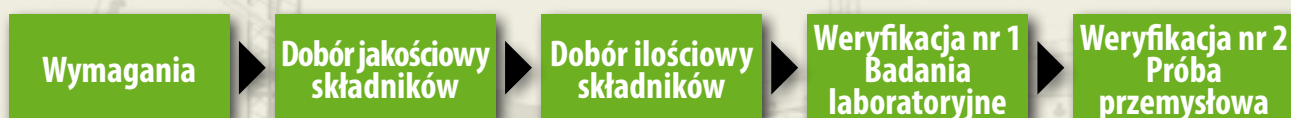


Dobór składu ziarnowego mieszanki betonowej jest istotnym elementem projektowania betonu (badania wstępne wg PN-EN 206:2014 „Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność”). Proces projektowania betonu rozpoczyna się od zdefiniowania wymagań jakie ma spełniać mieszanka betonowa i beton stwardniały (klasa ekspozycji). Oznacza to, że w wielu przypadkach proces projektowania betonu to kompromis pomiędzy zapewnieniem wymaganych właściwości betonu z uwagi na technologię robót budowlanych, a gwarancją wymaganej trwałości i wytrzymałości. Zbiór uwzględnionych wymagań trwałościowych, wytrzymałościowych oraz technologicznych tworzy wytyczne do projektowania betonu. W oparciu o zdefiniowane wytyczne do projektowania przeprowadza się dobór jakościowy i ilościowy składników betonu. Ostatnim etapem projektowania betonu jest weryfikacja receptury poprzez wykonanie zarobów próbnych w laboratorium, a następnie wykonanie próby w warunkach przemysłowych. Ogólny proces projektowania betonu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Ogólny proces projektowania betonu

ZACZYN CEMENTOWY A KRUSZYWO

Beton jest materiałem kompozytowym dwuskładnikowym. Matrycę stanowi zaczyn cementowy, zaś kruszywo jest wypełniaczem. Strefa stykowa zaczyn-kruszywo decyduje o wytrzymałości i trwałości betonu. Optymalnym rozwiązaniem jest zapewnienie takiej ilości zaczynu, aby mieszanka betonowa była urabialna, a beton stwardniały posiadał wymaganą trwałość i wytrzymałość. Tak prowadzony proces projektowania betonu wymaga komponowania mieszanki kruszywowej z kruszywo o różnych rozmiarach ziaren, co pozwala na osiągnięcie maksymalnej szczelności. Maksymalna szczelność stosu okruszowego pozwala na minimalizację zapotrzebowania na zaczyn. Tym samym zmniejszana jest grubość strefy kontaktowej zaczyn-kruszywo. Uproszczony model betonu przedstawiono na rys. 2.



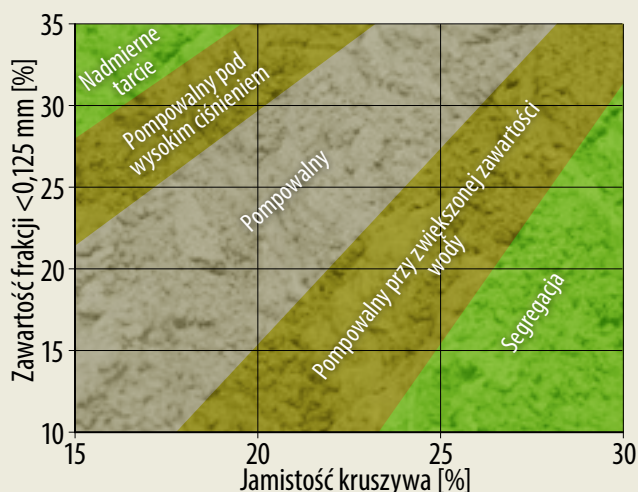
Rys. 2. Uproszczony model betonu

DOBÓR JAKOŚCIOWY KRUSZYWA

Zapewnienie wymaganej trwałości betonu można osiągnąć, stosując się do wymagań z klas ekspozycji zawartych w PN-EN 206. W przypadku projektowania betonu dla klas ekspozycji XF, należy stosować kruszywo mrozoodporne. Kruszywo powinno być pozbawione zanieczyszczeń organicznych, posiadać stałe właściwości podczas sezonu produkcyjnego.

MIESZANKA KRUSZYWOWA

Kruszywo drobne charakteryzuje się większą powierzchnią właściwą, co przekłada się na wyższą wodożądność. Wodożądność jest to ilość wody potrzebna do uzyskania założonej konsystencji. W efekcie stosowania samego kruszywa drobnego (duża powierzchnia właściwa) zwiększamy zapotrzebowanie na zaczyn cementowy w wyniku dużej wodożądności. W przypadku stosowania tylko kruszywa grubego zwiększamy jamistość. Jamistość jest to zawartość pustych przestrzeni pomiędzy ziarnami kruszywa. Puste przestrzenie pomiędzy ziarnami kruszywa także zwiększają zapotrzebowanie na zaczyn cementowy. W oparciu o kompromis pomiędzy jamistością a wodożądnością, komponuje się mieszankę kruszywową, czyli zestaw kruszyw o różnej frakcji. Wpływ wodożądności, wyrażonej jako zawartość frakcji poniżej 0,125 mm (suma spoiwa i kruszywa) oraz jamistości na właściwości mieszanki betonowej, przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Wpływ wodożądności i jamistości na właściwości mieszanki betonowej

ZNACZENIE ANALIZY SITOWEJ PRZY PROJEKTOWANIU BETONU

Dobór składu ziarnowego mieszanki betonowej możliwy jest tylko po uprzedniej analizie sitowej wszystkich frakcji kruszyw, które będą w składzie mieszanki kruszywowej. W wyniku przeprowadzonej analizy sitowej uzyskuje się pełną informację o uziarnieniu kruszyw. Przy projektowaniu krzywej uziarnienia wykorzystuje się procent masy przechodzącej przez dane sito. Charakterystycznymi punktami odczytanymi z wyników analizy sitowej są punkt piaskowy (zawartość frakcji $\leq 2,0$ mm) oraz zawartość frakcji poniżej 0,25 mm.

PUNKT PIASKOWY

Podstawową właściwością stosu okruszowego jest punkt piaskowy, czyli zawartość frakcji poniżej 2 mm, wyrażana w procentach do całkowitej zawartości kruszywa w betonie. Punkt piaskowy nie jest tożsamy z zawartością procentową piasku w mieszance kruszywowej, ponieważ piasek (kruszywo drobne) może zawierać nadziarno, zaś kruszywo grube może zawierać podziarno (poniżej 2 mm). W celu zapewnienia właściwej urabialności (zdolność do układania i zagęszczania) mieszanki betonowej, mieszanka kruszywowa musi charakteryzować się odpowiednim punktem piaskowym.

Większość produkowanych betonów (mieszanek betonowych) podawana jest na placach budowy za pomocą pomp. Punkt piaskowy ma duże znaczenie z punktu widzenia pompowności mieszanki oraz wpływa na efekt ściany. Orientacyjne granice punktu piaskowego dla mieszanek betonowych:

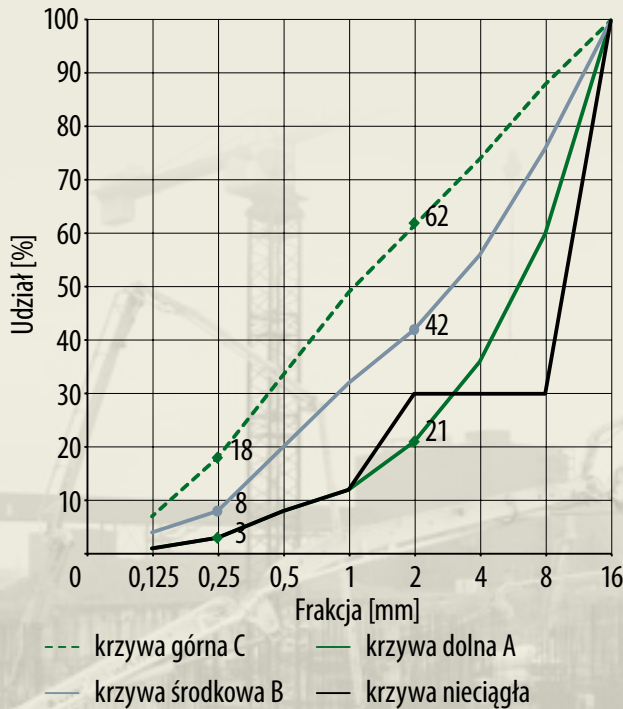
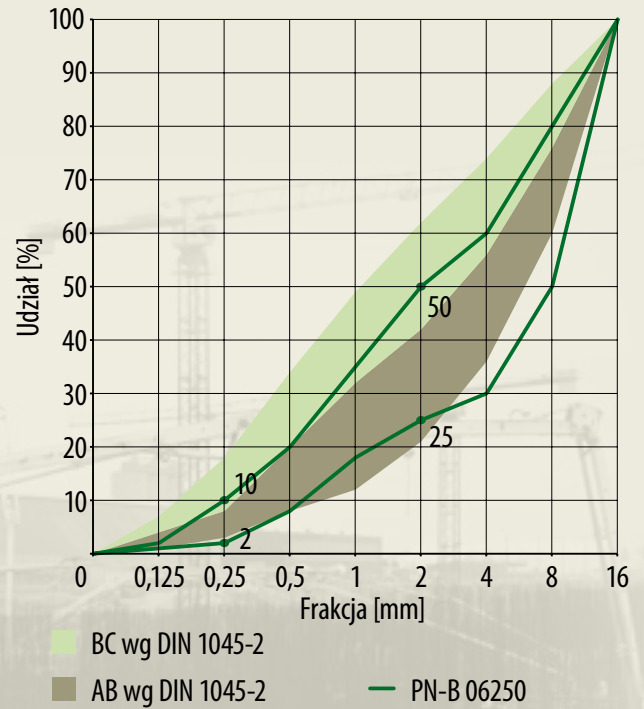
- 27-30% – mieszanki betonowe układane ręcznie, zagęszczane mechanicznie (wibrowane); konsystencja plastyczna, półciekła; elementy zbrojone (st. zbrojenia $<2,5\%$),
- 35-40% – mieszanki betonowe podawane pompą, wibrowane lub samozagęszczane; konsystencja półciekła, ciekła; elementy gęsto zbrojone
- 45-60% – mieszanki wibroprasowane; konsystencja wilgotna, gęstoplastyczna; elementy niezbrojone lub rzadko zbrojone, o prostym, nieskomplikowanym kształcie przekroju.

ZAWARTOŚĆ FRAKCJI PONIŻEJ 0,25 MM

Istotną właściwością mieszanki kruszywowej jest zawartość frakcji poniżej 0,25 mm, wyrażana w procentach do całkowitej zawartości kruszywa w betonie. Zawartość frakcji poniżej 0,25 mm decyduje o spoistości mieszanki betonowej, czyli wpływa na jej urabialność, ma wpływ na ograniczenie zjawiska wydzielania wody z betonu (bleeding), ale także wpływa na skurcz betonu. Z tego powodu zawartość frakcji poniżej 0,25 mm w mieszance kruszywowej dobiera się z uwagi na rodzaj projektowanego betonu, przykładowo dla betonów posadzkowych optymalna zawartość mieści się w przedziale $4 \div 6\%$, ponieważ wymagane jest ograniczenie bleedingu, ale zbyt duża zawartość frakcji poniżej 0,25 mm zwiększa ryzyko zarysowania powierzchni betonu w wyniku skurczu.

KRZYWE NORMOWE

W oparciu o kompromis pomiędzy wodozadržnością a jamistością kruszywa zostały opracowane tzw. krzywe normowe. Krzywe normowe, to graficzne przedstawienie procentowej ilości kruszywa przechodzącej przez dane sito. W zależności od pochodzenia krzywych granicznych, czy to na przykład z normy DIN 1045-2:2014 „Konstrukcje nośne betonowe, żelbetowe i ze sprężonego betonu - Część 2: Beton - Ustalenia, właściwości, wytwarzanie i zgodność - Zasady stosowania do DIN EN 206” czy PN-B-06250 „Beton zwykły”, tworzone są one przez dwa lub kilka wykresów liniowych. Obszar pomiędzy krzywymi określany jest jako obszar dobrego uziarnienia. Przedstawiono przykładowe krzywe graniczne z DIN 1045-2 (rys. 4.) oraz PN-B-06250 (rys. 5.).

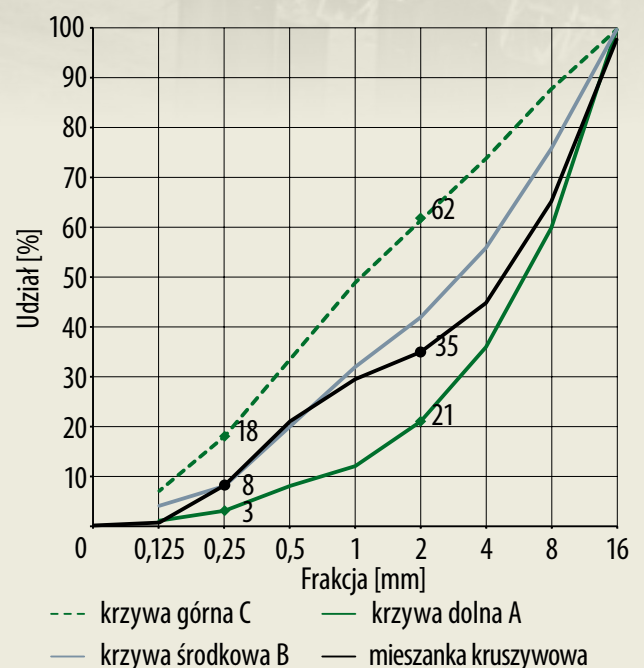
Rys. 4. Krzywe graniczne DIN 1045-2 $D_{max} = 16\text{mm}$ Rys. 5. Krzywe graniczne PN-B-06250 na tle DIN 1045-2, $D_{max} = 16\text{mm}$

DOBÓR SKŁADU ZIARNOWEGO DLA RÓŻNYCH MIESZANEK BETONOWYCH

Doboru składu ziarnowego mieszanki betonowej dokonuje się zestawiając wyniki przeprowadzonej analizy sitowej posiadanych frakcji kruszyw z krzywymi granicznymi. Przyjmując wymagania, wynikające z rodzaju cementu, dobiera się ilościowo z każdej frakcji kruszywa tworzącej mieszankę kruszywową. Krzywe graniczne zawarte w normie DIN 1045-2, pozwalają na uwzględnienie większości rodzajów betonu. Krzywe graniczne z normy PN-B-06250 charakteryzują się węższym zakresem stosowania.

BETON ZWYKŁY

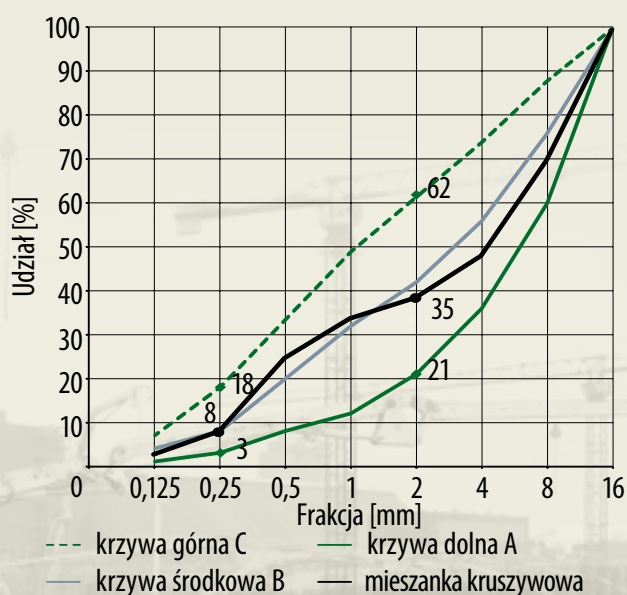
Decydującym wymogiem przy projektowaniu betonu zwykłego jest sposób układania mieszanki betonowej na placu budowy. W przypadku podawania betonu pompą, wymagane jest, aby mieszanka betonowa charakteryzowała się odpowiednią spójnością dla uniknięcia ryzyka jej segregacji. Maksymalny wymiar ziarna przyjmuje się jak $< 1/3$ średnicy przewodów pompy. Krzywa uziarnienia powinna być ciągła, zaś zawartość frakcji 4 – 8 mm powinna być minimalizowana. Punkt piaskowy dobiera się w przedziale 35 ÷ 40%. Przykładową krzywą uziarnienia betonu zwykłego pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Przykładowa krzywa uziarnienia betonu zwykłego

BETON POSADZKOWY

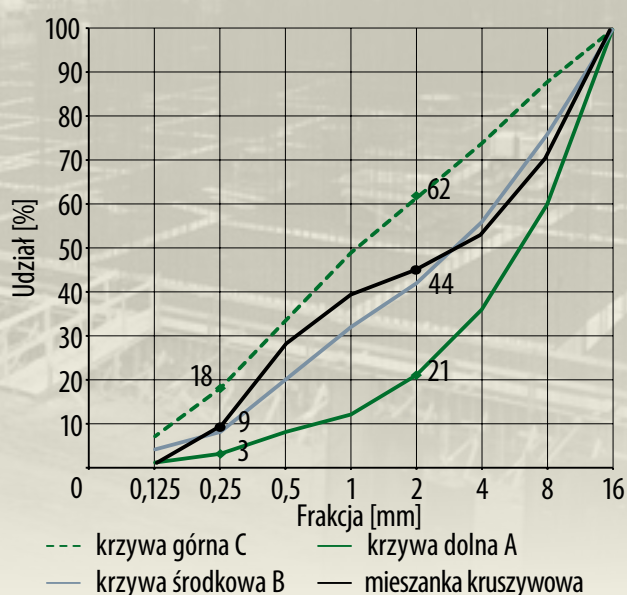
Głównym wymaganiem dla betonu posadzkowego jest ograniczenie skurczu. Optymalizowana jest zawartość frakcji poniżej 0,25 mm w mieszance kruszywowej. Zbyt niska zawartość może przyczynić się do wystąpienia wydzielania wody z mieszanki (bleeding), natomiast zbyt duża zawartość może powodować nadmierny skurcz betonu. Zaleca się, aby zawartość frakcji <0,25 mm mieściła się w zakresie od 4 do 6 %. W ogólnych przypadkach, dobór składu ziarnowego betonu posadzkowego polega na zaprojektowaniu krzywej uziarnienia w obszarze AB, krzywych granicznych DIN 1045-1. Przykładową krzywą uziarnienia betonu zwykłego pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Przykładowa krzywa uziarnienia betonu posadzkowego

BETON SAMOZAGĘSZCZALNY (SCC)

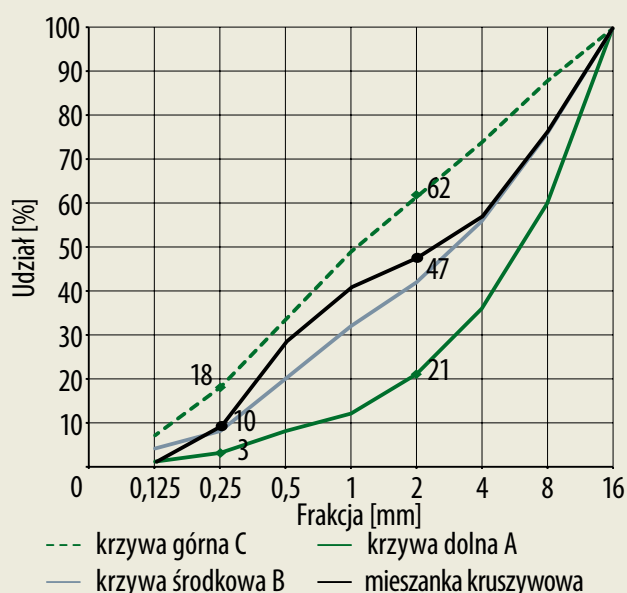
Dobór składu ziarnowego dla projektowania betonu samozagęszczalnego, to spełnienie wymagania odpowiedniej spoiwości mieszanki betonowej. Odporność na segregację zapewnia się poprzez zwiększenie punktu piaskowego. Wymagana konsystencja i urabialność mieszanki betonowej zapewniana jest na ogół przez zwiększony udział domieszki polimerowej. Optymalnym doбором składu ziarnowego betonu samozagęszczalnego (SCC) jest usytuowanie krzywej uziarnienia w granicach krzywej B, krzywych granicznych DIN 1045-2. Przykładową krzywą uziarnienia betonu zwykłego pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Przykładowa krzywa uziarnienia SCC

BETON ARCHITEKTONICZNY

Przy projektowaniu krzywej uziarnienia dla betonu architektonicznego dążymy do osiągnięcia tzw. efektu ściany. Polega on na zgromadzeniu się odpowiedniej ilości zaprawy przy powierzchni betonu, tak aby zapewnić wymagany wygląd. Z tego powodu w składzie betonu należy zwiększyć ilość zaprawy, poprzez zwiększenie udziału piasku 0-2mm. Bardzo często dąży się do zmniejszenia udziału kruszywa grubego 8-16mm na rzecz 2-8mm, co w konsekwencji zmniejszy prawdopodobieństwo wystąpienia raków na powierzchni betonu. Dla betonu architektonicznego odpowiednim obszarem uziarnienia kruszywa jest obszar pomiędzy krzywymi B i C (DIN 1045-2). Przykładową krzywą uziarnienia betonu zwykłego pokazano na rys. 9.



Rys. 9. Przykładowa krzywa uziarnienia betonu architektonicznego