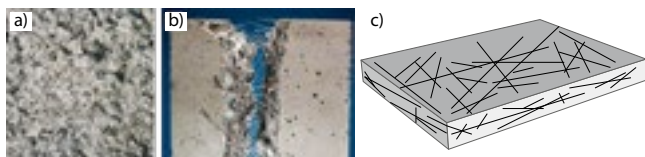
Rys. 6.30. Włókna do betonu

Do betonu, oprócz włókien znormalizowanych, coraz częściej zastosowanie znajdują także włókna z tworzyw sztucznych, węglowe, szklane, a nawet włókna pochodzenia organicznego (rys. 6.31).



Rys. 6.31. Klasyfikacja włókien stosowanych do betonu

Stosując zbrojenie rozproszone, zgodnie z normą PN-EN 206:2014, należy zapewnić równomierne rozprowadzenie włókien w całej objętości mieszanki betonowej (rys. 6.32a) a przy zachować jej jednorodność, tak by rozmieszczenie włókien zostało zachowane w betonie stwardniałym (rys. 6.32b, c). Należy mieć na uwadze, że dodatek włókien może niekorzystnie wpłynąć na konsystencję mieszanki betonowej. Największy wpływ na właściwości mieszanki betonowej, ale także stwardniałego betonu mają: rodzaj, długość, średnica, kształt, rozkład oraz procentowa zawartość włókien, która w klasycznych rozwiązaniach waha się w granicach od 0,5-3% (objętościowo).



Rys. 6.32. Fibrobeton a) mieszanka betonowa b) beton stwardniały (po rozłupaniu) c) schemat prawidłowego rozmieszczenia włókien

Do betonu, zgodnie z normą PN-EN 206:2014, nie należy stosować włókien z powłoką cynkową (chyba, że wykazano, że wytwarzanie się wodoru w betonie jest niemożliwe).

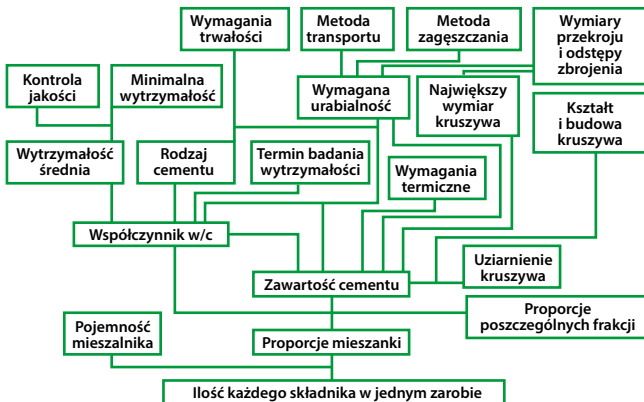
6.3. Podstawowe wytyczne projektowania składu betonu

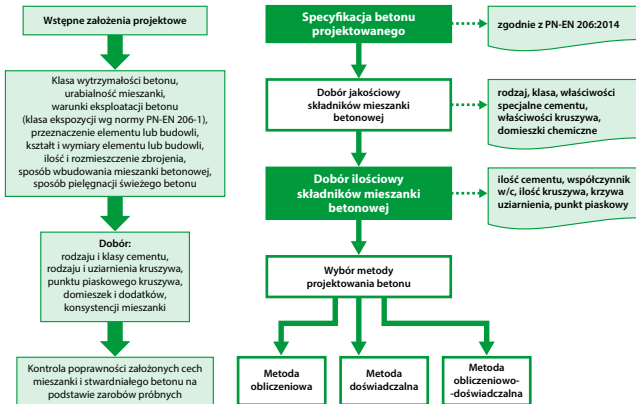
Zasady postępowania przy projektowaniu betonu zawarte są w załączniku A (normatywny) do normy PN-EN 206:2014.

6.3.1. Wstępne założenia projektowe

Produkcja betonu jest nierozzerwalnie związana z jego projektowaniem, czyli ustaleniem ilości poszczególnych składników w jednostce objętości (najczęściej w przeliczeniu na 1m^3 lub jeden zarób). Procedura projektowania (rys. 6.33) musi uwzględniać także warunki i czas transportu, metody zabudowy, warunki dojrzewania i pielęgnacji, a przede wszystkim warunki środowiskowe pracy betonu (klasy ekspozycji wg PN-EN 206:2014). Wstępne założenia do projektowania składu betonu obejmują zatem dobór składników mieszanki betonowej pod względem ilościowym, ale też jakościowym (zapewnienie osiągnięcia żądanych właściwości i odpowiedniej trwałości).

Podstawowe czynniki w procedurze projektowania mieszanki betonowej





Rys. 6.33. Algorytm postępowania przy projektowaniu betonu

Beton projektowany należy poddać weryfikacji doświadczalnej (załącznik A do normy PN-EN 206:2014).

6.3.2. Metody projektowania składu betonów zwykłych

Metod projektowania składu betonu jest wiele, jednak założenia i podstawy tych metod są zbliżone. W kraju do najczęściej stosowanych w praktyce i najpopularniejszych metod projektowania składu betonu należą:

- klasyczna metoda 3 równań (stanowiąca podstawę pozostałych metod),
 - metoda otulania ziaren kruszywa grubego zaprawą (metoda Paszkowskiego),
 - metoda zaczynożadności (metoda Kopycińskiego),
 - metoda kolejnych przybliżeń (metoda Kuczyńskiego),
 - metoda znanego zaczynu (uproszczona postać metody Kuczyńskiego)
 - metoda przepelniania jam kruszywa (metoda Eymana).
- } metody
4 równań

W praktyce wśród rozlicznych metod projektowania składu betonu umownie rozróżnia się następujące grupy:

- metody doświadczalne,
- metody obliczeniowe,
- metody obliczeniowo-doświadczalne.

We wszystkich wspomnianych metodach, opierając się na podstawowych równaniach: wytrzymałości, szczelności i wodozadržności, dąży się do uzyskania pożądanych właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu przy optymalnym zużyciu cementu i kruszywa. Zapisy normy PN-EN 206:2014 w sposób bardzo wyraźny wskazują, iż w procesie projektowania składu mieszanki betonowej wyróżnić należy 4 podstawowe etapy:

- etap I – zdefiniowanie przeznaczenia projektowanego betonu (rodzaj konstrukcji, klasa ekspozycji, itp.),
- etap II – jakościowe projektowanie składu – dobór składników mieszanki betonowej,
- etap III – projektowanie ilościowe – określenie ilości poszczególnych składników,
- etap IV – doświadczalne (laboratoryjne) sprawdzenie (badania wstępne) poprawności doboru składu betonu oraz ewentualna korekta receptury mieszanki betonowej.

6.3.2.1. Ustalenie składu betonu metodą trzech równań

Zazwyczaj ustalenie składu betonu polega na wyznaczeniu zawartości jego składników w 1 m^3 mieszanki betonowej, tj.:

- c – cementu [kg],
- w – wody [kg],
- k – kruszywa [kg],

których użycie powinno spełniać trzy warunki:

1. warunek wytrzymałości (zależność Bolomey'a):

$$R = A1 (c/w - 0,5), \text{ w przypadku } c/w < 2,5,$$

$$R = A2 (c/w + 0,5), \text{ w przypadku } c/w \geq 2,5,$$

gdzie:

- R – średnia wytrzymałość na ściskanie betonu [MPa],
- A – współczynnik zależny od rodzaju kruszywa i klasy wytrzymałości cementu (tab. 6.12),

- c – ilość cementu [kg],
w – ilość wody [kg],
c/w – współczynnik cementowo-wodny – stosunek ilości cementu do ilości wody w mieszance, powszechniej stosowana jest jego odwrotność w/c – współczynnik wodno-cementowy, który w ujęciu normy PN-EN 206:2014 zastąpiony zostaje współczynnikiem wodno-spoiwowym zdefiniowanym jako $w / (c + k \times \text{dodatek})$,

z tym że:

- w przypadku stosowania **popiołu lotnego** wartość „k” przyjmuje wartość:
 - $k = 0,4$ – pod warunkiem, że maksymalna masa popiołu lotnego w stosunku do masy cementu nie przekroczy 33% przy stosowaniu cementu portlandzkiego CEM I oraz 25% jeżeli stosowany jest cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/A. W przypadku zastosowania większej ilości popiołu lotnego, jego nadmiaru nie należy uwzględniać przy obliczaniu współczynnika wodno-spoiwowego oraz minimalnej zawartości cementu,
- w przypadku stosowania **pyłu krzemionkowego** „k” przyjmuje wartość:
 - $k = 2,0$ – gdy $w/c \leq 0,45$,
 - $k = 2,0$ – gdy $w/c > 0,45$ z wyjątkiem klas ekspozycji XC i XF, dla których $k=1,0$ – pod warunkiem, że maksymalna masa pyłu krzemionkowego w stosunku do masy cementu nie przekroczy 11%. W przypadku użycia większej ilości pyłu krzemionkowego klasy 1, jego nadmiaru nie należy uwzględniać przy obliczaniu współczynnika wodno-spoiwowego oraz minimalnej zawartości cementu, a przy tym ilość cementu nie powinna być zmniejszona o więcej niż 30 kg/m^3 .
- w przypadku stosowania **mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego** zalecana wielkość współczynnika „k”: $k = 0,6$ – przy stosowaniu cementu portlandzkiego CEM I oraz cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/A. Maksymalna ilość mielonego granulowanego żużla wielkopieczowego powinna spełniać warunek: żużel/cement $\leq 1,0$ masowo. W przypadku zastosowania większych ilości żużla, nadmiaru nie należy uwzględniać przy obliczaniu współczynnika wodno-spoiwowego oraz minimalnej zawartości cementu.

Tab. 6.12. Wartości współczynników A1, A2

Kruszywo grube	Współczynnik A	Klasa cementu		
		32,5	42,5	52,5
naturalne (otoczkowe)	A1	18	21	23
	A2	12	14,5	15
łamane (grysy)	A1	20	24	26
	A2	13,5	15,5	17,5

2. warunek konsystencji:

$$w = c \times w_c + d \times w_d + k \times w_k$$

gdzie:

c – ilość cementu [kg],

d – ilość dodatku [kg],

w – ilość wody [kg]

k – ilość kruszywa [kg],

w_c – wodożądność cementu [dm^3/kg],

w_d – wodożądność dodatku [dm^3/kg],

w_k – wodożądność kruszywa [dm^3/kg], ustalona metodami np.:

– punktu piaskowego,

– kolejnych przybliżeń, wskaźników wodożądności poszczególnych frakcji.

Przy obecnym stanie wiedzy w zakresie technologii betonu warunek konsystencji obliczony z wodożądności poszczególnych składników może zostać pominięty w procesie projektowania betonu. Zakładaną klasę konsystencji mieszanki betonowej uzyskuje się poprzez stosowanie domieszek chemicznych modyfikujących właściwości reologiczne (ilość wody w mieszance betonowej), czyli plastyfikatorów i superplastyfikatorów.

3. warunek szczelności:

$$c/\rho_c + d/\rho_d + k/\rho_k + w = 1000$$

gdzie:

c – ilość cementu [kg],

d – ilość dodatku [kg],

w – ilość wody [kg],

k – ilość kruszywa [kg],

ρ_c – gęstość cementu [kg/dm³],

ρ_d – gęstość dodatku [kg/dm³],

ρ_k – gęstość kruszywa [kg/dm³] (tab. 6.13).

Tab. 6.13. Gęstość wybranych kruszyw do betonów

Rodzaj kruszywa		Średnia gęstość [kg/dm ³]
Kruszywo naturalne	Piaski	2,65
	Żwiry	
Kruszywo łamane	Granity	2,69
	Sjenity	2,83
	Bazalty	3,00
	Melańry	2,72
	wapienie zbite	2,70
	Dolomity	2,84

6.3.2.2. Metoda otulania ziaren kruszywa grubego zaprawą – metoda Paszkowskiego

Metoda oparta jest na założeniu, że wykonanie betonu uwarunkowane jest zapewnieniem otulenia ziaren kruszywa grubego warstwą zaprawy. Grubość otulenia uzależniona od założonej klasy konsystencji mieszanki betonowej – im bardziej ciekła konsystencja mieszanki tym grubsza warstwa otulająca. Charakterystycznym równaniem metody jest wzór na określenie zawartości kruszywa grubego w 1m³ mieszanki betonowej:

$$K_g = \frac{\rho_g}{1 + F_g \frac{r_g}{2}} 1000$$

gdzie:

K_g – ilość kruszywa grubego [kg/m^3],

j_g – jamistość kruszywa grubego [-],

ρ_g – gęstość kruszywa grubego [kg/m^3],

F_g – powierzchnia zewnętrzna kruszywa grubego [cm^2/g],

$r_g/2$ – promień otulenia ziarn kruszywa grubego zaprawą [dm].

6.3.2.3. Metoda zaczynożadności – metoda Kopycińskiego,

Metoda zwana również metodą jednostopniowego przepelnienia jam kruszywa grubego zaprawą. Metoda zbliżona do metody Eyemana (patrz. 6.3.2.6). Metoda zakłada, że objętość zaprawy powinna być większa niż objętość jam między ziarnami kruszywa grubego:

$$\mu_g = \frac{\text{objętość zaprawy}}{\text{objętość jam}} > 1,0$$

gdzie:

μ_g – stopień przepelnienia jam kruszywa grubego zaprawą [-].

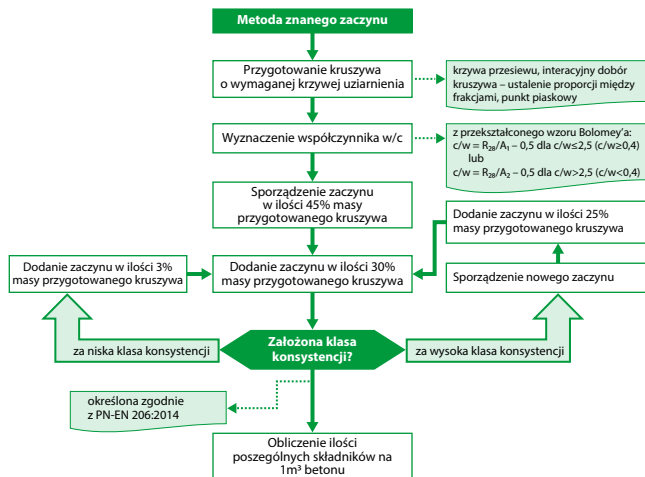
6.3.2.4. Metoda kolejnych przybliżeń (metoda Kuczyńskiego),

Metoda polega na doborze kruszywa o odpowiednim uziarnieniu poprzez mieszanie poszczególnych frakcji i ustalenie proporcji między nimi. W dalszym etapie należy dobierać odpowiednie ilości wody i cementu. Ilość tych składników dobierane są w drodze kolejnych przybliżeń, tak aby zapewnić zakładaną konsystencję mieszanki betonowej.

6.3.2.5. Metoda znanego zaczynu (uproszczona postać metody Kuczyńskiego)

Jest to najpowszechniej stosowana w praktyce metoda projektowania składu mieszanki betonowej. Polega na oddzielnym, iteracyjnym określeniu optymalnego składu kruszywa komponowanego z poszczególnych frakcji lub ich grup oraz, także iteracyjnym, określeniu niezbędnej zawartości zaczynu cementowego o znanym współczynniku w/c. W pierwszej kolejności ustala się zawartość poszczególnych frakcji w stosie okruchowym kruszywa (obszary dobrego uziarnienia – rys. 6.6). W drugim etapie projektuje się zaczyn o znanym współczynniku w/c (maksymalna wartość współczynnika w/c dla poszczególnych klas ekspozycji zawarta jest

w załączniku F do normy PN-EN 206:2014). Algorytm postępowania przy projektowaniu betonu metodą znanego zaczynu przedstawia rys. 6.34.



Rys. 6.34. Algorytm projektowania betonu metoda znanego zaczynu

6.3.2.6. Metoda przepelniania jam kruszywa (metoda Eymana).

Metoda zbliżona do metody otulenia (Paszkowski). Opiera się na założeniu, że do wykonania mieszanki betonowej konieczne jest przepelnienie jam między ziarnami kruszywa grubego zaprawą. Stopień przepelnienia jam μ_g , zależy od założonej klasy konsystencji mieszanki betonowej (im bardziej ciekła mieszanka, tym większy stopień przepelnienia). Charakterystycznym równaniem metody przepelnienia jest wzór, pozwalający na określenie zawartości kruszywa grubego w $1m^3$ mieszanki betonowej:

$$K_g = \frac{1000 \rho_g}{1 + \mu_g \frac{j_g}{1 - j_g}}$$

gdzie:

K_g – ilość kruszywa grubego [kg/m³],

ρ_g – gęstość kruszywa grubego [kg/m³],

j_g – jamistość kruszywa grubego [-],

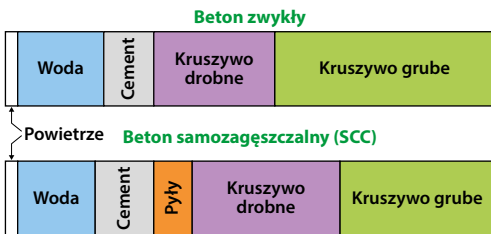
μ_g – stopień przepełnienia jam kruszywa grubego zaprawą [-].

6.3.3. Projektowanie składu betonów samozagęszczalnych SCC

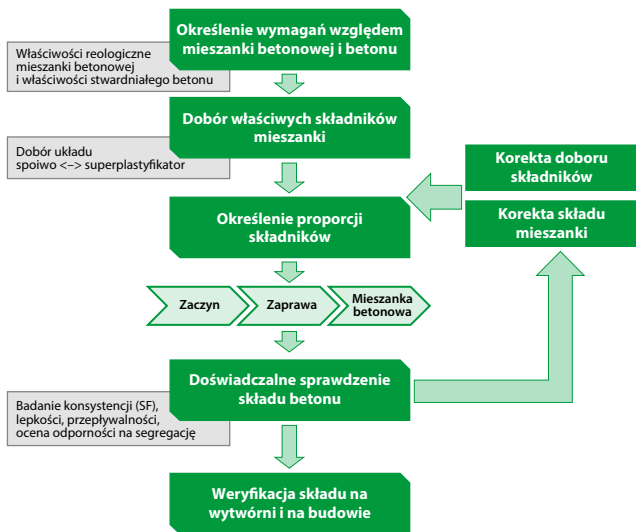
Nie ma standardowej metody projektowania betonów samozagęszczalnych. Jednak głównym celem każdego projektanta jest osiągnięcie założonych właściwości reologicznych. W każdym przypadku projektowanie należy rozpocząć od prób laboratoryjnych, które zweryfikują początkowy skład mieszanki (różniący się od składu betonu zwykłego, zarówno pod względem jakościowym, jak i ilościowym – patrz. rys. 6.35), z uwzględnieniem właściwości i klasy wytrzymałości projektowanego betonu. Algorytm postępowania przy projektowaniu SCC przedstawiono na rys. 6.36. Mieszanka betonowa powinna być wykonana i sprawdzona w warunkach wytwarzania (na wytwórni).

Mieszanka betonowa może być projektowana w oparciu o ogólne zasady:

- dobór odpowiedniego składu spoiwa (cement + dodatki mineralne zwiększające zawartość frakcji pylistych),
- wyznaczenie ilości potrzebnej wody oraz optymalizacja płynności i stabilności mieszanki,
- określenie proporcji pomiędzy piaskiem a ilością dozowanej domieszki, zapewniającej wymaganą trwałość,
- określenie wrażliwości mieszanki przy małych wahaniami ilościowych składników (trwałość),
- wyznaczenie ilości dodawanego kruszywa grubego,
- wykonanie mieszanki SCC w laboratorium i sprawdzenie podstawowych właściwości mieszanki,
- zbadanie właściwości stwardniałego betonu,
- wykonanie prób na wytwórni betonu.



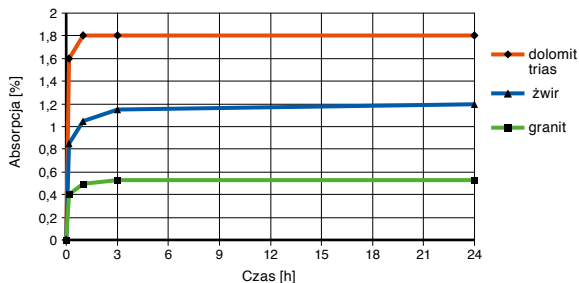
Rys. 6. 35. Proporcje składników (objętościowo) w betonie zwykłym i samozagęszczalnym



Rys. 6.36. Postępowanie przy projektowaniu mieszanki betonowej SCC

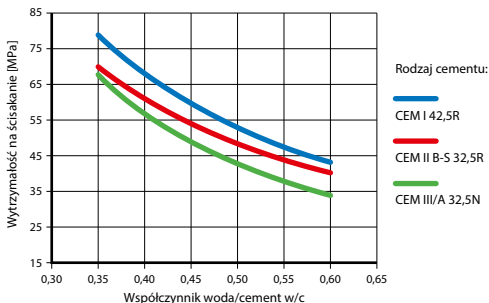
6.3.4. Współczynnik w/c a właściwości betonu

Zawartość wody w stosunku do cementu jest określana współczynnikiem wodno-cementowym w/c. Według normy PN-EN 206:2014 współczynnik w/c jest to stosunek efektywnej zawartości wody do zawartości cementu w mieszance betonowej. Efektywna zawartość wody jest różnicą między całkowitą ilością wody w mieszance betonowej, a ilością wody zaabsorbowanej przez kruszywo (rys. 6.37). Należy przez to rozumieć, że do obliczenia współczynnika w/c należy uwzględnić tę wodę, która jest na ziarnach kruszywa (woda efektywna). Ponieważ wchłanianie wody przez suche kruszywo maleje lub ulega zahamowaniu wskutek pokrywania ziaren kruszywa zaczynem cementowym, często wskazane jest określenie ilości wody wchłoniętej przez kruszywo w ciągu 10–30 min zamiast całkowitej nasiąkliwości. W praktyce ilość wody na ziarnach kruszywa jest różnicą ilości wody wynikającej z wilgotności kruszywa i jego nasiąkliwości.



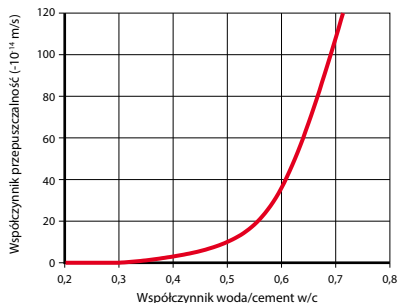
Rys. 6.37. Przykładowe krzywe absorpcji kruszywa granitowego, żwiru oraz dolomitu triasowego

Ustalenie właściwej ilości wody i cementu w mieszance betonowej jest istotne ze względu na zapewnienie odpowiednich właściwości mieszanki betonowej (konsystencja i urabialność) oraz właściwości stwardniałego betonu. Istnieje ścisły związek między wytrzymałością betonu a współczynnikiem w/c, co pokazano na rysunku 6.38.



Rys. 6.38. Wytrzymałość na ściskanie betonu po 28 dniach w zależności od w/c i rodzaju cementu

Zmniejszenie współczynnika w/c skutkuje powstaniem bardziej zwartej i trwałej matrycy cementowej. Zmniejszona jest szybkość dyfuzji mediów agresywnych (rys. 6.39), np. soli mineralnych, tlenu, wilgoci, i dwutlenku węgla. Efektem jest znaczne wydłużenie okresu użytkowania (cyklu życia) konstrukcji betonowej.



Rys. 6.39. Wpływ współczynnika w/c na przepuszczalność betonu

Niższy współczynnik w/c pozwala uzyskać wyższą wytrzymałość i trwałość betonu przy tej samej ilości cementu.

Zwiększenie ilości wody w betonie, przy niezmienionej ilości cementu, skutkuje znacznym obniżeniem wytrzymałości betonu i obniżeniem jego trwałości – wysoka nasiąkliwość, niska mrozoodporność, niska szczelność i szybka korozja stali zbrojeniowej.

6.4. Właściwości mieszanki betonowej

Do podstawowych właściwości mieszanki betonowej należy zaliczyć:

- konsystencję i urabialność,
- gęstość,
- zawartość powietrza,

oraz dodatkowo w przypadku mieszanki betonu samozagęszczalnego SCC:

- lepkość,
- przepływalność,
- odporność na segregację.

6.4.1. Konsystencja mieszanki betonowej

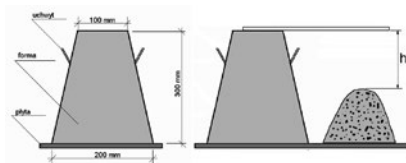
Konsystencja (ciekłość) mieszanki betonowej ma wpływ na urabialność. Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 konsystencję można oznaczać kilkoma metodami (tab. 6.14, rys. 6.40 – 6.43).

Tab. 6.14. Klasy konsystencji mieszanki betonowej i metody badań

	Klasa konsystencji	Metoda badania
Konsystencja mieszanki betonowej	klasa S1 – S5	PN-EN 12350-2:2011 Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka
	klasa C0 – C4	PN-EN 12350-4:2011 Badania mieszanki betonowej – Część 4: Badanie konsystencji metodą oznaczania stopnia zagęszczalności
	klasa F1 – F6	PN-EN 12350-5:2011 Badania mieszanki betonowej – Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozplwowego
	klasa SF1 – SF3	PN-EN 12350-8:2012 Badania mieszanki betonowej – Część 8: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą rozplwy stożka

Metoda opadu stożka – rys. 6.40

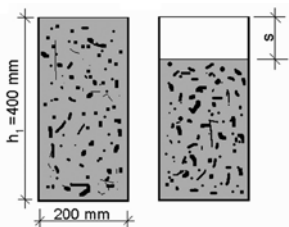
Badanie polega na pomiarze opadu stożka bezpośrednio po usunięciu formy (stożek Abramsa), czyli różnicy między wysokością formy, a wysokością najwyższego punktu rozformowanej próbki mieszanki betonowej. Mieszankę umieszcza się w formie w 3 warstwach, każdą zagęszcza się ręcznie przez sztychowanie (25 razy).



Rys. 6.40. Badanie konsystencji metodą opadu stożka

Metoda stopnia zagęszczalności – rys. 6.41

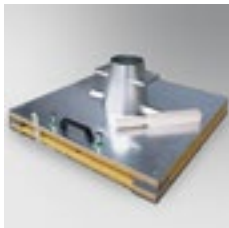
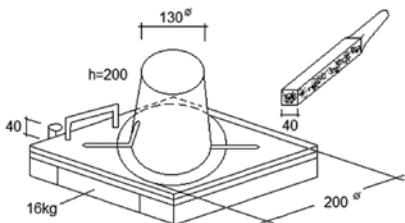
Badanie polega na pomiarze odległości od górnej krawędzi pojemnika do powierzchni zagęszczonej mieszanki betonowej. Pojemnik wypełnia się mieszanką betonową równomiernie, bez zagęszczania, do górnej krawędzi formy. Mieszankę zagęszcza się przez wibrację



Rys. 6. 41. Badanie konsystencji metodą oznaczania stopnia zagęszczalności

Metoda rozplýwu – rys. 6.42

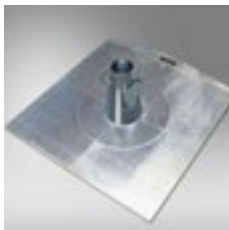
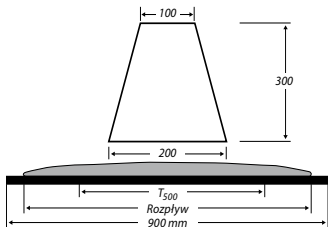
Badanie polega na pomiarze rozplýwu mieszanki betonowej na płaskiej płycie poddanej wstrząsom. Formę stożkową wypełnia się mieszanką w dwóch warstwach zagęszczanych ręcznie przy użyciu drewnianego drążka. Po podniesieniu formy, wykonuje się 15 cykli podnoszenia i swobodnego opadania płyty górnej stolika.



Rys. 6. 42. Badanie konsystencji metodą stolika rozplýwowego

Metoda rozplýwu stożka – rys. 6.43

Badanie polega na pomiarze średnicy rozplýwu mieszanki betonowej pod własnym ciężarem, po usunięciu formy. Mieszankę betonową umieszcza się w jednej warstwie, bez zagęszczania, w formie (stożek Abramsa). Po usunięciu formy mierzy się średnicę rozplýwu w 2 kierunkach, jako wynik podaje się średnią.



Rys. 6.43. Badanie konsystencji metodą rozplýwu stożka – rozplýw swobodny

Poszczególne metody zaleca się stosować w zakresach podanych w tab. 6.15.

Tab. 6.15. Kryteria zgodności dotyczące założonych wartości konsystencji

	Opad stożka S		
Wartość założona [mm]	≤ 40	50 do 90	≥ 100
Tolerancja [mm]	± 10	± 20	± 30
	Stopień zagęszczalności C		
Wartość założona [mm]	≥ 1,26	1,25 do 1,11	≤ 1,10
Tolerancja [mm]	± 0,13	± 0,11	± 0,08
	Średnica rozplwyu F		
Wartość założona [mm]	Wszystkie wartości		
Tolerancja [mm]	± 40		
	Średnica rozplwyu stożka SF		
Wartość założona [mm]	Wszystkie wartości		
Tolerancja [mm]	± 50		

Konsystencję mieszanki betonowej należy dobierać w zależności od sposobu i czasu transportu, metody zabudowy oraz kształtu elementu i rozmieszczenia zbrojenia. W tab. 6.16 przedstawiono rodzaje konsystencji mieszanki betonowej oraz zalecane metody badawcze.

Tab. 6.16. Zalecane metody badawcze konsystencji mieszanki betonowej

Konsystencja	Sposoby zagęszczania mieszanki i warunki formowania elementu	Zalecana metoda badawcza
Wilgotna	Mieszanki wibroprasowane, przekroje proste niezbrojone	nie klasyfikuje się ze względu na konsystencję
Gęstoplastyczna	Mieszanki wibrowane lub ubijane ręcznie, przekroje rzadko zbrojone	stopień zagęszczalności
Plastyczna	Mieszanki wibrowane, przekroje proste normalnie zbrojone lub przekroje złożone rzadko zbrojone	stopień zagęszczalności, opad stożka
Półciekła	Mieszanki wibrowane, przekroje złożone gęsto zbrojone	stopień zagęszczalności, opad stożka
Ciekła	Mieszanki ręcznie sztychowane	rozplwy, rozplwy stożka, opad stożka
Bardzo ciekła	Mieszanki samozagęszczalne	rozplwy stożka

UWAGA!

Niedopuszczalne jest zwiększanie ciekłości mieszanki betonowej dodaniem wody – powoduje to zwiększenie wielkości współczynnika w/c i obniżenie trwałości betonu.

Konsystencję należy regulować z wykorzystaniem odpowiednich domieszek uplastyczniających i/lub upłynniających.

6.4.2. Właściwości dodatkowe dla mieszanek betonów SCC

Właściwości samozagęszczalnej mieszanki betonowej SCC określają:

- rozptyw swobodny stożka,
- lepkość,
- chwilowa zdolność płynięcia – zdolność przepływu przez przeszkody (przepływalność),
- odporność na segregację.

Definicje tych właściwości opisano w rozdziale 4 (patrz punkt 4.3.3).

Każda z wymienionych właściwości podlega ocenie wg odpowiedniej procedury badawczej (tab. 6.17, rys. 6.43 – 6.47) oraz klasyfikacji wg normy PN-EN 206:2014. Nie wszystkie badania wymienione w tab. 6.17 muszą zostać przeprowadzone. Każdorazowo wykonuje się rozptyw swobodny, pozostałe natomiast wykonywane są w zależności od potrzeb i aplikacji betonu SCC.

Tab. 6.17. Właściwości reologiczne mieszanki SCC

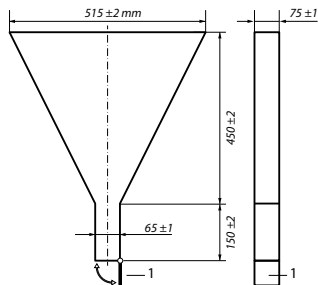
Właściwość mieszanki	Metoda badania
Zdolność do płynięcia	PN-EN 12350-8:2012 Badania mieszanki betonowej – Część 8: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą rozptywu stożka
Lepkość	PN-EN 12350-9:2012 Badania mieszanki betonowej – Część 9: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą V-lejka
Zdolność do przepływu	PN-EN 12350-10:2012 Badania mieszanki betonowej – Część 10: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą L-pojemnika PN-EN 12350-10:2012 Badania mieszanki betonowej – Część 12: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą J-pierścienia
Odporność na segregację	PN-EN 12350-11:2012 Badania mieszanki betonowej – Część 11: Beton samozagęszczalny – Badanie segregacji sitowej

Rozptyw swobodny – rys. 6.43

Rozptyw swobodny mierzony jest za pomocą stożka Abramsa (patrz metoda rozptywu stożka). Równolegle w tej metodzie oznacza się czas t_{500} , czyli czas mierzony od momentu podniesienia stożka, do momentu rozptywu mieszanki SCC do średnicy 500 mm.

Lepkość

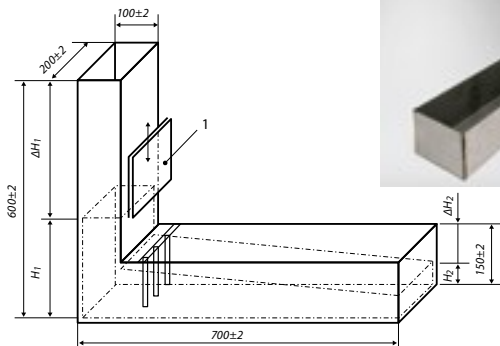
Może być oceniana na dwa sposoby – na podstawie oznaczenia czasu t_{500} przy pomiarze rozptywu swobodnego stożka, oraz przez pomiar czasu wypływu mieszanki betonowej z V-lejka (rys. 6.44). Pomiar metodą V-lejka pozwala ocenić lepkość i zdolność mieszanki samozagęszczalnej do wypełniania formy. Badanie nie jest miarodajne kiedy maksymalne uziarnienie kruszywa przekracza 22,4 mm.



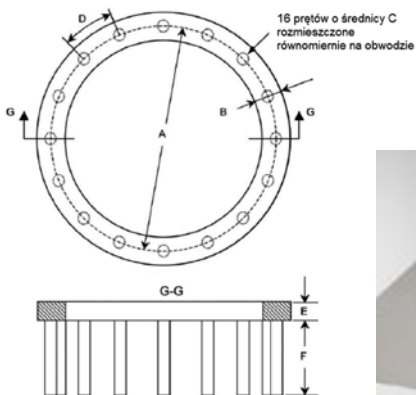
Rys. 6.44. V-lejek (V-funnel), 1) – zawiasowe lub przesuwne szczelne zamknięcie

Chwilowa zdolność płynięcia – przepływalność

Chwilowa zdolność płynięcia określa zdolność mieszanki betonowej SCC do przepływu przez ciasne otwory, pręty zbrojenia i inne przeszkody, bez blokowania się i segregacji. W celu oznaczenia tego parametru przeprowadza się badanie metodą L–pojemnika (rys. 6.45) i/lub metodą J–pierścienia (rys. 6.46). W metodzie L–pojemnika badanie można przeprowadzić na dwóch lub trzech prętach, zaś przy J–pierścieniu mamy do wyboru pierścienie z 12 lub 16 prętami.



Rys.6.45. L-pojemnik (L-box) i jego wymiary, 1) – zasuwka ślizgowa



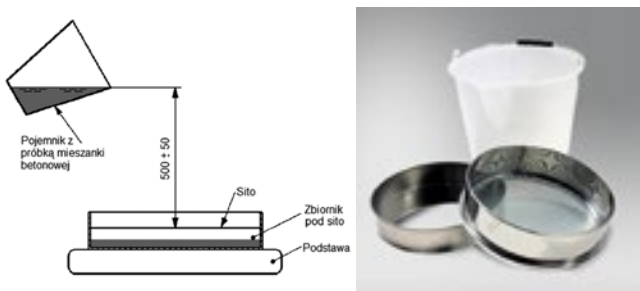
Wymiar	mm
A	300 ± 3.3
B	38 ± 1.5
C	16 ± 3.3
D	58.9 ± 1.5
E	25 ± 1.5
F	200 ± 1.5



Rys.6.46. J-pierścień (J-ring) i jego wymiary

Odporność na segregację

Odporność mieszanki SCC na segregację bada się testem przesiewu (rys. 6.47). Badanie polega na wyznaczeniu (w %) ilości mieszanki betonowej przechodzącej przez sito 5 mm w stosunku do całkowitej ilości mieszanki umieszczonej na tym sicie po jej uprzednim przetrzymaniu przez okres 15 minut w przykrytym pojemniku. Jeśli ilość ta jest mniejsza niż 20%, to mieszankę klasyfikuje się jako odporną na segregację.



Rys. 6.47. Badanie odporności na segregację metodą sitową

Odporność na segregację ma zasadnicze znaczenie, gdy mieszanka betonowa SCC wykazuje dużą zdolność rozptywu (klasa konsystencji SF3), a przy tym charakteryzuje się niską lepkością lub gdy przyjęta technologia podawania mieszanki, kształt i wymiary elementu mogą zwiększać ryzyko segregacji.

6.4.3. Urabialność mieszanki betonowej

Urabialność mieszanki betonowej określa ilość pracy potrzebnej do uzyskania pełnego zagęszczenia betonu, czyli łatwość z jaką mieszanka betonowa może być podawana, ułożona, zagęszczona i wykończona, przy jednoczesnym zachowaniu jednorodności. Urabialność decyduje więc o szczelnym, jednorodnym i możliwie łatwym wypełnieniu formy przez mieszankę betonową przy założonym sposobie zagęszczania.

Na urabialność mieszanki betonowej ma wpływ:

- objętość zaprawy w mieszance betonowej, która zależy od kształtu i wymiarów elementu oraz intensywności rozmieszczenia zbrojenia a także sposobu efektywnego zagęszczania (im bardziej masywny i prosty w kształcie element i skuteczne zagęszczanie, tym mniej zaprawy należy wprowadzić do mieszanki),
- zawartość frakcji pyłowej ($< 0,125$ mm), do której zalicza się również cement, ilość której wpływa na spoiwość mieszanki po jej zagęszczeniu, wygląd betonu po rozformowaniu oraz utrzymanie wody przez mieszanekę (bleeding).

Urabialność mieszanki betonowej powinna być zachowana w czasie, tj. od momentu wytworzenia mieszanki na wężle betoniarskim, aż do jej zabudowania w deskowaniu. Urabialność jest właściwością ściśle związaną z konsystencją mieszanki betonowej.

6.4.4. Zawartość powietrza w mieszance betonowej

Wszystkie betony zawierają pustki, nawet te bardzo starannie zagęszczone i samozagęszczane. Pozostała ilość powietrza, np. dla betonu z kruszywem do 32 mm wynosi 1 – 2% objętościowo, a może wzrosnąć do 4% dla betonu z drobnym kruszywem. Zawartość powietrza w betonie może być też modyfikowana w wyniku stosowania domieszek napowietrzających.

Rodzaje pustek w betonie:

- pustki zagęszczenia,
- otwarte i zamknięte kapilary,
- pustki żelowe,
- powietrze wprowadzone sztucznie w celu zwiększenia mrozoodporności.

Badanie zawartości powietrza w mieszance betonowej można przeprowadzić dwiema metodami (wg normy PN-EN 12350-7:2011).

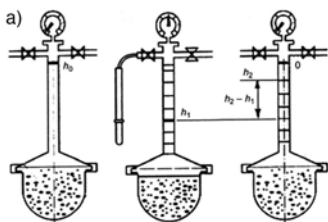
Metoda słupa wody

Metoda polega na wprowadzeniu wody do ustalonego poziomu ponad próbkę zagęszczonej mieszanki betonowej o znanej objętości, znajdującą się w szczelnie zamkniętym pojemniku i oddziaływaniu na wodę ustalonym ciśnieniem powietrza. Redukcję objętości powietrza, w próbce mieszanki betonowej, mierzy się, obserwując obniżenie poziomu słupa wody.

Rurka do odczytu wysokości słupa wody jest wyskalowana odpowiednio do zawartości powietrza, wyrażonej w procentach, w próbce mieszanki betonowej (rys. 6.48a).

Metoda ciśnieniomierza

Metoda opiera się na założeniu, że znana objętość powietrza pod określonym ciśnieniem połączy się, w szczelnie zamkniętym pojemniku, z nieznaną objętością powietrza zawartą w próbce mieszanki betonowej. Zawartość powietrza w mieszance betonowej mierzy się zgodnie z metodą wyrównawczego ciśnienia. Aparat posiada komorę (rys. 6.48b), w której zdefiniowane ciśnienie buduje się za pomocą pompy. Otwarcie zaworu przelewowego wyrównuje ciśnienie w pojemniku testowym, który jest wypełniony mieszanką betonową. Spadek ciśnienia w naczyniu testowym, pokazuje ilość powietrza porowego. Skala na ciśnieniomierzu jest wykalibrowana odpowiednio do zawartości powietrza, wyrażonej w procentach, względem wynikłego ciśnienia.



Rys. 6.48. Badanie zawartości powietrza w mieszance betonowej a) schemat aparatu i badania metodą słupa wody, b) ciśnieniomierz

Pomiar zawartości powietrza w mieszance betonowej przeprowadzany jest, przede wszystkim, w przypadku betonów produkowanych z zastosowaniem domieszek napowietrzających. Utrzymanie zawartości powietrza w mieszance betonowej na odpowiednim poziomie jest konieczne, aby poprawić trwałość betonu (mrozoodporność).

Napowietrzenie betonu jest szczególnie istotne w przypadku betonów narażonych na oddziaływanie mrozu i środków odladzających (np. elementy konstrukcji mostowych – patrz tab. 6.18, nawierzchnie dróg).

Zgodnie z zapisami Ogólnych Specyfikacji Technicznych w zakresie betonu konstrukcyjnego w obiekcie inżynierskim zawartość powietrza w mieszance betonowej nie powinna przekraczać 2% (beton nienapowietrzony) lub w przypadku stosowania domieszki napowietrzającej poza granice przedziałów podane w tab. 6.18 (dotyczy klas ekspozycji XF2 ÷ XF4).

Tab. 6.18. Granice przedziałów napowietrzenia betonu konstrukcyjnego wg OST

Wymiar kruszywa D, [mm]	Etap wykonywania badań		Tolerancja pomiarowa, [%]
	Projektowanie składu mieszanki betonowej, [%]	Badania wstępne, próba technologiczna, kontrola jakości robót, [%]	
16,0	4,5 ÷ 6,0	4,5 ÷ 6,5	- 0,5 +1,0
22,4	4,0 ÷ 5,5	4,0 ÷ 6,0	
31,5	4,0 ÷ 5,5	4,0 ÷ 6,0	

Ogólna Specyfikacja Techniczna dotycząca nawierzchni z betonu cementowego, stawia dodatkowe wymagania odnośnie napowietrzenia betonu w zakresie charakterystyki porów powietrznych w betonie:

- zawartość mikroporów o średnicy poniżej 0,3 mm (A_{300}), powinna wynosić nie mniej niż 1,5%
- wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie, powinien być niższy niż 0,250 mm dla betonów w klasie ekspozycji XF3 i niższy niż 0,200 mm dla betonów w klasie ekspozycji XF4.

Projektując beton należy wziąć pod uwagę fakt, że dodatkowe napowietrzenie betonu skutkuje spadkiem wytrzymałości na ściskanie. Literatura podaje, że 1% dodatkowo wprowadzonego powietrza może spowodować spadek wytrzymałości nawet do 5,5%.

Czynniki wpływające na napowietrzenie:

- intensywność i czas mieszania,
- konsystencja mieszanki betonowej (wielkość współczynnika w/c),
- temperatura mieszanki betonowej,
- jakość i ilość domieszki napowietrzającej,
- kompatybilność z innymi rodzajami domieszek (zwłaszcza reduktorami wody),
- rodzaj i ilość cementu (cementy o wyższej zawartości Na_2O_{eq} efektywniej się napowietrzają),
- rodzaj i ilość dodatku do betonu.

6.5. Właściwości stwardniałego betonu

Norma PN-EN 206:2014 stawia wymagania w stosunku do następujących właściwości betonu stwardniałego:

- wytrzymałość na ściskanie,
- wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu,
- gęstość,
- odporność na penetrację wody pod ciśnieniem/wodoszczelność,
- ognioodporność.

6.5.1. Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie jest podstawowym wymaganiem stawianym dla stwardniałego betonu już na etapie projektowania konstrukcji betonowej.

Na wytrzymałość betonu na ściskanie wpływ mają:

- rodzaj i klasa wytrzymałości cementu oraz jego zawartość w mieszance betonowej,
- zawartość wody w mieszance betonowej (współczynnik w/c),
- rodzaj, uziarnienie kruszywa,
- rodzaj i ilość dodatku mineralnego,
- stosowane domieszki chemiczne,
- sposób zagęszczania mieszanki betonowej,
- warunki dojrzewania betonu (np. temperatura otoczenia, wilgotność, obróbka cieplna),
- metody i długość okresu pielęgnacji.

Wytrzymałość betonu na ściskanie, zgodnie z normą PN-EN 206:2014, jest definiowana jego klasą.

Wytrzymałości na ściskanie określa się na próbkach kostkowych lub walcowych pobieranych, przygotowywanych i pielęgnowanych według procedur zawartych w normach:

- PN-EN 12350-1:2011 „Badania mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek”,
- PN-EN 12390-2:2013 „Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych”.

Dla betonu zwykłego i ciężkiego dopuszcza się badanie wytrzymałości na ściskanie, na próbkach sześciennych o boku 100 mm. Dopuszczenie to jest ważne przy zastrzeżeniu, że maksymalny wymiar ziaren kruszywa (D_{max}) w badanym betonie nie przekracza 16 mm. Wytrzymałość na ściskanie określoną na próbkach sześciennych o boku 100 mm przelicza się na normowy wymiar próbek sześciennych za pomocą mnożnika 0,95 – dla każdego, pojedynczego oznaczenia. W tab.6.19 przedstawiono podstawowe czynności związane z pobieraniem i przygotowaniem próbek betonu do badań wytrzymałościowych.

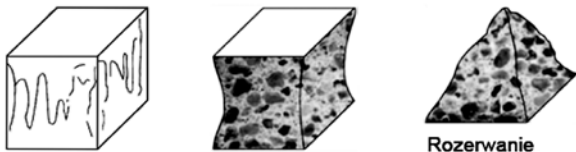
Tab. 6.19. Pobieranie i przygotowanie próbek betonu do badań wytrzymałościowych

Czynność	Postępowanie
Pobieranie mieszanki betonowej	Należy pobrać co najmniej 1,5 razy większą ilość mieszanki betonowej niż ilość wymagana do badań. Podczas pobierania próbek z betonowozu nigdy nie należy pobierać próbki przy początku ani końcu rozładunku
Napełnianie form	Przed napełnieniem form mieszanka betonowa powinna być wymieszana w mieszalniku za pomocą szufelki. Próbki powinny być napełniane w co najmniej dwóch warstwach, nie grubszych niż 100 mm
Zagęszczanie próbek	Mieszanka powinna być zagęszczona natychmiast po ułożeniu za pomocą jednej z metod: <ul style="list-style-type: none"> ■ zagęszczanie mechaniczne – wibratorem wgłębnym lub na stole wibracyjnym, ■ zagęszczanie ręczne – za pomocą pręta. Zagęszczanie należy prowadzić bez nadmiernej segregacji składników oraz bez pojawienia się warstwy mlecza cementowego
Znakowanie próbek	Oznakowanie powinno być wyraźne i trwałe, bez uszkodzeń próbki
Pielęgnacja próbek	Próbki należy pozostawić w formach przez min. 16 godzin, lecz nie dłużej niż 3 dni, chroniąc przed wstrząsami i utratą wody. Temperatura przechowywania próbek $+20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, po wyjęciu z form pielęgnować próbki aż do badania w wodzie o temperaturze $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, lub w komorze klimatycznej w temperaturze $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej $\geq 95\%$.
Transport próbek	Nie wolno dopuścić do ubytku wilgotności i odstępstw od wymaganej temperatury

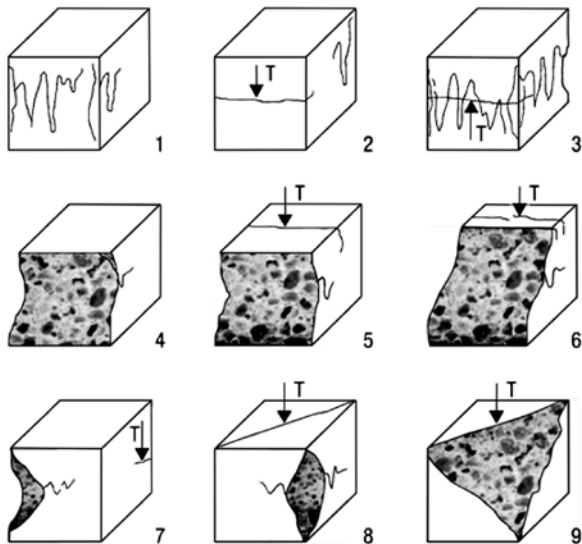
Badanie wytrzymałości na ściskanie wykonuje się w prasie wytrzymałościowej, zgodnie z procedurą opisaną w normie PN-EN 12390-3:2011 „Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”.

Prawidłowość wykonanego badania należy określać za pomocą zdefiniowanych w normie PN-EN 12390-3:2011 schematów prawidłowego i nieprawidłowego zniszczenia próbek – rys. 6.49.

Prawidłowe zniszczenia próbek



Nieprawidłowe zniszczenia próbek



Rys. 6.49. Schemat zniszczenia próbek sześciennych w badaniu wytrzymałości na ściskanie

6.5.2. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu

Wytrzymałość na rozciąganie jest właściwością decydującą o trwałości betonu w konstrukcji nawierzchni drogowej. Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wykonuje się według normy PN-EN 12390-6:2011 „Badania betonu – Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań” w sposób pośredni, przeprowadzając próbę rozłupywania na próbkach walcowych (o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm), ewentualnie sześciennych (150 mm) przykładając obciążenie przez odpowiednie podkładki.

Wymagania względem tej właściwości podaje Ogólna Specyfikacja Techniczna w zakresie Nawierzchni z Betonu Cementowego. Według OST wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu badania po 28 dniach twardnienia (liczona jako średnia z trzech próbek prostopadościennych), powinna być nie niższa niż:

- 2,5 MPa – dla kategorii ruchu KR1÷KR4,
- 3,5 MPa – dla kategorii ruchu KR5÷KR7.

Wyniki z badania próbek prostopadościennych będą prawdopodobnie większe o ok.10% niż uzyskane z badania próbek walcowych z tego samego betonu.

Wytrzymałość betonu na rozciąganie zależy przede wszystkim od wytrzymałości zaczyny cementowego i strefy kontaktowej zaczyn – kruszywo (od przyczepności zaczynu do ziaren) oraz wytrzymałości na rozciąganie ziaren kruszywa (beton na kruszywie łamanym ma większą wytrzymałość niż beton z kruszywem otoczkowym). Znaczącym czynnikiem jest także mikrostruktura matrycy cementowej (porów i rys).

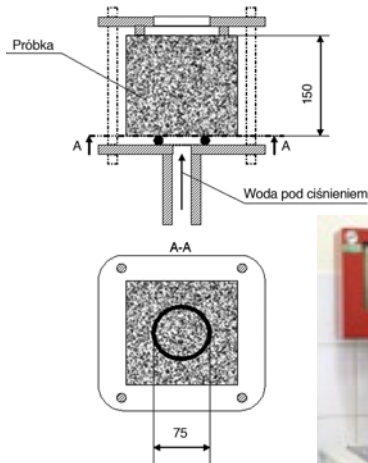
6

6.5.3. Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem

Oznaczenie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem należy przeprowadzać zgodnie z normą PN-EN 12390-8:2011 „Badanie betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem”.

Badanie należy rozpocząć po osiągnięciu przez beton wieku co najmniej 28 dni. Nie należy przekazywać ciśnienia wody na zagłębioną powierzchnię próbki. Badanie betonu przebiega pod stałym ciśnieniem wody 500 ± 50 kPa działającym na powierzchnię próbki o średnicy 75 mm

przez 72 ± 2 godz. Norma PN-EN 13877-2:2007 „Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych” zaleca badanie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem w celu określenia odporności betonu na wnikanie benzyny, oleju i innych substancji chemicznych, przy czym dopuszczalna głębokość wnikania wody nie powinna przekroczyć 30 mm.



Rys. 6.50. Schemat badania głębokości penetracji wody w betonie oraz widok aparatury badawczej

Na rys. 6.50 przedstawiono schemat badania głębokości penetracji wody w próbce betonu. Po zakończeniu wtłaczania wody pod ciśnieniem próbkę przecina się i mierzy głębokość penetracji wody określoną na powierzchni przekroju próbki (rys. 6.51). Wynik pomiaru określa wodoprzepuszczalność betonu.



Rys. 6.51. Pomiar głębokości penetracji wody pod ciśnieniem, beton z cementu CEM III/A 32,5N, $w/c=0,46$

Według Ogólnej Specyfikacji Technicznej dotyczącej betonu konstrukcyjnego w budownictwie komunikacyjnym, beton w elementach konstrukcji narażonych na oddziaływanie środowiska chemicznie agresywnego powinien wykazywać odporność na penetrację wody pod ciśnieniem (badanie według PN-EN 12390-8: 2011 „Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem). Według OST maksymalna głębokość penetracji nie powinna przekraczać:

- 60 mm w klasie ekspozycji XA1,
- 50 mm w klasie ekspozycji XA2,
- 40 mm w klasie ekspozycji XA3.

Beton w elementach konstrukcji narażonych na korozję spowodowaną chlorkami w klasach ekspozycji XD3 i XS3 powinien wykazywać maksymalną głębokość penetracji nie większą niż 40 mm.

Wiele właściwości betonu, mimo iż bezpośrednio nie są przywołane w normie betonowej PN-EN 206:2014, są specyfikowane i stasowane w praktyce do oceny trwałości kompozytów cementowych. Wśród tych właściwości wymieść należy:

- wodoszczelność,
- mrozoodporność,
- skurcz,
- odporność na korozję chemiczną.

6.5.4. Wodoszczelność betonu

Wodoszczelność betonu jest właściwością bezpośrednio skorelowaną z odpornością betonu na penetrację wody po ciśnieniu. Wodoszczelność betonu określa się wg normy PN-88/B-06250 „Beton zwykły”. Choć norma ta została wycofana, wciąż funkcjonuje w praktyce budowlanej. Projektanci specyfikując beton, często jako kryterium podają stopień wodoszczelności betonu. Badanie przepuszczalności wody przez beton polega na poddaniu próbki betonu ciśnieniu wody podwyższanego skokowo, co 24 godz., natomiast końcowe ciśnienie wody odpowiadające żądanemu stopniowi wodoszczelności należy utrzymać przez 24 godz. W czasie badania obserwuje się, czy na swobodnych powierzchniach próbek nie występują oznaki przecieków wody. Jeżeli trzy próbki z badanej serii sześciu wykażą oznaki przesiąkania badanie przerywa się. Jeżeli normy przedmiotowe na wyroby, elementy i konstrukcje nie stanowią inaczej, stopień wodoszczelności betonu ustala się w zależności od wskaźnika ciśnienia i warunków parcia wody wg tab. 6.20.

Tab. 6.20. Stopień wodoszczelności betonu

Wskaźnik ciśnienia	Stopień wodoszczelności betonu przy jednostronnym parciu wody	
	stałym	okresowym
0,5–5	W2	W2
6–10	W4	W2
11–15	W6	W4
16–20	W8	W6
21–40	W10	W8
ponad 40	W12	W10

Przy wskaźniku ciśnienia poniżej 0,5 beton zwykły nie musi być sprawdzany na przepuszczalność wody. Dopuszcza się badanie przepuszczalności wody na próbkach wyciętych z konstrukcji, pod warunkiem, że nie powoduje to obniżenia wodoszczelności obiektu.

6.5.5. Mrozoodporność

Zamarzająca woda w porach betonu zwiększa objętość o 9%. Powoduje to naprężenia wewnątrz betonu, które mogą być przyczyną jego spękań. Ilość uszkodzeń zwiększa się w przypadku cyklicznego zamrażania i rozmrażania betonu, co w konsekwencji może prowadzić do całkowitego zniszczenia betonu.

O wysokiej mrozoodporności betonu decyduje skład mieszanki betonowej i jakość zastosowanych składników. Norma PN-EN 206:2014 podaje wymagania dla klas ekspozycji XF (agresja mrozowa) dotyczące:

- maksymalnego wskaźnika w/c,
- minimalnej zawartości cementu,
- mrozoodporności kruszywa (oznaczenie wg normy PN-EN 1367 „Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych”),
- minimalnej zawartości powietrza (minimum 4% dla klas XF2-XF4).

W praktyce odporność betonu na działanie mrozu uzyskuje się poprzez właściwe napowietrzenie mieszanki betonowej za pomocą domieszek chemicznych. Wprowadzenie domieszek napowietrzających pozwala uzyskać zamknięte mikropory, równomiernie rozłożone w stwardniałym zaczynie, które pozostają niewypełnione wodą. Podczas zamarzania wody w betonie mikropory pełnią rolę buforów, w które wciskana jest zamarzająca woda. Przyjmuje się, że właściwa zawartość powietrza w betonie mrozoodpornym powinna wynosić 4–6%. Większa zawartość powietrza powoduje znaczne obniżenie wytrzymałości betonu.

Aktualnie badania mrozoodporności betonu przeprowadza się przy zastosowaniu metod polegających na cyklicznym zamrażaniu i rozmrażaniu próbek betonu w wodzie (metoda zwykła wg normy PN-88/B-06250) lub w obecności środków odładzających (metoda wg PKN-CEN/TS 12390-9).

Według normy PN-88/B-06250 „Beton zwykły” mrozoodporność betonu jest określona jego stopniem mrozoodporności, tj. symbolem literowo-liczbowym (np. F150) klasyfikującym beton pod względem jego odporności na działanie mrozu (tab. 6.21).

Liczba po literze F oznacza wymaganą liczbę cykli zamrażania i rozmrażania, po których ubytek masy i spadek wytrzymałości nie przekracza dopuszczalnych wartości określonych w PN-88/B-06250 „Beton zwykły”.

Jeśli normy przedmiotowe na wyroby, elementy i konstrukcje nie stanowią inaczej, stopień mrozoodporności należy przyjmować w zależności od wskaźnika N, co pokazano w tabeli 6.21. Wskaźnik ten jest równy liczbie przewidywanych lat użytkowania konstrukcji. Jeśli beton narażony jest na kapilarne podciąganie wody, wskaźnik należy zwiększyć o liczbę 50, jeżeli zaś znajduje się w strefie zmieniającego się poziomu wody lub działania środków rozmrażających – zwiększyć o liczbę 100.

Tab. 6.21. Stopień mrozoodporności betonu

Wskaźnik N	Stopień mrozoodporności
Do 25	F25
26-50	F50
51-75	F75
76-100	F100
101-150	F150
151-200	F200
Ponad 200	F300

Stopień mrozoodporności betonu jest osiągnięty, jeżeli po wymaganej w jego symbolu liczbie cykli zamrażania/odmrażania próbek betonowych spełnione są następujące warunki:

- a) po badaniu metodą zwykłą (wg PN-88/B-06250):
- próbka nie wykazuje pęknięć,
 - łączna masa ubytków betonu w postaci zniszczonych narożników i krawędzi, odprysków kruszywa itp. nie przekracza 5% masy próbek niezamrażanych,
 - obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości próbek niezamrażanych nie jest większe niż 20%,
- b) po badaniu metodą przyśpieszoną (wg PN-88/B-06250):
- ubytek objętości betonu w postaci złuszczeń, odłamków i odprysków nie przekracza w żadnej próbce wartości $0,05 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$ powierzchni zanurzonej w wodzie.

Przez cykl w metodzie zwykłej należy rozumieć zamrażanie próbek w powietrzu o temp. $-18^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ przez co najmniej 4 godz. a następnie jej odmrażanie w wodzie o temperaturze $18^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ przez okres nie krótszy niż 2 godz. i nie dłuższy niż 4 godz.

Przez cykl w metodzie przyspieszonej należy rozumieć zamrażanie warstwy powierzchniowej próbki w czasie 50 min, przy czym temperatura końcowa wynosząca $-10^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ powinna się utrzymywać przez 10 min, a następnie odmrażanie w czasie 30 min, przy czym temperatura maksymalna $10^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ powinna się utrzymywać przez okres 10 min.

Ogólne Specyfikacje Techniczne dotyczące betonu konstrukcyjnego podają dodatkowe wymagania oceny odporności betonu na działanie mrozu metoda zwykłą. Badanie mrozoodporności należy określać w terminach równoważnych (OST wprowadza pojęcie czasu równoważnego) zależnych od rodzaju cementu:

- CEM I (R), CEM II/A-S (R) – 28 dni,
- CEM I (N), CEM II/A-S (N), CEM II/B-S (N, R) – 56 dni,
- CEM III/A – 90 dni.

Bardzo ważnym badaniem mrozoodporności betonów nawierzchniowych oraz betonów budowli morskich jest badanie za pomocą metody powierzchniowej wykonywane wg normy PKN-CEN/TS 12390-9 „Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling”. Badanie to jest najbardziej zbliżone do rzeczywistych warunków pracy wymienionych konstrukcji, agresji mrozowej oddziałującej na powierzchnie elementu betonowego.

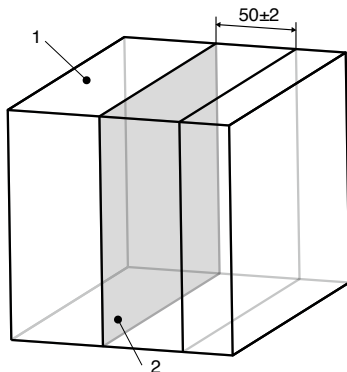
W normie przedstawione są trzy metody badań:

- „Slab test” (metoda wzorcowa),
- „Cube test” (metoda alternatywna),
- „CF/CDF-test” (metoda alternatywna).

Metody te używane są do określenia odporności na zamrażanie/rozmarzanie powierzchni betonu, w zależności od rzeczywistych warunków pracy, przy pomocy wody dejonizowanej, bądź 3% roztworu NaCl.

Metody te polegają na poddaniu cyklom zamrażania i rozmrażania odpowiednio przygotowanych próbek z odsłoniętą tylko jedną powierzchnią. Do badania metodą „Slab test” należy użyć czterech próbek. W pierwszym dniu próbki są przechowywane w formach osłoniętych folią polipropylenową w temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Po 24 ± 2 godz. powinno nastąpić rozformowanie próbek i umieszczenie ich w łaźni z wodą o temperaturze $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Po siedmiu dniach próbki należy umieścić w komorze klimatycznej zgodnej z normą PKN-CEN/TS 12390-9 p.5.2.2, w której przechowuje się je do momentu badania mrozoodporności. W 21. dniu należy wyciąć

próbki z każdej kostki prostopadle do górnej powierzchni. Grubość próbki powinna wynosić 50 ± 2 mm, przy czym badana powierzchnia musi znajdować się w połowie sześcianu zgodnie z rys. 6.52.

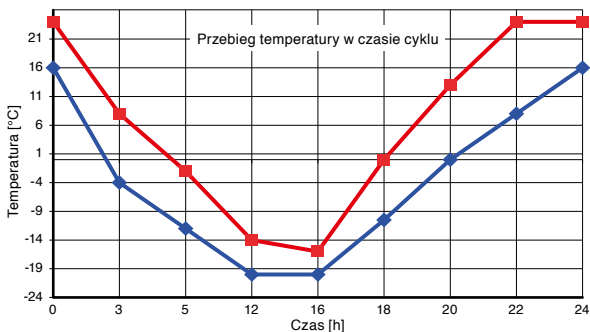


Rys. 6.52. Położenie i powierzchnia próbki do badań. 1) powierzchnia odcinająca, 2) powierzchnia badana

Bezpośrednio po przecięciu, próbki wyłukać w wodzie, a nadmiar wody zetrzeć gąbką. Pomiar próbek wykonuje się suwmiarką z dokładnością $\pm 0,5$ mm, a następnie umieszcza się w komorze klimatycznej powierzchnią badaną pionowo w odległości co najmniej 50 mm pomiędzy próbkami. Gdy próbki betonu osiągną wiek 25 ± 1 dni okleja się wszystkie powierzchnie arkuszem gumy, z wyjątkiem badanej powierzchni. Krawędź arkusza gumy powinna wystawać 20 ± 1 mm nad powierzchnię pomiarową. W 28. dniu należy wlać wodę dejonizowaną o temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$ na górną powierzchnię do grubości warstwy 3 mm. Nasączenie powierzchni próbki wodą dejonizowaną powinno trwać przez 72 ± 2 godz. W temperaturze $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Rozpoczęcie badania następuje, gdy próbki betonowe osiągną wiek 31 dni, nie wcześniej niż 15 min przed umieszczeniem w komorze zamrażania należy wymienić wodę dejonizowaną w celu uzyskania średniej grubości 3 mm w temperaturze 20°C . Aby rozpocząć test, należy umieścić próbki w komorze zamrażania (rys. 6.53) w czasie fazy cyklu 0 ± 30 min, zgodnie z rys. 6.54.



Rys. 6.53. Badanie mrozoodporności w obecności soli odladzających



Rys. 6.54. Zakres temperatury w czasie badania mrozoodporności

Zamrażanie i rozmrażanie próbek odbywa się ściśle według określonych krzywych wychładzania i ogrzewania komory zamrażarki (rys. 6.54). Temperatura musi zawierać się w polu ograniczonym górną i dolną krzywą przebiegu temperatury w czasie. Ocenie podlega ilość materiału, który zostanie złuszczonej z badanej powierzchni. Jako wyniki badania podaje

się ilość samego złuszczonego materiału dla każdej próbki, a także średnią wartość w kilogramach na metr kwadratowy zaokrągloną do 0,2 kg/m², po: 7 ± 1, 14 ± 1, 28 ± 1, 42 ± 1 i 56 cyklach zamrażania i rozmrażania. Dodatkowo podaje się skład środka zamrażania oraz ocenę wizualną (pęknięcia, wyciek wody lub roztworu soli) przed rozpoczęciem i po: 7 ± 1, 14 ± 1, 28 ± 1, 42 ± 1 i 56 cyklach. Opcjonalnie w sprawozdaniu z badań można też podać skład betonu.

Metoda ta jest znacznie bardziej przydatna do oceny parametru mrozoodporności betonu z punktu widzenia realnych warunków, w jakich pracuje konstrukcja betonowa czy dany element i ich przełożenia na metodę badawczą w laboratorium. Jednak w dalszym ciągu, tak w „starej” metodzie, jak i w „nowej”, głównym czynnikiem destrukcyjnym jest zamrażanie w porach kapilarnych cieczy, która podczas przechodzenia ze stanu ciekłego w stały zwiększa swoją objętość, i to zwiększenie objętości powoduje powstanie ciśnienia, które głównie „rozrywa” strukturę matrycy cementowej. Oczywiście jest to bardzo uproszczone podejście do zagadnienia destrukcji mrozowej, sformułowane tylko na potrzeby zasygnalizowania, a jego celem jest pokazanie samej istoty mechanizmu destrukcji.

6.5.6. Skurcz

Skurcz betonu jest istotny z punktu widzenia trwałości. Spękania betonu wskutek skurczu znacznie pogarszają jego szczelność, co ułatwia dostęp mediów agresywnych (gazów, cieczy) do wnętrza betonu.

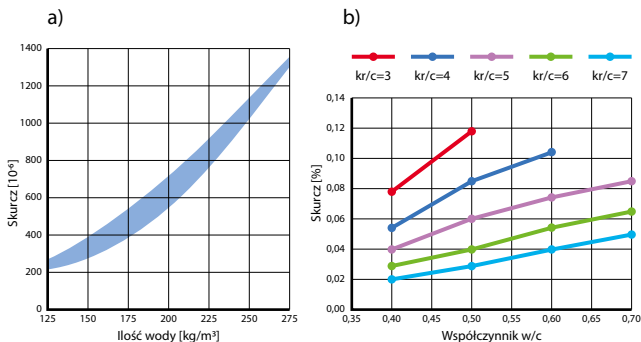
Reakcja cementu z wodą powoduje ogólne zmniejszenie objętości mieszaniny. Tą zmianę objętości nazywamy skurczem „chemicznym” lub kontrakcją, a wiąże się ona z mniejszą objętością wody w fazach uwodnionych od jej objętości w fazie ciekłej. Skurcz ten występuje przed i w czasie wiązania opisywany jest jako tzw. wczesny skurcz i występująca po nim ekspansja. W okresie początkowej reakcji zaczynu z wodą wyróżnia się także tzw. „skurcz plastyczny” związany z odparowywaniem wody z powierzchniowych warstw betonu. Proces ten może prowadzić do powstawania rys. Następny (długoterminowy) skurcz zachodzi już w okresie twardnienia i klasyfikowany jest jako skurcz twardnienia lub autowysychanie. Jest on związany z powstaniem w stwardniałym zaczynie

porów, wypełnionych powietrzem, co prowadzi do zmniejszenia ciśnienia cząstkowego pary wodnej, a więc do autoosuszania.

Wielkość skurczu betonu zależy od:

- wielkości współczynnika w/c (rys. 6.55a),
- ilości i rodzaju cementu w składzie betonu,
- ilości i rodzaju dodatków mineralnych,
- rodzaju zastosowanych domieszek chemicznych,
- składu ziarnowego i ilości kruszywa (im więcej kruszywa drobnego, tym większy skurcz) – rys. 6.55b,
- pielęgnacji (metoda i długość).

W celu eliminacji spękań powstających w wyniku skurczu, konieczna jest właściwa pielęgnacja młodego betonu (nie można dopuścić do przesuszenia powierzchni betonu), a także odpowiednie rozmieszczenie szczelin dylatacyjnych, w przypadku wykonywania dużych powierzchni (posadzki, nawierzchnie dróg i placów).



Rys. 6.55. Wpływ składu betonu na skurcz: (a) współczynnika w/c i (b) współczynnika w/c i ilości kruszywa

6.5.7. Odporność betonu na korozję chemiczną

W cyklu życia konstrukcje betonowe podlegają zużyciu nie tylko w efekcie użytkowania, ale także z tytułu korozyjnego oddziaływania otaczającego środowiska. Trwałość betonu należy definiować jako zdolność do spełnienia przez beton, z odpowiednimi współczynnikami bezpieczeństwa i przez odpowiedni okres, funkcji wyznaczanych projektem budowlanym. Należy przez to rozumieć, iż konstrukcje z betonu powinny spełniać w sposób ciągły swoje przewidziane funkcje, tj. zachować wymaganą wytrzymałość oraz cechy użytkowe wyspecyfikowane lub oczekiwane w pewnym określonym przedziale czasu eksploatacji. Norma PN-EN 206:2014 zaleca, aby przewidywany czas użytkowania uwzględniający warunki eksploatacji wynosił co najmniej 50 lat.

Zrozumienie mechanizmów niszczenia betonu pozwala na odpowiedni dobór jego składników celem zapewnienia trwałości w danym środowisku (klasy ekspozycji wg normy PN-EN 206:2014). Należy jednak zaznaczyć, że nie zawsze wysoka wytrzymałość daje gwarancję dużej trwałości. Najistotniejszym czynnikiem decydującym o trwałości jest struktura i mikrostruktura stwardniałego zaczynu oraz rodzaj (jakość) zastosowanego kruszywa.

Na korozję chemiczną betonu będzie miała wpływ struktura porów, która bezpośrednio wpływa na głębokość penetracji mediów agresywnych i wielkość podciągania kapilarnego. Beton jest kompozytem, który „broni się” przed działaniem środowiska poprzez niską przepuszczalność, a w sytuacji wniknięcia mediów agresywnych w strukturę charakteryzuje się buforującym działaniem składników stwardniałego zaczynu cementowego. Zasadowe środowisko betonu zapewnia stan pasywny stali zbrojeniowej. Decydujący wpływ na odporność betonu na agresję chemiczną mają wodorotlenek wapnia, uwodnione gliniany wapnia oraz uwodnione krzemiany wapnia (faza C-S-H).

Wyróżnia się dwa rodzaje korozji betonu:

- korozję wewnętrzną,
- korozję zewnętrzną.

Przyczynę korozji wewnętrznej stanowią składniki betonu, głównie alkalia występujące w cemencie i innych składnikach betonu oraz zbyt duża zawartość siarczanu wapnia w spoiwie. Natomiast powodem występowania

korozji zewnętrznej jest ekspozycja na działanie niekorzystnych czynników zewnętrznych, do których należy zaliczyć przede wszystkim roztwory siarczanów i chlorków, jak również CO_2 z powietrza oraz kwaśne deszcze.

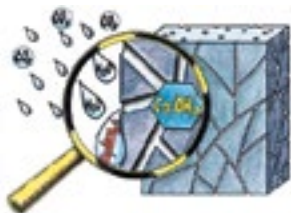
Do najczęściej występujących korozji w betonie można zaliczyć:

- korozję siarczanową,
- korozję chlorkową,
- korozję węglanową,
- karbonatyzację,
- reakcję alkalia–kruszywa,
- korozję biologiczną.

W celu ograniczenia oddziaływań substancji agresywnych należy stosować ochronę powierzchniową polegającą na izolacji konstrukcji od środowiska zewnętrznego lub/i ochronę materiałowo-strukturalną polegającą na właściwym doborze składników betonu oraz ukształtowaniu odpowiedniej mikrostruktury betonu (niskie w/c, stosowanie dodatków typu II).

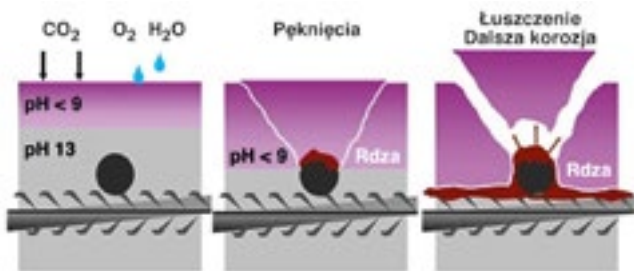
6.5.7.1. Karbonatyzacja

Karbonatyzacja jest procesem zachodzącym stopniowo od zewnętrznej strony konstrukcji betonowej, wystawionej na działanie dwutlenku węgla, który w wyniku reakcji z wodorotlenkiem wapnia tworzy CaCO_3 . Karbonatyzacja jest jedną z głównych przyczyn niszczenia betonu. Dwutlenek węgla reaguje z rozpuszczonymi w cieczy porowej betonu produktami hydratacji cementu, szczególnie z portlandytem Ca(OH)_2 . W wyniku tego tworzy się kalcyt CaCO_3 i woda (rys. 6.56). Reakcjom z CO_2 ulegają też inne hydraty, zwłaszcza gdy zabraknie portlandytu. Wpływ karbonatyzacji na trwałość betonu jest bardzo złożony. Sama reakcja powstawania CaCO_3 nie powoduje zniszczenia betonu. Mechanizm niszczenia konstrukcji betonowych w wyniku karbonatyzacji związany jest z obniżeniem pH cieczy porowej betonu z poziomu 12,6–13,5 do ok. 9 przez przereagowanie wodorotlenku wapnia i powstanie obojętnego węglanu wapnia (kalcytu). Po wyczerpaniu portlandytu Ca(OH)_2 pH cieczy porowej betonu spada do wartości 8,3.



Rys. 6.56. Wymywanie wodorowęglanu wapnia z betonu (ABC Betonu – wyd. Polski Cement)

Negatywnym skutkiem karbonatyzacji jest depasywacja stali zbrojeniowej. Zachodzi ona, gdy głębokość karbonatyzacji osiągnie poziom prętów zbrojeniowych, a poziom wilgotności jest na tyle wysoki, że następuje szybka korozja stali zbrojeniowej (rys. 6.57). Rdza, jako produkt korozji, charakteryzuje się większą objętością niż substraty reakcji, co skutkuje powstaniem pęknięć i rys w betonie. W wyniku dalszego postępu korozji może dojść do złuszczenia otuliny zbrojenia i całkowitego odsłonięcia prętów zbrojeniowych.



Rys. 6.57. Mechanizm niszczenie betonu w wyniku karbonatyzacji

Przyjmuje się, że zarówno w warunkach całkowicie suchych, jak i przy pełnym nasyceniu wodą, karbonatyzacja jest bardzo ograniczona. W całkowicie suchym betonie przebieg procesu karbonatyzacji jest znacznie utrudniony, ponieważ pewna minimalna wilgotność jest konieczna do

wstępnego rozpuszczenia wodorotlenku. W betonie nasyconym wodą, utrudniona jest z kolei dyfuzja dwutlenku węgla, co hamuje postęp karbonatyzacji. Karbonatyzacja przebiega najszybciej w warunkach przemienne wilgotno - suchych. Karbonatyzacja jest zjawiskiem bardzo groźnym dla trwałości betonu, zwłaszcza w połączeniu z innymi czynnikami korozyjnymi (innym rodzajem korozji, temperaturą i wilgotnością).

Mechanizm niszczenia konstrukcji żelbetowych spowodowany karbonatyzacją można podzielić na trzy etapy:

- I zubożenie otuliny,
- II uszkodzenie warstw ochronnych na powierzchni stali,
- III pękanie otuliny i zmniejszenie przekroju stali zbrojeniowej.

Czynniki ograniczające karbonatyzację:

- stosowanie odpowiedniej ilości cementu w składzie betonu,
- stosowanie mieszanek betonowych o możliwie niskim współczynniku w/c w celu maksymalnego obniżenia porowatości, a tym samym obniżenia możliwości wnikania CO₂ w strukturę stwardniałego zaczynu cementowego,
- właściwy dobór grubości otuliny zbrojenia (tab. 6.22),
- odpowiednia pielęgnacja betonowanego elementu (wydłużenie okresu pielęgnacji powierzchniowej betonu na mokro pozwala ograniczyć zasięg karbonatyzacji – głębokość wnikania CO₂),
- stosowanie mieszanek betonowych spełniających wymagania normy PN-EN 206:2014 dla klas ekspozycji dotyczących korozji spowodowanej karbonatyzacją (XC1, XC2, XC3, XC4) w zależności od warunków eksploatacji betonu.

Tab. 6.22. Minimalne grubości otuliny betonowej wymagane ze względu na trwałość stali zbrojeniowej

Klasa konstrukcji*	Klasa ekspozycji						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

* Zalecaną klasą konstrukcji (projektowy okres użytkowania 50 lat) jest S4, jeżeli klasa wytrzymałości betonu \geq C30/37 klasę należy podnieść o 1 (S5), w przypadku okresu użytkowania wydłużonego do 100lat klasę należy ponieść o 2 (S6)

6.5.7.2. Korozja chlorkowa

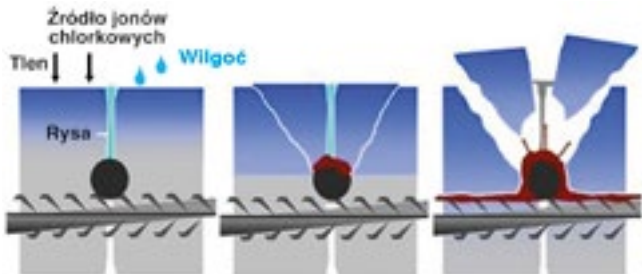
Chlorki występują w betonie głównie w wyniku wprowadzenia do jego składu zanieczyszczonego kruszywa pochodzenia nadmorskiego lub stosowania wody morskiej, lub lekko zasolonej (np. z ujścia rzeki). Źródłem chlorków w mieszance może być również cement, jednak zawartość ta nie przekracza 0,1% masy (wymaganie normowe).

Problem korozji spowodowany zawartością chlorków w betonie pojawia się wówczas, gdy jony chlorkowe wnikają w beton z zewnątrz. Może to być spowodowane działaniem m.in. wód kopalnianych, wody morskiej w konstrukcjach nabrzeżnych czy też stosowaniem środków odladzających (rys. 6.58). Jedną z przyczyn, dla których jony chlorkowe są tak groźne dla zaczynu jest fakt, że matryca cementowa ma charakter silnie zasadowy, natomiast roztwory chlorkowe zazwyczaj wykazują odczyn kwasowy.



Rys. 6.58. Korozja stali spowodowana agresją jonów chlorkowych (ABC Betonu – wyd. Polski Cement)

Decydujące znaczenie dla agresji chlorkowej ma przepuszczalność betonu, gdyż proces korozyjny polega na migracji jonów Cl^- w głąb betonu i transporcie jonów OH^- z wnętrza do powierzchni betonu (szkodliwe działanie chlorków polega przede wszystkim na reakcji chemicznej jonów Cl^- z $\text{Ca}(\text{OH})_2$, dyfuzji jonów OH^-). Jony chlorkowe, spośród wszystkich jonów, dyfundują najszybciej przez matrycę cementową, dlatego korozja betonu poddanego działaniu roztworu chlorków następuje stosunkowo szybko. W konsekwencji agresja chlorkowa prowadzi do obniżenia pH oraz ługowania wapnia z fazy zaczynu cementowego. Głównym skutkiem agresji jonów chlorkowych jest korozja stali zbrojeniowej. Objętość produktów korozji stali jest do 10 razy większa niż objętość stali. Prowadzi to do powstawania naprężeń w betonie, w efekcie dochodzi do zarysowania, spękania i postępującego złuszczenia betonu (rys. 6.59). Wszystko to sprawia, że beton zwiększa swoją przepuszczalność. Minimalna korozja stali zachodzi w betonie suchym lub całkowicie zanurzonym w wodzie.



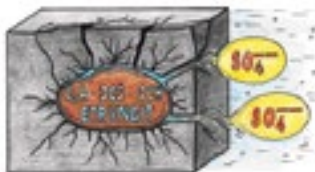
Rys. 6.59. Schematy powstawania zniszczeń powodowanych przez korozję chlorkową

Czynniki ograniczające korozję chlorkową:

- projektowanie betonu o możliwie niskim współczynniku w/c w celu zwiększenia szczelności matrycy cementowej, a tym samym ograniczenia możliwości wnikania wody zawierającej chlorki,
- zastosowanie cementów z dodatkami mineralnymi (np. cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II, cement hutniczy CEM III, cement wieloskładnikowy CEM V), skutkujące znacznym ograniczeniem przepuszczalności betonu i zwiększeniem oporu właściwego, zmniejszając w ten sposób szybkość korozji,
- odpowiedni dobór grubości otuliny zbrojenia – im grubsza warstwa otuliny, tym dłuższy okres czasu musi upłynąć zanim proces korozyjny zostanie zainicjowany (koncentracja jonów chlorkowych przy powierzchni stali osiągnie wartość graniczną) – tab. 6.22,
- stosowanie mieszanek betonowych spełniających wymagania normy PN-EN 206:2014 dla klas zawartości chloru w zależności od zastosowania betonu (beton niezbrojony, żelbet),
- stosowanie mieszanek betonowych spełniających wymagania normy PN-EN 206:2014 dla klas ekspozycji dotyczących agresji spowodowanej chlorkami nie pochodzącymi z wody morskiej (XD1, XD2, XD3) lub/i agresji spowodowanych chlorkami z wody morskiej (XS1, XS2, XS3) w zależności od warunków wilgotnościowych.

6.5.7.3. Korozja siarczanowa

Korozja siarczanowa występuje najczęściej w konstrukcjach narażonych na działanie wód gruntowych, ścieków lub wody morskiej. Siarczany w wodzie gruntowej zazwyczaj są pochodzenia naturalnego, ale ich źródłem mogą być również nawozy sztuczne i ścieki przemysłowe. Natomiast w wodzie morskiej jonom siarczanowym towarzyszą duże ilości jonów chlorkowych, sodowych i magnezowych, co potęguje jej niszczące oddziaływanie na beton. Sole siarki w stanie stałym nie są zagrożeniem dla betonu, jednak w sytuacji, gdy pojawiają się w roztworze, mogą reagować ze składnikami zhydratyzowanego zaczynu cementowego. Czynnikiem niszczącym jest anion siarczanowy SO_4^{2-} , natomiast składnikami atakowanymi w zaczynie cementowym są wodorotlenek wapnia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ przechodzący podczas krystalizacji w gips oraz glinian trójwapniowy C_3A przechodzący w ettringit (rys. 6.60).



Rys. 6.60. Niszczenie betonu spowodowane powstaniem ekspansywnego ettringitu (ABC Betonu – wyd. Polski Cement)

Początkowo powstające kryształy gipsu i ettringitu uszczelniają beton i podnoszą jego wytrzymałość na ściskanie. Po przekroczeniu granicy uszczelniania struktura prowadzi do jej rozsadzenia i zniszczenia stwardniałego betonu. Ten typ korozji mogą powodować w zasadzie wszystkie sole mineralne, jeżeli warunki eksploatacji sprzyjają krystalizacji soli w porach betonu (np. podsiąkanie kapilarne wody zawierającej rozpuszczone siarczany, połączone z obsychaniem).

Warto zwrócić uwagę, że krystalizacji ettringitu towarzyszy zwiększenie objętości fazy stałej o około 168%, podczas gdy, dla porównania, krystalizacja wody w postaci lodu powoduje zwiększenie objętości zaledwie o 10%.

Wyróżnia się dwa rodzaje ataku siarczanowego na beton: wewnętrzny i zewnętrzny (rys. 6.61). Pierwszy przypadek zachodzi w betonach, do których wraz z cementem wprowadzono nadmierną ilość siarczanów (głównie w wyniku zbyt dużej, nienormowej zawartości gipsu w cemencie) i/lub poddawanych obróbce termicznej w temperaturze wyższej niż 60°C. Drugi przypadek odpowiada sytuacji, w której beton poddawany jest działaniu roztworów soli siarczanowych. W tym przypadku jony siarczanowe reagują z matrycą cementową, a zwłaszcza z portlandytem Ca(OH)_2 .



Rys. 6.61. Rodzaje i przyczyny korozji siarczanowej

Agresja siarczanowa jest jedną z najgroźniejszych korozji występujących w trakcie cyklu życia konstrukcji betonowej. Do skutków fizycznych agresji siarczanowej należy zaliczyć ekspansję, spękania, łuszczenie czy spadek wytrzymałości, a w przypadku silnej korozji może dojść nawet do całkowitej destrukcji betonu (elementu konstrukcji). Szybkość zniszczenia matrycy cementowej zależy w pierwszej kolejności od przepuszczalności betonu i szybkości dyfuzji jonów w betonie.

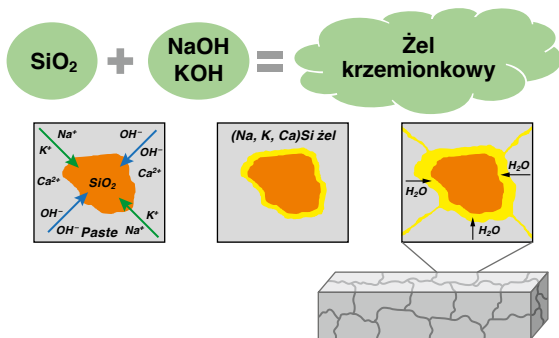
Czynniki ograniczające agresję siarczanową:

- zapewnienie wysokiej szczelności betonu (niskie w/c, stosowanie dodatków typu II),
- stosowanie cementu odpornego na siarczany (SR, HSR),
- stosowanie mieszanek betonowych spełniających wymagania normy PN-EN 206:2014 dla klas ekspozycji dotyczących agresji chemicznej XA w zależności od stopnia agresywności środowiska.

6.5.7.4. Korozja alkaliczna (ASR)

Reakcja alkaliów z niektórymi składnikami kruszywa może być przyczyną spękania, a nawet zniszczenia betonu wskutek ekspansji produktów reakcji krzemionki ze związkami alkalicznymi (rys. 6.62). Spośród znanych przyczyn destrukcji betonu, wynikających z oddziaływań między reaktywnymi składnikami kruszyw i alkaliów, w praktyce najczęściej spotyka się:

- reakcje alkaliów z kruszywami bogatymi w reaktywną krzemionkę,
- reakcje alkaliów z kruszywami węglanowymi.



Rys. 6.62. Mechanizm reakcji alkalia – reaktywna krzemionka ze składu kruszywa

Do najpowszechniej występujących reaktywnych form krzemionki w kruszywie należy zaliczyć opal, chalcedon oraz trydymit. Reakcja reaktywnych form krzemionki z alkaliami polega na agresywnym działaniu wodorotlenków powstających z alkaliów zawartych w cemencie z minerałami krzemionkowymi zawartymi w kruszywie. W konsekwencji powstaje żel alkaliczno-krzemionkowy (rys. 6.62), który przyjmuje znaczne ilości wody, tym samym zwiększając swoją objętość. Ponieważ żel ograniczony jest stwardniałym zaczynem cementowym, powstaje ciśnienie wewnętrzne, które powoduje pęcznienie, a w dalszej kolejności pękanie i rozpad uwodnionego zaczynu cementowego.

Do reaktywnych skał węglanowych należy zaliczyć zdolomityzowane wapienie z domieszkami minerałów ilastych, o bardzo drobnoziarnistej teksturze, które zawierają kryształy dolomitu, rozproszone w matrycy złożonej z minerałów ilastych oraz pelitu kalcytowego. Reakcja kruszyw węglanowych z alkaliami prowadzi do rozkładu dolomitu (powstaje wodorotlenek magnezu oraz węglany wapnia, magnezu i sodu). W wyniku reakcji alkaliów z dolomitem powstaje żel, który chłonec wodę pęcznieje w sposób podobny do pęcznienia gliny, wokół aktywnych ziaren powstają otoczki o grubości nawet 2 mm, co w konsekwencji prowadzi do powstania siatki pęknięć i utratę przyczepności pomiędzy stwardniałym zaczynem cementowym a kruszywem węglanowym.

Czynniki ograniczające negatywne skutki spowodowane reakcją kruszywa z alkaliami:

- stosowanie cementów o niskiej zawartości aktywnych alkaliów (cementy NA wg normy PN-B-19707:2013),
- stosowanie kruszyw niezawierających składników mogących wchodzić w reakcje z alkaliami (kruszywa niereaktywne),
- stosowanie cementów zawierających w składzie dodatki mineralne np. popioły lotne (rys. 6.63), granulowany żużel wielkopiecowy (dodatki zmniejszają przepuszczalność stwardniałego betonu oraz wiążą pewną ilość alkaliów w reakcji pucolanowej).



Rys. 6.63. Reakcja ASR, a) przykład destrukcji betonu zwykłego, b) beton z dodatkiem popiołu lotnego

6.6. Właściwości betonów specjalnych

W ostatnich latach, w dziedzinie technologii betonu nastąpił bardzo intensywny rozwój. W konsekwencji, obok betonu zwykłego, pojawiły się betony nowej generacji – betony o właściwościach specjalnych, kompozyty wieloskładnikowe, wyższej jakości, nie tylko w aspekcie wytrzymałości, ale i trwałości. Specjalne właściwości betonu można osiągnąć poprzez optymalny ilościowo-jakościowy dobór składników – cementu, wody, kruszywa, domieszek, dodatków (w niektórych przypadkach istnieje konieczność zastosowania nietypowych składników – włókien, proszków reaktywnych, specjalnych kruszyw, kombinacji domieszek chemicznych) oraz poprzez dokonywanie na najwyższym poziomie czynności technologicznych. Do betonów specjalnych zaliczyć można:

- betony samozagęszczalne (SCC),
- betony wysokowartościowe (BWW, UWBB),
- betony architektoniczne,
- betony ciężkie, lekkie, komórkowe,
- betony masywne,
- fibrobetony,
- betony o właściwościach fotokatalitycznych,
- betony z kruszyw z recyklingu.

6.6.1. Technologia betonów samozagęszczalnych (SCC)

Beton samozagęszczalny SCC charakteryzuje się:

- zagęszczeniem i odpowietrzeniem mieszanki betonowej pod własnym ciężarem (bez użycia urządzeń wibrujących),
- bardzo płynną konsystencją i wysoką urabialnością mieszanki betonowej,
- brakiem segregacji, odpornością na „bleeding” (samoistny wyciek wody z mieszanki),
- szczelnym wypełnieniem form i deskowań, nawet w elementach gęsto zbrojonych.

Zastosowanie betonu SCC

Beton samozagęszczalny stosowany jest jako beton towarowy, w prefabrykacji (do wypełnienia matryc, form poziomych i pionowych) oraz tam, gdzie nie ma możliwości zabudowania mieszanki z betonu zwykłego. Można go stosować również jako:

- beton wysokowytrzymałościowy w produkcji sprężonych zbiorników na ciecze i gazy,
- beton mostowy – fundamenty i filary mostów,
- beton układany bez wibrowania przy wykonywaniu betonowych konstrukcji masywnych,
- przy betonowaniu zbiorników oczyszczalni ścieków,
- w budownictwie tunelowym – monolityczne ściany tuneli kolejowych,
- beton hydrotechniczny – fundamenty betonowane pod wodą.

Głównymi zaletami betonów samozagęszczalnych jest możliwość dokładnego odwzorowania powierzchni form, bez raków i pęcherzy, betonowania bardzo skomplikowanych kształtów, czy pompowania mieszanki betonowej od dołu. SCC zapewnia lepszą przyczepność do zbrojenia niż dla betonów tradycyjnych. Koszt betonów samozagęszczalnych jest niewiele wyższy lub porównywalny do ceny betonów zagęszczanych tradycyjnie o takiej samej klasie, a wartości użytkowe i walory estetyczne nieporównywalne.

W tab. 6.23 przedstawiono właściwości betonu SCC dla różnych zastosowań.

Tab. 6.23. Właściwości betonu SCC dla różnych typów zastosowań

Lepkość	Rozplływ			Odporność na segregację/zdolność przepływu
	SF1	SF2	SF3	
VS2 VF2	pochylnie			Określa zdolność przepływu dla klas SF1 i SF2
VS1 lub VS2 VF1 lub VF2 lub określona wartość	ściany i podpory wysokie i smukłe			Określa SR dla klasy SF3
VS1 VF1	stropy i płyty			Ustalony SR dla klasy SF2 i SF3

Korzyści wynikające ze stosowania betonu SCC:

- eliminacja wibrowania – redukcja hałasu (możliwość betonowania nocą w pobliżu budynków mieszkalnych), redukcja drgań, ograniczenie liczby pracowników (kosztów robocizny), redukcja energii,
- większa szybkość wykonywania konstrukcji – krótszy czas formowania, szybsze wbudowywanie,
- wykonywanie konstrukcji o bardzo skomplikowanych kształtach,
- wysoka jakość wykonania.

Przykładowe recepty betonów SCC wykonanych z użyciem cementów z oferty Górażdże Cement S.A. pokazano w tab. 6.24.

Właściwości mieszanek betonowych SCC przedstawiono w tab. 6.25. oraz na rys. 6.64.

Tab. 6.24. Skład mieszanek betonowych SCC

Składniki [kg/m ³]	Receptura		
	1	2	3
Rodzaj cementu	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	CEM II/B-S 42,5N
Cement	370	370	370
Piasek 0-2 mm	700	725	729
Żwir 2-8 mm	468	484	487
Żwir 8-16 mm	468	484	487
Popiół lotny	180	180	180
Superplastyfikator	1,18%	1,95%	1,5%
Woda	170	148	148
w/(c+s)	0,46	0,40	0,40

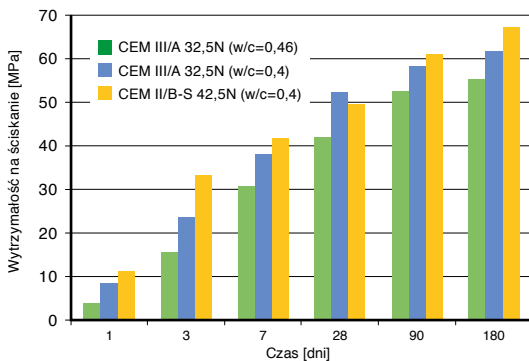
Tab. 6.25. Właściwości mieszanki betonowej SCC

Właściwość	Receptura		
	1	2	3
Rodzaj cementu	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	CEM III/A 32,5NA-LH/HSR/NA	CEM II/B-S 42,5N
Rozpływ [cm]	69	75	72
Czas rozplywu do średnicy 50 cm [s]	5,0	7,0	7,0
Gęstość [kg/m ³]	2127	2159	2112
Współczynnik w/c	0,46	0,4	0,4



Rys. 6.64. Badanie konsystencji mieszanki samozagęszczalnej – pomiar rozplywu stożka

Na rys.6.65 zaprezentowano wyniki badań wytrzymałości na ściskanie betonów samozagęszczalnych.



Rys. 6.65. Przyrost wytrzymałości na ściskanie betonu SCC

Przykładem zastosowań SCC w Polsce jest np. Most Zamkowy w Rzeszowie (rys. 6.66), podpory obiektów mostowych na Węzle Sońnica (skrzyżowanie autostrad A1 i A4), prefabrykowane elementy fasadowe budynku Roma Center w Warszawie.



Rys. 6.66. Most zamkowy w Rzeszowie wykonany z betonu samozagęszczalnego

6.6.2. Technologia betonów wysokowartościowych (BWW)

Beton wysokowartościowy BWW, jest kompozytem, w którym jedna lub kilka cech charakterystycznych (właściwości), w porównaniu do betonu zwykłego, uległa udoskonaleniu wskutek odpowiedniego doboru rodzaju oraz proporcji składników, tak by dostosować wymagane właściwości (trwałość) do potrzeb i warunków eksploatacji konstrukcji.

Beton wysokowartościowy charakteryzuje się:

- dobrą urabialnością mieszanki betonowej (przez co najmniej 60 min, a nawet do 90 min),
- wysoką wytrzymałością na ściskanie,
- wysoką mrozoodpornością (min. F150),
- wysoką trwałością,
- odpornością na ścieranie.

Do głównych obszarów zastosowań betonu wysokowartościowego należą:

- budownictwo wysokie (przemysłowe, wielorodzinne, biurowe, szczególnie słupy nośne),
- budownictwo komunikacyjne – budowa mostów, nawierzchni drogowych i obudowa tuneli,
- budowa platform wiertniczych,
- budownictwo energetyczne (obudowa reaktorów jądrowych i chłodni powłokowych),
- produkcja prefabrykatów wielkowymiarowych.

W tab. 6.26 przedstawiono właściwości betonów wysokowartościowych z uwagi na znaczenie w konstrukcji obiektu.

Tab. 6.26. Właściwości betonu wysokowartościowego w konstrukcjach

Rodzaj konstrukcji	Poprawa właściwości materiałów w porównaniu do betonów zwykłych
Mosty	Wyższa wczesna wytrzymałość, lepsza urabialność, większa trwałość, mniejsze odkształcenia, wysoka wytrzymałość końcowa
Konstrukcje morskie	Większa trwałość, wysoka wytrzymałość na ściskanie i ścinanie, lepsza urabialność, wyższa odporność na uderzenia oraz na ścieranie
Budynki wysokie	Wyższa wytrzymałość na ściskanie i ścinanie, lepsza urabialność, wyższa wytrzymałość wczesna, mniejsza odkształcalność
Tunele	Duża trwałość, wyższa wytrzymałość na ściskanie, wyższa wczesna wytrzymałość, wysoka szczelność
Nawierzchnie drogowe	Wyższa wytrzymałość na ścieranie i uderzenia, wyższa odporność na cykle zamrażania i odmrażania, duża wytrzymałość na ścinanie, trwałość, lepsza urabialność
Prefabrykowane elementy konstrukcyjne	Wyższa wytrzymałość wczesna, wyższa wytrzymałość na ściskanie i ścinanie, lepsza urabialność, mniejsza masa konstrukcji
Elementy odwodnienia	Wysoka trwałość i odporność na ścieranie, wyższa wytrzymałość na ściskanie, lepsza urabialność

Podstawą projektowania i wykonania BWW jest odpowiedni dobór tradycyjnych składników (cementu, kruszywa, wody i dodatków mineralnych) podporządkowany głównie wymaganiom dobrej urabialności mieszanki betonowej, a później osiągnięciu odpowiedniej szczelnej struktury betonu zapewniającej zachowanie wszystkich wyróżniających właściwości BWW. W tym celu należy bardzo starannie dobrać składniki pod względem ich właściwości oraz odpowiedniej jakości. W celu polepszenia szczelności mikrostruktury stosuje się dodatki mineralne (pył krzemionkowy, popioły lotne kategorii S, metakaolin, itp.).

W niektórych klasyfikacjach pojawia się dodatkowa grupa betonów – betony ultrawysokowartościowe (BUWW). Przyjęło się, że są to betony o wytrzymałości na ściskanie powyżej 200 MPa i o bardzo szczelnej mikrostrukturze, co jest gwarantem wysokiej trwałości.

Porównanie cech betonu wysokowartościowego (BWW), betonu ultrawysokowartościowego (BUWW) i betonu zwykłego przedstawiono w tab. 6.27.

Tab. 6.27. Orientacyjne porównanie właściwości betonów

Właściwość	Beton zwykły (BZ)	Beton wysokowartościowy (BWW)	Beton ultrawysokowartościowy (BUWW)
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	< 50	60-200	>200
Współczynnik sprężystości [GPa] – zależnie od kruszywa	25–30	40–50	50–80
Współczynnik w/c	> 0,50	< 0,40	ok. 0,20
Domieszka chemiczna	Niekonieczna, ale zalecana	Plastyfikator lub superplastyfikator	Superplastyfikator wysokiej jakości
Dodatek mineralny	Niekonieczny	Mikrokrzemionka, popioły lotne, żużel mielony	Mikrokrzemionka
Włókna zbrojenia	Korzystne	Korzystne	Istotnie potrzebne
Pielęgnacja	Tradycyjna	Tradycyjna	Obróbka cieplna i ewentualnie ciśnieniowa
Współczynnik ścieralności	4,0	2,8	1,3
Średnia głębokość karbonizacji	10	2	0
Ustalona dyfuzja jonów chlorkowych [$\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$]	1,1	0,6	0,02

W oparciu o przedstawione cechy BWW, można zdefiniować korzyści wynikające z ich stosowania:

■ **dla projektantów:**

- wyższa wytrzymałość, prowadząca do smuklejszych i lżejszych konstrukcji,
- szybsza stabilizacja strat sprężenia i tolerancji montażowych,
- nowe możliwości konstrukcyjne, zwłaszcza w ustrojach zespolonych i obiektach pracujących w środowisku agresywnym,

■ **dla wykonawców:**

- wysoka wytrzymałość „młodego” betonu umożliwiająca wczesne obciążanie konstrukcji a zarazem przyspieszenie realizacji obiektu,
- możliwość dobierania urabialności i czasu przerobu mieszanki stosownie do wymagań transportu i układania betonu,

■ **dla inwestorów:**

- uzyskiwanie korzystniejszych funkcjonalnych cech obiektów, np. mniejszych przekrojów słupów, większych rozpiętości,
- wyższa jakość konstrukcji, w tym uzyskiwanie powierzchni niewymagających wykończenia,
- zdecydowanie większa trwałość, w różnych aspektach fizycznych i chemicznych,
- ograniczenie niezbędnych zabiegów konserwacyjnych w toku eksploatacji,

■ **dla środowiska:**

- zmniejszenie zużycia materiałów i wysoka estetyka obiektów,
- wysoka trwałość wznoszonych obiektów w całym cyklu życia (oszczędność naturalnych kopalin).

Przykładowe składy betonów wysokowartościowych (BWW) wykonanych na cementach z oferty Górażdże Cement S.A. przedstawiono w tab. 6.28. Właściwości mieszanek betonowych przedstawiono w tab. 6.29.

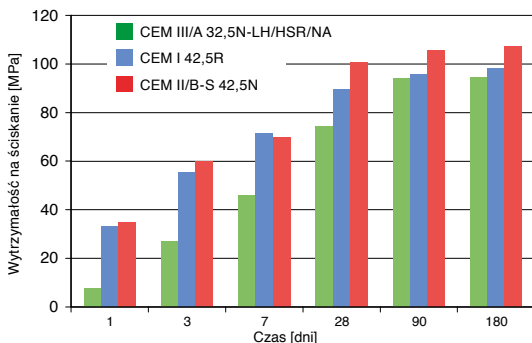
Tab. 6.28. Skład mieszanek betonowych BWW

Składniki [kg/m ³]	Receptura		
	1.	2.	3.
Rodzaj cementu	CEM I 42,5R	CEM II/B-S 42,5N	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA
Cement	465	465	465
Piasek 0–2 mm	700	700	700
Grys bazaltowy 2–8 mm	622	622	622
Grys bazaltowy 8–16 mm	598	598	598
Pył krzemionkowy	35 (7,5% m.c.)	35 (7,5% m.c.)	35 (7,5% m.c.)
Superplastyfikator [%]	1,25	1,25	1,0
Woda	150	150	150
w/c	0,32	0,32	0,32

Tab. 6.29. Właściwości mieszanki betonowej BWW

Właściwość	Receptura		
	1.	2.	3.
Rodzaj cementu	CEM I 42,5R	CEM II/B-S 42,5N	CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA
Opad stożka [cm]	22,0	23,0	23,0
Zawartość powietrza [%]	1,8	1,6	1,7
Gęstość [kg/m ³]	2590	2598	2577
w/c	0,32	0,32	0,32

Na rys. 6.67 pokazano wytrzymałość na ściskanie BWW.

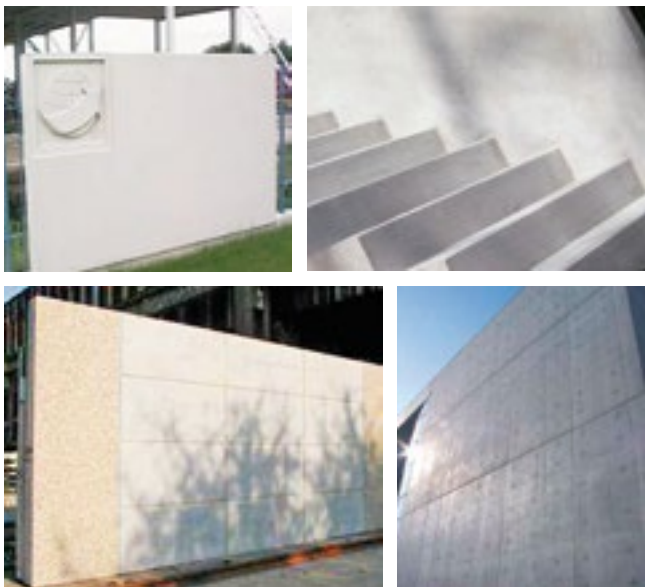


Rys. 6.67. Przyrost wytrzymałości na ściskanie betonów wysokowartościowych

6.6.3. Beton architektoniczny

Beton architektoniczny spełnia wymagania konstrukcyjne przy równoczesnym uzyskaniu estetycznych i trwałych zewnętrznych powierzchni, niewymagających gruntownego malowania czy tynkowania (rys. 6.68). W celu zagwarantowania tych właściwości wymagana jest szczególna dokładność i staranność na etapie przygotowania oraz zabudowy mieszanki betonowej.

Brak krajowych przepisów i norm dotyczących betonu architektonicznego oraz fakt, iż jakość powierzchni bardzo często jest oceną subiektywną. Pomocne są wytyczne niemieckie, które dzielą betony architektoniczne na klasy pod względem jakości wykonywanej powierzchni (tab.6.30 – 6.32). Każda z klas zawiera wymagania dotyczące m.in.: tekstury, ilości porów na powierzchni, jednorodności barwy, równości powierzchni oraz przerw roboczych i fug deskowaniowych.



Rys. 6.68. Przykłady zastosowań betonów architektonicznych

Najważniejsze są wymagania dotyczące tekstury, ilości porów na powierzchni oraz jednorodności koloru zawarte w klasach wymienionych w tab. 6.30 – 6.32.

Tab. 6.30. Klasy tekstury

Klasa	Wymogi
T1	Powierzchnia zamknięta. Dopuszczalny wypływ zaczynu w obszarze kontaktu deskowań do około 20 mm szerokości i 10 mm głębokości, dopuszczalne odbicie ram konstrukcyjnych
T2	Powierzchnie zamknięte o dużym stopniu jednorodności. Dopuszczalny wypływ zaczynu w obszarze kontaktu deskowań do ok. 10 mm szerokości i 5 mm głębokości, dopuszczalne odbicie ram konstrukcyjnych, dozwolone klawiszowanie płyt szalunkowych do ok. 5 mm
T3	Gładkie, zamknięte powierzchnie o wysokim stopniu jednorodności. Dozwolony wypływ zaczynu do ok. 3 mm szerokości, dozwolone spoiny technologiczne do około 3 mm szerokości

Tab. 6.31. Klasy porowatości

Klasy	Suma powierzchni porów o średnicy od 2 do 15 mm* na powierzchni badanej o wymiarach 500 × 500 mm [mm ²]
P1	do 3000
P2	do 2250
P3	do 1500
P4	do 750

* pory o wielkości powyżej 15 mm uznawane są za defekt

Tab. 6.32. Klasy równomierności odcienia koloru

Klasy	Wymogi
FT1	Dozwolone są ciemne i jasne plamy lub powierzchnie. Zanieczyszczenia powierzchniowe oraz ślady rdzy są niedozwolone
FT2	Dozwolone są powierzchnie o umiarkowanej różnicy w odcieniach. Zanieczyszczenia powierzchniowe oraz ślady rdzy są niedozwolone, niedopuszczalne jest stosowanie różnych technik obróbki powierzchni oraz zmian w surowcach do produkcji mieszanki betonowej
FT3	Dozwolone są powierzchnie o znikomej różnicy w odcieniach. Zanieczyszczenia i ślady rdzy są niedozwolone, niedopuszczalne jest stosowanie różnych technik obróbki powierzchni oraz zmian w surowcach do produkcji betonu, niedopuszczalne są naprawy powierzchni. Konieczne jest określenie wpływu środka antyadhezyjnego.

Podczas wykonywania elementów z betonu architektonicznego, należy zwrócić uwagę na:

- sprawdzenie deskowania przed zastosowaniem (jakość powierzchni sklejki deskowaniowej, równomierność naprężenia kotw deskowaniowych, odpowiednie pokrycie lakierem ciętych krawędzi płyt deskowania),
- stan czystości deskowania, zwłaszcza pod kątem zanieczyszczeń organicznych oraz resztek pochodzących z prac zbrojarskich,
- konieczność stosowania dodatkowych uszczelnień (zwłaszcza przy stosowaniu mieszanek betonów samozagęszczalnych),
- stosowanie, na tej samej powierzchni, płyt szalunkowych pochodzących od jednego producenta,
- właściwy dobór środka antyadhezyjnego,
- odpowiednie rozprowadzenie środka antyadhezyjnego.

Proces doboru ilościowego i jakościowego poszczególnych składników mieszanki betonowej wymusza na technologu uwzględnienie dodatkowych wymagań, takich jak: zapewnienie odpowiedniej urabialności i odporności na segregację mieszanki betonowej oraz ocenę wpływu poszczególnych składników na estetykę powierzchni wykonywanego elementu (równomierny odcień barwy, brak raków).

Ogólne zalecenia dla betonów architektonicznych podano w tab. 6.33.

Tab. 6.33. Wymagania i zalecenia dla betonów architektonicznych

Klasa betonu architektonicznego	Przykład	Wymogi stawiane powierzchni licowej elementu						Dodatkowe wymagania		Koszty
		porowatość		jednorodność koloru		równość powierzchni	przerwy robocze i fugi deskowania	obszar referencyjny	klasa deskowania	
		s ¹⁾	ns ²⁾	s ¹⁾	ns ²⁾					
Podział betonu architektonicznego ze względu na wymogi powierzchni	Niewielkie	Powierzchnie betonu z niskimi wymaganiami estetycznymi. Ściany piwnic lub obszary o przeznaczeniu głównie handlowym	T1	P1	FT1	FT1	E1	AF1	SHK1	Niskie
			T2	P2	FT2	FT2	E1	AF2	SHK2	
	Wysokie	Powierzchnie betonu o szczególnie wysokim znaczeniu estetycznym. Reprezentatywne elementy budynku	T2	P3	FT2	FT2	E2	AF3	SHK2	Wysokie
			T3	P4	FT2	FT3	E3	AF4	SHK3	

¹⁾ Deskowania chłonne, ²⁾ Deskowania niechlonne

6.6.4. Beton ciężki

Norma PN-EN 206:2014 definiuje beton ciężki, jako beton o gęstości w stanie suchym większej niż 2600 kg/m^3 . Ze względu na wytrzymałość na ściskanie jest klasyfikowany tak jak beton zwykły (patrz pkt. 4.3.4).

Beton ciężki klasyfikuje się jest jako beton specjalny ze względu na stosowanie kruszyw ciężkich, których gęstość przekracza 4000 kg/m^3 (baryt, magnetyt) i specjalne przeznaczenie.

Beton ciężki stosowany jest jako zabezpieczenie (osłona) przed szkodliwym promieniowaniem jonizującym. Wykonuje się z niego elementy konstrukcji (ściany, stropy) w pomieszczeniach osłonowych (bunkrach) w:

- szpitalach onkologicznych,
- jednostkach naukowo-badawczych,
- elektrowniach atomowych.

Z uwagi na duży ciężar objętościowy stosowany może być także w konstrukcjach przeciwwag, np. do żurawi wieżowych.

Skład betonu ciężkiego, wykorzystanego do budowy osłony przed promieniowaniem radioaktywnym w Wielkopolskim Centrum Onkologii przedstawiono w tab. 6.34, właściwości podano w tab. 6.35.

Tab. 6.34. Skład betonu ciężkiego na kruszywie barytowym

Składnik	Ilość w stanie suchym [kg/m^3]
CEM III/A 32,5N	380
Piasek łamany barytowy 0/4 mm	1035
Grys barytowy 4/16 mm	1765
Mączka barytowa	50
Superplastyfikator PCP (0,7%)	2,65
Woda	175

Tab. 6.35. Właściwości stwardniałego betonu barytowego

Wiek betonu [dni]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Gęstość objętościowa [kg/dm^3]
7	34,3	3,41
28	44,9	3,41
56	49,1	3,42

6.6.5. Beton lekki

Beton lekki wg normy PN-EN 206:2014 to beton o gęstości w stanie suchym nie mniejszej niż 800 kg/m^3 i nie większej niż 2000 kg/m^3 . Norma klasyfikuje betony lekkie z uwagi na wytrzymałość na ściskanie i gęstość (patrz pkt. 4.3.4).

Beton lekki uzyskuje się poprzez wprowadzenie do mieszanki betonowej porów powietrza, w jeden z trzech możliwych sposobów:

- w ziarnach kruszywa lekkiego (beton lekki kruszywowy),
- w zaczynie cementowym (beton komórkowy),
- pomiędzy ziarna kruszywa grubego w betonach wytwarzanych bez kruszywa drobnego (beton jamisty).

Zaproponowany przez RILEM podział betonów lekkich przedstawiono w tab. 6.36.

Tab. 6.36. Podział betonów lekkich (wg RILEM)

Właściwość	Beton lekki		
	konstrukcyjny	konstrukcyjno-izolacyjny	izolacyjny
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	>15	>3,5	>0,5
Współczynnik przewodzenia ciepła [W/(m·K)]	—	<0,75	<0,30
Gęstość objętościowa [kg/m^3]	1600÷2000	<1600	<<1450

Zastosowanie betonu lekkiego:

- budownictwo mostowe (możliwość budowania mostów o większej rozpiętości przęsła),
- platformy wiertnicze,
- ściany o podwyższonej izolacyjności cieplnej,
- wylewki do podłóg i stropów (podbudowa dla systemów podłóg pływających, warstwa wyrównawcza w systemach ogrzewania podłogowego),
- wypełnienia przestrzeni (np. wokół przewodów, wypełnienie nisz w gruntach i elementach budowlanych),
- nawierzchnie i podbudowy wodoprzepuszczalne.

Korzyści wynikające ze stosowania betonu lekkiego:

- obniżenie masy konstrukcji (konstrukcyjny beton lekki),
- zmniejszenie przekroju elementów nośnych,
- zmniejszenie wymiarów fundamentów,
- wykonywanie budowli na gruncie o niskiej nośności,
- lepsza izolacja cieplna (beton izolacyjny),
- możliwość wykonania nowoczesnych wodoprzepuszczalnych nawierzchni i podbudów (beton jamisty, rys. 6.69).



Rys. 6.69. Beton jamisty

Przykładowe receptury betonów lekkich na kruszywie Pollytag (popioło – poryt) przedstawiono w tab. 6.37, właściwości tych betonów podano w tab. 6.38.

Tab. 6.37. Składy betonów lekkich (na 1 m³)

Składnik		Jednostka	Ilość	
			Beton 1	Beton 2
Cement CEM I 52,5R		kg	497	420
Pollytag	6/12		375	385
	4/8		192	193
Piasek			633	736
Pył krzemionkowy			49,7	42,0
Superplastyfikator		% m. c.	2,7	3,3
Woda		kg	227	226
W/C			0,46	0,54

Tab. 6.38. Właściwości betonów lekkich

Wiek betonu [dni]	Średnia wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]	Gęstość objętościowa [kg/dm ³]
Beton 1	50,6	1,91
Beton 2	41,3	1,87

6.6.6. Beton komórkowy

Norma betonowa PN-EN 206:2014 nie obejmuje zakresem betonu komórkowego. Normami wiodącymi dla elementów prefabrykowanych z autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) są normy z serii PN-EN 771 oraz PN-EN 772.

ABK jest to beton o niskiej gęstości objętościowej zawierający znaczne ilości zamkniętych porów sferycznych. Otrzymywany jest na drodze obróbki hydrotermalnej w autoklawach (rys. 6.70).

Wyróżnia się 5 etapów produkcji ABK:

1. mieszanie składników,
2. wyrastanie masy,
3. dojrzewanie masy,
4. krojenie masy,
5. autoklawizacja.

Autoklawizacja jest jednym z kluczowych procesów w produkcji ABK, prowadzona jest w wysokociśnieniowych autoklawach (rys. 6.70) w temperaturze $180 \div 200^{\circ}\text{C}$ i ciśnieniu pary wodnej $1,1 \div 1,3$ MPa. Czas autoklawizacji jest zmienny i wynosi średnio $10 \div 14$ h, w zależności od gęstości wytwarzanego betonu komórkowego i objętości danego wyrobu. Proces autoklawizacji zapewnia betonowi komórkowemu odpowiednie właściwości takie jak: wytrzymałość, mrozoodporność, trwałość oraz pozwalana na eliminację skurczu chemicznego.



Rys. 6.70. Autoklaw wysokociśnieniowy do produkcji wyrobów z ABK

Surowcami wykorzystywanymi do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego są:

- spoiwo – wapno palone i cement (cement portlandzki CEM I lub cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II),
- kruszywo – piasek, popiół lotny, granulowany żużel wielkopiecowy, inne surowce krzemionkowe,
- środki porotwórcze – proszek aluminiowy, pasta aluminiowa,
- woda,
- domieszki chemiczne.

Podstawowymi właściwościami ABK decydującymi o jego szerokim zastosowaniu są:

- niska gęstość objętościowa ($300 \div 1000 \text{ kg/m}^3$),
- wytrzymałość na ściskanie do 7 MPa,
- izolacyjność cieplna (współczynnik przewodzenia ciepła λ wynosi $0,08 \div 0,20 \text{ W/m} \cdot \text{K}$),
- odporność na bakterie, pleśnie, grzyby,
- łatwość obróbki,
- tworzenie odpowiedniego mikroklimatu.

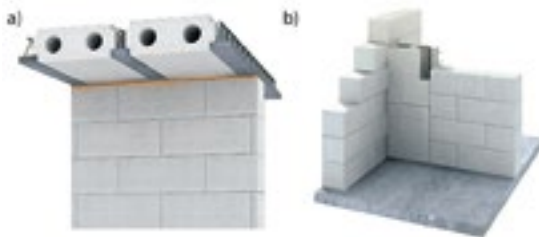
W tab. 6.39 przedstawiono klasyfikację ABK ze względu na średnią wytrzymałość na ściskanie w stanie wilgotności $6 \pm 2\%$ masy (wg normy PN-EN 771-4:2012).

Tab. 6.39. Klasyfikacja elementów murowych ABK

Klasa wytrzymałości na ściskanie	Średnia wytrzymałość na ściskanie, [N/mm ²]
1,5	1,5
2,0	2,0
2,5	2,5
3,0	3,0
3,5	3,5
4,0	4,0
4,5	4,5
5,0	5,0
6,0	6,0
7,0	≥7,0

Wyroby z autoklawizowanego betonu komórkowego znajdują zastosowanie głównie w budownictwie mieszkaniowym, szczególnie jednorodzinym. Do głównych kierunków zastosowań betonów komórkowych należą:

- wykonywanie stropów – zbrojone elementy stropowe i stropodachowe (rys. 6.71a),
- wykonanie ścian nośnych do trzech kondygnacji i działowych (rys. 6.71b),
- wykonywanie zbrojonych elementów nadproży i wieńców,
- wypełnienie konstrukcji szkieletowych,
- wykonywanie przegród ogniowych oraz elementów osłonowych.



Rys. 6.71. Przykładowe elementy wykonane z betonu komórkowego

6.6.7. Betony masywne

Betonem masywnym określa się beton przeznaczony do zabudowy w konstrukcji (elemencie) o rozmiarach na tyle dużych, że w zagadnieniach technologii betonu należy uwzględnić wpływ ciepła hydratacji cementu. Konstrukcję uznaje się za masywną, jeżeli jej moduł powierzchniowy, czyli stosunek powierzchni do objętości (F/V), wynosi poniżej 2 oraz samoistny wzrost jego temperatury przekracza 20°C (tab. 6.40), np. elementy zbiorników w oczyszczalniach ścieków, fundamenty, podpory mostów, itp.

Tab. 6.40. Klasyfikacja budowli betonowych

Konstrukcja	Moduł powierzchniowy ($m = F/V$):	Samooceplenie betonu
Niemasywna	> 15	$1 \div 3^{\circ}\text{C}$
Średniomasywna	$2 \div 15$	$3 \div 20^{\circ}\text{C}$
Masywna	< 2	$> 20^{\circ}\text{C}$

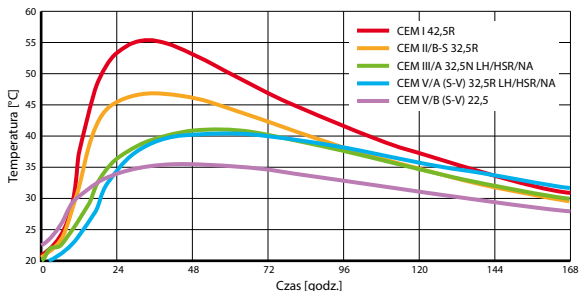
W konstrukcjach masywnych, wewnątrz betonu, w wyniku procesu hydratacji cementu nagrzewa i rozszerza się, w tym samym czasie zewnętrzne jego warstwy, na skutek wymiany ciepła z otoczeniem, ulegają ochłodzeniu i kurczą się. Skutkiem tego są powstające naprężenia rozciągające mogące prowadzić w młodym betonie (niska wytrzymałość na rozciąganie) do zarysowania i spękania konstrukcji. W celu zminimalizowania ryzyka powstawania rys i pęknięć, zaleca się, aby gradient temperatur wewnątrz betonowego elementu masywnego wynosił maks. ok. $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$ oraz maksymalna temperatura betonu nie była wyższa niż 70°C . Wśród czynników mających wpływ na ciepło twardnienia i wysokość generowanych temperatur w betonie masywnym, wyróżnia się:

- ilość i rodzaj stosowanego cementu,
- ilość i rodzaj stosowanego dodatku typu II,
- ilość i rodzaj stosowanych domieszek chemicznych,
- właściwości termofizyczne kruszywa,
- temperaturę początkową mieszanki betonowej i temperaturę otoczenia,
- właściwą pielęgnację termiczno-wilgotnościową (stosowanie izolacji termicznej, chłodzenia wewnętrznego, itp.).

Cement stosowany w składzie betonu masywnego powinien charakteryzować się:

- niskim ciepłem hydratacji (LH) lub bardzo niskim ciepłem hydratacji (VLH),
- podwyższoną odpornością na agresję chemiczną,
- wydłużonym początkiem czasu wiązania (praca w terenie, dalekie odległości, warunki zabudowy).

Do wykonywania betonów masywnych zaleca się stosowanie cementów z dużą ilością nieklinkierowych składników głównych np. cementów hutniczych CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA, CEM III/A 42,5N-LH/HSR/NA, cementów wieloskładnikowych CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA oraz cementów specjalnych o bardzo niskim ciepłe hydratacji VLH V/B (S-V) 22,5. Na rys. 6.72 przedstawiono wpływ rodzaju cementu na temperaturę twardnienia betonu (skład betonu: cement 300 kg/m³, w/c=0,50; kruszywo 0-31,5 mm).



Rys. 6.72. Temperatura wewnątrz elementów betonowych wykonanych z różnych cementów

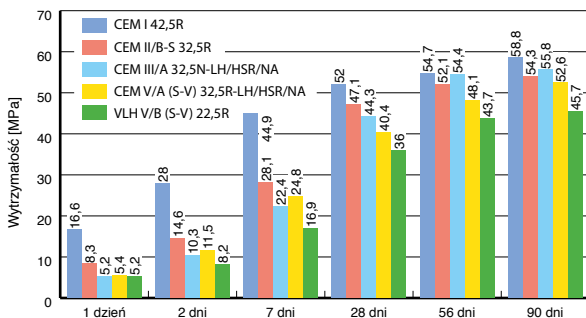
W celu zmniejszenia ilości wydzielanego ciepła w elemencie masywnym należy w składzie betonu (tabela 6.41):

- ograniczyć ilość cementu,
- stosować dodatki typu II jako częściowy substytut cementu np. popiół lotny, mielony granulowany żużel wielkopiecowy,
- stosować jak najgrubsze kruszywo (uziarnienie do 63 mm) – mniejsza ilość zaczynu konieczna do obtoczenia ziaren.

Tab. 6.41. Przykładowe receptury betonu masywnego

Materiał	Płyta fundamentowa pod młyn cementu w Cementowni Górażdże		Płyta fundamentowa w elektrowni Pątnów
	Ilość [kg/m ³]		
Cement	290	305	300
	CEM V/A (S-V) 32,5R-LH/HSR/NA		CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA
Popiół lotny	75	75	55
Woda	151	155	155
Piasek 0/2 mm	672	726	663
Żwir 2/8 mm	470	481	427
Żwir 8/16 mm	325	588	358
Żwir 16/31,5 mm	352	—	409
Plastyfikator	1,16	1,22	1,95
Superplastyfikator	2,47	2,44	2,40

Stosowanie zmniejszonej ilości cementu i dużej ilości dodatku mineralnego w składzie betonu masywnego wiąże się z niższą dynamiką narastania wytrzymałości takiego betonu w czasie, co należy uwzględnić już na etapie projektowania (specyfikowania) jego składu. W takim przypadku klasę wytrzymałości na ściskanie należy określać po dłuższych, niż 28 dni, okresach dojrzewania betonu np. po 56, 90 czy nawet 360 dniach (rys. 6.73).



Rys. 6.73. Przyrost wytrzymałości na ściskanie betonu masywnego (cement 300 kg/m³, w/c=0,5; kruszywo żwirowe 0-31,5 mm)

Istotny wpływ na przyrost temperatury w konstrukcji masywnej i ryzyko jej zarysowania, ma rodzaj zastosowanego kruszywa, które kształtuje właściwości termiczne betonu (przewodność i pojemność cieplna). Tab. 6.42 przedstawia wartości współczynników termicznych betonu wykonanego na różnych kruszywach (cement 300kg/m³, współczynnik w/c = 0,5; kruszywo 0-31,5 mm). Najkorzystniejsze w konstrukcji masywnej jest stosowanie kruszywa o możliwie wysokim współczynniku przewodnictwa ciepła i dużej pojemności cieplnej. W tym kontekście najlepsze właściwości ma kruszywo żwirowe (głównym minerałem w jego składzie jest kwarc, który jest minerałem o najkorzystniejszych właściwościach termicznych).

Tab. 6.42. Przewodność i pojemność cieplna betonu w zależności od zastosowanego kruszywa

Rodzaj cementu	Rodzaj kruszywa			
	Żwir	Bazalt	Granit	Kamień wap.
	Współczynnik przewodności cieplnej [W/(m·K)]			
CEM III/A 32,5N-LH/HSR/NA	2,35	1,70	1,95	1,99
	Pojemność cieplna [106·J/(m ³ ·K)]			
	1,68	1,77	1,74	1,76

Nadrzędną, nad klasą wytrzymałości na ściskanie, właściwością betonu masywnego jest jego trwałość. Z tego względu należy beton odpowiednio zabudować oraz pielęgnować. Pielęgnacja betonu masywnego ma celu zmniejszenie gradientu temperatur i powinna, oprócz pielęgnacji wilgotnościowej (polewanie wodą, przykrywanie wilgotnymi matami, folią, itp.), obejmować ochronę cieplną betonu tj. izolację cieplną i/lub chłodzenie elementu masywnego np. poprzez system wbudowanych rurociągów. Okres ochrony cieplno-wilgotnościowej, ze względu wolny przyrost wytrzymałości betonu masywnego, powinien być wydłużony w stosunku do betonu zwykłego, który w przypadku masywnych płyt fundamentowych może przekraczać nawet 21 dni. Metodę i czas pielęgnacji najlepiej dobierać kierując się zapisami normy PN-EN 13670:2011 „Wykonywanie konstrukcji z betonu” (patrz rozdział 6.7.5) oraz rodzajem i wymiarami konstrukcji masywnej.

Obszary stosowania betonu masywnego:

- budownictwo hydrotechniczne (tamy, zapory),
- budownictwo energetyczne (fundamenty pod bloki energetyczne),
- budownictwo komunikacyjne (fundamenty, przyczółki i pylony mostów),

6.6.8. Fibrobetony (betony ze zbrojeniem rozproszonym)

Istnieje kilka nazw opisujących beton z dodatkiem włókien. Najczęstszym określeniem spotykanym w literaturze jest fibrobeton. Jest to rodzaj kompozytu betonowego, wyróżniający się spośród innych zawartością rozproszonego mikrozbrojenia w postaci włókien.

Najczęściej stosowane są fibrobetony wzmacniane włóknami stalowymi i polipropylenowymi (włókna znormalizowane wg PN-EN 14889 Włókna do betonu – patrz pkt. 6.2.6.). W tab. 6.43. przedstawiono wpływ rodzaju włókien na właściwości betonu.

Tab. 6.43. Właściwości fibrobetonu

Właściwość	Rodzaj włókien	
	Stalowe	Polipropylenowe
Udział objętościowy	0,25 – 2,0%	0,1 – 0,5%
Skurcz	redukcja o ok. 30 do 50%	
Wytrzymałość na ściskanie	wzrost 10 – 30%	niewielki wzrost
Wytrzymałość na rozciąganie	wzrost 20 – 40%	niewielki wzrost
Wytrzymałość na zginanie	wzrost 30 – 70%	niewielki wzrost
Wytrzymałość na miejscowy docisk	wzrost 15 – 30%	niewielki wzrost
Udarność	wzrost do 6 razy	wzrost do 3 razy
Moduł sprężystości	praktycznie bez zmian	
Nasiąkliwość	bez zmian lub niewielki wzrost	bez zmian lub niewielkie obniżenie
Mrozoodporność	wzrost 30 – 60%	wzrost o ok. 30%
Ścieralność	redukcja do 50%	praktycznie bez zmian
Wodoszczelność	praktycznie bez zmian	polepszenie o ok. 20%
Urabialność	pogorszenie 30 – 40%	pogorszenie

Fibrobetony charakteryzują się podwyższoną odpornością na powstawanie rys i pękanie, podwyższoną odpornością zmęczeniową i udatnością, a często także podwyższoną wytrzymałością na rozciąganie i ścinanie.

Fibrobeton charakteryzuje się przede wszystkim:

- niekruchym, pseudoplastycznym procesem zniszczenia, w wyniku czego możliwa jest kontrola propagacji rys oraz praca elementu zarysowanego jako integralnej całości mimo występowania mikrorys,
- zdolnością do pochłaniania znacznych ilości energii przy wszystkich obciążeniach dynamicznych, np. na skutek uderzenia (posadzki, fundamenty pod maszyny, elementy konstrukcji drogowych i mostowych),
- poprawą dystrybucji naprężeń przed zarysowaniem matrycy betonowej,
- przenoszeniem obciążenia poprzez włókna po zarysowaniu,
- ograniczeniem zarysowań – propagujące rysy napotykają na włókna, które zatrzymują ich dalsze powiększanie i rozwieranie się,
- redukcją skurczu betonu – poprzez wysoką przyczepność zaczynu do włókna ograniczony zostaje skurcz zaczynu w bezpośrednim sąsiedztwie włókna, w efekcie, przy dużej ilości włókien rozmieszczonych blisko siebie, zredukowany zostaje skurcz w całej objętości betonu.

Stosowanie fibrobetonu nabiera szczególnego znaczenia, gdy konstrukcja może być narażona na wszelkiego rodzaju obciążenia dynamiczne, zarówno mechaniczne (np. uderzenia spadających przedmiotów na posadzkę), jak i termiczne (np. gwałtowne podgrzanie fragmentu posadzki). Występujące dynamiczne przeciążenie powoduje zarysowanie betonu, który jeśli jest niezbrojony, ulega zniszczeniu. W przypadku konstrukcji żelbetowej zniszczeniu może ulec beton pomiędzy prętami zbrojeniowymi, natomiast fibrobeton będzie w dalszym ciągu przejmował obciążenia (pracował w konstrukcji), dzięki zdolności do pochłaniania dostarczonej energii. Po przejściu fali uderzeniowej, powstałej w wyniku dynamicznego obciążenia, sprężystość włókien powoduje domknięcie rys powstałych w betonie, dzięki czemu element nie traci swoich cech użytkowych.

Z uwagi na swoje właściwości fibrobetony znajdują zastosowanie w:

- betonie natryskowym (obudowy tuneli, szybów górniczych, wzmocnienia ścian i skarp),
- betonie posadzkowym (posadzki przemysłowe, nawierzchnie lotnisk i dróg),

- betonie architektonicznym (elementy małej architektury, elementy konstrukcyjne o skomplikowanym kształcie, elementy dekoracyjne),
- prefabrykacji (elementy cienkościenne, płyty elewacyjne),
- budownictwie hydrotechnicznym (zapory),
- budowie zbiorników na ciecze,
- konstrukcjach barier ochronnych (od uderzeń dynamicznych),
- pracach naprawczych konstrukcji żelbetowych.

6.6.9. Betony o właściwościach fotokatalitycznych – zastosowanie cementu TioCem® i technologii Tx Active®

Betony o właściwościach fotokatalitycznych są wykonywane z cementu zawierającego w swoim składzie nanometryczny TiO_2 . Znajdują zastosowanie w wykonywaniu konstrukcji i elementów o wysokich walorach estetycznych, aktywnie wspomagających ochronę środowiska naturalnego. Zastosowanie bowiem cementu TioCem® umożliwia redukcję szkodliwych związków obecnych w powietrzu, a także usuwanie zanieczyszczeń organicznych z powierzchni budynków i konstrukcji inżynierskich.

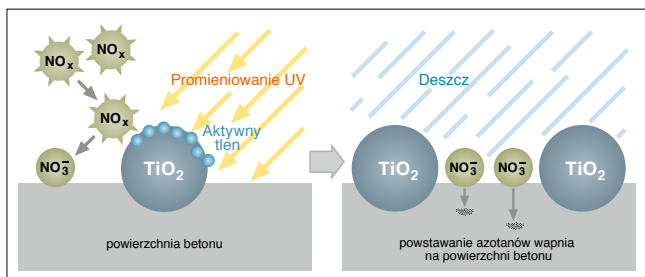
Nanokrystaliczny dwutlenek tytanu jako fotokatalizator ulega aktywacji pod wpływem oddziaływania promieniowania słonecznego UV. Na powierzchni betonu zawierającego TiO_2 tworzą się rodniki wodorotlenowe OH^- o silnych właściwościach utleniających. W efekcie zostaje przyspieszony naturalny proces utleniania, wzmagając w ten sposób szybki rozpad szkodliwych związków, które znajdują się w powietrzu w otoczeniu obiektu budowlanego oraz zanieczyszczającą powierzchnię betonu. Istotny jest również fakt, że dwutlenek tytanu jako fotokatalizator nie ulega zużyciu podczas zachodzących reakcji. Proces oczyszczania powietrza jest długotrwały i stale odnawialny.

Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem® zostały potwierdzone testem z użyciem organicznej substancji, rodaminy-B, którą pokryto powierzchnię próbek betonowych poddanych następnie naświetlaniu promieniowaniem UV. Po upływie 24 godz. naświetlania, w przypadku betonu wykonanego z udziałem cementu TioCem® odnotowano całkowite utlenienie rodaminy i w efekcie oczyszczoną powierzchnię próbki (rys. 6.74).



Rys. 6.74. Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem®

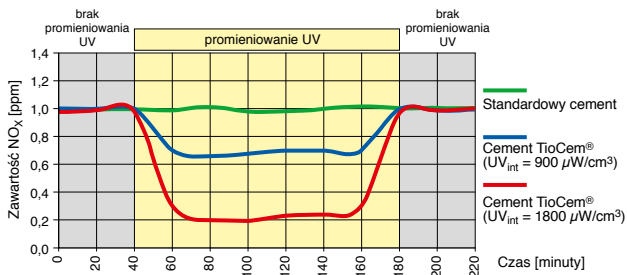
Fotokatalitycznie aktywna powierzchnia betonu wykazuje działanie redukujące w przypadku szkodliwych tlenków azotu NO_x , pochodzących ze spalin samochodowych. Zwiększająca się koncentracja tlenków azotu wzmacnia powstawanie ozonu, który jako główny składnik miejskiego smogu negatywnie wpływa na zdrowie człowieka. Zastosowanie betonu z cementu TioCem® pozwala zredukować szkodliwe tlenki azotu NO_x , na drodze reakcji fotochemicznych, do nieszkodliwych jonów azotanowych NO_3^- , które na powierzchni betonu tworzą azotany wapnia spłukiwane przez opady atmosferyczne (rys. 6.75).



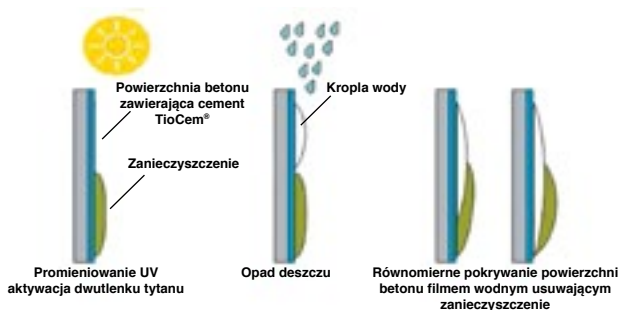
Rys. 6.75. Schemat redukcji tlenków azotu NO_x przez aktywne fotokatalityczne powierzchnie betonu zawierające cement TioCem®

Potwierdzeniem zdolności redukcji tlenków azotu NO_x zawartych w powietrzu są wyniki badań laboratoryjnych przedstawione na rys. 6.76. Badaniom poddano beton wykonany z użyciem cementu TioCem® i cementu portlandzkiego. Pomiary wykazały spadek zawartości tlenków NO_x w przypadku betonu z cementu TioCem®.

Zastosowanie cementu TioCem® nadaje powierzchniom betonowym również właściwości samoczyszczące. Samooczyszczenie powierzchni wynika z właściwości utleniających i superhydrofilowych betonu zawierającego cement TioCem®. Pod wpływem promieniowania UV kąt zwilżania powierzchni betonu z nanometrycznym TiO_2 maleje niemal do zera. W efekcie powierzchnia betonu zostaje równomiernie pokryta cienkim filmem wodnym tworzącym płaszczyznę poślizgu dla usuwania zanieczyszczeń (rys. 6.77). Właściwości te są szczególnie istotne w budowlach o wysokich walorach estetycznych.



Rys. 6.76. Redukcja zawartości tlenków azotu NO_x w powietrzu w obecności cementu TioCem®



Rys. 6.77. Superhydrofilowe właściwości nanokrystalicznego dwutlenku tytanu TiO_2 – proces samoczyszczenia powierzchni betonu zawierającej cement TioCem®

Właściwości fizyczne i mechaniczne cementu TioCem® spełniają wymagania normy EN 197-1 „Cement. Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”, stąd zasady jego stosowania do produkcji betonu i elementów prefabrykowanych są identyczne jak w przypadku cementów powszechnego użytku – podstawowe właściwości cementu TioCem® przedstawiono w tab.6.44.

Tab. 6.44. Podstawowe właściwości cementu TioCem®

Właściwość	Wyniki badań cementu TioCem®	Wymagania wg PN-EN 197-1 dla cementu klasy 42,5R
Początek czasu wiązania [min]	140	≥ 60
Koniec czasu wiązania [min]	190	brak wymagania
Wytrzymałość po 2 dniach [MPa]	29,0	≥ 20,0
Wytrzymałość po 28 dniach [MPa]	60,0	≥ 42,5 ≤ 62,5



Cement TioCem® jest produkowany zgodnie z technologią TX Active®, definiującą wymagania, jakie muszą spełniać materiały budowlane posiadające właściwości fotokatalityczne

Rys. 6.78. Oznakowanie wyrobu TX Active®

Fotokatalityczne działanie cementu TioCem® (ozn. rys. 6.78) wymaga światła słonecznego, stąd spoiwo to wystarczy stosować w powierzchniowych warstwach betonu. Beton zawierający cement TioCem® można efektywnie wykorzystać do:

- wykonywania nawierzchni drogowych,
- napraw nawierzchni drogowych (technologia Whitetopping),
- produkcji kostki brukowej (do wykonania warstwy fakturowej),
- produkcji ekranów akustycznych i ochronnych w budownictwie drogowym,
- produkcji drogowych barier bezpieczeństwa,
- wykonywania okładzin ścian tuneli,
- produkcji elementów fasadowych,
- produkcji dachówki cementowej.

6.6.10. Betony z użyciem kruszyw z recyklingu

Zastosowanie kruszywa z przeróbki gruzu budowlanego, jako substytutu kruszywa naturalnego, w mieszankach betonowych znajduje coraz szersze zastosowanie. Spowodowane jest to głównie względami ekonomicz-

nymi i ekologicznymi. Wykorzystując do betonu kruszywo z recyklingu, możemy ograniczyć zużycie kruszyw naturalnych, co jest równoznaczne z ograniczeniem negatywnego wpływu wywieranego przez eksploatację złóż naturalnych na środowisko.

W Belgii, będącej europejskim liderem w tym obszarze, przetwarzane jest około 90% gruzu budowlanego, z czego 75% wykorzystywane jest na niwelację terenu, podbudowy oraz stabilizację, natomiast 25% jako kruszywo do betonu. Również w kraju zmiana norm dotyczących betonu oraz kruszyw do betonu, spowodowała wzrost zainteresowania gruzem budowlanym, jako substytutem kruszywa naturalnego.

Niektóre kraje Unii Europejskiej posługują się własnymi wytycznymi wykorzystania kruszyw z recyklingu. W wytycznych RILEM (International Union of Testing and Reserch Laboratories for Materials and Structures) przedstawionych w tab. 6.45 oraz w wytycznych niemieckich (tab. 6.46), oprócz właściwości kruszyw z recyklingu podane są także obszary zastosowania ich w budownictwie.

Tab. 6.45. Wymagania stawiane kruszywom z recyklingu wg RILEM

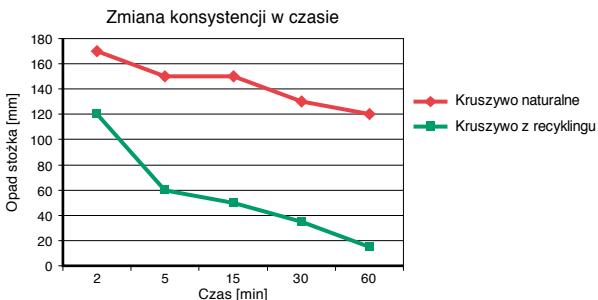
Cecha kruszywa	RCAC I	RCAC II	RCAC III
Minimalna gęstość w stanie suchym [kg/dm ³]	1,500	2,000	2,400
Maksymalna nasiąkliwość wagowa [%]	20	10	3
Maksymalna zawartość materiału o gęstości < 2,200 kg/dm ³ [%]	-	10	10
Maksymalna zawartość materiału o gęstości < 1,800 kg/dm ³ [%]	10	1	1
Maksymalna zawartość materiału o gęstości < 1,000 kg/dm ³ [%]	1	0,5	0,5
Maksymalna zawartość materiałów obcych [%]	5	1	1
Maksymalna zawartość metali [%]	1	1	1
Maksymalna zawartości zanieczyszczeń organicznych [%]	1	0,5	0,5
Maksymalna zawartość ziaren < 0,063mm [%]	3	2	2
Maksymalna zawartość ziaren < 4mm [%]	5	5	5
Maksymalna zawartość siarczanów rozpuszczalnych wyrażona jako SO ₃ [%]	1	1	1

Według wytycznych RILEM kruszywa z recyklingu można podzielić na trzy kategorie:

- RCAC I materiał pochodzący z elementów murowych,
- RCAC II materiał pochodzący z elementów betonowych,
- RCAC III materiał stanowiący mieszaninę (min. 80% kruszywa naturalnego oraz maks. 20% kruszywa z recyklingu).

Wytyczne niemieckie, jak również RILEM, ograniczają zastosowanie frakcji drobnych kruszyw pochodzących z recyklingu. Główną przyczyną tych ograniczeń jest wysoka wodożądność i nasiąkliwość drobnych frakcji, niska gęstość oraz znaczna ilość wprowadzanego wraz z nimi starego, stwardniałego zaczynu cementowego.

Projektując beton z kruszywem z recyklingu należy uwzględnić jego podwyższoną wodożądność. Ilość wody wynikającą ze współczynnika w/c należy powiększyć o wodę, która zostanie zaabsorbowana w porach kruszywa i nie będzie brała udziału w reakcji hydratacji cementu (patrz PN-EN 206:2014 – definicja efektywnej ilości wody). Stosując kruszywa z recyklingu należy liczyć się z dużą utratą konsystencji mieszanki betonowej (rys. 6.79).



Rys. 6.79. Zmiana konsystencji mieszanki betonowej z udziałem kruszyw z recyklingu

Tab. 6.46. Kruszywa z recyklingu wg wytycznych niemieckich

Rodzaj kruszywa	Zawartość [%]						Maksymalna zawartość rozpuszczalnych chlorków [% masy]	Minimalna gęstość w stanie suchym kg/dm ³	Maksymalna zawartość frakcji grubych kruszyw z recyklingu w [%] zawartości całkowitej kruszyw			
	Beton, naturalne kruszywo	Cegła	Tynk	Inne mineralne składniki ¹⁾	Asfalt	Zanieczyszczenia ²⁾			Beton zbrojony			
									Elementy wewnętrzne	Elementy zewnętrzne	Podbudowy stabilizacje ³⁾	
TYP I Kruszywo z betonu	≥90	≤10	≤10	≤2	≤1	≤0,2	≤0,4	2,000	10	50	40	100
TYP II Kruszywo z elementów budowlanych	≥70	≤30	≤30	≤3	≤1	≤0,5		2,000	15	40	—	100
TYP III Kruszywo z elementów murowych	≥20	≤80	≤5	≤5	≤1	≤0,5		1,800	20	40	—	100
TYP IV Kruszywo mieszane	≥80		≤20		≤1	≤0,15		1,500	—	—	—	100

1) Na przykład beton lekki zaprawa budowlana, pumeks, beton komórkowy
 2) Na przykład szkło, ceramika, papier, gips, plastik, metal, drewno
 3) Obejmuje również frakcje drobne










Dlatego też, wykonując beton z tego rodzaju kruszywa, należy:

- wydłużyć czas mieszania składników betonu,
- uwzględnić dodatkową ilość wody zarobowej,
- maksymalnie wydłużyć czas między zadozowaniem wody zarobowej a dodaniem domieszki chemicznej, co pozwoli na ograniczenie absorpcji domieszki chemicznej przez powierzchnię kruszywa,
- stosować kruszywo z recyklingu w stanie nasyconym wodą.

Prowadzone badania dowodzą, że kruszywa z odzysku można stosować we wszystkich rodzajach betonu. Zasady stosowania zawarte są w załączniku E (informacyjnym) do normy PN-EN 206:2014.

Kruszywa z recyklingu powodują zmiany właściwości stwardniałego betonu, które należy uwzględnić na etapie projektowania mieszanki betonowej. Ogólne trendy zmian właściwości betonu spowodowanych wprowadzeniem kruszywa z recyklingu przedstawiono w tab. 6.47.

Tab. 6.47. Ogólne trendy zmian właściwości betonu z udziałem kruszywa z recyklingu ¹⁾

Wytrzymałość na ściskanie	Wytrzymałość na rozciąganie	Moduł Young'a	Skurcz betonu	Penetracja wody pod ciśnieniem	Mrozoodporność ²⁾
					
Legenda: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  – zmiana 10 – 20 % </div> <div style="text-align: center;">  – zmiana 20 – 50% </div> <div style="text-align: center;">  – brak zmian </div> </div> <p>¹⁾ W porównaniu do mieszanek betonowych opartych na kruszywie naturalnym. ²⁾ Beton napowietrzony.</p>					

Gruz betonowy, ze względu na powszechne stosowanie chlorku wapnia jako domieszki przyspieszającej wiązanie i stwardnienie betonu, może stanowić źródło chlorków będących zagrożeniem dla stwardniałego zaczynu cementowego, jak również dla stali znajdującej się w żelbecie.

Zanieczyszczenie kruszywa z recyklingu gipsem może doprowadzić do wywołania reakcji składników betonu z jonami SO_4^{3-} co może powodować powstawanie ekspansywnych produktów, np. wtórnego ettingitu.

6.7. Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego

6.7.1. Deskowania i środki antyadhezyjne

Ważnym aspektem w planowaniu prac betoniarskich jest odpowiedni dobór deskowania. Podstawową rolą deskowań w procesie budowlanym jest nadanie kształtu elementom konstrukcji w taki sposób, aby uzyskać oczekiwany efekt. Kształt elementów żelbetonowych wynika nie tylko z funkcji konstrukcyjnych, lecz także coraz częściej z oryginalnych pomysłów architektów (beton architektoniczny). Dobór deskowania zależy także od:

- technologii i organizacji robót (metoda wykonania obiektu),
- parcia mieszanki betonowej (częściowo zależne od właściwości reologicznych mieszanki betonowej),
- wymagań wobec powierzchni betonu (beton samozagęszczalny, architektoniczny).

Wysoką jakość powierzchni betonu można uzyskać stosując mieszankę betonową o odpowiednich właściwościach reologicznych (urabialność, konsystencja, zdolność do szczelnego wypełnienia formy, samoodpowietrzanie się), wykonaną i zabudowaną zgodnie ze sztuką budowlaną oraz poddanej pielęgnacji odpowiednią metodą i w określonym czasie. Nie należy jednak zapominać o kluczowym znaczeniu poszycia (powierzchni) deskowania i zastosowanego środka antyadhezyjnego dla uzyskania wysokiej jakości powierzchni pod względem technicznym i estetycznym.

Dokonując wyboru środka antyadhezyjnego należy brać pod uwagę:

- rodzaj posiadanego deskowania lub formy (metalowe, drewniane, sklejka wodoodporna, tworzywo sztuczne),
- wymagania stawiane betonowi po rozdeskowaniu, np. betony architektoniczne, wodoszczelne, gładkie i inne,
- przeznaczenie elementów betonowych, np. kontakt z wodą pitną,
- warunki dojrzewania betonu, np. podgrzewane deskowanie, betonowanie w warunkach obniżonych temperatur.

Preparat antyadhezyjny nie może pozostawać na powierzchni betonu, ani wpływać na barwę i jakość powierzchni. Ponadto środki antyadhezyjne

należy tak dobrać, aby nie miały negatywnego wpływu na beton, a także wkładki zbrojeniowe, stal sprężającą, deskowanie, itp. Muszą także spełniać wymagania w zakresie ochrony środowiska i nie mogą być szkodliwe dla zdrowia ludzi i zwierząt.

Preparaty antyadhezyjne muszą być nakładane w odpowiedniej ilości (rys. 6.80) za pomocą urządzeń do tego przystosowanych – mechanicznie lub ręcznie – w taki sposób, aby nie dopuścić do spływania (tworzenia zacieków) po powierzchni deskowania (tab. 6.48).

Należy ściśle przestrzegać podanych przez producenta czasów odparowania rozpuszczalników, aby mieć gwarancję właściwego ich działania. Niewłaściwe stosowanie środków antyadhezyjnych jest powodem wielu wad betonu oraz skrócenia okresu żywotności deskowań (tab. 6.48).

Tab. 6.48. Wpływ wykonawstwa na wygląd powierzchni betonu

Wygląd powierzchni betonu	Przyczyna
Liczne pory, równomiernie rozmieszczone na powierzchni betonu	Zastosowano środek antyadhezyjny z lotnym rozpuszczalnikiem organicznym grupy A III. Nie zachowano niezbędnego czasu na odparowanie rozpuszczalnika, formę wypełniono betonem po ok. 10 minutach
Powierzchnia betonu gładka, brak porów	Zastosowano środek antyadhezyjny j.w. Zachowano niezbędny czas na odparowanie rozpuszczalnika, formę wypełniono betonem po ok. 45 minutach
Raki i pory na powierzchni betonu	Zbyt krótkie zagęszczanie (ok. 5 sekund)
Brak raków na powierzchni betonu	Właściwy czas zagęszczania (ok. 20 sekund)
Intensywne tworzenie się porów na powierzchni betonu	Zastosowano jako środek antyadhezyjny, olej mineralny nie zawierający domieszek typu TR
Przebarwienia i pylenie na powierzchni betonu	Zastosowano emulsję na bazie oleju roślinnego. Temperatura wiązania betonu ok. 60°C
Liczne plamy na powierzchni betonu	Przed betonowaniem nie wyczyszczono właściwie formy lub szalunku
Miejscami mleczko cementowe zerwane z powierzchni betonu	Nie zastosowano żadnych środków antyadhezyjnych
Pory na powierzchni betonu, przebarwienia na krawędziach	Za grubo nałożony środek antyadhezyjny. Przy wypełnianiu form betonem środek antyadhezyjny został przesunięty na obrzeża



Rys. 6.80. Przebarwienia betonu spowodowane nierównomiernym nałożeniem środka antyadhezyjnego

6.7.2. Transport i układanie mieszanki betonowej

Wykonywanie robót i operacji związanych z transportem i układaniem mieszanki betonowej można realizować jedynie w okresie czasu nieprzekraczającym początku czasu wiązania betonu. Z tego względu należy szczególną uwagę zwrócić na czas transportu mieszanki betonowej z wytwórni do miejsca wbudowania. Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 wszystkie stosowane do produkcji betonu mieszalniki (zarówno stacjonarne, jak i samochodowe) powinny zapewnić równomierne rozproszczenie składników oraz uzyskanie jednorodnej konsystencji mieszanki betonowej, zarówno w czasie mieszania, jak i transportu.

Transport mieszanki betonowej może być bliski (w obrębie placu budowy) lub daleki (z wytwórni betonu). Do transportu dalekiego zasadniczo wykorzystywane są mieszalniki samochodowe lub betonomieszarki samojezdne, z kolei w transporcie bliskim stosowane są:

- rynny i rury spustowe,
- kosze przemieszczane za pomocą suwnic lub żurawi,
- pompy i przenośniki pneumatyczne z rurociągami i osprzętem.

Wybór środków i sposobu transportu musi być dokonany, na etapie projektowania mieszanki betonowej, z uwzględnieniem czasu trwania

transportu oraz właściwości mieszanki betonowej (konsystencja i utrzymanie jej w czasie).

Również sposób układania mieszanki betonowej w deskowaniu (formie) zależy od właściwości reologicznych (głównie konsystencji). Na wybór technologii układania ma także wpływ wielkość betonowanego elementu, jego kształt, rozmieszczenie i zagęszczenie zbrojenia, zakres robót i przyjęta technologia wykonania konstrukcji. Kolejność układania mieszanki betonowej jest technologicznie dowolna, powinna jednak zapewnić ciągłość betonowania.

Podstawowym warunkiem właściwej zabudowy jest zachowanie jednorodności mieszanki betonowej w trakcie jej układania w deskowaniu, czyli niedopuszczenie do rozsegregowania składników.

Układanie mieszanki betonowej powinno odbywać się przy zachowaniu następujących wymagań:

- maksymalna wysokość swobodnego zrzucania mieszanki powinna się zmniejszać wraz ze wzrostem jej ciekłości w granicach:
 - 1 m – mieszanki o konsystencji gęstoplastycznej,
 - 50 cm – mieszanki o konsystencji ciekłej,
 - przy większych wysokościach należy stosować rury, rynny spustowe, rękawy elastyczne,
- wyloty urządzeń pochyłych muszą być wyposażone w kłapy pozwalające na pionowe opadanie mieszanki w miejscu zabudowy.

Przykłady prawidłowego układania mieszanki betonowej pokazano na rys. 6.81.

Podczas betonowania należy chronić beton przed działaniem czynników atmosferycznych tj. intensywnym nasłonecznieniem, silnym wiatrem, opadami deszczu lub śniegu i ujemnymi temperaturami.



poziome warstwy ciągle – mieszankę układa się na całej powierzchni elementu betonowego; sposób ten jest korzystny w przypadku niezbyt dużych powierzchni



poziome warstwy ze stopniowaniem – sposób ten jest stosowany przy dużych powierzchniach i niewielkiej grubości



warstwy pochyle – mieszanka układana jest na całą wysokość elementu betonowego; sposób ten stosuje się w przypadku wysokich elementów

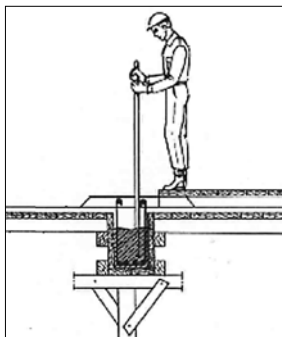
Rys. 6.81. Sposoby układania mieszanki betonowej („ABC betonu” – wyd. Polski Cement)

6.7.3. Zagęszczanie mieszanki betonowej

Zagęszczanie mieszanki betonowej ma na celu szczelne wypełnienie formy oraz wyeliminowanie pustek (powietrza wprowadzonego w trakcie mieszania i transportu) w układanym betonie. Ponadto zgodnie z normą PN-EN 13670:2009 „Wykonywanie konstrukcji betonowych” mieszanka betonowa powinna być układana i zagęszczana w taki sposób, aby zapewnić otulenie wszystkich wkładek (prętów) zbrojeniowych oraz założoną wytrzymałość i trwałość betonu w projektowanym cyklu życia.

Zagęszczanie mieszanki betonowej może być prowadzone:

- ręcznie – rzadko stosowane, możliwe przy mieszance o konsystencji ciekłej (ew. półciekłej) lub w przypadku betonowania elementów gęstozbrojonych, co uniemożliwia wprowadzenie wibratorów wgłębnych – zasadniczo zagęszczanie polega na sztychowaniu każdej ułożonej warstwy prętami stalowymi (rys. 6.82),
- mechanicznie – polega najczęściej na wibrowaniu ułożonej mieszanki (lub wibroprasowaniu zależnie od technologii).



Rys. 6.82. Zagęszczanie ręczne mieszanki betonowej

Najpowszechniej stosowanym sposobem zagęszczania mechanicznego jest wibrowanie mieszanki betonowej prowadzone różnymi rodzajami wibratorów (wgłębnymi – buławowymi, powierzchniowymi, przyczepnymi – rys. 6.83). Rodzaj wibratora i sposób wibrowania mieszanki betonowej dobiera się z uwagą na konstrukcję i rodzaj deskowania elementu.

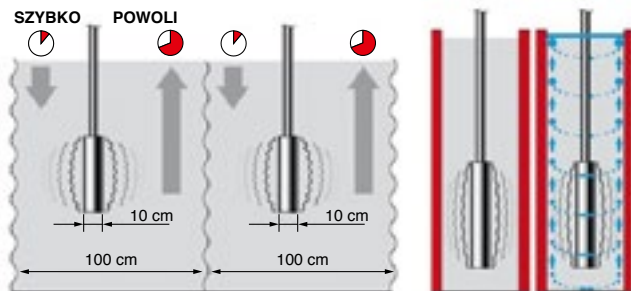


Rys. 6.83. Wibrowania mieszanki betonowej a) wibratorem buławowym, b) wibratorem przyczepnym, c) wibratorem powierzchniowym

Jest to najczęściej stosowana metoda, polegająca na zanurzeniu buławy o kształcie wydłużonej butelki w masę mieszanki betonowej, przekazując drgania wysokiej częstotliwości wytworzone przez silnik na składniki mieszanki.

Wskazówki praktyczne zagęszczania mieszanki betonowej wibratorami buławowymi (rys. 6.84):

- używać należy jednego wibratora (jednego typu)
- buławę należy zanurzać szybko, przytrzymać, wyciągać powoli. W takim przypadku beton zagęszczany jest od dołu ku górze. Jeżeli wibrator zanurzany jest zbyt wolno, następuje w pierwszej kolejności zagęszczenie mieszanki u góry, co powoduje, w momencie zanurzenia wibratora na planowaną głębokość, uniemożliwienie wydostaniu się powietrza z warstw zagęszczanych, przez warstwę wierzchnia już zagęszczoną, na zewnątrz.
- buławę wprowadzać w stałych odstępach. Wibratory pogrążalne obejmują swym zasięgiem obszar o średnicy max. do 10 razy jego własnej średnicy, np. wibrator o średnicy 5 cm zagęszcza mieszankę w promieniu 25 cm od miejsca zanurzenia. Zagęszczanie jest silniejsze w pobliżu buławy i słabsze wraz ze wzrostem odległości od niego. Odstępy zanurzenia wibratora zależą od konsystencji betonu i jego receptury. Standardowo będzie to do $10 \times d$, gdzie d – średnica buławy wibratora, jednak lżejsze lub cięższe betony mogą wymagać zmniejszenia odstępów nawet do 50% odstępów przy wibrowaniu betonów zwykłych.



Rys. 6.84. Zasady zagęszczania mieszanki wibratorem wglębnym

Efektywność wibrowania jest uzależniona od składu mieszanki betonowej, częstotliwości i amplitudy drgań oraz czasu wibrowania. Ustalone dla konkretnych warunków parametry wibrowania powinny być tak dobrane, aby zachowana została jednorodność mieszanki betonowej. Nieodpowiednio dobrana częstotliwość drgań i czas wibrowania mogą być powodem segregacji składników mieszanki (grube frakcje kruszywa opadają na dno formy, a zaprawa gromadzi się w górnej warstwie) oraz wprowadzenia zbyt dużej ilości powietrza do mieszanki. Należy przy tym unikać zetknięcia się końcówki roboczej wibratora z prętami zbrojeniowymi. Przy betonowaniu warstwami, w celu zapewnienia jednorodności betonu w całej objętości, należy wprowadzić wibrator do poprzednio ułożonej i zawibrowanej warstwy.

Wibrowanie mieszanki betonowej należy prowadzić do momentu zakończenia osiadania mieszanki. Wystąpienie na powierzchni betonu mleczka cementowego oraz niewielka ilość wydostających się na powierzchnię baniek powietrza są oznakami właściwego zagęszczenia mieszanki betonowej.

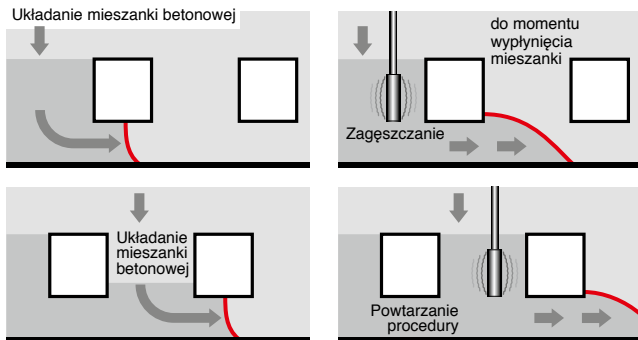
Prawidłowy sposób zagęszczenia mieszanki betonowej wibratorem buławowym przedstawiono na rys. 6.85.

Zagęszczanie mieszanki betonowej z zachowaniem podanych zasad zapewnia:

- dokładne wypełnienie deskowania mieszanką,

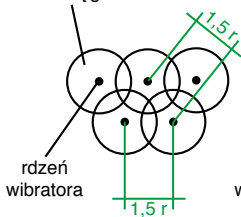
- mniejsze zużycie cementu przy zachowaniu projektowanej wytrzymałości (zmniejszenie zawartości wody i kruszywa drobnego w mieszance betonowej w porównaniu z zagęszczaniem ręcznym),
- jednorodną i szczelną strukturę betonu,
- prawidłowe otulenie prętów zbrojenia mieszanką.

Schemat postępowania przy zagęszczaniu mieszanki betonowej w konstrukcji

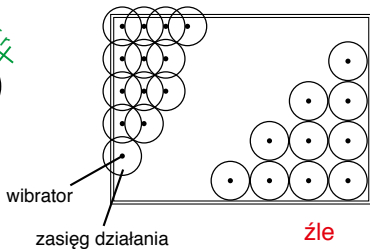


Schemat zagęszczania mieszanki betonowej wibratorem buławowym

wibrator z obszarem o zasięgu r



dobrze



Rys. 6.85. Prawidłowy sposób zagęszczania mieszanki betonowej

6.7.4. Betonowanie w warunkach obniżonych temperatur

Produkcja mieszanki betonowej oraz prace budowlane prowadzone w warunkach obniżonych temperatur wymagają szczególnej uwagi oraz dysponowania odpowiednimi środkami zapewniającymi właściwą temperaturę dostarczanej na plac budowy mieszanki betonowej.

Za okres obniżonych temperatur, zgodnie z wytycznymi zawartymi w instrukcji ITB nr 282, należy uznać czas, gdy średnia dobowa temperatura (T_{sr}) jest niższa niż 10°C.

$$T_{sr} = \frac{T_7 + T_{13} + 2 \cdot T_{21}}{4}$$

gdzie: T_7, T_{13}, T_{21} – temperatury otoczenia mierzone w godzinach 7:00, 13:00, 21:00.

Okres obniżonych temperatur można podzielić na trzy grupy:

- 10°C do 1°C – procesy hydratacji spoiwa w betonie zachodzą wolniej, lecz nie ma zagrożenia uszkodzenia betonu w konstrukcji,
- 5°C do -1°C – okres niewliczany do czasu pielęgnacji niezabezpieczonego termicznie młodego betonu,
- poniżej -1°C – istnieje zagrożenie uszkodzenia zabudowanego młodego betonu.

Zgodnie z normą PN-EN 206:2014 temperatura mieszanki betonowej w momencie jej dostarczenia na plac budowy nie powinna być niższa niż 5°C. W przypadku gdy wymagana jest inna temperatura mieszanki betonowej, wartość tą należy wyspecyfikować z podaniem dopuszczalnych tolerancji. Wszelkie wymagania dotyczące sztucznego chłodzenia lub podgrzewania muszą być uzgodnione pomiędzy producentem i wykonawcą przed dostawą mieszanki.

Proces podgrzewania musi przebiegać z uwzględnieniem wytycznych dotyczących maksymalnych temperatur poszczególnych składników:

- maksymalna temperatura podgrzewanej wody 60°C lub dozowanej bezpośrednio na kruszywo 80°C,
- maksymalna temperatura podgrzewania kruszywa 50°C.

Do wyznaczenia temperatury mieszanki betonowej można posłużyć się wzorem:

$$t_b = \frac{c \cdot (z \cdot t_z + f \cdot t_f + g \cdot t_g) \cdot c_w \cdot w \cdot t_w}{c \cdot (z + f + g) + c_w \cdot w}$$

gdzie:

t_b – temperatura betonu

t_z – temperatura cementu

t_f – temperatura popiołu

t_g – temperatura kruszywa

t_w – temperatura wody

z – ilość cementu [kg/m^3]

f – ilość popiołu [kg/m^3]

g – ilość kruszywa [kg/m^3]

w – ilość wody [kg/m^3]

c_w – ciepło właściwe wody: 4,19 kJ/kg·K

c – ciepło właściwe cementu, popiołu i kruszywa: 0,84 kJ/kg·K

lub orientacyjnie wyznaczyć temperaturę z tab. 6.49.

Tab. 6.49. Temperatura mieszanki betonowej w zależności od temperatury podgrzewania wody i kruszywa

Temperatura kruszywa [°C]	Temperatura wody [°C]								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
	Temperatura mieszanki betonowej [°C]								
5	5	6	9	11	14	16	19	22	24
10	8	9	12	15	17	20	22	25	27
15	11	13	15	18	21	23	26	28	31
20	15	16	19	21	24	26	29	31	34
30	21	23	25	28	30	33	35	38	40

Wyższą temperaturę mieszanki betonowej można uzyskać także poprzez:

- zwiększenie ilości cementu od 5 do 10% w stosunku do receptur letnich,
- stosowanie cementów o wyższym cieple hydratacji, tj. klas wytrzymałości 42,5; 52,5;
- stosowanie domieszek chemicznych przyspieszających proces twardnienia,

- obniżenie współczynnika w/c poprzez stosowanie efektywnych superplastyfikatorów.

Przyjmuje się, że warunkową odporność na jednokrotne działanie mrozu młody beton uzyskuje wtedy, gdy jego wytrzymałość na ściskanie wynosi, nie mniej niż:

- 5 MPa – przy stosowaniu cementów portlandzkich CEM I,
- 8 MPa – przy stosowaniu cementów portlandzkich wieloskładnikowych CEM II,
- 10 MPa – przy stosowaniu cementów hutniczych CEM III.

W tab. 6.50 podano orientacyjny czas osiągnięcia przez beton o różnym składzie wytrzymałości na ściskanie 5 MPa w zmiennych temperaturach otoczenia.

Tab. 6.50. Orientacyjne czasy twardnienia betonu do osiągnięcia wytrzymałości 5 MPa

Klasa cementu	Współczynnik w/c	Czas twardnienia betonu w dniach przy temperaturze betonu	
		5°C	20°C
42,5R, 52,5N, 52,5R	0,4	1/2	1/4
	0,6	3/4	1/2
32,5R, 42,5N	0,4	1	1/2
	0,6	2	1
32,5N	0,4	2	1
	0,6	5	2

Zalecane praktyczne uwagi do prowadzenia prac betonowych w okresie zimowym:

- temperatura dostarczonej na plac budowy mieszanki betonowej nie może być niższa niż +5°C, jednakże nie wyższa niż +30°C,
- optymalna temperatura mieszanki betonowej przy zabudowie wynosi od 15°C do 23°C,
- nie należy dopuścić do zamarznięcia deskowania i zbrojenia, występowania warstwy lodu lub śniegu w deskowaniach i na zbrojeniu lub na podłożu (rys. 6.86), na którym będzie układany beton, nie należy dopuścić do betonowania na zarzniętym podkładzie.



Rys. 6.86. Błędy zabudowy mieszanki betonowej – oblodzone zbrojenie

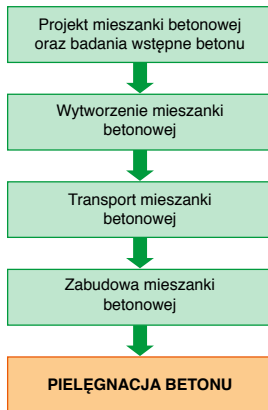
6.7.5. Pielęgnacja betonu

Norma PN-EN 13670:2009 „Wykonywanie konstrukcji betonowych” w wytycznych odnośnie pielęgnacji i ochrony betonu zaleca, aby po zagęszczeniu i wykończeniu powierzchni betonu, bezzwłocznie podać ją pielęgnacji.

Pielęgnację młodego betonu (w warunkach zimowych i letnich) przeprowadza się w celu:

- minimalizacji skurczu plastycznego,
- zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej,
- zapewnienia odpowiedniej trwałości strefy powierzchniowej,
- zabezpieczenia przed szkodliwym działaniem czynników atmosferycznych i zamarzaniem,
- zabezpieczenia przed drganiami, uderzeniami lub uszkodzeniami.

Zapewnienie trwałości elementów betonowych konstrukcji uwarunkowane jest odpowiednim przeprowadzeniem każdego etapu robót monolitycznych, począwszy od etapu doboru technologii wykonania konstrukcji i projektowania składu mieszanki betonowej (rys. 6.87).



Rys. 6.87. Etapy robót monolitycznych z uwzględnieniem pielęgnacji

Jeżeli którykolwiek z przedstawionych etapów nie zostanie prawidłowo wykonany, istnieje zagrożenie, że wykonana konstrukcja nie będzie spełniać postawionych jej wcześniej wymagań, np. nośności, trwałości. Pielęgnacja betonu jest operacją często pomijaną w praktyce budowlanej. Jednakże nie należy zapominać, że ma ona znaczący wpływ na jakość wykonywanych konstrukcji żelbetowych oraz betonowych.

Pielęgnacja betonu ma na celu:

- zapewnienie optymalnych warunków termiczno-wilgotnościowych w dojrzewającym betonie (dostarczenie odpowiedniej ilości wody do przebiegu procesów hydratacji oraz zachowanie odpowiedniego zakresu temperatur dojrzewania),
- ochrona wykonanego elementu betonowego przed szkodliwym wpływem promieniowania słonecznego, wiatru oraz opadów atmosferycznych,
- przeciwdziałanie skurczowi spowodowanemu utratą wilgoci z betonu,
- ograniczenie naprężeń termicznych wywołanych gradientem temperatur pomiędzy powierzchnią a wnętrzem dojrzewającego elementu betonowego (naprężenia mogą skutkować zarysowaniem i spękaniami konstrukcji – obniżeniem trwałości).

Wytyczne dotyczące pielęgnacji elementów betonowych zawarte są w normie PN-EN 13670:2011 „Wykonywanie konstrukcji betonowych”:

- metody pielęgnacji powinny zapewnić niski stopień odparowania wody z powierzchni betonu lub utrzymywać powierzchnie w stanie całkowicie nasyconym,
- w przypadku niebezpieczeństwa wystąpienia skurczu plastycznego, pielęgnację należy rozpocząć przed ukończeniem procesu zagęszczania mieszanki betonowej oraz wykańczania powierzchni elementu,
- jeżeli istnieje niebezpieczeństwo, że beton we wczesnym stadium dojrzewania będzie narażony na agresywne oddziaływanie środowiska, sposoby pielęgnacji muszą być opisane w specyfikacji wykonawczej,
- w przypadku betonów wysokich wytrzymałości oraz betonów samozagęszczalnych należy przedsięwziąć specjalne środki w celu zapobieżenia spękanom w wyniku skurczu plastycznego,
- czas trwania pielęgnacji elementu jest powiązany z rozwojem wytrzymałości w strefie powierzchniowej betonu; określony został poprzez klasy pielęgnacji zdefiniowane jako czas bądź procent wytrzymałości charakterystycznej 28 dniowej, przy którym możliwe jest zakończenie procesu pielęgnacji (tab. 6.51),
- klasy pielęgnacji powinny być określone w specyfikacji technicznej wykonawczej,
- specjalne wymagania dotyczące pielęgnacji mogą być podane w specyfikacji wykonawczej,
- środki chemiczne do pielęgnacji nie powinny być stosowane na powierzchniach betonowych o specjalnych wymaganiach – chyba że zostanie udowodnione, iż nie mają negatywnego wpływu na proces wykończenia powierzchni,
- temperatura powierzchni betonu nie może być niższa niż 0°C, do momentu gdy strefa powierzchniowa osiągnie wytrzymałość min. 5 MPa,
- temperatura wnętrza elementu betonowego nie może przekroczyć 70°C, chyba że zostanie udowodnione, iż dobór składników zabezpiecza przed wpływem wysokiej temperatury,
- specyfikacja wykonawcza powinna zawierać zasady dotyczące redukcji niebezpieczeństwa wystąpienia naprężeń termicznych w młodym betonie np. stosowanie mieszanek o niskim ciepłe hydratacji, stosowanie instalacji chłodzących itp.

Tab. 6.51. Klasy pielęgnacji

	Klasa 1.	Klasa 2.	Klasa 3.	Klasa 4.
Czas [h]	12 ^{a)}	nie dotyczy	nie dotyczy	nie dotyczy
Specyfikowana charakterystyczna wytrzymałość 28-dniowa [%]	nie dotyczy	35	50	70
^{a)} Jeżeli czas początku wiązania nie przekracza 5 godzin oraz temperatura powierzchni betonu jest równa bądź wyższa niż 5°C				

Metody pielęgnacji powinny ograniczyć odparowanie wody z powierzchni betonu. Wyróżnia się następujące metody pielęgnacji:

- pielęgnacja na mokro,
- stosowanie osłon,
- stosowanie preparatów do pielęgnacji betonu.

Pielęgnacja mokra

Założeniem tej metody jest zapewnienie kontaktu powierzchni betonu z wodą (od momentu uzyskania wystarczającej twardości powierzchni) oraz przeciwdziałanie skurczowi wysychania.

Wyróżnia się dwa rodzaje skurczu przy wysychaniu betonu:

- skurcz plastyczny – występujący w betonie w stanie plastycznym; przyczyną tego rodzaju skurczu jest parowanie wody z powierzchni betonu lub jej zasysanie przez głębiej położony suchy beton lub grunt (rys. 6.88),



Rys. 6.88. Skurcz plastyczny zabudowanego betonu

- skurcz twardnienia – występujący w twardniejącym betonie na skutek szybkiego wysychania powierzchni betonu przy niskiej wilgotności względnej powietrza, wysokiej temperaturze otoczenia, nasłonecznieniu lub silnym wietrze (rys. 6.89).



Rys. 6.89. Skurcz twardnienia

Prędkość osuszania rośnie ze wzrostem szybkości wiatru i spadkiem wilgotności względnej powietrza. Może prowadzić to do niepełnej hydratacji cementu, zwiększenia skurczu na powierzchni betonu, czego bezpośrednim wynikiem jest powstawanie rys i mikrorys. Szczególnej pielęgnacji należy poddawać betony, których współczynnik w/c jest mniejszy od 0,50. Ma to związek z faktem, iż w próbce izolowanej prawidłowa hydratacja cementu może przebiegać tylko wtedy, gdy ilość wody w zaczynie jest większa od ilości wody już związanej. Analizując ten stan z praktycznego punktu widzenia, betony o $w/c \geq 0,50$ powinny być chronione przed odparowaniem wody. Natomiast betony o $w/c < 0,50$ należy, nie tylko chronić przed odparowaniem wody, lecz należy jej jeszcze dostarczyć. Zabiegi pielęgnacyjne w betonach o niskim w/c wpływają jedynie na zewnętrzną warstwę. Wraz z obniżaniem w/c wzrasta szczelność tej warstwy, a wraz z nią opór dyfuzyjny, w związku z czym transport wody do wnętrza betonu jest coraz trudniejszy. Szczególnie ważna w tym przypadku jest odpowiednia i jak najwcześniej rozpoczęta pielęgnacja, najlepiej, gdy pory kapilarne są jeszcze otwarte. Brak właściwej pielęgnacji wilgotnościowej w tym okresie powoduje osuszenie wnętrza betonu w sposób nieodwracalny. Pielęgnacja wodą w późniejszym czasie jest nieefektywna.

Prowadząc pielęgnację mokrą, nie należy dopuszczać do „szoku” termicznego, tj. polewania nagrzanego betonu zbyt zimną wodą (rys. 6.90).



Rys. 6.90. Uszkodzenie powierzchni betonu na skutek „szoku” termicznego

Do najczęściej stosowanych metod pielęgnacji mokrej należą:

- zraszanie betonu wodą,
- przykrywanie betonu wilgotnymi matami jutowymi, konopnymi lub bawełnianymi (rys. 6.91),
- zalewanie wodą betonowych konstrukcji fundamentowych (rys. 6.92).



Rys. 6.91. Pielęgnacja świeżo ułożonego betonu (przykrywanie matami nasączo-
nymi wodą)

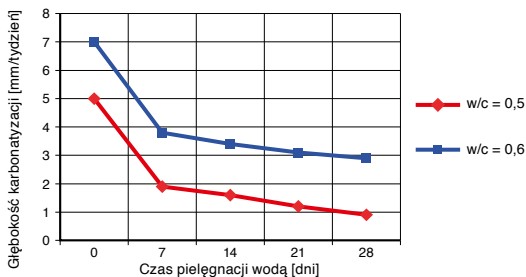


Rys. 6.92. Polewanie powierzchni betonu wodą o odpowiedniej temperaturze

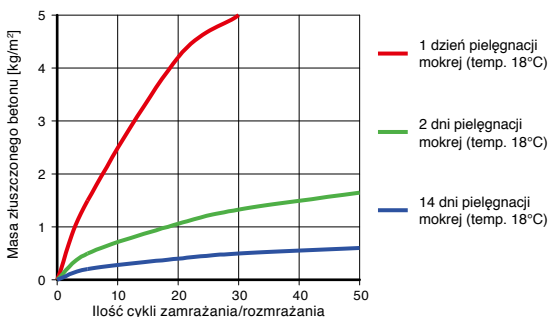
Pielęgnację mokrą powszechnie stosuje się w okresie wysokich temperatur powietrza, silnego nasłonecznienia oraz silnych, ciepłych wiatrów w krótkim czasie wysuszających powierzchnię betonu.

Przykładem tego, jak pielęgnacja wpływa na trwałość betonu, jest zależność pomiędzy długością pielęgnacji a głębokością karbonatyzacji zaprawy, przedstawiona na rys. 6.93. Wraz z wydłużeniem czasu pielęgnacji zmniejsza się grubość warstwy skarbonatyzowanej. Problem ten dotyczy szczególnie betonu zbrojonego, ponieważ w efekcie karbonatyzacji obniża się pH w porach betonu, co może skutkować korozją stali zbrojeniowej.

Podobne zależności można również zaobserwować w przypadku mrozoodporności betonu. Wydłużenie okresu pielęgnacji mokrej umożliwia wykonanie betonu o większej odporności na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie, uzyskanie trwałej, zwartej warstwy wierzchniej betonu, która ma bezpośredni kontakt z otaczającym środowiskiem. Zależność tę pokazano na rys. 6.94.



Rys. 6.93. Zależność pomiędzy czasem pielęgnacji a głębokością karbonatyzacji stwardniałej zaprawy



Rys. 6.94. Wpływ długości pielęgnacji mokrej na mrozoodporność betonu

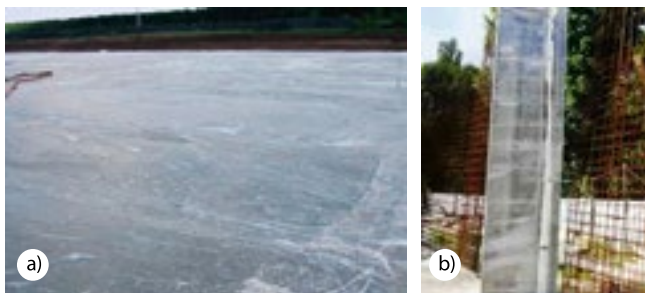
Stosowanie osłon zewnętrznych

Pielęgnacja tym sposobem polega na zastosowaniu osłon pełniących rolę bariery zapewniającej utrzymanie ciepła wydzielanego przez twardniejący beton i zapobiegającej ubytkowi wody z betonu.

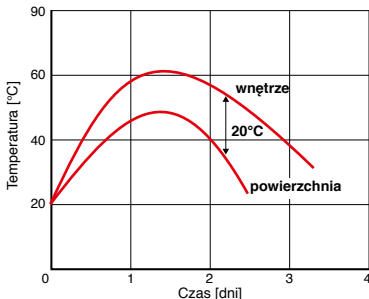
Do powszechnych sposobów pielęgnacji za pomocą osłon zewnętrznych należą:

- okrywanie betonu folią (rys. 6.95). Prowadząc prace betonowe jesienią i zimą zalecane jest stosowanie folii czarnej. Natomiast folię białą, odbijającą promieniowanie, stosuje się przy słonecznej pogodzie. Stosowanie osłon foliowych może powodować wystąpienie miejscowych przebarwień powierzchni betonu (wykwitów) na skutek nierównomiernej kondensacji pary wodnej na powierzchni folii przylegającej do betonu,
- ochrona miejsca wbudowania betonu specjalnym namiotem przed opadami atmosferycznymi, szczególnie przed intensywnym deszczem, ale także przed silnym nasłonecznieniem i wiatrem. Zapobiega to przedwczesnemu przesychnaniu, nadmiernemu rozgrzaniu powierzchni zabudowanego betonu lub niszczeniu powierzchni betonu przez deszcz (często stosowana metoda pielęgnacji przy budowie mostów).

Osłony zewnętrzne stosuje się również przy wykonywaniu betonu masywnego, gdzie istnieje ryzyko spękań termicznych. Proces ten jest wynikiem różnicy temperatur pomiędzy chłodzoną powierzchnią betonu a jego rdzeniem, w którym mogą wystąpić duże przyrosty temperatury. W efekcie beton w rdzeniu ulega rozszerzeniu, co powoduje powstanie naprężeń i spękań zewnętrznej chłodzonej warstwy betonu. Przyjmuje się, że dla różnicy temperatur ok. $20^{\circ}\text{C}/\text{m}$ w betonie nie wystąpią naprężenia krytyczne i spękania (rys. 6.96).

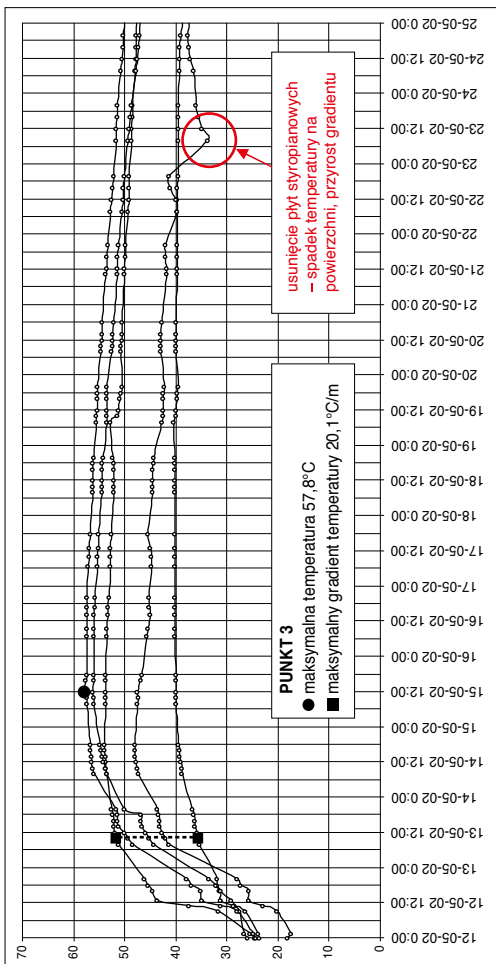


Rys. 6.95. Stosowanie osłon a) przykrywanie powierzchni betonu folią, b) owijanie słupa folią.



Rys. 6.96. Graniczna różnica temperatur (gradient) pomiędzy wnętrzem a powierzchnią zewnętrzną betonu

W praktyce stosowane są różne metody obniżenia gradientu temperatury w twardniejącym betonie. Należą do nich: wykonywanie instalacji chłodzącej wewnątrz betonu, stosowanie cementów o niskim cieple hydratacji (LH), np. cementu hutniczego CEM III i wieloskładnikowego CEM V, czy też stosowanie dodatku popiołu lotnego jako częściowego substytutu cementu. W przypadku pielęgnacji betonów masywnych zalecane jest izolacja cieplna betonu za pomocą folii lub płyt styropianowych. Zalecany jest także monitoring zmian temperatury w betonowanym elemencie i określenie długości koniecznego okresu pielęgnacji (rys. 6.97).



Rys. 6.97. Pomiar temperatury w płycie betonowej

Stosowanie preparatów do pielęgnacji betonu

Metoda ta polega na naniesieniu filmu ochronnego na powierzchnię świeżo ułożonego betonu (rys. 6.98). W przypadku temperatury otoczenia powyżej $+30^{\circ}\text{C}$, silnego nasłonecznienia, silnego wiatru lub względnej wilgotności powietrza poniżej 50%, dodatkowo powierzchnię betonu należy zraszać wodą. Główną zaletą preparatów do pielęgnacji jest możliwość stosowania ich na dużych powierzchniach, praktycznie zaraz po ułożeniu i zagęszczeniu mieszanki betonowej, np. przy budowie dróg i placów parkingowych.

Preparaty do pielęgnacji można podzielić na dwie grupy. Pierwsza grupa to środki stosowane głównie w budownictwie komunikacyjnym i na powierzchniach nieprzeznaczonych do malowania, ewentualnie dalszego wykańczania. Środki te oparte są na żywicach stearynowych i pozostawiają na powierzchni betonu trwałą powłokę, którą można usunąć tylko mechanicznie. O ile w przypadku dróg nie ma to większego znaczenia, to w przypadku np. betonów architektonicznych lub przeznaczonych do malowania, ze względów ekonomicznych (mechaniczne usuwanie), nie są one przydatne. Do tych zastosowań stworzono produkty z drugiej grupy – wolno odparowujące. Wytworzona powłoka znika zupełnie, najczęściej po około czterech tygodniach. Po tym czasie, powierzchnia betonu może być poddana dalszej obróbce.

Preparaty ochronne nanoszone są zwykle poprzez natrysk. Bardzo ważne jest staranne wykonanie powłoki, aby dokładnie „zamknąć” powierzchnię betonu. Przed zastosowaniem określonego preparatu należy wykonać próbę poprzez spryskanie powierzchni betonu określoną ilością (producenci zwykle podają zużycie preparatu w g/m^2). W przypadku nanoszenia na powierzchnie pionowe, natrysk należy prowadzić tak, aby nie doprowadzić do spływania preparatu z powierzchni betonu. Jeśli jest to konieczne, nanoszenie powłoki ochronnej wykonuje się wieloetapowo.



Rys. 6.98. Pielęgnacja betonu poprzez nanoszenie powłoki ochronnej

Pielęgnacja betonu w warunkach obniżonych temperatur

Pielęgnacja betonu w warunkach obniżonych temperatur (poniżej 0°C) polega na zabezpieczeniu młodego betonu przed utratą ciepła i zamarznięciem wody zarobowej. Zalecane jest stosowanie osłon zewnętrznych poprzez okrycie betonu płachtami brezentowymi, matami słomianymi, płytami styropianu lub matami z wełny mineralnej i szczelnymi powłokami, np. folią, papą lub blachą. Inną metodą pielęgnacji jest nagrzewanie betonu za pomocą nadmuchu gorącego powietrza (ewentualnie pary) lub przewodów oporowych wplatanych w zbrojenie (rys. 6.99).



Rys. 6.99. Pielęgnacja betonu za pomocą nadmuchu ciepłego powietrza

Ogólne wytyczne dotyczące pielęgnacji młodego betonu w warunkach obniżonych temperatur:

- w pierwszym okresie pielęgnacji młodego betonu należy chronić beton przed utratą ciepła,
- w przypadku stosowania zewnętrznego źródła ciepła nie należy dopuścić do wysuszenia betonu,
- strumień ciepłego powietrza pochodzący z nagrzewnic powinien być jak najbardziej rozproszony,
- należy nie dopuścić do przemrożenia powierzchni młodego betonu (rys. 6.100),
- nie należy wprowadzać zmian wielkości współczynnika w/c dostarczonej mieszanki betonowej oraz nie należy dodawać jakichkolwiek własnych środków chemicznych do mieszanki betonowej dostarczonej na plac budowy,
- dodanie domieszki chemicznej, popularnie zwanej „przeciwrozową”, nie zastąpi właściwej pielęgnacji betonu.



Rys. 6.100. Uszkodzenie powierzchni betonu wskutek przemrożenia

Długość okresu pielęgnacji

Pielęgnację powierzchni betonu należy rozpocząć bezzwłocznie po zakończeniu operacji zagęszczania i wykańczania betonu tam gdzie jest to konieczne. W razie konieczności ochrony powierzchni betonu przed jej ostatecznym wykończeniem, należy stosować pielęgnację tymczasową.

Długość okresu pielęgnacji świeżo ułożonego betonu jest uzależniona od panujących warunków atmosferycznych i rodzaju zastosowanego cementu, może być określana za pomocą następujących metod:

- pomiaru temperatury z sondy umieszczonej maksymalnie 10 mm pod powierzchnią betonu,
- pomiaru temperatur na podstawie średniej dziennej temperatury,
- pomiaru za pomocą sklerometru Schmidta (po kalibracji na reprezentatywnych próbkach betonu),
- innych metod, których przydatność została udowodniona.

W praktyce najprostszą i najdokładniejszą metodą jest pomiar temperatury powierzchni betonu w odniesieniu do wytycznych zawartych w normie PN-EN 13670 „Wykonywanie konstrukcji betonowych” (tab. 6.52 – 6.54).

Tab. 6.52. Minimalny okres pielęgnacji dla 2. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 35% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} (f_{cm2}/f_{cm28}) = r		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,0	1,5	2,5
$25 > t \geq 15$	1,0	2,5	5
$15 > t \geq 10$	1,5	4	8
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	2,0	5	11

a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
 d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Tab. 6.53. Minimalny okres pielęgnacji dla 3. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 50% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} (f_{cm2}/f_{cm28}) = r		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	1,5	2,5	3,5
$25 > t \geq 15$	2,0	4	7
$15 > t \geq 10$	2,5	7	12
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	3,5	9	18

a) W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 b) W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
 c) Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
 d) Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

Tab. 6.54. Minimalny okres pielęgnacji dla 4. klasy pielęgnacji (odpowiadający wytrzymałości powierzchni wynoszącej 70% wytrzymałości charakterystycznej)

Temperatura (t) powierzchni betonu [°C]	Minimalny okres pielęgnacji [dni] ^{a)}		
	Rozwój wytrzymałości betonu ^{c),d)} $(f_{cm2}/f_{cm28}) = r$		
	szybki $r \geq 0,50$	średni $0,50 > r \geq 0,30$	wolny $0,30 > r \geq 0,15$
$t \geq 25$	3	5	6
$25 > t \geq 15$	5	9	12
$15 > t \geq 10$	7	13	21
$10 > t \geq 5$ ^{b)}	9	18	30

^{a)} W przypadku czasu początku wiązania przekraczającego 5 godzin różnice należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
^{b)} W przypadku gdy temperatura spadnie poniżej 5°C, okres ten należy doliczyć do czasu pielęgnacji.
^{c)} Rozwój wytrzymałości betonu rozumiany jest jako stosunek wytrzymałości na ściskanie po 2 dniach dojrzewania do wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.
^{d)} Dla betonów o bardzo wolnym rozwoju wytrzymałości specyfikacje wykonawcze powinny zawierać specjalne wymagania.

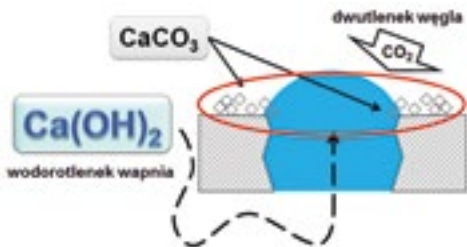
6.7.6. Wykwity węglanowe

Wykwity na elementach betonowych w znaczącej większości mają charakter węglanowy, a podstawowym ich składnikiem jest węglan wapnia CaCO_3 . Wykwity są zjawiskiem naturalnym, związanym obecnością związków wapnia we wszystkich kompozytach cementowych. Wykwity na powierzchni elementów betonowych powstają w wyniku szeregu skomplikowanych procesów fizyko-chemicznych zachodzących w dojrzewającym betonie (zachodzi proces odkładania się rozpuszczonego w wodzie wodorotlenku wapnia, który po parowaniu dyfuzyjnym wody i reakcji z dwutlenkiem węgla z powietrza, wytrąca się na powierzchni betonu jako trudno rozpuszczalny węglan wapnia). Wykwity węglanowe obserwowane na powierzchni zapraw lub betonów występują w postaci plam, które zmieniają swój wygląd od mglistych, białych nalotów wapienych do grubych wykrystalizowanych warstw CaCO_3 .

Powstanie wykwitów na elementach betonowych, a zwłaszcza galanterii betonowej (szczególnie betonowa kostka brukowa), nie jest efektem złej jakości cementu, czy błędów w technologii produkcji i przede wszystkim nie dyskwalifikuje wyrobów z punktu widzenia wymagań jakościowych określonych w normach i aprobatkach technicznych. Obecność wykwitów negatywnie wpływa na odczucia estetyczne, a co za tym idzie, także na upodobania klienta.

Wyróżnia się dwa rodzaje wykwitów:

- pierwotne – powstający w procesie wiązania i twardnienia $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reaguje z CO_2 z powietrza tworząc węglan wapnia CaCO_3 – związek trudnorozpuszczalny w wodzie krystalizujący w postaci białego nalotu (rys. 6.101),



Rys. 6.101. Schemat powstawania wykwitów węglanowych na powierzchni betonu

- wtórne – jako wynik penetracji wody do wnętrza struktury betonu i rozpuszczania związków wapnia; wtórne wykwitki powstają lokalnie i bardzo często są powodowane przez zmienne warunki atmosferyczne (czasem słońce, czasem deszcz, najczęściej wiosną i jesienią) lub nierównomierną kondensację pary wodnej, np. paletyzowana galanteria betonowa (rys. 6.102).



Rys. 6.102. Wykwity węglanowe na powierzchni kostki brukowej

Powstawaniu wykwitów węglanowych sprzyjają:

- wysoki współczynnik w/c w betonie,
- stosowanie niepełukanego kruszywa,
- źle zaprojektowany beton (nieszczelny),
- nieprawidłowo zagęszczony beton,
- warunki atmosferyczne powodujące szybkie wysychanie powierzchni betonu,
- niewłaściwe warunki dojrzewania (brak pielęgnacji),
- występowanie dużej ilości porów na powierzchni betonu – nierówna powierzchnia deskowania, nieefektywny środek antyadhezyjny.

Powstawanie wykwitów można ograniczyć poprzez (rys. 6.103):

- projektowanie betonu o możliwie niskim współczynniku wodno-cementowym,
- dobór kruszywa o uziarnieniu zapewniającym minimalną jamistość,
- odpowiedni dobór rodzaju i ilości cementu,
- właściwe ułożenie, zagęszczenie i pielęgnacja betonu.



Rys. 6.103. Sposoby ograniczania wykwitów węglanowych

Wykwity można usuwać poprzez:

- piaskowanie lub szlifowanie powierzchni (dodatkowo impregnacja powierzchni),
- mycie powierzchni – ługowanie betonu rozcieńczonym kwasem, np. fosforowym (zarówno przed, jak i po zabiegu należy zmyć powierzchnię betonu detergentami, a następnie obficie spłukać wodą).

Wykwity są zjawiskiem przejściowym i w zależności od rodzaju i miejsca zanikają w okresie maksymalnie do 3 lat. Związane to jest z reakcją powolnego przechodzenia CaCO_3 w łatwo rozpuszczalny kwaśny węglan wapnia $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Wykwity zanikają również w wyniku ścierania się z użytkowanej powierzchni.

7

**Grupa Góraźdze
– kontakty**

7.1. Internet

Informacje dotyczące oferty handlowej, właściwości oferowanych produktów oraz działalności poszczególnych linii biznesowych Grupy Górażdże (Górażdże Cement S.A., Górażdże Kruszywa Sp. z o.o. i Górażdże Beton Sp. z o.o.), można znaleźć po adresem internetowym: www.gorazdze.pl.

7.2. Adresy i telefony

Górażdże Cement S.A.

ul. Cementowa 1, 47-316 Chorula
e-mail: gorazdze@gorazdze.pl
www.gorazdze.pl

GÓRAŹDŹE CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group

Informacji na temat cen, warunków sprzedaży oraz dostaw udziela:

Dział Sprzedaży Cementu

tel.: 77 777 88 20 – 26
fax: 77 777 88 03

Informacji dotyczących realizacji dostaw oraz organizacji przewozu cementu udziela:

Dział Centralnej Logistyki

Przyjmowanie zamówień

tel.: 77 777 9010 – transport samochodowy
tel.: 77 777 8858 – transport kolejowy
e-mail: logistyka.samochod@gorazdze.pl

Dyspozytorzy (realizacja zamówień)

tel.: 77 777 9011 – cement luzem
tel.: 77 777 9012 – cement workowany
tel.: 77 777 8858 – transport kolejowy
e-mail: logistyka.flota@gorazdze.pl
fax: 77 777 88 49

Informacji dotyczących właściwości i zastosowania produktów Górażdże Cement S.A. udziela:

Dział Pełnomocnika Zarządu ds. Badań i Rozwoju Produktów Grupy Górażdże

tel.: 77 777 88 14, -16, -29, -30

fax: 77 777 88 03

Badania kruszyw, zapraw i betonów oraz elementów betonowych prowadzi:

Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o.

Laboratorium Materiałów Budowlanych w Strzelcach Polskich

ul. 1 Maja 50, 47-100 Strzelce Opolskie

tel. 77 404 97 59, -68; fax 77 461 36 34

Centrum Technologiczne Betotech Sp. z o.o. w Dąbrowie Górniczej

ul. Roździeńskiego 14, 42-306 Dąbrowa Górnicza

tel. 77 777 94 59, -52, -55

fax 77 777 94 54

Górażdże Beton Sp. z o.o.

ul. Cementowa 1, 47-316 Chorula

tel. 77 777 86 60

fax 77 777 86 70

e-mail: biuro@gorazdzebeton.pl

www.gorazdzebeton.pl

Informacji dotyczących realizacji dostaw oraz organizacji przewozu betonu udziela:

Dział Centralnej Logistyki

Przyjmowanie i realizacja zamówień

tel.: 77 777 90 30 – 34

beton.regionwroclaw@gorazdze.pl

beton.regionkatowice@gorazdze.pl

beton.regionpoznan@gorazdze.pl

beton.regionwarszawa@gorazdze.pl

beton.regionkrakow@gorazdze.pl



Góraźdże Kruszywa Sp. z o.o.

ul. Cementowa 1, 47-316 Chorula

tel. 77 777 86 00

fax 77 777 86 02

e-mail: gorazdekruszywa@gorazdekruszywa.pl

www.gorazdekruszywa.pl

GÓRAŹDŹE KRUSZYWA
HEIDELBERGCEMENTGroup

Informacji dotyczących realizacji dostaw oraz organizacji przewozu kruszyw udziela:

Dział Centralnej Logistyki

Przyjmowanie zamówień

tel.: 77 777 9020

e-mail: kruszywa.samochod@gorazdze.pl

Dyspozytorzy (realizacja zamówień)

tel.: 77 777 9021

fax: 77 777 88 49

e-mail: kruszywa.samochod@gorazdze.pl

8

Literatura

1. W. Kurdowski, „Chemia cementu i betonu”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
2. J. Piasta, W.G. Piasta, „Beton zwykły”, Arkady, Warszawa 1988.
3. J. Deja, J. Małolepszy, E. Skrzyczewski, „Właściwości cementu CP 55S wytwarzanego w Cementowni Góraźdże S.A.”, Cement. Wapno. Beton. 1/96.
4. J. Małolepszy, R. Korczyński, „Zastosowanie cementu szybkotwardniejącego 55S do produkcji dźwigarów strunobetonowych”, XVI Konferencja Naukowo-Techniczna Jadwisin'98.
5. J. Deja, B. Kopia, „Właściwości betonu z cementem hutniczym”, Polski Cement, Kraków 1998.
6. P. Kijowski, B. Kopia, W. Pichór, „Beton w budowie oczyszczalni ścieków”, Polski Cement, Kraków 1998.
7. J. Deja, P. Kijowski, „ABC betonu”, Polski Cement, Kraków 1997.
8. M. Abramowicz, „Roboty betonowe – poradnik”, Arkady, Warszawa 1992.
9. Instrukcja ITB nr 356/98 „Stosowanie cementu powszechnego użytku wg PNB-19701: 1997 w budownictwie”, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1998.
10. P. Łukowski, „Domieszki i dodatki do zapraw i betonów”, Polski Cement, Kraków 1998.
11. Z. Giergiczny, „Odporność na agresję chemiczną cementów zawierających aktywne dodatki mineralne”, Konferencja Naukowo-Techniczna „Zagadnienia materiałowe w inżynierii lądowej”, MATBUD'96, Kraków 1996.
12. S. Bastian, „Betony konstrukcyjne z popiołem lotnym”, Arkady, Warszawa 1988.
13. W. Kurdowski, J. Małolepszy, „Zawartość glinianu trójwapniowego w cemencie a odporność zaprawy na działanie chlorków”, XLII konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 1966.
14. J. Małolepszy, J. Deja, W. Brylicki, M. Gawlicki, „Technologia Betonu”, Skrypt AGH nr 1447, Kraków 1995.
15. W. Brylicki, „Kostka brukowa z betonu wibroprasowanego”, Polski Cement, Kraków 1998.
16. „Betontechnische Daten. Beton nach EN 206-1 und DIN 1045”, Heidelberg Cement Group, 2011.
17. J. Jasiczak, P. Mikołajczyk, „Technologia betonu modyfikowanego domieszkami i dodatkami. Przegląd tendencji krajowych i zagranicznych”, Poznań 1997.
18. E. Kon, „Trwałość betonu w ujęciu europejskiej normy betonowej”, Cement. Wapno. Beton. nr 6/98.
19. W. Żenczykowski, „Budownictwo ogólne”, Arkady, Warszawa 1983.
20. „Memento: Ciments, Betons”, FEBELCEM, Bruksela 1997.
21. A. M. Neville, „Właściwości betonu”, Polski Cement, Kraków 2012.

22. Z. Giergiczny, J. Małolepszy, J. Szwabowski, J. Śliwiński, „Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji”, Instytut Śląski, Opole 2002.
23. Instrukcja ITB 362/99 „Stosowanie pyłów krzemionkowych do wykonywania betonów narażonych na działanie wybranych warunków środowiskowych”, ITB, Warszawa 1999.
24. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Cement hutniczy CEM III/A właściwości i perspektywy zastosowań w budownictwie”, Poznań, 1997.
25. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Efektywne wykorzystanie cementów – wybrane zastosowania w budownictwie”, Wrocław, 1998.
26. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Nowoczesny beton, cementy, dodatki i domieszki chemiczne”, Szczecin, 1998.
27. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton w budowie obiektów hydrotechnicznych i oczyszczalni ścieków”, Chorula, 1998.
28. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Technologia produkcji i badania własności betonowej kostki brukowej”, Kraków, 1999.
29. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, 1999.
30. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Cement z dodatkami mineralnymi. Rodzaje, właściwości i możliwości zastosowania w budownictwie”, – Poznań, Chorula 1999.
31. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Nowoczesne lokalne drogi betonowe”, Góraźdże, 2000.
32. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Tendencje rozwojowe prefabrykacji betonowej”, Poznań, 2000.
33. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton w budownictwie wodnym”, Szczecin, 2000.
34. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, 2000.
35. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton w inżynierii komunikacyjnej”, Poznań, 2001.
36. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Cementy w budownictwie, robotach wiertniczo-inżynierskich oraz hydrotechnice”, Piła, 2001.
37. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, 2001.
38. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, 2002.
39. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton i jego składniki”, Poznań, 2003.
40. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Poznań, 2003.
41. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Trwałość betonu”, Kraków, 2004.
42. Konferencja „Dni Betonu. Szczyrk, październik 2002”, Polski Cement, 2002.

43. Materiały promocyjne firmy SIKA Poland Sp. z o.o.
44. Materiały promocyjne firmy Górażdże BETON Polska Sp. z o.o.
45. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton i jego składniki”, Poznań, 2005.
46. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, 2005.
47. Praca zbiorowa „Beton według normy PN-EN 206-1. Komentarz” Polski Cement, Kraków 2005.
48. Konferencja „Dni betonu, Wisła, 9-11 października 2006”, Materiały Konferencyjne, Polski Cement, Kraków 2006.
49. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Beton cementowy w obiektach hydro-technicznych”, Górażdże, 2006.
50. Z. Giergiczny, „Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych”, Monografia 325, Politechnika Krakowska, Kraków 2006.
51. Materiały z konferencji „Dni Betonu”, Wisła 2008.
52. Praca zbiorowa „Beton przyjazny środowisku”, SPBT, Kraków 2008.
53. Z. Giergiczny, „Dodatki mineralne – niezastąpione składniki współczesnego cementu i betonu. Materiały Budowlane”, nr 3, 2009, s. 46÷50.
54. J. Janiczak, A. Wdowska, T. Rudnicki, „Betony ultrawysokowartościowe. Właściwości, Technologia, Zastosowania”, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2008.
55. Z. Giergiczny, „Popiół lotny do betonu – proponowane zmiany w nowelizowanej normie EN 450-1”, Budownictwo-Technologie-Architektura, 2010, nr 2.
56. Z. Giergiczny, „Cementy z dodatkami mineralnymi składnikami trwałego betonu”, Inżynieria i Budownictwo, nr 5-6, 2010.
57. XII Sympozjum Naukowo Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, 2010.
58. Materiały z Konferencji „Dni Betonu”, Wisła 2010.
59. Z. Giergiczny, „Beton według normy EN 206-1 na przykładzie wybranych krajów europejskich”, Budownictwo-Technologie-Architektura, 2010, nr 4.
60. T. Pużak, „Nanotechnologia – przyszłość prefabrykacji betonowej”, Materiały Budowlane nr 11/2010.
61. Z. Giergiczny, A. Garbacik, D. Dziuk, „Aktywność popiołu lotnego wapiennego w porównaniu z innymi dodatkami mineralnymi stosowanymi w produkcji cementu”, XVII Międzynarodowa Konferencja „Popioły z energetyki”, Warszawa, 24–26.10.2010.
62. T. Pużak, M. Sokołowski, „Cementy w prefabrykacji betonowej”, Konferencja „Prefabrykacja XXI wieku”, Myślenice, 5-7.05.2010.
63. G. Zapotoczna-Sytek, S. Balkovic, „Autoklawizowany beton komórkowy”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
64. Materiały z Konferencji „Dni Betonu”, Wisła 2012.

65. Z. Giergiczny „Popiół lotny w składzie cementu i betonu”, Gliwice 2013
66. A. Garbacik, Z. Giergiczny „Cementy specjalne – nowe kryteria klasyfikacji, wymagań i oceny zgodności”, Budownictwo-Technologie-Architektura, 2014, nr 2
67. XIII Sympozjum Naukowo Techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice 2011
68. XIV Sympozjum Naukowo-Techniczne Reologia w Technologii Betonu, Gliwice 2012
69. J. Bobrowicz, P. Szaj, „Nowelizacja normy 206-1”, Materiały budowlane 11/2013, Warszawa 2013.
70. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 63/2000, poz. 735).
71. A. Bobrowski, M. Gawlicki, A. Łagosz, W. Nocuń-Wczelik, „Cement: metody badań, wybrane kierunki stosowania”, Wydawnictwa AGH, Kraków 2010;
72. Z. Giergiczny, M. Batog, M. Wąsik „Cement jako składnik betonu w inżynierii komunikacyjnej”, Autostrady 8,9/2014.
73. R. Rozborski, „Układanie i zagęszczanie mieszanki betonowej, pielęgnacja świeżego betonu”, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy; Radom 2006.
74. A. Garbacik, Z. Giergiczny, „Cementy specjalne – nowe kryteria klasyfikacji, wymagań i oceny zgodności” Przegląd Budowlany 5/2014.
75. OST M-13.01.00 „Beton konstrukcyjny”, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, <http://www.gddkia.gov.pl/>, stan sierpień 2014.
76. OST D – 05.03.04 „Nawierzchnia Betonowa”, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, <http://www.gddkia.gov.pl/>, stan sierpień 2014.
77. M. Konopska-Piechurska, W. Jackiewicz-Rek, „Reaktywność alkaliczna kruszyw jako czynnik zagrażający trwałości konstrukcji betonowych w Polsce”, XXVI Konferencja Naukowo-Techniczna Awarie Budowlane 2013
78. J. Śliwiński; „Beton zwykły projektowanie i podstawowe właściwości”, Polski Cement, Kraków 1999
79. Sika – Beton praktyczny poradnik
80. Z. Giergiczny, „Dobór cementów do klas ekspozycji wg PN-EN 206-1”, Materiały budowlane 11/2013 (nr 495),
81. Z. Orłowski, „Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego”, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
82. M. Dąbrowska, Praca doktorska: „Wpływ popiołu lotnego wapiennego na odporność korozyjną kompozytów wykonanych z cementu portlandzkiego wieloskładnikowego”, Gliwice 2014
83. W. Drożdż, Praca doktorska: „Wpływ popiołu lotnego wapiennego na przebieg korozji alkalicznej w betonie”, Gliwice 2014
84. PN-88/B-06250 „Beton zwykły”.

85. PN-86/B-06712 „Kruszywa mineralne do betonu”.
86. PN-EN 450-1:2012 „Popiół lotny do betonu. Definicje, wymagania i kontrola jakości”.
87. PN-EN 197-1:2012 „Cement. Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności cementów powszechnego użytku”.
88. PN-EN 197-2:2014 „Cement. Część 2. Ocena zgodności”.
89. PN-B-19707:2013 „Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności”.
90. PN-EN 14216:2005 „Cement. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim ciepłe hydratacji”.
91. PN-EN 206:2014 „Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”.
92. PN-EN 12620+A1:2010 „Kruszywa do betonu”.
93. PN-EN 15743:2010 „Cement supersiarczanowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności”.
94. PN-EN 14647:2007 „Cement glinowo-wapniowy – Skład, wymagania i kryteria zgodności”.
95. PN-EN 13139:2003/AC:2004 „Kruszywa do zaprawy”.
96. PN-EN 13055-1:2003 „Kruszywa lekkie. Część 1: Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy”.
97. PN-EN 13242+A1:2010 ‘Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym”.
98. PN-EN 13043:2004/Ap 1:2010 „Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu”.
99. PN-EN 12350-1:2011 „Badania mieszanki betonowej – Część 1: Pobieranie próbek”
100. PN-EN 12350-2:2011 „Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka”
101. PN-EN 12350-4:2011 „Badania mieszanki betonowej – Część 4: Badanie konsystencji metodą oznaczania stopnia zagęszczalności”
102. PN-EN 12350-5:2011 „Badania mieszanki betonowej – Część 5: Badanie konsystencji metodą stolika rozpluwowego”
103. PN-EN 12350-6:2011 „Badania mieszanki betonowej – Część 6: Gęstość”
104. PN-EN 12350-7:2011 „Badania mieszanki betonowej – Część 7: Badanie zawartości powietrza – Metody ciśnieniowe”
105. PN-EN 12350-8:2012 „Badania mieszanki betonowej – Część 8: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą rozplwy stożka”
106. PN-EN 12350-9:2012 „Badania mieszanki betonowej – Część 9: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą V-lejka”

107. PN-EN 12350-10:2012 „Badania mieszanki betonowej – Część 10: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą L-pojemnika”
108. PN-EN 12350-11:2012 „Badania mieszanki betonowej – Część 11: Beton samozagęszczalny – Badanie segregacji sitowej”
109. PN-EN 12350-12:2012 „Badania mieszanki betonowej – Część 12: Beton samozagęszczalny – Badanie metodą J-pierścienia”
110. PN-EN 12390-1:2013-03 „Badania betonu – Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badań i form”
111. PN-EN 12390-2:2011 „Badania betonu – Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych”
112. PN-EN 12390-3:2011 „Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań”
113. PN-EN 12390-4:2001 „Badania betonu – Część 4: Wytrzymałość na ściskanie – Wymagania dla maszyn wytrzymałościowych”
114. PN-EN 12390-5:2011 „Badania betonu – Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań”
115. PN-EN 12390-6:2011 „Badania betonu – Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań”
116. PN-EN 12390-7:2011 „Badania betonu – Część 7: Gęstość betonu”
117. PKN-CEN/TS 12390-9:2007 “Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Scaling”
118. PN-EN 12390-13:2014 „Badania betonu – Część 13: Wyznaczanie siecznego modułu sprężystości przy ściskaniu”
119. PN-EN 771-4:2012 „Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego”
120. Materiały z następujących stron internetowych:
<http://www.wmb-giewartow.com/pliki/image/img/keramzyt.jpg>
<http://murator-dom.pl/>
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/66/Styropian.jpg>
<http://pl.wikipedia.org/wiki/Keramzyt#mediaviewer/Plik:Hydroton.jpg>
http://pl.wikipedia.org/wiki/Pumeks#mediaviewer/Plik:Pumice_on_20_dollars.jpg
<http://www.kenalsilicafume.com>
<http://multiserw-morek.pl>
<http://warunkibudowlane.pl>
<http://www.basf-admixtures.com>
<http://knm.prz.edu.pl/ciekawe/zamkowy/index.htm>
<http://www.prefbet.pl/>



GÓRAŽDŽE
HEIDELBERGCEMENT Group