

1. BETON I JEGO RODZAJE

Beton – zgodnie z normą PN-EN 206-1 „Beton – Część 1. Wymagania, właściwości produkcyjne i zgodność” – materiał powstały ze zmieszania kruszywa, kruszywa drobnego i grubego, wody oraz ewentualnych domieszek i dodatków, który uzyskuje swoje właściwości w wyniku hydratacji cementu.

Mieszanka betonowa – całkowicie wymieszane składniki betonu, które są jeszcze w stanie umożliwiającym zagęszczenie wybraną metodą.

Beton stwardniały – beton który jest w stanie stałym i który osiągnął pewien poziom wytrzymałości.

Rodzaje betonu:

- *beton lekki* – o gęstości objętościowej od 800 do 2000 kg/m³
- *beton zwykły* – o gęstości objętościowej większej niż 2000 kg/m³ i nie przekraczającej 2600 kg/m³
- *beton ciężki* – o gęstości objętościowej większej niż 2600 kg/m³

2. SKŁADNIKI BETONU

2.1. Cement

- warunków wykonania betonu
- wymaganych właściwości betonu

Dobór klasy cementu w zależności od wymaganej klasy betonu

Klasa cementu	Klasa betonu wg PN-EN 206-1
32,5	C8/10 - C35/45
42,5	C20/25 - C40/50
52,5	C35/45 i wyżej

2.2. Woda zarobowa

Wymagania dotyczące wody zarobowej do produkcji betonu zawarte są w normie PN-EN 1008:2003 „Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody uzyskiwanej z produkcji betonu.”

2.3. Kruszywo

Kruszywa stosowane w produkcji mieszanek betonowych pozyskiwane są ze złóż skały macierzystej, która została podzielona na ziarna w skutek procesów wietrzenia i ścierania lub zamierzonego mechanicznego kruszenia.

Kruszywo stanowi ok. 70-80% całkowitej objętości betonu i ma znaczący wpływ na kształtowanie cech zarówno świeżej mieszanki betonowej jak i stwardniałego betonu.

Norma PN-EN 12620:2004 „Kruszywa do betonu” wprowadziła podział kruszyw na:

- kruszywa naturalne
- kruszywo sztuczne
- kruszywo z recyklingu

2.4. Domieszki chemiczne

Stosowanie domieszek w nowoczesnym betonie jest efektywnym sposobem uzyskania pożądanych cech betonu uwarunkowanych technologią wykonania i przeznaczeniem konstrukcji lub elementu.

Ogólną przydatność domieszek chemicznych ustala się zgodnie z wymogami normy

PN-EN 934-2 „ Domieszki do betonu zaprawy i zaczynu. Domieszki do betonu. Definicje i wymagania.”

Domieszki chemiczne są definiowane w normie PN-EN 934-2 jako materiały dodawane podczas wykonywania mieszanki betonowej, w ilości nie przekraczającej 5% masy cementu w celu modyfikacji właściwości mieszanki betonowej stwardniałego betonu.

Rozróżniamy następujące rodzaje domieszek:

- domieszki uplastyczniające i upłynniające – plastyfikatory plastyfikatory superplastyfikatory
- domieszki napowietrzające
- domieszki uszczelniające
- domieszki opóźniające
- domieszki przyśpieszające
- domieszki zimowe
- domieszki spęczniające
- domieszki stabilizujące
- domieszki do betonowania pod wodą
- domieszki spieniające
- domieszki do zaczynów iniekcyjnych
- emulsje polimerowe

2.5. Dodatki mineralne

Jako dodatki mineralne modyfikujące właściwości betonu stosowane są:

- popiół lotny
- mielony granulowany żużel wielkopiecowy
- pył krzemionkowy

Podstawowy fizyczny mechanizm oddziaływania dodatków mineralnych dodawanych do betonu to uszczelnienie struktury. Charakteryzujące się wysokim stopniem rozdrobnienia (popiół lotny oraz pył krzemionkowy) wypełniają przestrzenie między ziarnami cementu, podobnie jak się to dzieje w przypadku cząstek cementu, które uszczelniają pustki między ziarnami piasku oraz w przypadku piasku uszczelniającego stos okruszowy kruszywa grubego.

Pył krzemionkowy modyfikuje również strukturę porów w stwardniałym zaczynie cementowym. Zwiększa się również udział zamkniętych porów żelowych, a maleje udział porów kapilarnych.

Dodatki mineralne powodują że beton charakteryzuje się wieloma bardzo korzystnymi właściwościami. Do właściwości tych należy zaliczyć:

- wzrost wytrzymałości początkowej i końcowej
- małą przepuszczalność dla gazów i cieczy
- zwiększoną odporność na korozję chemiczną
- zwiększoną mrozoodporność

2.6. Zbrojenie rozproszone – włókna stalowe

Celem dozowania włókien stalowych do mieszanki betonowej jest zmian właściwości mechanicznych betonu. Beton niezbrojony jest materiałem kruchym tzn. w wyniku przekroczenia dopuszczalnych naprężeń rozciągających następuje w nim gwałtowne niekontrolowane kruche pęknięcie, czego rezultatem jest utrata właściwości użytkowych betonu. Ta niekorzystna cecha betonu jest w dużej mierze wyeliminowana w żelbecie, gdzie po zarysowaniu betonu naprężenia przenoszone są przez pręty zbrojenia.

Beton zawierający w swoim składzie włókna tzw. 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
- poprawą dystrybucji naprężeń przed zarysowaniem matrycy betonowej
- przenoszeniem obciążenia przez włókna po zarysowaniu
- ograniczeniem zarysowań. Propagujące rysy napotykać na włókna, które zatrzymują ich dalsze powiększanie i rozwieranie się.

3. WŁAŚCIWOŚCI MIESZANKI BETONOWEJ

3.1 Konsystencja mieszanki betonowej

Konsystencja (ciekłość) mieszanki betonowej wpływa na łatwość przemieszania się mieszanki w formie przy określonym sposobie jej układania.

Zgodnie z normą konsystencję można oznaczać czterema metodami:

- metoda opadu stożka
- metoda Vebe
- metoda stopnia zagęszczalności
- metoda stolika rozplywowego

Konsystencję mieszanki betonowej należy dobierać w zależności od sposobu transportu i zagęszczenia mieszanki oraz kształtu elementu i rozmieszczenia zbrojenia.

Orientacyjny dobór konsystencji mieszanki betonowej

Konsystencja	Sposoby zagęszczenia mieszanki i warunki formowania betonu
Wilgotna	Mieszanki wibroprasowane, przekroje proste niezbrojone
Gęstoplastyczna	Mieszanki wibrowane lub ubijane ręczne, przekroje proste rzadko zbrojone
Plastyczna	Mieszanki wibrowane i ręcznie sztychowane, przekroje proste normalnie zbrojone lub przekroje złożone rzadko zbrojone
Półciekła	Mieszanki wibrowane i ręcznie sztychowane, przekroje złożone gęsto zbrojone
Ciekła	Mieszanki ręcznie sztychowane
Bardzo ciekła	Mieszanki samozagęszczalne

UWAGA!

Niedopuszczalne jest zwiększanie ciekłości mieszanki betonowej dodawaniem wody – powoduje to zwiększenie wartości wskaźnika w/c i pogorszenie właściwości betonu. Konsystencję należy regulować dodawaniem zaczynu cementowego cementowego o optymalnym w/c lub wprowadzeniem domieszek uplastyczniających lub upłynniających.

3.2 Urabialność mieszanki betonowej

Urabialność mieszanki betonowej decyduje o szczelnym, jednorodnym i możliwie łatwym wypełnieniu mieszanką formy przy założonym sposobie zagęszczenia.

Na urabialność mieszanki wpływa:

- objętość zaprawy wprowadzonej do mieszanki
- zawartość frakcji pyłowej
- urabialność mieszanki betonowej powinna być zachowana w całym okresie czasu; tj. od momentu wytworzenia mieszanki w betoniarni aż do jej zabudowania.

4. UKŁADANIE I ZAGĘSZCZENIE MIESZANKI BETONOWEJ

4.1 Układanie mieszanki betonowej

Podstawowym warunkiem właściwego ułożenia mieszanki jest niedopuszczenie do rozsegregowania jej składników. Układanie mieszanki powinno odbywać się przy zachowaniu następujących wymagań:

- maksymalna wysokość swobodnego zrzucania mieszanki powinna się zmniejszać wraz ze wzrostem jej ciepłoty w granicach:
 - 3m – mieszanki o konsystencji gęstoplastycznej
 - 50cm – mieszanki o konsystencji ciekłej
- przy większych wysokościach należy stosować rury, rynny spustowe, rękawy elastyczne
- wyloty urządzeń pochyłych muszą być wyposażone w klapy pozwalające na pionowe opadanie mieszanki

4.2 Zagęszczenie mieszanki betonowej

Zagęszczenie mieszanki betonowej ma na celu szczelne wypełnienie formy mieszanką oraz wyeliminowanie pustek w układanym betonie. Zagęszczenie mieszanki może być przeprowadzone:

- ręcznie – rzadko stosowane, przy użyciu np. prętu stalowego
- mechaniczne – polega najczęściej na wibrowaniu ułożonej mieszanki

Najpowszechniej stosowanym sposobem zagęszczenia jest wibrowanie mieszanki betonowej, prowadzone różnymi rodzajami wibratorów (wgłębnyimi – buławowymi, powierzchniowymi, przyczepnymi).

Przeprowadzone prawidłowo wibrowanie mieszanki zapewnia:

- dokładne wypełnienie deskowania mieszanką
- mniejsze zużycie cementu przy zachowaniu wymaganej wytrzymałości
- jednorodną i szczelną strukturę betonu
- prawidłowe otulenie prętów zbrojenia mieszanką, co zwiększa przyczepność betonu do wkładek stalowych

5. PIELEGNACJA BETONU

Trwałość konstrukcji i elementów betonowych oprócz odpowiedniego doboru surowców i składu mieszanki betonowej oraz produkcji i sposobu jej ułożenia, jest w dużej mierze uzależniona od pielęgnacji świeżego betonu.

Czynności technologiczne związane z pielęgnacją mają na celu:

- zapewnienie optymalnych warunków cieplno-wilgotnościowych w dojrzewającym betonie
- ochrona świeżo wykonanego betonu przed szkodliwym wpływem promieni słonecznych, wiatru, opadów atmosferycznych
- przeciwdziałanie skurczowi spowodowanemu wysychaniem betonu
- redukcję różnicy temperatur pomiędzy powierzchnią betonu a jego rdzeniem
- zapobieganie zamarzaniu wody zarobowej i prawidłowy rozwój wytrzymałości betonu w obniżonych temperaturach otoczenia

W zależności od panujących warunków atmosferycznych rozróżniamy następujące metody pielęgnacji:

- pielęgnacja mokra
- stosowanie osłon zewnętrznych
- stosowanie preparatów do pielęgnacji betonu

6. BETONOWANIE W WARUNKACH OBNIŻONYCH TEMPERATUR

Warunkiem prowadzenia prac w obniżonych temperaturach otoczenia jest utrzymanie temperatury $\geq 5^{\circ}\text{C}$ w mieszance betonowej. Zapewnia to właściwy przyrost wytrzymałości i uzyskanie odporności betonu na działanie mrozu.

Przyjmuje się że odporność na działanie mrozu beton uzyskuje gdy jego wytrzymałość 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

Podniesienie temperatury mieszanki betonowej możliwe jest poprzez:

- zwiększenie zawartości cementu w betonie – ok. 5-10%
- zastosowanie cementów o wyższym cieple hydratacji
- podgrzewanie wody zarobowej
- stosowanie domieszek przyspieszających proces twardnienia

Poniżej zebrano podstawowe praktyczne uwagi do prowadzenie prac betonowych w obniżonych temperaturach:

- temperatura dostarczonej na plac budowy mieszanki betonowej nie może być niższa niż $+5^{\circ}\text{C}$ jednak nie wyższa niż $+30^{\circ}\text{C}$.
- nie wolno dopuścić do zamarznięcia szalunków i zbrojenia
- należy chronić beton przed utratą ciepła w pierwszym okresie
- zabudowany beton chronić przed utratą ciepła przez stosowanie mat i osłon, stosowanie nagrzewania lub nadmuchu ciepłego powietrza
- nie dopuszczać do przemrożenia świeżego betonu, znacznych różnic temperatury pomiędzy rdzeniem a powierzchnią elementu konstrukcyjnego
- nie należy wprowadzać zmian w/c dostarczonej mieszanki betonowej
- **dobrze dodanie mieszanki chemicznej, popularnie zwanej „przeciw mrozowa”, nie zastąpi właściwej pielęgnacji**

7. WŁAŚCIWOŚCI STWARDNIAŁEGO BETONU

7.1 Wytrzymałość na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie jest zwykle podstawowym wymaganie dotyczącym betonu, stawianym na etapie projektowania konstrukcji i elementów betonowych. Właściwość ta jest ściśle związana z mikrostrukturą stwardniałego zaczynu cementowego oraz wytrzymałością kruszywa i strefy kontaktowej kruszywo-zaczyn.

Wytrzymałość betonu na ściskanie jest oznaczana jego klasą.

Zgodnie z normą PN-EN 206-1 klasa betonu to symbol literowo liczbowy (np. C25/30) określający beton pod względem jego wytrzymałości na ściskanie. Liczby po literze C oznaczają wytrzymałość charakterystyczną oznaczaną na próbkach walcowych o wysokości 300mm i średnicy 150mm oraz sześciennych o wymiarach 150x150x150mm.

Klasy wytrzymałości na ściskanie betonu zwykłego

Wg normy PN-EN 206-1	Wg normy PN-88/B-06250
-	B7,5
C8/10	B10
-	B12,5
C12/15	B15
C16/20	B20
C20/25	B25

C25/30	B30
-	B35
C30/37	B37

7.1 Wodoszczelność – głębokość penetracji wody pod ciśnieniem

Norma PN-EN 206-1 wprowadza badanie głębokości penetracji wody pod ciśnieniem będące odpowiednikiem badania wodoszczelności wg normy PN-88/B-06250.

Zmianie uległa procedura badawcza, jak również sposób określania wodoszczelności badanego betonu.

Stopnie wodoszczelności betonu wg PN-88/B-06250

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

7.2 Mrozoodporność

Zamarzająca woda w porach betonu zwiększa objętość o około 10%. Powoduje to naprężenia wewnątrz betonu, które mogą być przyczyną spękań betonu. Ilość uszkodzeń zwiększa się w przypadku cyklicznego zamrażania i rozmrażania betonu, co w konsekwencji prowadzi do całkowitego zniszczenia materiału.

W praktyce odporność betonu na działanie mrozu uzyskuje się poprzez właściwe napowietrzenie mieszanki betonowej za pomocą domieszek chemicznych. Wprowadzeni domieszek napowietrzających pozwala uzyskać zamknięte mikropory, które pozostają niewypełnione wodą.

Badanie mrozoodporności betonu przeprowadza się przy zastosowaniu metod polegających na cyklicznym zamrażaniu i rozmrażaniu próbek betonu w wodzie.

Liczba po literze F oznacza wymaganą liczbę cykli zamrażania i rozmrażania po których ubytek masy i spadek wytrzymałości nie przekroczy dopuszczalnych wartości.

Stopnie mrozoodporności betonu wg PN-88/B-06250

Wskaźnik N	Stopień mrozoodporności
Do 25	F25
26-50	F50
51-75	F75
76-100	F100
101-150	F150

Wskaźnik N – równy liczbie przewidywanych lat użytkowania konstrukcji