



Barwienie betonu – techniczne aspekty stosowania pigmentów

tekst: **EWELINA SZYMCZAK, MICHAŁ OLESIK**, ATLAS Sp. z o.o.

Obecnie beton coraz częściej oprócz funkcji konstrukcyjnej odgrywa rolę dekoracyjną. Architekci i wykonawcy, mając wybór z szerokiej palety materiałów i decydując się na beton, stawiają przed nim wysokie wymagania. Szczególnie rygorystyczne warunki dotyczą betonu architektonicznego, w tym betonu barwionego. Powtarzalna produkcja barwionego w masie betonu jest dużym wyzwaniem z uwagi na stosowanie surowców o zmiennej charakterystyce.

Użytkownicy są świadomi różnic między tworzywem sztucznym, które może mieć jednorodną i idealnie gładką strukturę, a np. kamieniem naturalnym, którego każdy fragment jest niepowtarzalny. Niestety, beton często utożsamiany jest z materiałem o idealnej strukturze i wybarwieniu, pomimo że jego składniki są pochodzenia naturalnego (ryc. 1). Artykuł stanowi przegląd technicznych aspektów barwienia betonu oraz wpływu różnych czynników na końcowy efekt wybarwienia betonu.



Ryc. 1. Składniki betonu – ich pochodzenie skutkuje zmiennością ich składu oraz wpływa na wybarwienie betonu

Każdy pigment służący do barwienia betonu musi wykazywać się wysoką odpornością na silnie alkaliczne środowisko oraz odpornością na działanie światła i czynników atmosferycznych i jednocześnie zapewniać powtarzalność wybarwienia wyrobów gotowych. Jednym z badań, do którego zobowiązani są producenci pigmentów, jest badanie starzeniowe w wa-

runkach naturalnych (ryc. 2). W badaniu tym barwione elementy wystawione są na działanie warunków atmosferycznych, a ewentualna utrata koloru porównywana jest z elementami przechowywanymi w zaciemnionym suchym pomieszczeniu.



Ryc. 2. Badanie starzeniowe pigmentów – barwione elementy są wystawione na ekspozycję południową, stelaż jest nachylony pod kątem 45°

Pigmenty stosowane do barwienia betonu oraz innych materiałów na bazie cementu muszą spełniać wymagania normy zharmonizowanej *PN-EN 12878 Pigmenty do barwienia materiałów budowlanych opartych na cemencie i (lub) wapnie. Wymagania i metody badań*. Norma wyróżnia dwie podstawowe kategorie: A i B, gdzie pigmenty do barwienia betonu zbrojonego stalą klasyfikowane są w kategorii B i spełniają następujące wymagania:

- wytrzymałość na ściskanie zaprawy po 28 dniach względem zaprawy wzorcowej nie powinna być mniejsza niż o 8%.

- zawartość substancji rozpuszczalnych w wodzie nie powinna być większa niż 0,5%.
- zawartość chlorków rozpuszczalnych w wodzie nie powinna być większa niż 0,1%.

Na rynku dostępne są trzy podstawowe formy handlowe pigmentów, tj. pigment proszkowy, pigment granulowany / kompakt, pigment upłynniony (ryc. 3). Każda z tych postaci pigmentu posiada zalety i wady. W przypadku pigmentu proszkowego dużym problemem jest pylenie w trakcie przechowywania i dozowania oraz brak precyzyjnych i ekonomicznych systemów dozowania. Wady te zostały wyeliminowane przez pigmenty w postaci granulowanej – tutaj jednak należy pamiętać o bardzo dokładnym i intensywnym procesie mieszania, który zagwarantuje właściwe roztrzucie pigmentu. Pigment w postaci wodnej zawiesiny pozwala na stosowanie precyzyjnych układów dozujących – zaletą tego pigmentu jest również dokładne zdyspergowanie i zwilżenie ziaren pigmentu w trakcie procesu upłynniania. Aby zapobiegać sedymentacji pigmentu, producenci używają środków dyspergujących oraz stabilizujących.

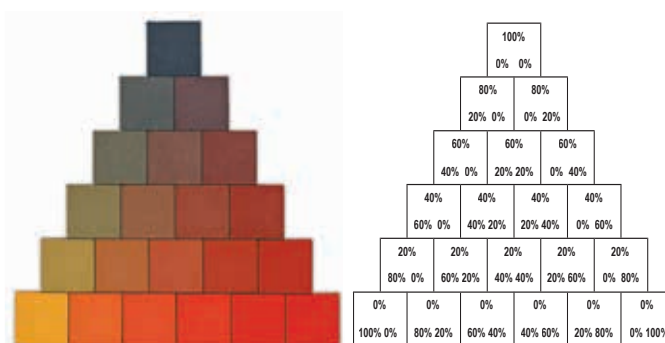


Ryc. 3. Podstawowe formy handlowe pigmentów – proszek, granulaty, wodna dyspersja

Ze względu na szereg czynników zewnętrznych, jakie muszą spełniać pigmenty do barwienia betonu, wytypowana jest grupa związków dedykowana do tego celu. Wieloletnie obserwacje kolorowych wyrobów betonowych wykazały, że wysoką trwałością cechują się przede wszystkim nieorganiczne pigmenty tlenkowe ze względu na swoją strukturę oraz skład chemiczny. Głównym składnikiem większości kolorów są tlenki żelaza w rozmaitych proporcjach (tab. 1). Tlenki żelaza stosowane do barwienia betonu występują w różnych odmianach, powstających w zależności od warunków prowadzonego procesu technologicznego: Fe_3O_4 – pigment czarny, $FeO(OH)$ – pigment żółty, Fe_2O_3 – pigment czerwony. Są to trzy podstawowe barwy stanowiące bazę do pozyskiwania szerokiego spektrum odcieni kolorystycznych (ryc. 4). Zatem jeśli mowa o kolorach pomarańczowych i brązowych, są one uzyskiwane przez połączenie ze sobą co najmniej dwóch pigmentów, np. żółtego i czerwonego. Ilości, jakie zostaną użyte do wymieszania, są zależne od pożądanego odcienia danego koloru i mogą być dowolne.

Tab. 1. Pigmenty używane do barwienia betonu

Kolor	Związek chemiczny
Czerwony	Tlenek żelaza – Fe_2O_3
Żółty	Hydroksytlenek żelaza – $FeO(OH)$
Antracytowy	Tlenek żelaza i (lub) modyfikowana sadza techniczna
Brązowy	Mieszanina tlenków żelaza i hydroksytlenków żelaza
Pomarańczowy	Mieszanina tlenków żelaza i hydroksytlenków żelaza
Biały	Tlenek tytanu – TiO_2
Zielony	Tlenek chromu
Niebieski	Tlenek kobaltu, pigmenty ultramarynowe



Ryc. 4. Diagram trójskładnikowy kolorów (kostki w narożnikach zostały wykonane na czystych pigmentach: żółtym, czerwonym, antracytowym)

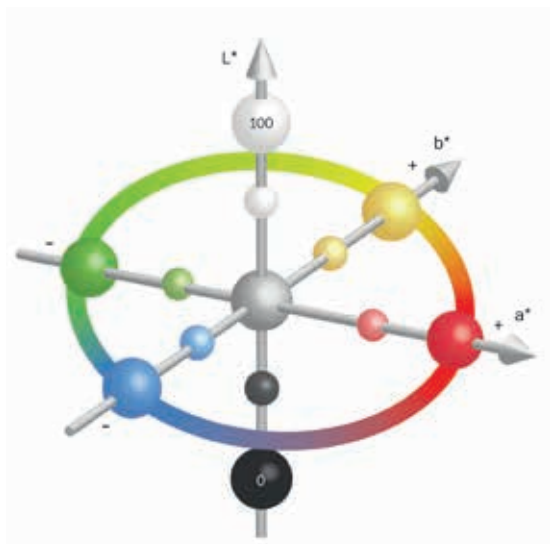
Dobór właściwego pigmentu gwarantuje odpowiednią jakość i wygląd produktu finalnego. Z uwagi na to, że kolor z fizycznego punktu widzenia nie jest cechą stałą, każdy postrzega go w inny sposób i ocena danego koloru przez obserwatora może być dość mocno subiektywna. Jednorodność koloru produktów odgrywa kluczową rolę ze względu na oczekiwaną przez klientów powtarzalność poszczególnych elementów. Dzięki zaawansowanym technologiom możemy z powodzeniem projektować oraz dobrać kolory pigmentów bez większych ograniczeń. W tym celu wykorzystywany jest spektrofotometr, stanowiący podstawę opracowań nowych wariantów kolorystycznych. Spektrofotometr w sposób precyzyjny ocenia barwę badanego obiektu, określając kolor liczbami. Najczęściej stosowaną metodą pomiaru koloru jest system CIE L^*a^*b , wykorzystujący trójwymiarowy model przestrzeni barw (ryc. 5). Przestrzeń barw CIE L^*a^*b ma być możliwie najdokładniejszym odwzorowaniem widzenia człowieka. Opisuje barwy widzialne dla ludzkiego oka, czyli te z zakresu 400–800 nm.

System CIE L^*a^*b składa się z trzech składowych: L, a, b, określających jasność oraz barwy chromatyczne. Współrzędne L, a, b oznaczają:

L – oś y określająca jasność, jej zakres wynosi od 0 do 100, gdzie L = 0 wskazuje na czerń, natomiast

L = 100 oznacza biel;

a – oś x określająca udział danej barwy w kolorze, dodatnie wartości współrzędnej a wskazują na barwę czerwoną, natomiast ujemne wartości a oznaczają barwę zieloną;



Ryc. 5. Model barw CIE Lab

b – oś z, która określa udział barw niebieskiej bądź żółtej, w przypadku tej współrzędnej dodatnie wartości oznaczają barwę żółtą, a ujemne barwę niebieską.

Z wykorzystaniem systemu CIE L*a*b istnieje możliwość porównania dwóch kolorów między sobą i określenia całkowitej różnicy barwy ΔE , która łączy różnice trzech zmiennych L, a, b. ΔE jest odległością pomiędzy dwoma punktami w przestrzeni trójwymiarowej.

Dozowanie pigmentów i proces mieszania

Nawet najlepszy pigment niewłaściwie zhomogenizowany w mieszance betonowej nie da oczekiwanego efektu, dlatego tak istotne jest właściwe wprowadzenie i ujednorodnienie pigmentu w mieszance betonowej. Aby wybarwienie betonu było właściwe, ziarna pigmentu muszą otoczyć w pierwszej kolejności kruszywo i piasek oraz spoiwo. Z praktyki wynika, że najefektywniejszy proces mieszania polega na wstępnym wymieszaniu pigmentu z samym kruszywem i późniejsze dodawanie cementu.

- Zalecana kolejność dozowania:
- kruszywa + pigment => wstępne mieszanie przez ok. 15–30 s,
- kruszywa + pigment + cement => mieszanie przez ok. 15–30 s,
- kruszywa + pigment + cement + woda + domieszki chemiczne => mieszanie przez ok. 45–90 s.

Czas mieszania powinien zostać dobrany z uwagi na efektywność pracy mieszarki, której cechą charakterystyczną jest tzw. minimalny czas mieszania – dopiero jego przekroczenie gwarantuje pełne, jednorodne wybarwienie mieszanki betonowej.

Wpływ koloru cementu i dodatków mineralnych

Kolor cementu – z gamą od białego przez jasnoszary (cementy zawierające mielony granulowany żużel wielkopiecowy) aż do ciemnoszarego (cementy z dodatkiem popiołu lotnego) – ma decydujący wpływ na efekt końcowy zabarwienia betonu. Wpływ koloru spoiwa jest szczególnie istotny w przypadku kolorów jasnych (żółty, pomarańczowy, zielony i niebieski), gdzie stosowanie cementów szarych skutkuje uzyskaniem kolorów stłumionych. Szczególnie widoczne jest to przy użyciu pigmentów żółtych, które z cementem szarym dają



Ryc. 6. Wpływ koloru cementu na wybarwienie betonu. Rząd górny: próbki wzorcowe bez pigmentu; rząd dolny od lewej: pigment żółty SY-020 6,0% m.c. CEM I 52,5R biały, CEM I 42,5R, CEM III/A 42,5N, CEM II A-V 42,5R



Ryc. 7a. Wpływ dozowania pigmentu antracytowego SD-950 na wybarwienie betonu, od lewej: 1% m.c., 4% m.c., 8% m.c., 12% m.c.

kolor oliwkowy (ryc. 6). Wpływ koloru spoiwa przy pigmentach antracytowych / czarnych jest niezauważalny (ryc. 7a).

Wpływ wysokości dozowania pigmentu

Dozowanie pigmentu w betonie, podobnie jak dozowanie domieszek, podaje się w procentach ilości cementu ewentualnie całego spoiwa. Przy niskim dozowaniu zależność wybarwienia od ilości pigmentu rośnie liniowo aż do osiągnięcia stanu nasycenia. Po przekroczeniu tej wartości wzrost ilości pigmentu nie powoduje zmiany barwy gotowego wyrobu. Granica nasycenia koloru przeniesionego na medium zależy nie tylko od mocy barwiącej stosowanego pigmentu, ale również od parametrów betonu. Niskie dozowania pigmentów płynnych (1–3%) na białym cemencie skutkują kolorami pastelowymi. Do uzyskania intensywnej barwy w betonie o konsystencji wilgotnej potrzebne jest ok. 6% m.c., natomiast w przypadku betonu towarowego ok. 10% m.c. pigmentu płynnego (ryc. 7b, 7c). Wartości te gwarantują pełne pokrycie pigmentem wszystkich składników.



Ryc. 7b. Wpływ dozowania pigmentu czerwonego SR-010 na wybarwienie betonu, od lewej: 1% m.c., 4% m.c., 8% m.c., 12% m.c.



Ryc. 7c. Wpływ dozowania pigmentu na wybarwienie betonu, od lewej: próbka referencyjna bez dodatku pigmentu, 1% m.c., 3% m.c., 6% m.c., 9% m.c.

Wpływ koloru kruszywa

Pigment otacza ziarna kruszywa, jednak na skutek eksploatacji (np. przez ścieranie) kruszywo stopniowo odsłania się – wówczas odbierany kolor będzie wypadkową zabarwionej zaprawy oraz odsłoniętego kruszywa. Podobnie jak w przypadku cementu, kolor kruszywa wpływa na barwę betonu (ryc. 8). Naturalny odcień użytego piasku ma większy wpływ na jasne pigmenty. W przypadku kolorów brązowych i czarnych różnice są niezauważalne. Dlatego też zaleca się stosowanie jasnych kruszyw do jasnych kolorów. Wyjątek stanowi celowe kontrastowanie jasnego koloru pigmentu i ciemnego kruszywa (np. pigment biały i ciemny bazalt). Przy doborze piasku należy zwracać szczególną uwagę na ilość frakcji pylastej (wysoka powierzchnia właściwa wymaga zwiększonego dozowania pigmentów) oraz eliminowanie iłów i gliny.



Ryc. 8. Wpływ koloru kruszywa na wybarwienie betonu, od lewej: pigment żółty SY-020 – kruszywo jasne, kruszywo ciemne, pigment czerwony SR-010 – kruszywo jasne, kruszywo ciemne

Wpływ współczynnika wodno-cementowego

Ważne jest, aby stosunek w/c był zachowany, gdyż każda jego zmiana może wpływać na zmianę barwy betonu (ryc. 9). Przy wzroście współczynnika w/c mamy do czynienia z optycznym rozjaśnieniem koloru betonu lub zaprawy. Zjawisko to występuje zarówno w betonach szarych, jak i kolorowych. Spowodowane jest odparowywaniem wody z betonu w trakcie dojrzewania, w wyniku czego powstają pory kapilarne, które silniej rozpraszają światło niż otaczający je beton. W efekcie beton wydaje się jaśniejszy. Z kolei dodanie mniejszej ilości wody zarobowej do mieszanki powoduje przyciemnienie betonu. Dodatkowo redukcja wody wymaga większej ilości domieszki chemicznej w celu uzyskania jednakowej konsystencji, co w konsekwencji również może mieć wpływ na efekt końcowy wybarwionego elementu.



Ryc. 9. Wpływ współczynnika wodno-cementowego na wybarwienie betonu, pigment brązowy SB-007, od lewej: w/c = 0,65, w/c = 0,55, w/c = 0,45, w/c = 0,35

Wpływ warunków dojrzewania betonu

Dojrzewanie betonu w niskich temperaturach skutkuje powstawaniem większych produktów hydratacji, które słabiej rozpraszają światło, co daje wrażenie zwiększenia intensywności wybarwienia gotowego wyrobu. Zbyt wysoka wilgotność powietrza (powyżej punktu rosy) w trakcie dojrzewania może doprowadzić do powstawania wykwitów wapniowych i zmniejszenia intensywności wybarwienia.

Warunki eksploatacji

Na skutek eksploatacji kolor gotowego wyrobu może ulegać zmianom. Czynniki, które mają na to decydujący wpływ, to wykwit węglanowy, ciągły proces hydratacji cementu, ścieranie warstwy fakturowej oraz wnikanie w pory zanieczyszczeń i pyłów. Szczególnie zjawisko wykwitów węglanowych jest dużym problemem, który nie mając wpływu na trwałość, istotnie zmienia estetykę wyrobów barwionych. Barwniki nie wpływają na powstawanie wykwitów, będących efektem karbonatyzacji wodorotlenku wapna na powierzchni betonu. Wolne wapno powstające w trakcie hydratacji jest rozpuszczane w wodzie zarobowej (wykwit pierwotny) lub wodzie deszczowej (wykwit wtórny) i transportowane na powierzchnię betonu, gdzie podlega karbonatyzacji i tworzy nierozpuszczalną w wodzie sól – węglan wapnia. Producenci betonu wykonują szereg zabiegów minimalizujących ryzyko wystąpienia wykwitów, wśród nich są m.in. zapewnienie optymalnych warunków dojrzewania, uzyskanie maksymalnie zagęszczonego betonu z minimalną ilością kapilar, które są odpowiedzialne za transport rozpuszczonego wodorotlenku, oraz stosowanie domieszek hydrofobizujących, które również ograniczają transport cieczy przez system kapilar.

Do barwienia betonu można stosować pigmenty w różnej formie i z różnych źródeł, ale nie każdy z nich gwarantuje najwyższą jakość. Trwałość, powtarzalność i określona kolorystyka odgrywają kluczową rolę przy wyborze pigmentu do danego projektu. Dzięki nowoczesnym technologiom projektowanie unikatowych kolorów stało się możliwe. Pozwala to na uzyskanie szerokiego wachlarza kolorystycznego. To kolor nadaje budynkom charakter i sprawia, że zyskują one na atrakcyjności. Jednakże trzeba mieć na uwadze, jak wiele składowych niezależnych od właściwości pigmentu ma wpływ na efekt końcowy zabarwionego elementu, zaczynając od doboru surowców, przez proces produkcji, na warunkach eksploatacji kończąc. Należy o tym pamiętać, chcąc, aby efekt końcowy był zgodny z oczekiwaniami projektanta, inwestora i wykonawcy.

