



Źródło: [www.fotolia.com](http://www.fotolia.com)

**KURS**

Zaprawy i mieszanki betonowe

**MODUŁ**

Projektowanie zapraw i mieszanek betonowych

**Kurs:** Zaprawy i mieszanki betonowe

## 4 Projektowanie zapraw i mieszanek betonowych

Mimo ogromnego rozwoju narzędzi i metod służących projektowaniu w budownictwie, dotąd nie poświęcono znacznej uwagi zagadnieniu, jakim jest projektowanie i ustalanie składu zapraw. Od lat stosuje się ustalone doświadczalnie receptury dla zapraw cementowo-wapiennych, cementowo-glinianych, wapiennych i gipsowych. Jak pokazuje czas, receptury te są dobrze zaprojektowane, gdyż budynki stawiane przy ich użyciu przetrwały wiele lat bez uszczerbków. Inaczej sprawa się ma z projektowaniem mieszanek betonowych. W tej dziedzinie nastąpił duży postęp. Dziś do pomocy mamy cały szereg udogodnień komputerowych, dzięki czemu dużo łatwiej jest zaprojektować mieszankę betonową i docelowo beton o pożądanych właściwościach.

### 4.1 Zasady projektowania i ustalania składu zapraw

W 1950 r. została opracowana metoda służąca projektowaniu zapraw cementowych, która jest stosowana do dnia dzisiejszego. Wykorzystuje się w niej, jako podstawę, wzór do obliczania wytrzymałości zaprawy cementowej na zginanie<sup>1</sup>:

$$f_z = f_c (1 \div n - 0,05) + 0,4 \text{ [MPa]}$$

gdzie:

$f_z$  – wytrzymałość zaprawy cementowej na zginanie [MPa];

$f_c$  – klasa wytrzymałościowa cementu [MPa];

$n$  – stosunek objętościowy piasku do cementu (p/c).

Jeśli przekształcimy wzór, tak aby niewiadomą był stosunek objętościowy piasku do cementu, otrzymamy<sup>2</sup>:

$$n = p \div c = f_c \div (f_z + 0,05 f_c - 0,4)$$

gdzie:

$p$  – ilość piasku w jednostkach objętości na 1 m<sup>3</sup> zaprawy;

$c$  – ilość cementu w jednostkach objętości na 1 m<sup>3</sup> zaprawy.

Do obliczeń przyjmuje się, że w 1 m<sup>3</sup> zaprawy jest 1 m<sup>3</sup> piasku luźno wsypanego. Wtedy otrzymujemy:

$$c = 1 \div n = (f_z + 0,05 f_c - 0,4) \div f_c$$

**Przykład:**

<sup>1</sup> Stefańczyk B. (red.), *Budownictwo ogólne*, t. 1, *Materiały i wyroby budowlane*, Arkady, Warszawa 2007, s. 299.

<sup>2</sup> Tamże.

Oblicz, ile cementu i piasku powinno się znaleźć w zaprawie M10 wykonanej z cementu CEM I 32,5.

Z treści zadania wiemy, że:

$$f_z = 10 \text{ MPa};$$

$$f_c = 32,5 \text{ MPa}.$$

Podstawiając wartości do wzoru, otrzymujemy:

$$c = (10 + 0,05 \times 32,5 - 0,4) \div 32,5;$$

$$c = 11,225 \div 32,5 = 0,345 \text{ m}^3.$$

W podanej zaprawie powinno znaleźć się  $0,345 \text{ m}^3$  cementu.

Następnie korzystamy ze wzoru:

$$p \div c = f_c \div (f_z + 0,05 f_c - 0,4)$$

Podstawiając wyniki, otrzymujemy:

$$p \div c = 32,5 \div 10 + 0,05 \times 32,5 - 0,4;$$

$$p \div c = 32,5 \div 11,225 \div c;$$

$$p = 32,5 \times 0,345 \div 11,225;$$

$$p = 1 \text{ m}^3;$$

W podanej zaprawie powinien znaleźć się  $1 \text{ m}^3$  piasku.

Przy założeniu, że gęstość nasypowa cementu wynosi  $1200 \text{ kg/m}^3$ , otrzymujemy ilość cementu 414 kg. Jeśli chcemy, aby konsystencja zaprawy była plastyczna, musimy do zaprawy dodać ok. 220 l wody.

Aby poprawić urabialność zaprawy, należy dodać do niej ciasto wapienne bądź glinianą zawiesinę. Ilość tych składników obliczymy według wzoru<sup>3</sup>:

$$D = 170 (1 - 0,002c) [l]$$

gdzie:

c – masa cementu obliczona z powyższych wzorów;

D – objętość ciasta wapiennego o konsystencji 12 cm lub objętość glinianej zawiesiny o konsystencji 15 cm.

## 4.2 Zasady projektowania składu mieszanki betonowej

Projektowanie mieszanki betonowej polega na dobraniu odpowiednich składników oraz ustaleniu ich proporcji. Poszczególne składniki oznacza się następującymi skrótami:

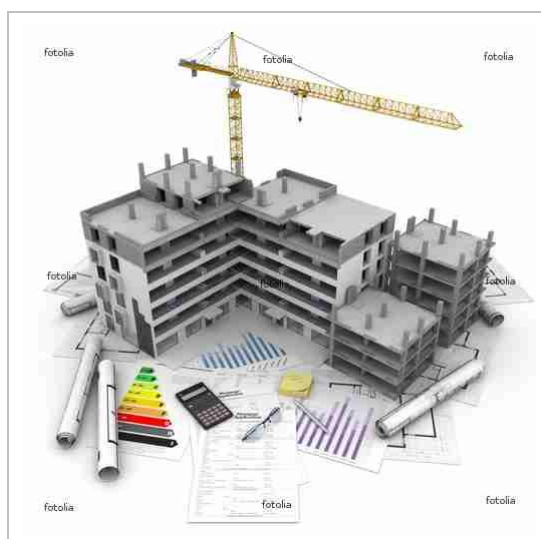
<sup>3</sup> Tamże.

- spoiwo cementowe – C;
- wypełniacz – kruszywo – K<sup>1</sup>;
- woda – W;
- domieszki – Dom;
- dodatki – Dod.

Jakościowe projektowanie mieszanki betonowej polega na takim doborze składników, żeby zaprojektowana mieszanka spełniała wymagania bezpieczeństwa i trwałości, a obiekty wznoszone z danej mieszanki spełniały wymagania użytkowe. Ilościowe projektowanie mieszanki betonowej polega natomiast na doborze odpowiednich proporcji składników, tak aby zaprojektowana mieszanka spełniała warunek urabialności oraz warunki postawione przez projektanta, i oczywiście określone przez normy. Jest wiele metod projektowania, ważne jest, aby wybierając metodę, mieć na uwadze uzyskanie dobrych i pożądanych właściwości mieszanki betonowej i betonu. W Polsce stosuje się obecnie 3 metody:

- Paszkowskiego;
- Bukowskiego;
- Kluza i Eymana.

Wszystkie te metody nazywane są obliczeniowo-doświadczalnymi i oparte są na teoretycznej metodzie trzech równań. W metodach tych najpierw obliczamy teoretyczne ilości składników mieszanki, następnie sprawdzamy je w warunkach laboratoryjnych i na tej podstawie ustalane są rzeczywiste ilości składników, które posłużą nam do wytworzenia mieszanki betonowej. Sprawdzenie mieszanki betonowej musi uwzględnić stosowaną technologię betonu i być wykonane na składnikach rzeczywiście stosowanych w produkcji mieszanki.



Rysunek 4.1 Prace budowlane

Źródło: <http://pl.fotolia.com/Content/Comp/49871772>

#### 4.2.1 Założenia do projektowania mieszanki betonowej

Do założeń projektowania zaliczamy<sup>4</sup>:

- określenie danych wyjściowych;
- projektowanie ilościowe oraz jakościowe, przy uwzględnieniu właściwości składników mieszanki betonowej;
- zweryfikowanie za pomocą doświadczeń i praktyki recepty laboratoryjnej i ustalenie recepty do wykonania mieszanki;
- dążenie do zminimalizowania kosztów produkcji przy jednoczesnym zachowaniu pożądanych właściwości mieszanki betonowej.

Określenie danych wyjściowych polega na<sup>5</sup>:

- przeczytaniu i zapoznaniu się z dokumentacją zaprojektowanego obiektu (należy zapoznać się z wymiarami i przekrojami poszczególnych elementów, poznać rozstawy i otuliny prętów);
- ustaleniu metody i warunków wykonania betonu z jednoczesnym uwzględnieniem rodzajów i ilością posiadanych przez wykonawcę maszyn i urządzeń potrzebnych do jej wykonania, a także technologii układania i zagęszczania mieszanki oraz jej pielęgnacji.

Jakościowe i ilościowe projektowanie mieszanki betonowej zawiera:

- określenie klasy betonu;
- wybranie odpowiedniego cementu i kruszywa, tak aby zminimalizować koszty produkcji mieszanki przy jednoczesnym zachowaniu jej dobrych, pożądanych właściwości;
- ustalenie cech składników użytych do produkcji mieszanki;
- ustalenie konsystencji mieszanki przy uwzględnieniu maszyn i środków transportu;
- wybranie odpowiedniej metody projektowania;
- ustalenie ilości poszczególnych składników na 1 m<sup>3</sup> mieszanki betonowej, czyli opracowanie recepty laboratoryjnej.

#### 4.2.2 Jakościowy dobór składników mieszanki betonowej

##### Dobieranie rodzaju i klasy cementu

Podstawowym parametrem cementu jest jego klasa. Określa ona maksymalną wytrzymałość na ściskanie zaprawy wykonanej z takiego cementu. Dobór

<sup>4</sup> Tamże.

<sup>5</sup> Śliwiński J., *Beton zwykły – projektowanie i podstawowe właściwości*, Polski Cement, Kraków 1999, s. 71.



odpowiedniego rodzaju cementu musi być oparty na szczegółowej analizie elementu, dla którego dana mieszanka jest projektowana. Musimy odpowiedzieć sobie na pytania: jakie są wymiary elementu, dla którego projektujemy mieszankę; jakie funkcje będzie spełniał dany element; jakie będą warunki użytkowania danego elementu. Elementy masywne, ciężkie powinny być wykonane z cementu o możliwie najniższym cieple hydratacji. Elementy, na które oddziaływać będą czynniki chemiczne, powinny być wykonane z cementu o maksymalnej odporności na dany rodzaj korozji.

Korozję betonu dzielimy m.in. na:

- korozję ługującą, która polega na rozpuszczaniu spoiwa i wynoszeniu wymywanych związków na powierzchnię betonu;
- korozję węglanową, spowodowaną dwutlenkiem węgla zawartym w wodzie i powietrzu. W wyniku jego działania powstaje rozpuszczalny węglan wapnia, który jest ługowany z betonu, co osłabia jego strukturę<sup>6</sup>.

Dobierając cement do mieszanki, należy szczegółowo zapoznać się z informacjami zamieszczonymi przez producenta na etykiecie.

### Dobieranie kruszywa

Marka kruszywa, które ma zostać użyte do wykonania mieszanki betonowej, musi być przynajmniej równa klasie projektowanego betonu. Do wykonania betonu należy wybierać takie kruszywa, których krzywe przesiewu zawierają się w obrębach poprawnego uziarnienia. Krzywe przesiewu (inaczej uziarnienia), na podstawie wykonanej wcześniej analizy sitowej, nanoszone są na specjalną siatkę półlogarytmiczną. W wyniku czego otrzymujemy ciągłą krzywą uziarnienia dla danego kruszywa lub mieszanki mineralnej – inaczej mówiąc, jest to graficzne przedstawienie uziarnienia<sup>7</sup>.

### 4.3 Klasyczna metoda trzech równań

Jako bazę metody przyjmuje się trzy równania. Jest ona sklasyfikowana jako metoda obliczeniowo-doświadczalna i uwzględnia jakość kruszywa i cementu. Te trzy równania spełniają główne warunki projektowania optymalnego ilości cementu, kruszywa oraz wody w mieszance betonowej. Omawiane warunki to<sup>8</sup>:

- warunek wytrzymałości;

$$f_c = A_i (C \div W +/ - a)$$

- warunek konsystencji;

$$W = Cw_c + Kw_k$$

- warunek szczelności;

$$C \div \rho_c + K \div \rho_k + W = 1000$$

<sup>6</sup> <http://www.chemiabudowlana.info/index,sloownik,106>.

<sup>7</sup> [http://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa\\_uziarnienia](http://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa_uziarnienia).

<sup>8</sup> Stefańczyk B. (red.), *Budownictwo ogólne...*, dz. cyt., s. 349.

gdzie:

$f_c$  – średnia wytrzymałość na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania [MPa],

$A_i$  ( $A_1$  lub  $A_2$ ) – współczynnik zależny od rodzaju i klasy kruszywa oraz cementu,

$a$  – wielkość liczbowa w przybliżeniu równa 0,5, która może być wyznaczona doświadczalnie,

$C$  – ilość dozowanego cementu,  $\text{kg}/\text{m}^3$  betonu,

$W$  – ilość wody,  $\text{dm}^3/\text{m}^3$  betonu,

$\rho_c$  – gęstość cementu [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ],

$\rho_k$  – gęstość kruszywa (kruszywo drobne + lekkie) [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ],

$w_c$  – wodożądność cementu [ $\text{dm}^3/\text{kg}$ ],

$w_k$  – wodożądność kruszywa [ $\text{dm}^3/\text{kg}$ ].

### Warunek wytrzymałości

Pomiędzy wytrzymałością betonu a jego składem istnieje zależność opisywana wzorami Fereta i Bolomeya. Do obliczeń należy przyjąć, że ilość powietrza zawartego w mieszance wynosi zero, gdy w praktyce mieści się w przedziale 2–4%. Wytrzymałość na ściskanie określa poniższy wzór<sup>9</sup>:

$$f_c = A (C \div (W + p) - a)$$

gdzie:

$a$  – stała wartość – 0,5,

$p$  – zawartość powietrza w mieszance betonowej [ $\text{dm}^3$ ].

Powyższy wzór uproszono, zakładając, że  $p = 0$ . W przypadku, gdy stosunek  $C \div W > 1,2$  oraz gdy  $C \div W < 2,5$ , wykorzystuje się wzór<sup>10</sup>:

$$f_c = A1 (C \div W - 0,5)$$

Gdy  $C \div W > 2,5$  oraz gdy  $C \div W \geq 2,8$ , stosujemy poniższy wzór<sup>11</sup>:

$$f_c = A2 (C \div W + 0,5)$$

Zawarte we wzorze współczynniki  $A_i$  są przyjmowane szacunkowo, a ich wartości podane są w tabeli poniżej:

<sup>9</sup> Tamże.

<sup>10</sup> Tamże.

<sup>11</sup> Tamże.

## Wartości współczynnika A

KRUSZYWO	WSPÓCZYNNIK A	KLASA CEMENTU		
		32,5	42,5	52,5
OTOCZAKOWE	A <sub>1</sub>	20 – 22	22 – 24	24 – 25
	A <sub>2</sub>	14	15	16
ŁAMANE	A <sub>1</sub>	22 – 24	24 – 25	25 – 26
	A <sub>2</sub>	15	16	17,5

Tabela 4.1 Wartości szacunkowe współczynnika A [MPa]<sup>12</sup>

## Warunek urabialności i konsystencji

Im bardziej płynna jest mieszanka betonowa, tym większa jest zawartość wody w tej mieszance i tym łatwiej jest ją zagęścić w formie. Na stopień ciekłości mieszanki ma również wpływ ilość cementu, jego powierzchnia właściwa oraz kruszywo i jego właściwości. Jeśli chcemy uzyskać dobrą urabialność mieszanki, musimy dopilnować, aby objętość zaprawy nie była większa niż 450 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. Jeśli jako składnik mieszanki zastosujemy żwir do 11,2 mm, objętość zaprawy powinna być nie większa niż 400 dm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.

Aby obliczyć wodożądność kruszywa, należy zastosować metodę doświadczalną do uzyskania pożądanej konsystencji dla próbných zarobów danej mieszanki, a następnie skorzystać ze wzoru<sup>13</sup>:

$$w_k = (W - Cw_c) \div K$$

## Warunek szczelności

Szczelność obliczamy według wzoru<sup>14</sup>:

$$S = \rho_0 \div \rho_b; 0 < S \leq 1$$

gdzie:

$\rho_0$  – gęstość objętościowa badanej mieszanki,

$\rho_b$  – gęstość mieszanki betonowej.

Zagęszczona mieszanka powinna zawierać zerową objętość powietrza, praktyka jednak pokazuje, że zawartość ta mieści się w granicy 2–4%. Mieszanka jest tym bardziej plastyczna, im większa jest w niej zawartość powietrza.

<sup>12</sup> Stefańczyk B. (red.), Budownictwo ogólne..., dz. cyt., s. 350.

<sup>13</sup> Tamże.

<sup>14</sup> Tamże.





## 4.4 Literatura

### 4.4.1 Literatura obowiązkowa

- Kijowska T., Betoniarz, Kabe, Warszawa 2007;
- Kozłowski M., Wykonywanie mieszanek betonowych, WSiP, Warszawa 2013;
- Panas J., Nowy poradnik majstra budowlanego, Arkady, Warszawa 2012;
- Pikoń A., AutoCAD 2011 PL, Helion, Warszawa 2011;
- PN-EN 1992-1-1:2008 „Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków”;
- Stefańczyk B. (red.), Budownictwo ogólne, t. 1, Materiały i wyroby budowlane, Arkady, Warszawa 2007;
- Śliwiński J., Beton zwykły – projektowanie i podstawowe wiadomości, Polski Cement, Kraków 1999.

### 4.4.2 Netografia

- [http://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa\\_uziarnienia](http://pl.wikipedia.org/wiki/Krzywa_uziarnienia);
- <http://www.chemiabudowlana.info/index.slownik,106>.

## 4.5 Spis tabel i rysunków

Rysunek 4.1 Prace budowlane .....	4
Tabela 4.1 Wartości szacunkowe współczynnika A [MPa] .....	8

## 4.6 Spis treści

4	Projektowanie zapraw i mieszanek betonowych.....	2
4.1	Zasady projektowania i ustalania składu zapraw.....	2
4.2	Zasady projektowania składu mieszanki betonowej.....	3
4.2.1	Założenia do projektowania mieszanki betonowej .....	5
4.2.2	Jakościowy dobór składników mieszanki betonowej .....	5
4.3	Klasyczna metoda trzech równań.....	6
4.4	Literatura.....	9
4.4.1	Literatura obowiązkowa .....	9
4.4.2	Netografia .....	9
4.5	Spis tabel i rysunków.....	9