

Katarzyna CHARCIAREK*
Politechnika Świętokrzyska, Kielce

METODA OCENY WPŁYWU SKŁADU BETONU ARCHITEKTONICZNEGO NA JEGO KOLORYSTYKĘ

Streszczenie. W referacie przedstawiono propozycję własnej metody oceny związku pomiędzy rodzajem i ilością składników najczęściej stosowanych w budownictwie betonowym a ostateczną kolorystyką i fakturą betonu. Podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jak zmiana składu wpływa na kolor powierzchni betonowej.

ARCHITECTURAL CONCRETE - A METHOD FOR ASSESSING THE EFFECT OF COMPOSITION ON COLOUR

Summary. The paper presents a new method of assessing the relationship between the type and amount of components commonly used in concrete structures and the final concrete color and texture. It is necessary to establish how a change in composition affects the color of a concrete surface.

1. Wstęp

Beton architektoniczny nazywany jest szczególnym rodzajem betonu, którego powierzchnia licowa powinna pełnić funkcję dekoracyjną. Powierzchnia takiego betonu może być gładka lub mieć rysunek nadany dzięki zastosowaniu odpowiednich matryc. Może także w procesie wykonywania elementu być wykończona fakturą strukturalną niebetonową, np. z kruszywa, płytek ozdobnych lub innych elementów dekoracyjnych.

Podstawowymi własnościami, które charakteryzują beton architektoniczny, są szerokie możliwości kształtowania jego koloru oraz tekstury powierzchni poprzez:

* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Jerzy Wawrzeńczyk, prof. Politechniki Świętokrzyskiej

- zastosowanie matryc strukturalnych, np. replik na bazie elastycznych tworzyw sztucznych, które dają możliwość uzyskania na elewacji efektu „trzeciego wymiaru”,
- wykończenie powierzchni elewacji przez odpowiednią jej obróbkę końcową, jak np.: usunięcie wierzchniej warstwy do ok. 2 mm (dzięki zastosowaniu środka opóźniającego na powierzchni deskowania) w celu wydobycia naturalnego koloru kruszywa, piaskowania czy opalania (powierzchnia chropowata i matowa) oraz polerowania i szlifowania (powierzchnie gładkie i lśniące),
- warstwowe wykańczanie powierzchni przez nakładanie dodatkowej warstwy w celu wzmocnienia efektu wizualnego, np. środki nabłyszczające, które dodatkowo mogą pełnić funkcję samouszczelniającą, ochrony przed brudem i substancjami tłustymi, zabezpieczenia przed wodą,
- nadanie odpowiedniej barwy i faktury w czasie produkcji betonu (poprzez odpowiednie zaprojektowanie składu betonu czy też zastosowanie pigmentów).

Beton architektoniczny o powierzchni gładkiej, pozbawionej porów, w których łatwo gromadzą się zanieczyszczenia oraz woda, jest trwalszy i mniej narażony na zabrudzenia.

W dalszych rozważaniach pominięto wszelkie metody związane z wykończeniem powierzchni oraz zastosowaniem pigmentów. Rozważana jest natomiast problematyka związku pomiędzy składem betonu a jego kolorystyką. Przedstawiono fragment badań wstępnych, dotyczący metody analizy obrazu cyfrowego, która pozwala na klasyfikację kolorystyczną (charakteryzującą barwę betonu) oraz wyznaczenie współczynnika intensywności koloru. Zaprezentowane zostało użycie metody na przykładzie kilkunastu próbek, głównie z dodatkiem żużla, natomiast dla porównania dołączono dwie próbki z dodatkiem pyłu krzemionkowego.

2. Charakterystyka badanych próbek betonowych

Badania wstępne obejmowały analizę betonów o różnych składach i prowadzone były na próbkach betonu surowego, który może być wykorzystywany jako beton architektoniczny. Wybrane próbki poddane analizie różnią się strukturą i okresem przechowywania (od 1 do 5 lat). Zastosowano w nich cement portlandzki CEM I bez dodatków - P1, cement portlandzki CEM I z dodatkiem mielonego żużla - P2, cement hutniczy CEM IIIA - H oraz cement CEM I z dodatkiem pyłu krzemionkowego - P3. Dane dotyczące charakterystyk próbek oraz orientacyjne wartości wytrzymałości po 28 dniach zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka składu i wskaźniki intensywności badanych betonów

| | W/C | R S | I S | I C | R D | I D | fc' | pp | Kw | Sm | Kw* | Sm* |
|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------------|------|--------------|------|
| A1 | 0,5 | A | 368 | 368 | - | 0 | 42,9 | 28% | 230 | 23,9 | 219 | 28,4 |
| A2 | 0,51 | A | 343 | 343 | - | 0 | 53,3 | 30% | 198 | 32,9 | 194 | 31,9 |
| A3 | 0,353 | A | 439 | 439 | - | 0 | 71,7 | 32% | 234 | 16,4 | 207 | 22,4 |
| A4 | 0,353 | A | 439 | 439 | - | 0 | 71,1 | 32% | 231 | 15,8 | 189 | 22,8 |
| A5 | 0,48 | B | 377 | 377 | - | 0 | 52,5 | 32% | 237 | 26,3 | 224 | 33,1 |
| B1 | 0,75 | D | 351 | 176 | Ż | 176 | 39,8 | 45% | 227 | 18,3 | 217 | 21,9 |
| B2 | 0,525 | D | 428 | 214 | Ż | 214 | 76,2 | 25% | 236 | 14,5 | 228 | 17,6 |
| B3 | 0,525 | D | 428 | 214 | Ż | 214 | 68,7 | 45% | 222 | 16,6 | 222 | 16,6 |
| B4 | 0,645 | D | 381 | 191 | Ż | 191 | 56,2 | 35% | 238 | 15,2 | 207 | 23,3 |
| B5 | 0,75 | D | 293 | 147 | Ż | 147 | 32 | 25% | 238 | 20,1 | 227 | 25,4 |
| B6 | 0,75 | D | 305 | 153 | Ż | 153 | 28,7 | 45% | 240 | 28,6 | 235 | 27,9 |
| B7 | 0,525 | D | 371 | 186 | Ż | 186 | 48,5 | 45% | 237 | 24,6 | 224 | 30,8 |
| B8 | 0,645 | D | 338 | 169 | Ż | 169 | 42,2 | 35% | 236 | 23,4 | 225 | 29,6 |
| C1 | 0,79 | A | 349 | 218 | Ż | 131 | 53,8 | 32% | 239 | 10,7 | 224 | 16,2 |
| C2 | 0,79 | A | 349 | 218 | Ż | 131 | 53,8 | 32% | 236 | 15,6 | 221 | 25,2 |
| C3 | 0,62 | A | 375 | 268 | Ż | 107 | 68,7 | 32% | 236 | 13,6 | 221 | 17,4 |
| C4 | 0,62 | A | 375 | 268 | Ż | 107 | 68,7 | 32% | 236 | 13,2 | 220,8 | 19,1 |
| C5 | 0,47 | A | 403 | 336 | Ż | 67 | 72,5 | 32% | 213 | 23,7 | 175 | 28,9 |
| C6 | 0,76 | A | 335 | 240 | Ż | 96 | 46,3 | 32% | 237 | 13,7 | 219 | 17,3 |
| C7 | 0,47 | A | 432 | 308 | Ż | 123 | 69,2 | 32% | 185 | 26,6 | 172 | 30,0 |
| C8 | 0,47 | A | 432 | 308 | Ż | 123 | 69,2 | 32% | 187 | 32,2 | 162 | 26,8 |
| C9 | 0,63 | A | 349 | 290 | Ż | 150 | 80 | 32% | 223 | 20,6 | 190 | 22,9 |
| C10 | 0,63 | A | 349 | 290 | Ż | 150 | 80 | 32% | 206 | 24,9 | 202 | 22,0 |
| C11 | 0,6 | A | 400 | 250 | Ż | 58 | 60,3 | 32% | 230 | 17,2 | 209 | 22,9 |
| C12 | 0,6 | A | 400 | 250 | Ż | 58 | 60,3 | 32% | 234 | 14,4 | 212 | 22,2 |
| D1 | 0,44 | C | 388 | 358 | SF | 30 | 80,5 | 32% | 216 | 20,7 | 188 | 23,6 |
| D1 | 0,427 | C | 455 | 420 | SF | 35 | 96,2 | 32% | 210 | 26,7 | 186 | 30,9 |

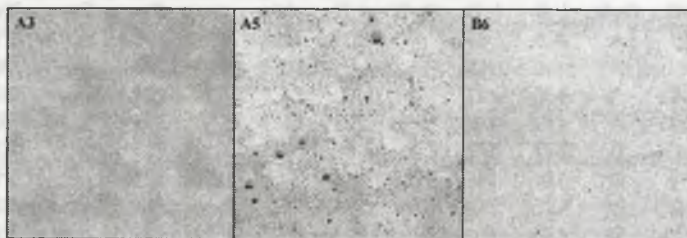
Oznaczenia: A,B,C,D - serie próbek; R_S - rodzaj spoiwa: P1 - CEM I, P2 - CEM I+żużel, P3 - CEM I+SF, H - CEM IIIA; I_S - ilość spoiwa, I_C - ilość cementu, R_D - rodzaj dodatku, D - ilość dodatku, fc' - wytrzymałość po 28 dniach oznaczona na kostkach o boku 10 cm, pp - punkt piaskowy, Kw - współczynnik intensywności koloru, Sm - odchylenie standardowe; * - próbki wilgotne

3. Metodyka badań i analiza uzyskanych wyników

3.1. Metoda uzyskiwania obrazu cyfrowego próbek

W celu otrzymania klasyfikacji kolorystycznej betonów o różnym składzie próbki zeskanowano w identyczny sposób, uzyskując kolorowy obraz cyfrowy o wymiarach 5x5 cm² i rozdzielczości 600x600 dpi, 24 bity. Badaniu poddano próbki w stanie suchym i wilgotnym. Przykładowe obrazy cyfrowe pokazano na rys. 1. Dwie pierwsze pokazane próbki A3 i A5

były skanowane na mokro, natomiast próbka B6 na sucho. Na zdjęciach widać różnice w kolorystyce i w fakturze, czyli zawartości porów.

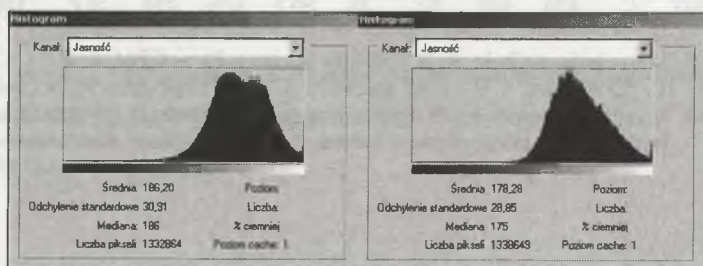


Rys. 1. Przykładowe fotografie wybranych próbek: A3; A5; B6

Fig. 1. Photographs of selected samples: A3; A5; B6

3.2. Wyznaczenie wskaźnika intensywności koloru

Kolejnym etapem analizy było wyznaczenie współczynnika intensywności koloru K_w . W tym celu za pomocą programu Photoshop[†] utworzono histogram każdej próbki. Histogram ilustruje rozmieszczenie pikseli w obrazku poprzez umieszczenie na wykresie liczby pikseli każdego poziomu intensywności koloru. Oś pozioma histogramu prezentuje intensywność koloru lub poziomy od najciemniejszego (0) na lewym końcu do najjaśniejszego (255) na końcu prawym, natomiast oś pionowa pokazuje łączną liczbę pikseli o podanej wartości. Na rysunku 2 pokazano przykładowe histogramy próbek D2 i C5.



Rys. 2. Histogramy próbek wilgotnych oznaczonych symbolami: D2, C5

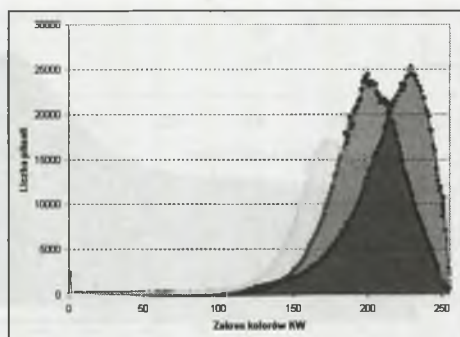
Fig. 2. Histograms of wet samples denoted by D2, C5

Odczytano statystyczne informacje o wartościach intensywności i zamieszczono dane w tabeli 1. Charakterystyka intensywności kolorów odpowiada wartości median K_w , które pokazują środkową wartość zakresu wartości intensywności, odchylenie standardowe S_m obrazuje natomiast, w jakim stopniu konkretne wartości odbiegają od średniej. W przypadku

[†] Program Adobe Photoshop 6.0 CE.

próbek wilgotnych wprowadzono oznaczenia - współczynnik intensywności koloru Kw^* , natomiast odchylenie standardowe Sm^* .

Widma poszczególnych próbek wykazują przesunięcia, które reprezentują różnice w kolorystyce i są podstawą analizy. Na rys. 3 zestawiono przykładowe widma próbek betonowych: D2, A3, B6.

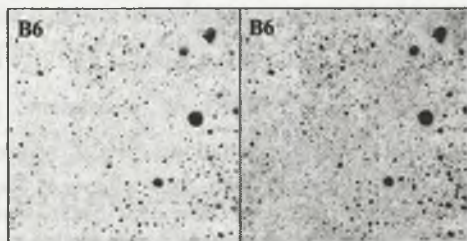


Rys. 3. Zestawienie widm próbek: D2, A3, B6

Fig. 3. Spectra of samples D2, A3, B6

3.3. Analiza zaburzeń wykresów

Podczas analizy kolorystycznej należy uwzględnić czynniki, które mogą zaburzać w istotny sposób widma. Niewątpliwie do takich czynników zaliczyć można powierzchnie porów, które po zeskanowaniu próbki odpowiadają ciemnym plamom, czyli barwie w zakresie od 0 do 100, co ustalono za pomocą programu SigmaScanPro[†]. Przykładem może być próbka B6 (rys. 4), która charakteryzuje się dużą porowatością. Przedstawiono rzeczywisty obraz cyfrowy próbki oraz obraz, na którym kolor odpowiadający powierzchni porów został wymieniony na kontrastowy kolor z innej palety barw.

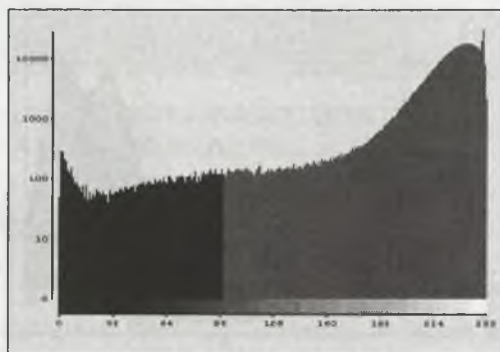


Rys. 4. Obraz porowatej próbki B6

Fig. 4. Image of porous sample B6

[†] Program SigmaScanPro_demo.

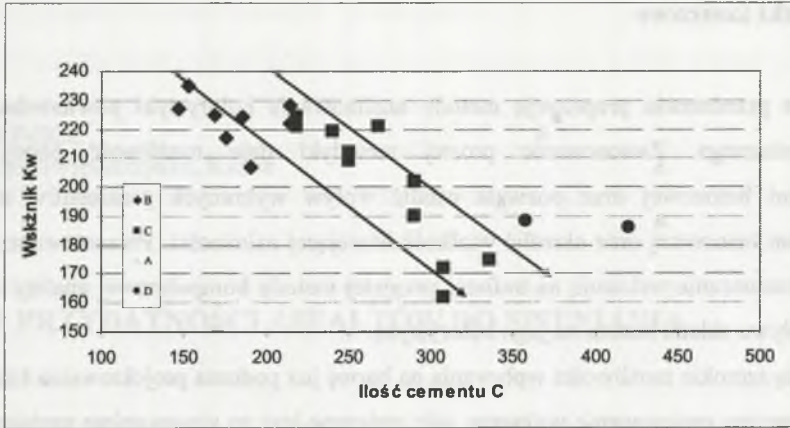
Sporządzono wykres (rys. 5), na którym widać, że kolor porów odpowiada zakresowi wskaźnika intensywności koloru do około 100. Natomiast dla innych badanych próbek wartość graniczna zawiera się w przedziale od 80 do 120. Kiedy pory są zbyt duże, wtedy głębia skanowanej powierzchni jest zbyt duża i powstaje zafałszowany obraz, rozwiązaniem wówczas może być wypełnianie porów kolorową substancją.



Rys. 5. Wykres zależności wskaźnika intensywności koloru od liczby pikseli
Fig. 5. Relationship between the coefficient of color intensity and number of pixels

3.4. Badanie zależności wybranych parametrów

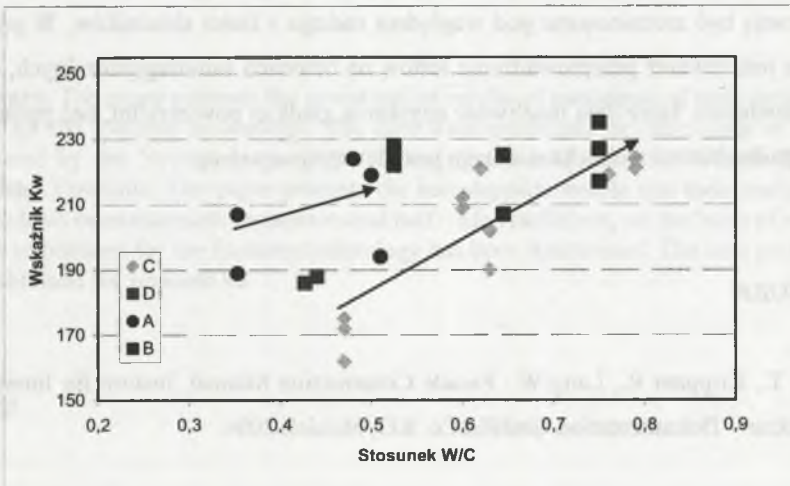
Do badania związku pomiędzy wyznaczonym wskaźnikiem intensywności koloru K_w a wybranymi składnikami betonu oraz ich wzajemnymi proporcjami wykorzystano metody statystyczne. Próbkę skanowaną na mokro dały większy zakres koloru, dlatego wybrano je jako podstawę dalszej analizy. Wybrano przykładowe wskaźniki reprezentujące cechę ilościową i jakościową, następnie porównano je ze wskaźnikiem intensywności koloru K_w . Badaniu poddano cechy, między którymi istnieje współzależność, sporządzono wykresy. Na rys. 6 pokazano wpływ ilości cementu C w betonie na współczynnik intensywności koloru K_w . Większość próbek poddanych analizie wykonano z dodatkiem żużla (wykorzystano próbki z CEM I bez dodatków, CEM I z dodatkiem żużla i CEM III), który jako jasny proszek powoduje rozjaśnienie barwy, dwie próbki z dodatkiem pyłu krzemionkowego zaprezentowano dla porównania (CEM I z dodatkiem SF). Z wykresu można odczytać, że wzrost ilości żużla powoduje rozjaśnienie barwy betonu, seria próbek oznaczonych symbolem B mieści się w zakresie powyżej 200, równie jasny kolor można uzyskać przy dużej ilości cementu, bez stosowania dodatków. Kolejnym ciekawym wnioskiem jest fakt, że ten sam kolor można uzyskać komponując różne składy mieszanek betonowych, co da się wykorzystywać na etapie projektowania betonu.



Rys. 6. Wykres przedstawiający wpływ ilości cementu C w betonie na współczynnik intensywności koloru Kw

Fig. 6. Influence of the cement content C on the coefficient of concrete color intensity Kw

W celu znalezienia kolejnych powiązań sporządzono wykres zależności między wskaźnikiem intensywności koloru Kw a ilością spoiwa, który przedstawia rys. 7. Wykres pokazuje, że wraz ze wzrostem wskaźnika w/c kolor betonu staje się jaśniejszy.



Rys. 7. Wpływ stosunku w/c na współczynnik intensywności koloru dla poszczególnych serii

Fig. 7. W/c ratio vs the coefficient of color intensity for the particular series

4. Wnioski końcowe

Referat przedstawia propozycję metody analizowania kolorystyki powierzchni betonu architektonicznego. Zastosowanie prostej metodyki daje możliwość oceny koloru powierzchni betonowej oraz pozwala ustalić wpływ wybranych parametrów na barwę powierzchni betonowej oraz określić wielkość istniejącej zależności. Prezentowane rezultaty badań jednoznacznie wskazują na trafność przyjętej metody komputerowej analizy obrazu w ocenie wpływu składu betonu na jego kolorystykę.

Istnieją szerokie możliwości wpływania na barwę już podczas projektowania betonu. Dla każdego spoiwa zastosowanie wyższego w/c związane jest ze stosowaniem mniejszej ilości cementu, co prowadzi do uzyskania jaśniejszych barw. Istotną sprawą wydaje się tu odpowiedź na pytanie, jak projektować beton o określonej klasie wytrzymałości przy założonej kolorystyce.

Wyniki badań dają podstawę do programowania dalszych działań. Ustalenie prostej metodyki oraz schematu postępowania – to fragment rozważań, który pozwoli w kolejnym etapie określić wpływ składników betonu na jego efekt wizualny. Następną fazą badań to wykonanie próbek zapraw z użyciem różnych cementów (w tym również białego cementu). Zaprawy mają być zróżnicowane pod względem rodzaju i ilości składników. W przyszłości planowane jest również przeprowadzenie testów na betonach samozagęszczalnych, o bardzo dobrej urabialności, które dają możliwość uzyskania gładkiej powierzchni, bez pęcherzyków, co w przypadku betonu architektonicznego jest niewątpliwą zaletą.

LITERATURA

1. Herzog T., Krippner R., Lang W.: Facade Construction Manual. Institut fur Internationale Architektur – Dokumentation GmbH&Co. KG, Munich 2004.

Recenzent: Dr hab. inż. Janusz Mierzwa, prof. Politechniki Krakowskiej