



mgr inż. Krzysztof KUNICZUK  
CEMEX Polska Sp. z o.o.

## PRAKTYKA WYKONYWANIA BETONU ARCHITEKTONICZNEGO W WARUNKACH BUDOWY

### CAST-IN-PLACE ARCHITECTURAL CONCRETE PRACTICE

**Streszczenie** Przedmiotem referatu jest przedstawienie zarówno projektantom konstrukcji jak i wykonawcom praktycznych uwag, dotyczących wykonywania betonu architektonicznego, obejmujących procesy projektowania mieszanki betonowej, przygotowania deskowania, stosowania środków antyadhezyjnych, układania i zagęszczania mieszanki, oraz pielęgnacji i napraw. Uwagi wynikające z nabytych doświadczeń mają za zadanie zwiększenie świadomości osób biorących udział w procesie powstawania betonu architektonicznego, a także usprawnienie prac w trakcie jego trwania.

**Abstract** The subject of the paper is to outline to the designers as well as constructors of structures, practical remarks referring to production of architectural concrete, , ready-mix designing, formwork preparation, the use of adhesive agents, placing and compacting of ready-mix, as well as curing and repairs. Comments drawn from gathered experience are directed to increase the awareness of people participating in the process of architectural concrete production, as well as enhance the overall performance during its production.

### 1. Wprowadzenie

Wraz z rozwojem miast i wielkich aglomeracji beton stał się coraz intensywniej wykorzystywanym materiałem na całym świecie. Obecnie jest on jednym z najbardziej ekonomicznych i powszechnie stosowanych materiałów konstrukcyjnych.

Podstawowymi właściwościami charakteryzującymi beton są wysoka wytrzymałość i doskonała urabialność. Wykorzystanie tych cech przy jednoczesnym prawidłowym zaprojektowaniu mieszanki, wykonaniu konstrukcji na odpowiednim poziomie i zastosowaniu betonu o jakości zgodnej z wymaganiami, pozwala w dzisiejszych warunkach na stworzenie konstrukcji o kolorystyce, gładkości i teksturze powierzchni, które zaspokoją żądania każdego nowoczesnego architekta. Taka konstrukcja nie będzie wymagała innych dekoracyjnych materiałów. Beton przejdzie transformację od „zwykłego”, „szarego” by ostatecznie stać się materiałem dekoracyjnym.

Pierwsze próby nadania betonowi charakteru dekoracyjności pojawiły się już w początkach XX wieku. Wówczas to zaistniały pierwsze konstrukcje z zastosowaniem „nagiego” betonu. Przez konstrukcje takich twórców jak Perrot, La Corbusier, Skarpa czy Kahn, po latach wytrwałej pracy architektów, wykonawców i dostawców beton zaczął być uważany za równorzędny innym materiałom dekoracyjnym również w Polsce, gdzie w ostatnich latach pojawiła się tendencja pojmowania betonu nie przez skojarzenie z pejoratywnym wyrażeniem „betonowe osiedla”, a przez – budzące pozytywne asocjacje – pojęcie „beton dekoracyjny”.

## 2. Sposoby uzyskiwania betonu architektonicznego

Rozwój technologii betonu spowodował, że obecnie mamy do dyspozycji szereg różnych odmian betonu funkcjonujących pod jedną nazwą – beton architektoniczny. Jego dekoracyjność można uzyskać przez zastosowanie czterech podstawowych technik uzyskania faktury powierzchni: pozostawienie go w jego naturalnej formie, mechaniczne fakturowanie, chemiczne opóźnienie wiązania powierzchni, a wreszcie przez kombinację tych metod.

Pozostawienie betonu w jego naturalnej formie – obiera obecnie dwa kierunki. Pierwszy polegający na jego wykonaniu z zachowaniem odpowiedniego reżimu technologicznego, który ma spowodować uzyskanie powierzchni bez porów i odbarwień, drugi mający na celu uzyskanie betonu z jego naturalnymi odbarwieniami, pęcherzami stanowiącego niejako tło dla innych rozwiązań architektonicznych.

Mechaniczne fakturowanie powierzchni – polega na usunięciu powierzchniowej warstwy betonu. Najczęstszymi metodami są: piaskowanie, szlifowanie, młotkowanie, groszkowanie.

Chemiczne opóźnienie wiązania powierzchni – polega najczęściej na zastosowaniu opóźniacza naniesionego na deskowanie, a następnie usunięciu wierzchniej warstwy betonu przy użyciu wody pod ciśnieniem. Środek opóźniający наносzony jest w postaci pasty lub lakieru, bądź w postaci arkuszy papieru nasączonego opóźniaczem, umieszczanych na powierzchni deskowania. Głównym zadaniem opóźniacza jest spowolnienie lub niedopuszczenie do wiązania powierzchniowej warstwy betonu, aby po rozformowaniu można było wyeksponować kruszywo, usuwając warstwę niezwiązanego zaczynu.

Wraz z różnymi technikami uzyskania faktury powierzchni mamy do dyspozycji trzy podstawowe drogi barwienia betonu:

- zastosowanie białego lub kolorowego cementu,
- użycie chemicznych barwników do mieszanki betonowej,
- zastosowanie koloryzacji stwardniałego betonu.

Biorąc pod uwagę dostępność całej palety kruszyw, prawie nieskończonej ilości metod formowania i nadawania tekstury w połączeniu z pigmentami i cementami obecnie jest możliwe stworzenie setek rodzajów betonu o odmiennej kolorystyce, teksturze i kształcie. Beton architektoniczny w coraz większym stopniu pozwala na realizację pomysłów i marzeń architektów. Jednakże razem z powszechniejszym stosowaniem betonu architektonicznego coraz częściej mamy do czynienia z wieloma problemami w trakcie jego wykonywania.

## 3. Błędy

Rezultaty błędów, jakie się spotyka na powierzchni betonu architektonicznego, są podobne do spotykanych w betonach konstrukcyjnych. Mogą wynikać zarówno z niefachowego wykonania jak i niewłaściwego dobrania właściwości betonu do warunków zewnętrznych i w konsekwencji mogą prowadzić nawet do poważnych awarii budowlanych [13].

Ze względu na zagrożenie konstrukcji awarią problemy związane z betonem architektonicznym można podzielić na konstrukcyjne i niekonstrukcyjne.

Błędy konstrukcyjne to takie, które mogą wpływać na nośność konstrukcji. Mogą mieć charakter uszkodzeń mechanicznych (uderzenia, przeciążenia, przemieszczenia, wybuch, wibracje), chemicznych (reakcja alkaliczna, czynniki agresywne, czynniki biologiczne) i fizycznych (zamrażanie/rozmarzanie, oddziaływania cieplne, krystalizacja soli, skurcz, erozja, ścieranie) [14].

Błędy niekonstrukcyjne obejmują problemy z uzyskaniem estetycznej powierzchni. Do najczęściej spotykanych błędów powierzchni, które nie są akceptowalne w betonie architektonicznym należą: odbarwienia, nieregularne krawędzie, nadmierna ilość pustek na eksponowanej powierzchni, widoczne połączenia poszczególnych warstw, nierównomierna

tekstura, widoczne cienie zbrojenia, wbudowanie obcych materiałów, zbyt duże różnice w wyglądzie sąsiadujących elementów, plamy rdzy, odmienność wyglądu wykonanych elementów od zaaprobowanych próbek, widoczne naprawy.

#### **4. Przyczyny błędów i sposoby ich unikania**

Podstawowymi czynnikami decydującymi o betonie architektonicznym są kolor i tekstura. Na uzyskanie odpowiedniej kolorystyki i tekstury wykonywanych elementów mają wpływ m.in.: cement, dodatki, kruszywo, domieszki, stosunek w/c, środki antyadhezyjne, temperatura (w trakcie pielęgnacji), deskowanie, układanie i zagęszczanie, naprawy.

##### **4.1. Cement**

Bardzo ważnym czynnikiem, który przyczynia się do stabilności wyglądu betonu architektonicznego jest używanie tych samych materiałów. Ze wszystkich składników wykorzystanych do produkcji mieszanki betonowej największy wpływ na kolor wykonywanych elementów ma cement. Ze względu na fakt, że cementy tego samego typu pochodzące z różnych cementowni mają inną kolorystykę, w celu zachowania jednolitej barwy należy stosować cement tego samego typu, pochodzący od jednego dostawcy.

##### **4.2. Dodatki**

W celu zwiększenia ilości frakcji miałkich dopuszczalne jest zastosowanie popiołu lotnego. Trzeba jednak mieć na uwadze fakt, że wahania barwy tego materiału, wynikające ze zmieniającego się udziału strat prażenia, są o wiele większe niż zmiany kolorystyki cementu, co może w znacznym stopniu wpłynąć na wygląd betonu architektonicznego.

##### **4.3. Kruszywo**

Istotny wpływ na kolorystykę wykonywanych elementów ma również zastosowane kruszywo. Kolor, rozmiar i jego geologia mają szczególne znaczenie w przypadku betonów, w których przeprowadzono obróbkę powierzchni w celu wyeksponowania kruszywa.

##### **4.4. Domieszki**

W trakcie wykonywania betonu architektonicznego należy również zwrócić uwagę na rodzaj stosowanych domieszek chemicznych. Najczęściej ich wpływ na kolorystykę betonu przebiega dwoma drogami:

- poprzez opóźnienie wiązania, co w konsekwencji powoduje uzyskanie powierzchni o ciemniejszej barwie
- poprzez napowietrzenie mieszanki w wyniku czego uzyskujemy jaśniejszą barwę betonu; (zwiększenie ilości powietrza w betonie powoduje uzyskanie jaśniejszej barwy powierzchni [13]).

#### 4.5. Stosunek w/c

Stwierdzono, że im wyższy stosunek w/c tym jaśniejsza powierzchnia betonu. Jest to związane z zawartością małych pęcherzy powietrza w betonie, których znacznie większą ilość można zaobserwować w betonach o wyższym w/c.

Bardzo istotne jest utrzymanie współczynnika w/c na tym samym poziomie. Stwierdzono, że zmiana w/c nawet o 0,02 prowadzi do zmiany barwy betonu [2]. Efekt miejscowej zmiany w/c można zaobserwować w przypadku niewłaściwego montażu deskowania, powodującego jego nieuszczelnienie. W wyniku wyciekania mleczka cementowego lub zaprawy powstaje beton o zdecydowanie ciemniejszym kolorze.

#### 4.6. Środki antyadhezyjne

Środki antyadhezyjne do deskowania są wymagane prawie zawsze przy wykonywaniu elementów na budowie. Wyjątek stanowi przypadek stosowania form specjalnych, takich jak np. „monotuby”. Zastosowanie środka antyadhezyjnego nie wymaga również wykonywanie faktur kruszywowych z użyciem środków opóźniających, ponieważ w takim przypadku przyczepność formy do betonu jest niewielka [5].

Stosowanie preparatów antyadhezyjnych ma bardzo duży wpływ na ostateczny wygląd betonu, dlatego konieczne jest przestrzeganie podstawowych wytycznych ich stosowania, m.in.:

- dobranie środka do warunków atmosferycznych,
- równomierne nanoszenie na powierzchnię deskowania,
- zebranie nadmiaru środka (zbyt duża ilość może spowodować odbarwienia powierzchni).



Rys. 1. Efekt nierównomiernego nanoszenia środka antyadhezyjnego

#### 4.7. Temperatura

Równie istotny wpływ na ostateczny wygląd konstrukcji ma rodzaj i czas pielęgnacji betonu. Często bagatelizuje się fakt, że dojrzewanie betonu w różnych temperaturach powoduje uzyskiwanie odmiennych barw powierzchni betonu. Tymczasem jest to niezwykle istotne przy próbach wykonywania betonu architektonicznego w warunkach obniżonych temperatur. W celu zabezpieczenia betonu przed zamrożeniem często stosuje się pielęgnację w postaci elektronagrzewu. W trakcie wykonywania powtarzających się elementów i tego typu pielęgnacji należałoby zachować wyjątkowy „reżim technologiczny” polegający na ścisłej kontroli czasu nagrzewania i temperatury betonu w konstrukcji. Niezachowanie tych warunków może doprowadzić do uzyskania diametralnie różnorodnej kolorystyki powierzchni wykonywanych elementów. Podobne rezultaty daje również przetrzymywanie w deskowaniu przez różny czas poszczególnych elementów konstrukcji nawet w naturalnych warunkach dojrzewania.



Rys. 2. Zmiany barwy wynikające z różnego czasu rozdeskowania

#### 4.8. Deskowanie

Ostateczny efekt, jaki uzyskuje beton wykonywany na budowie jest bezpośrednio uzależniony od jakości deskowania, ponieważ oddaje on prawie wszystkie detale formy. Właściwość ta może być zaletą, jeśli do danej pracy zostanie wybrany odpowiedni typ deskowania.

Z punktu widzenia projektanta wygląd betonu architektonicznego w ogromnym stopniu zależy od tekstury jego powierzchni. W celu osiągnięcia odpowiedniego efektu wizualnego możliwe jest zastosowanie kilku rodzajów tekstury w jednej konstrukcji.

Różne rodzaje tekstury betonu można uzyskiwać przez zastosowanie różnych typów deskowania. Przy wyborze rodzaju deskowania należy uwzględnić pewne charakterystyczne cechy poszczególnych jego rodzajów, m.in.:

- deskowanie drewniane – różne gatunki drewna powodują powstawanie innych odcieni powierzchni betonu, podobny efekt uzyskuje się przez połączenie w jednym elemencie deskowania używanego z nowym; możliwość wykonania skomplikowanych elementów,

- deskowanie selektywne – prawie całkowite odpowietrzenie powierzchni, wysoki koszt stosowania,

- sklejka wodoodporna – możliwość wystąpienia tzw. „marmurków” powstających w wyniku osadzania się kropeł wody na niechłonnej powierzchni deskowania; lokalnie powstają wówczas miejsca o różnych wartościach stosunku w/c, które prowadzą do powstania jasnych i ciemnych plam, beton o mniejszym w/c ma ciemniejszy kolor, zaś beton o wyższym w/c jest jaśniejszy [12],

- deskowanie stalowe – możliwość powstania odbarwień w postaci rdzawych nalotów,

- matryce fakturowe – przy zastosowaniu matryc o dużej głębokości faktury mogą wystąpić problemy z odpowietrzeniem mieszanki.



Rys. 3. Problem z odpowietrzeniem przy poziomym głębokim faktowaniu matrycy

Niezależnie od rodzaju zastosowanego deskowania należy zwrócić uwagę na szczelność jego wykonania. Większe wypływy mogą prowadzić nie tylko do zmian barwy betonu, ale także do odstonięcia ziaren kruszywa i powstania „gniazd żwirowych”, a w szczególnych przypadkach nawet do osłabienia nośności konstrukcji.



Rys. 4. Odbarwienia powstałe wskutek miejscowej zmiany w/c i „gniazda żwirowe”

Ten potencjalny problem jest zwykle redukowany pod warunkiem, że wykonawca zapewni wysoką jakość deskowania i jego montażu. Dodatkowym zabezpieczeniem może być zastosowanie uszczelek na łączeniach elementów deskowania, które zapewnią jego pełną szczelność i pozwolą uniknąć nawet najmniejszych wycieków.

Uszczelnienie deskowania jest również jedynym sposobem uniknięcia efektu „firanek” na powierzchni betonu, powstałych w wyniku wykonywania elementu w sekcjach poziomych i naciekania mleczka z warstwy wbudowywanej na warstwę już związaną.



Rys. 5. Efekt „firanek” powstały w skutek betonowania w poziomych sekcjach i nie uwzględnienia skurczu dolnej warstwy

W trakcie projektowania powinno się również uwzględnić szerokość deskowania, kierunek jego ułożenia, podział na odcinki, rozstaw i rozmieszczenie kotew. Ze względu na właściwość betonu do odwzorowywania powierzchni deskowania, brak planu jego ułożenia może doprowadzić do wizualnego zaburzenia zaplanowanej kompozycji architektonicznej.

#### **4.9. Układanie zagęszczanie**

Najczęstszymi wadami powstającymi wskutek nieprawidłowego układania i zagęszczania mieszanki są pozostające na powierzchni betonu pęcherze powietrza. Są one efektem błędów w czasie wibracji lub zagęszczania zbyt grubych warstw. Do podstawowych wytycznych odnośnie zagęszczania należą:

- układanie mieszanki warstwami nieprzekraczającymi grubości 30-50 cm,
- buława zanurzana nie rzadziej jak w odległości 1.5 promienia działania,
- prędkość wyciągania buławy nie powinna być szybsza niż 8 cm/s,
- niedopuszczenie do zetknięcia się buławy z deskowaniem i zbrojeniem,
- wtórne zawibrowanie górnego obszaru elementów pionowych,
- przerwa w układaniu poszczególnych warstw nie dłuższa niż 15 min.

#### **4.10. Naprawy**

Oczekiwania kontrahentów i architektów decydujących się na zastosowanie betonu architektonicznego odnośnie kształtu, wykończenia powierzchni, koloru i jednorodności są bardzo wysokie. Z drugiej strony wyjątkowość tego rozwiązania powoduje, że dość często zdarzają się problemy związane zarówno z planowaniem jak i wykonaniem tego zadania, co w konsekwencji prowadzi do błędów. W związku z tym bardzo ważne jest stworzenie z góry procedury naprawczej dla danej konstrukcji. Naprawy betonu architektonicznego nie są łatwe, dlatego jednym z rozwiązań jest wyburzenie wadliwego elementu, co niestety pociąga za sobą znaczne środki finansowe. Należy jednak rozważyć czy inny sposób naprawy w konsekwencji nie okaże się jeszcze bardziej kosztowny. Z drugiej strony akceptacja wykonania ze wszystkimi możliwymi defektami może nawet doprowadzić do zatrzymania budowy. Rozwiązaniem pośrednim jest opracowanie metodologii napraw dającej rezultaty możliwe do zaakceptowania, a jednocześnie wymagającej minimalnej ingerencji w strukturę wykonanego betonu.

W celu naprawy pęcherzy, raków i innych uszkodzeń betonu konieczne jest zastosowanie drobno lub gruboziarnistej zaprawy naprawczej lub ich kombinacji w zależności od wielkości uszkodzenia i wymaganej tekstury. Niezwykle istotne jest w przypadku tego rozwiązania odpowiednie dobranie koloru zaprawy do kolorystyki naprawianego elementu w przeciwnym razie naprawa może w jeszcze większym stopniu zaburzyć wizualny odbiór konstrukcji [11].

## 5. Podsumowanie

Wykonywanie betonu architektonicznego nie jest sztuką łatwą. Wymaga zaangażowania wszystkich osób biorących udział w tym szczególnym procesie budowlanym. W związku z coraz powszechniejszym stosowaniem betonu jako ostatecznej warstwy elewacji istnieje konieczność zwiększania świadomości, o zagrożeniach z jakimi można się spotkać w trakcie wykonywania betonu architektonicznego, zarówno u architektów (aby nie stawiali wyzwań nie do zrealizowania), jak i u wykonawców (aby odpowiednio się przygotowali) oraz u pracowników budowlanych (aby wiedzieli jakie konsekwencje może przynieść zaniechanie wykonania poszczególnych czynności). Tylko poszerzanie wiedzy dotyczącej betonu architektonicznego spowoduje, że w Polsce również będzie można podziwiać budowle wykonane przy jego zastosowaniu i stanowiące przykład sztuki architektonicznej oraz inżynierskiego na światowym poziomie.

## Literatura

1. Jagiełło-Kowalczyk M., Jamróży Z.: Beton architektoniczny, w: „Surowce i Maszyny Budowlane”, nr 2, 2005, s. 41-43.
2. Beton architektoniczny. Wytyczne Federalnego Stowarzyszenia Producentów Cementu dotyczące przetargów, wykonania i odbiorów betonu o zmodyfikowanych wymaganiach optycznych, Köln 1997.
3. Architectural Concrete, R-Con Tech Letter, Vol. II No. 2, 2000, Wichita-Kansas.
4. Visual concrete. Specifying concrete to BS EN 206-1/BS 8500, British Cement Association, 2000.
5. Chudan A., Woyciechowski P.: Metody i środki pielęgnacji betonu w formach i “in situ”, XVII Ogólnopolska Konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”, Ustroń, 20-23 lutego 2002 r.
6. Wójcik J., Osowski S.: Matryce do betonu architektonicznego, w: „Polski Cement”, nr 3 (27), 2004, s. 14-15.
7. Jamróży Z.: Beton i jego technologie, Warszawa 2005.
8. Michalik H.: Beton w architekturze, [www.kalejdoskopbudowlany.pl](http://www.kalejdoskopbudowlany.pl), 22 maja 2006 r.
9. Boyer L.A.: Decorative Concrete Has Come a Long Way!, “Concrete International”, Vol. 24 No. 6, June 2002.
10. Boehle B., Hart M.: Decorative Concrete at the Getty Villa, “Concrete International”, Vol. 28 No. 4, April 2006.
11. Nunes A., Alvarez J.A.: Architectonic Concrete Repair and Rehabilitation, Proceedings of the 12<sup>th</sup> European Ready Mixed Concrete Congress, Volume 2, 23-26 June 1998, Lisbon, Portugal.
12. Schmincke P.: Sichtbeton – gewußt wie, „Beton”, nr 40 (7), 1990, s. 285-290.
13. Zhang Y.: Methodology for Aesthetic Repair and Rehabilitation of Arcuitectural Concrete, University of Johannesburg, February 2005.
14. Czrnecki L., Emmons P.H.: Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków 2002.