

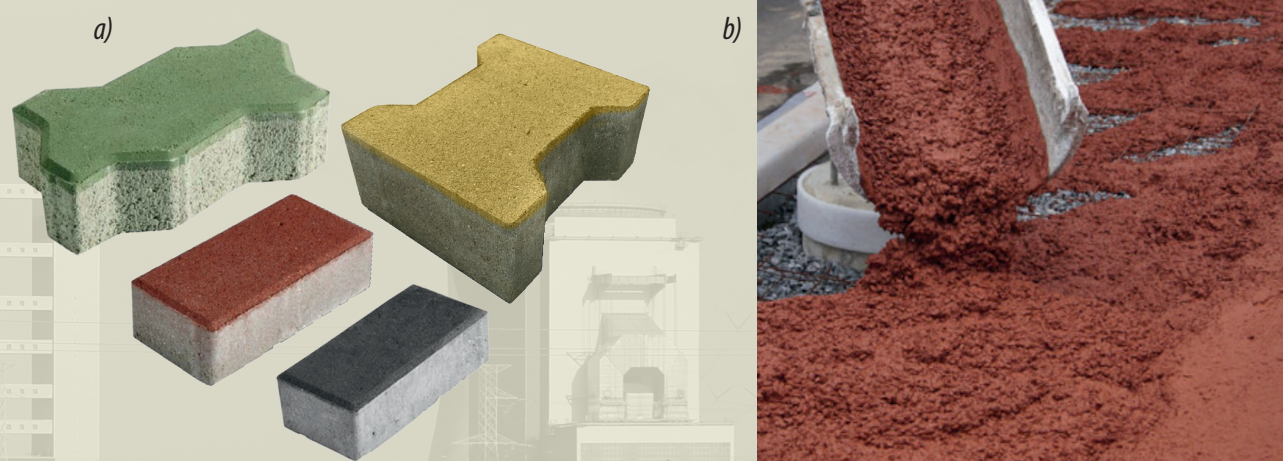
Beton, najpowszechniej stosowany materiał budowlany, coraz częściej, oprócz funkcji konstrukcyjnej, odgrywa rolę dekoracyjną. Szczególnie wysokie wymagania architektki i wykonawcy stawiają wobec betonu architektonicznego, w tym betonu architektonicznego barwionego. Beton barwiony to beton, który na skutek zastosowanych zabiegów technologicznych charakteryzuje się odpowiednim wybarwieniem. Takimi zabiegami mogą być:

- dobór rodzaju cementu oraz kruszywa,
- barwienie mieszanki betonowej poprzez zastosowanie barwników (pigmentów),
- barwienie powierzchni betonu stwardniałego.

Stosowanie zabiegów technologicznych prowadzących do uzyskania założonej barwy betonu w całej jego objętości, określane jest mianem barwienia betonu „w masie”, natomiast jeżeli zmiana barwy betonu ogranicza się jedynie do wierzchniej warstwy, mówi się o powierzchniowym barwieniu betonu (rys. 1).

Stosowanie betonu barwionego w masie pozwala na zachowanie jednolitej barwy w całym przekroju elementu. Ewentualne uszkodzenie powierzchni przez zarysowanie czy powstanie odprysku nie niesie za sobą ryzyka zmiany barwy uszkodzonego fragmentu. Na barwę betonu ma wpływ szereg czynników takich jak:

- współczynnik w/c,
- uziarnienie kruszywa (zwłaszcza piasku),
- wilgotność kruszywa,
- warunki dojrzewania betonu oraz warunki eksploatacji.



Rys. 1. Przykład barwienia betonu a) barwienie powierzchni, b) barwienie w masie (www.concretedecor.net)

Odpowiedni dobór składników mieszanki betonowej pozwala na uzyskanie różnych odcieni szarości bez stosowania barwników. Powtarzalna produkcja barwionego w masie betonu jest jednak dużym wyzwaniem z uwagi na stosowanie surowców o zmiennej charakterystyce. Największy wpływ na barwę betonu ma rodzaj zastosowanego cementu. Z uwagi na uzyskiwane wybarwienie można wyróżnić cement biały, umożliwiającą uzyskanie najjaśniejszych odcieni oraz szeroką paletę cementów szarych. Cementy powszechnego użytku są cementami szarymi, które jednak znacznie różnią się swoją barwą w zależności od rodzaju i ilości zastosowanych składników głównych. Cementy zawierające w składzie mielony granulowany żużel wielkopiecowy (cementy portlandzkie żużlowe CEM II/A,B-S; cementy hutnicze CEM III/A,B) charakteryzują się jasnym wybarwieniem. Natomiast cementy z dodatkiem popiołu lotnego charakteryzują się odcieniem ciemniejszym (rys. 2).

Nie bez znaczenia pozostaje również rodzaj i pochodzenie zastosowanego kruszywa, głównie frakcji piaskowej 0/2 mm. W efekcie narażenia powierzchni betonu na ścieranie, dochodzi do odsłonięcia ziaren kruszywa, wówczas ich kolor stanowi składową barwy powierzchni betonu (rys. 3).



Rys. 2. Odcienie barw cementów oraz popiołu lotnego stosowanego w betonie. Od lewej: mielony granulowany żużel wielkopiecowy, CEM III/B 42,5L - LH/SR/NA, CEM III/A 42,5N - LH/HSR/NA, CEM II/B-S 32,5R-NA, CEM II/A-S 52,5N, CEM I 42,5R, popiół lotny krzemionkowy jako dodatek typu II



Rys. 3. Przykład doboru kolorystyki kruszywa na zasadzie kontrastu (www.hanson.com.au)

Największy zakres możliwych do uzyskania barw i odcieni betonu daje zastosowanie pigmentów (rys. 4). Zgodnie z normą PN-EN 12878 „Pigmenty do barwienia materiałów budowlanych opartych na cemencie i/lub wapie – Wymagania i metody badań”, pigment to substancja w postaci drobnych ziaren, praktycznie nierozpuszczalnych w stosowanym ośrodku, która służy wyłącznie do barwienia materiałów budowlanych opartych na cemencie i/lub wapie. Pigmenty do barwienia betonu to zazwyczaj tlenki żelaza występujące w różnych odmianach (tabela 1). Norma PN-EN 12878 wyróżnia dwie kategorie pigmentów, tj. kategorie A i B. W kategorii B skategoryfikowane są pigmenty stosowane do barwienia betonu zbrojonego, które muszą spełniać następujące wymagania:

- spadek wytrzymałości na ściskanie zaprawy z pigmentem po 28 dniach względem zaprawy wzorcowej nie większy niż 8%,
- zawartość substancji rozpuszczalnych w wodzie nie powinna być większa niż 0,5 %,
- zawartość chlorków rozpuszczalnych w wodzie nie większa niż 0,1 %,
- zawartość całkowitego chloru nie większa niż 0,1 %.

Z tego względu, projektując beton z zastosowaniem pigmentu, należy uwzględnić jego wpływ na właściwości betonu, w tym na wytrzymałość na ściskanie.



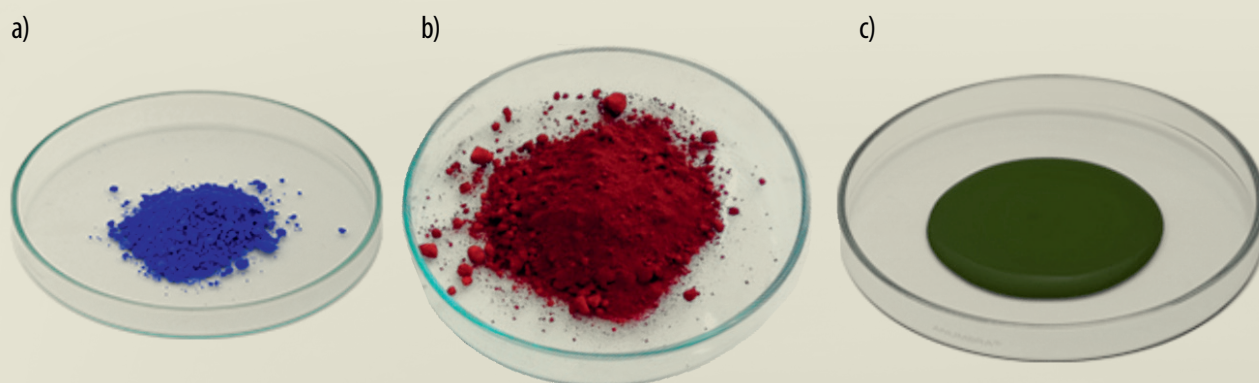
Rys. 4. Przykłady barwienia betonu za pomocą pigmentów (www.atlas.com.pl)

Tabela 1. Pigmenty używane do barwienia betonu

Kolor	Związek chemiczny
Czerwony	Tlenek żelaza – Fe_2O_3
Żółty	Hydroksytlenek żelaza - $FeOOH$
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

Pigmenty do betonu, jako produkt rynkowy, dostępne są w trzech postaciach (rys. 5):

- pigment proszkowy,
- pigment granulowany/kompakt,
- pigment upłynniony/preparat/wodna dyspersja.

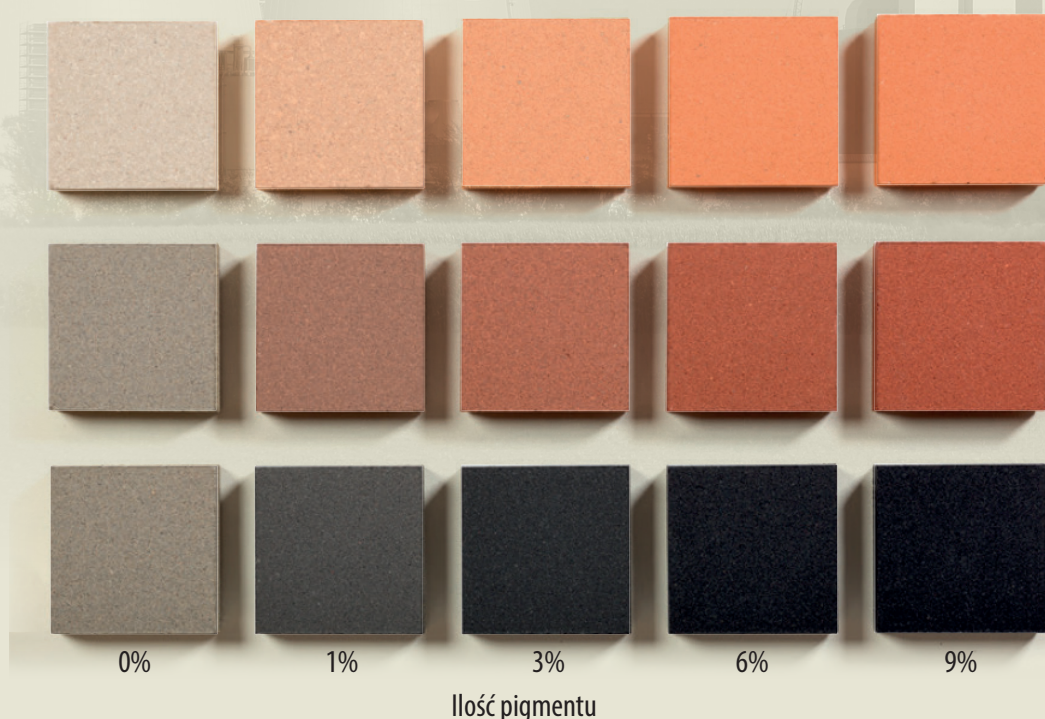


Rys. 5. Podstawowe formy handlowe pigmentów a) proszek, b) granulaty, c) wodna dyspersja (www.atlas.com.pl)

Stosując pigmenty proszkowe należy zwrócić uwagę na zwiększone pylenie pigmentu, zastosowanie granulatu wymaga dokładnego wymieszania składników w celu roztrącenia granulek pigmentu, natomiast pigment w postaci roztworu wodnego pozwala na zastosowanie precyzyjnych układów dozujących. Aby zapobiegać sedymentacji pigmentu, używane są środki dyspergujące oraz stabilizujące. Ponadto, uzyskanie jednolitej barwy betonu wymaga odpowiedniego (precyzyjnego) rozprowadzenia barwnika w całej objętości materiału barwionego. Ziarna pigmentu muszą otoczyć kruszywo grube i piasek oraz ziarna spoiwa. Najefektywniejszy proces barwienia polega na wstępnym wymieszaniu pigmentu z samym kruszywem, a następnie dodawaniu cementu. Zaleca się następującą procedurę mieszania:

1. kruszywa + pigment => wstępne mieszanie przez 15÷30 s
2. kruszywa + pigment + cement => mieszanie przez 15÷30 s
3. kruszywa + pigment + cement + woda + domieszki chemiczne => mieszanie przez 45÷90 s

Wraz ze wzrostem ilości pigmentu liniowo wzrasta nasycenie barwy betonu. W momencie, gdy wzrost ilości pigmentu nie wpływa na wybarwienie mieszanki betonowej, osiągnięty został tzw. punktu nasycenia barwy (rys. 6). Zalecane dozowanie pigmentów podawane jest przez producenta w przeliczeniu na masę cementu (spoiwa). Typowe dozowania barwników mieszczą się w przedziale między 1÷10% masy cementu (spoiwa).



Rys. 6. Wpływ dozowania pigmentu na wybarwienie betonu (www.atlas.com.pl)

Ostateczna barwa betonu jest wypadkową wielu czynników, takich jak:

- ilość zadozowanego pigmentu (wyższe dozowania skutkują uzyskaniem intensywniejszej barwy, aż do osiągnięcia punktu nasycenia barwy),
- rodzaj zastosowanego cementu i dodatków mineralnych - zastosowanie cementu białego lub cementu hutniczego CEM III jest szczególnie istotne, gdy zamierzone jest uzyskanie jasnego odcienia barwy żółtej, pomarańczowej (rys. 6), zielonej czy niebieskiej, ponieważ stosując cement szary uzyskane odcienie kolorów będą przytłumione (wpływ koloru cementu na ostateczną barwę betonu przy zastosowaniu pigmentów antracytowych/czarnych jest niezauważalny),
- kolorystyka oraz uziarnienie kruszywa (zwiększona ilość frakcji pylastej wymaga zwiększonego dozowania pigmentów),
- współczynnik w/c (wyższe w/c powoduje rozjaśnienie barwy betonu),
- warunki dojrzewania betonu,
- warunki eksploatacji.

Chcąc uzyskać jednakowe wybarwienie betonu danej partii mieszanki betonowej należy zapewnić stałość surowców do produkcji, jednakowe warunki wykonania oraz dojrzewania betonu.

Zastosowanie środków barwiących na bazie kwasów pozwala barwić powierzchnię betonu stwardniałego (rys. 7). Środki te wnikają na głębokość kilku, kilkunastu milimetrów i reagują ze związkami powstającymi w wyniku wiązania cementu powodując zmianę kolorystyki betonu. Metoda ta pozwala na uzyskanie skomplikowanych rysunków na powierzchni betonu.

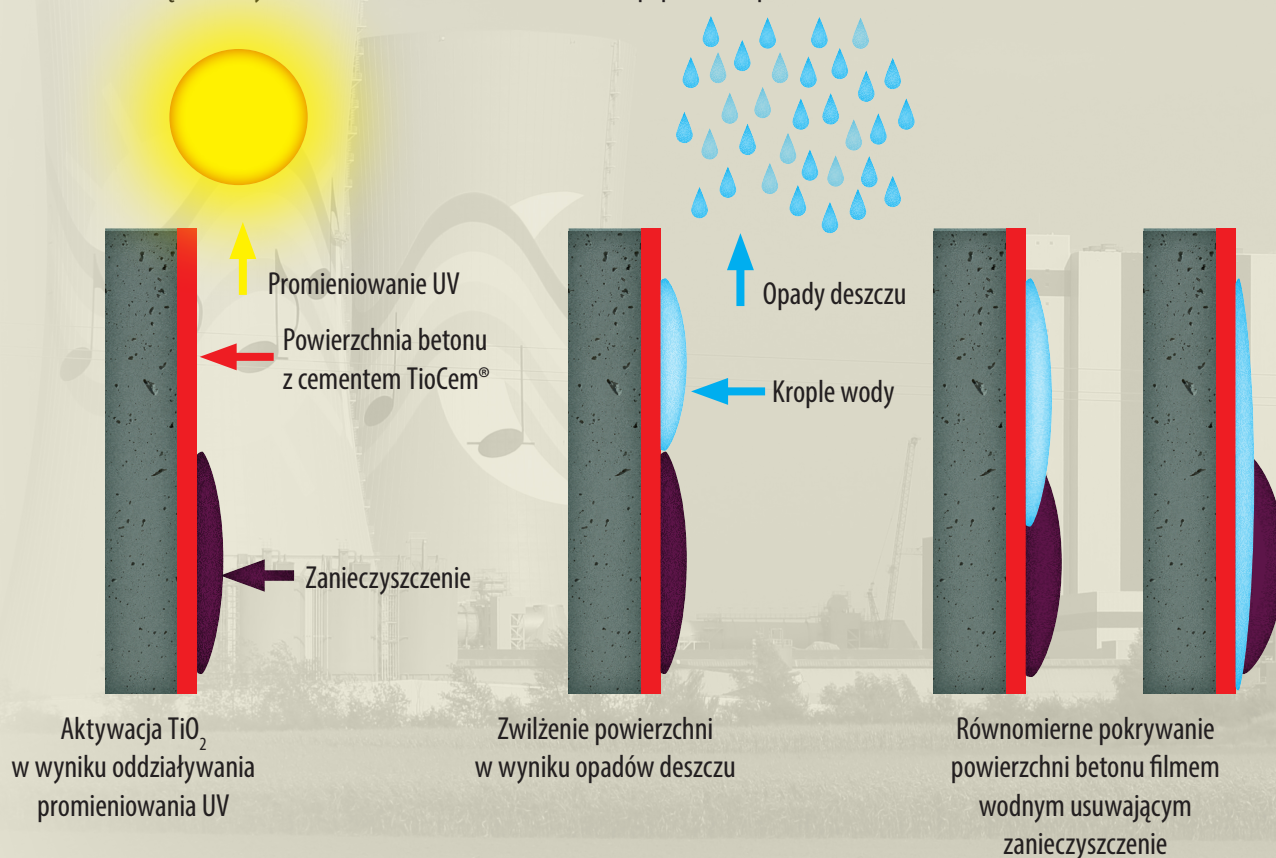


Rys. 7. Przykład reaktywnego barwienia betonu (www.concretedecor.net)

Należy mieć na uwadze, że w wyniku eksploatacji (wraz z upływem czasu) odcień barwionego wyrobu może ulegać zmianom na skutek szeregu czynników, m.in.: na skutek wykwitów węglanowych, ciągłego procesu hydratacji cementu, ścierania warstwy fakturowej oraz wnikania zanieczyszczeń i pyłów w pory betonu. Pogarszająca się estetyka obiektów (utrata walorów estetycznych) stanowi problem zarówno dla właściciela, jak również dla architekta będącego autorem projektu. Okresowe czyszczenie elewacji jest działaniem tymczasowym, generującym coraz większe koszty.

Jednym ze sposobów na zachowanie założonego odcienia barwionego elementu betonowego w dłuższym okresie czasu jest wykonanie go (w warstwie fakturowej) z cementu o właściwościach fotokatalitycznych TioCem[®]. Elewacja wykonana z takiego betonu zapewnia trwałe zachowanie walorów estetycznych przez specjalne właściwości „samooczyszczające”, uzyskane poprzez fotokatalityczną powierzchnię licową. Zastosowanie cementu TioCem[®] nadaje powierzchniom betonowym właściwości samooczyszczające, ponieważ w zachodzących procesach utleniane są zabrudzenia pokrywające z upływem czasu obiekty budowlane. W efekcie, degradacji ulegają niemal wszystkie substancje organiczne mogące znaleźć się na powierzchni betonu, np. aerozole, tłuszcze, oleje, pyły, ptasie odchody, itp. Z tego względu beton z cementu TioCem[®] powinien być barwiony pigmentami nieorganicznymi.

Samooczyszczanie powierzchni betonu zawierającego cement TioCem[®] wynika z superhydrofilowych właściwości nanometrycznego dwutlenku tytanu (TiO₂). W wyniku oddziaływania promieniowania UV na powierzchnię elementu wykonanego z betonu z cementem TioCem[®] kąt zwilżania powierzchni maleje niemal do zera, w efekcie woda nie tworzy kropeł, a powierzchnia betonu zostaje równomiernie pokryta cienkim filmem wodnym, tworzącym płaszczyznę poślizgu dla usuwania zanieczyszczeń (rys. 8). Zapobiega to nawarstwianiu się zanieczyszczeń oraz umożliwia ich usuwanie, np. podczas opadów deszczu.



Rys. 8. Efekt samooczyszczania powierzchni betonu zawierającego cement TioCem[®]

Wymienione czynniki pokazują, jak wiele składowych, poczynając od doboru surowców, poprzez proces produkcji, a na warunkach eksploatacji kończąc, należy brać pod uwagę, aby końcowy efekt wybarwienia betonu był zgodny z oczekiwaniami projektanta, inwestora i wykonawcy.