

Barwienie betonu

– techniczne aspekty stosowania pigmentów

W dzisiejszych czasach 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 stawiane są przed betonem architektonicznym, w tym betonem barwionym. 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 na przykład kamieniem naturalnym, którego każdy fragment jest niepowtarzalny. Niestety, beton często utożsamiany jest z materiałem o idealnej strukturze i wybarwieniu, pomimo tego że jego składniki są pochodzenia naturalnego. Artykuł stanowi przegląd technicznych aspektów barwienia betonu oraz wpływu różnych czynników na końcowy efekt wybarwienia betonu.

Każdy pigment służący do barwienia betonu musi wykazywać się wysoką odpornością na silnie alkaliczne środowisko oraz odpornością na działanie światła i czynników atmosferycznych, a jednocześnie zapewniać powtarzalność wybarwienia wyrobów gotowych. Jednym z badań, do którego zobowiązani są producenci pigmentów, jest badania starzeniowe w warunkach naturalnych. W badaniu tym barwione elementy wystawione są na działanie warunków atmosferycznych, a ewentualna utrata koloru porównywana jest z elementami przechowywanymi w zaciemnionym suchym pomieszczeniu.

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 wapie - Wymagania i metody badań*. Norma wyróżnia dwie podstawowe kategorie: A i B. Pigmenty do barwienia betonu zbrojonego stałą 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 większa niż 0,1%.

Na rynku dostępne są trzy podstawowe formy handlowe pigmentów, tj.: pigment proszkowy, pigment granulowany/kompakt, pigment upłynniony. Każda z tych postaci pigmentu ma zalety i wady. W przypadku pigmentu proszkowego dużym problemem są 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 roztrącenie pigmentu. Pigment w postaci wodnej zawiesiny pozwala na stosowanie precy-



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

zyjnych układów dozujących – zaletą tego pigmentu jest również dokładne zdyspersgowanie i zwilżenie ziaren pigmentu w trakcie procesu upłynniania. Aby zapobiegać sedymentacji pigmentu, producenci używają środków dyspergujących oraz stabilizujących.

Dozowanie pigmentów i proces mieszania

Nawet najlepszy pigment niewłaściwie zhomogenizowany w mieszance betonowej nie da oczekiwanego efektu, dlatego tak istot-

Kolor	Związek chemiczny
Czerwony	Tlenek żelaza (Fe_2O_3)
Żółty	Hydroksytlenek żelaza ($FeOOH$)
Antracytowy	Tlenek żelaza i/lub modyfikowana sadza techniczna
Brazowy	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

Tab. 1. Pigmenty używane do barwienia betonu



Fot. 2. Badania starzeniowe pigmentów – barwione elementy wystawione na ekspozycję południową – stelaż nachylony pod kątem 45 stopni

ne są 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 późniejszym dodawaniu cementu.

Zalecana kolejność dozowania:

Kruszywa + pigment => wstępne mieszanie przez ok. 15-30 sekund
 Kruszywa + pigment + cement => mieszanie przez ok. 15-30 sekund

Kruszywa + pigment + cement + woda + domieszki chemiczne=> mieszanie przez ok. 45-90 sekund

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

Wpływ koloru cementu i dodatków mineralnych

Kolor cementu, który rozciąga się od białego poprzez 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 jasnych barw (żółty, pomarańczowy, zielony i niebieski), w przypadku których stosowanie cementów szarych skutkuje uzyskaniem stłumionych barw. Szczególnie widoczne jest przy stosowaniu

pigmentów żółtych, które z cementem szarym dają kolor oliwkowy. Wpływ koloru spoiwa przy pigmentach antracytowych/czarnych jest niezauważalny.

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 „nasylenia”. Po przekroczeniu tej wartości wzrost ilości pigmentu nie powoduje zmiany barwy gotowego wyrobu. Niskie dozowania pigmentów (1-3%) na białym cemencie skutkują kolorami pastelowymi. Zalecana wysokość dozowania dla pigmentów proszkowych wynosi ok. 4-5%, natomiast upłynnionych – ok. 5-6% w stosunku do mas spoiwa. Wartości te gwarantują pełne pokrycie pigmentem wszystkich składników.

Wpływ koloru kruszywa

W betonie barwionym pigment otacza ziarna kruszywa, jednak na skutek eksploatacji (np. poprzez ścieranie) kruszywo stopniowo odsłania się – wówczas odbierany kolor betonu będzie wypadkową koloru zabarwionej zaprawy oraz odsłoniętego kruszywa. 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 pyłastej (wysoka powierzchnia właściwa wymaga zwiększonego dozowania pigmentów) oraz eliminowanie ilów i gliny.



Wpływ współczynnika wodno-cementowego

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 to odparowywaniem wody z betonu w trakcie dojrzewania, konsekwencją czego jest powstawanie porów kapilarnych, które silniej rozpraszają światło niż otaczający je beton. W efekcie beton wydaje się jaśniejszy.

Wpływ warunków dojrzewania betonu

Dojrzewanie betonu w niskich temperaturach skutkuje powstawaniem większych produktów hydratacji, które słabiej rozpraszają światło, co skutkuje wrażeniem 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 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 mają wpływu na powstawanie wykwitów, które są efektem karbonatyzacji wodorotlenku wapnia 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 wiele zabiegów, które mają minimalizować ryzyko wystąpienia wykwitów, wśród nich są m.in.: zapewnienia 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.



Fot. 3. Podstawowe formy handlowe pigmentów – proszek, granulat, wodna dyspersja



Fot. 4. Wpływ koloru cementu oraz wysokości dozowania pigmentu na wybarwienie. Rząd górny od lewej: biały cement, dozowanie pigmentu czerwonego – 6%, 3%, bez pigmentu, dozowanie pigmentu żółtego – 3%, 6%. Rząd dolny od lewej: szary cement, dozowanie pigmentu czerwonego – 6%, 3%, bez pigmentu, dozowanie pigmentu żółtego – 3%, 6%

Wymienione czynniki na pewno nie wyczerpują tematu barwienia betonu. Pokazują one jednak, jak wiele składowych, zaczynając od doboru surowców poprzez proces produkcji, a na warunkach eksploatacji kończąc, należy brać pod uwagę, aby efekt końcowy był zgodny z oczekiwaniami projektanta, inwestora i wykonawcy. □