

Krzysztof Kuniczuk

Technologia Betonów Architektonicznych i Specjalistycznych

Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne. Wydanie drugie rozszerzone

Architectural concrete. Technical guidelines. Second expanded edition

Streszczenie

Od wydania pierwszej edycji książki *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne* minęło już kilkanaście lat. Przez ten czas okazało się, że kolejne rodzaje betonów wchodzących w zakres pojęcia beton architektoniczny wymagają uzupełnienia lub całkiem innego podejścia niż to było dotychczas.

Najpierw były to betony architektoniczne mostowe, do których konieczna była modyfikacja kategorii, a część wytycznych wymagała szerszego opisu tak, by nie było wątpliwości, co jest dopuszczalne, a co nie. Wyniknęło to z licznych analiz dokumentacji przetargowych, ale również ze spotkań z wykonawcami, inspektorami i przedstawicielami Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA).

Rozszerzenie zawartości wydania z 2011 roku o dodatkowe informacje, które były jedynie zasygnalizowane wynika ze zdobywanego doświadczenia przy kolejnych realizacjach konstrukcji z betonem architektonicznym. Udział w licznych projektach takich, jak Muzeum Wojska Polskiego, Muzeum Historii Polski, Plac Pięciu Rogów (wszystkie autorstwa WXCA), Muzeum Sztuki Nowoczesnej (autorstwa Thomas Phifer and Partners), Sąd Okręgowy w Częstochowie, Małopolskie Centrum Nauki Cogiteon (oba autorstwa Heinle Wisner und Partners) czy też Park Akcji „Burza” pod Kopcem Powstania Warszawskiego (autorstwa Archigrest i topoScape) pozwolił na konfrontację zapisów które powstały w 2011 roku z praktycznym ich stosowaniem na terenie budowy.

Abstract

Since the publication of the first edition of the book *Architectural Concrete. Technical guidelines* more than ten years have passed. During this time, it has become apparent that further types of concrete falling within the scope of the term architectural concrete require supplementation or a completely different approach than was previously the case.

First it was architectural bridge concretes, for which a modification of the categories was necessary, and some of the guidelines required a broader description so that there was no doubt as to what was acceptable and what was not. This resulted from numerous analyses of tender documents, but also from meetings with contractors, inspectors and representatives of the General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA).

The expansion of the content of the 2011 edition with additional information that was only hinted at is due to the experience gained with successive realizations of architectural concrete structures. Participation in numerous projects such as the Museum of the Polish Army, the Museum of Polish History, Five Corners Square (all by WXCA), the Museum of Modern Art (by Thomas Phifer and Partners), the

Regional Court in Częstochowa, the Cogiteon Science Centre in Malopolska (both by Heinle Wisner und Partners) or the 'Storm' Action Park under the Warsaw Uprising Mound (by Archigrest and topoScape) made it possible to confront the records that were created in 2011 with their practical application on site.

Wstęp

Od publikacji pierwszego wydania książki *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne* minęło już kilkanaście lat. W tym czasie okazało się, że rozwój technologii oraz pojawianie się nowych odmian betonu określanych jako architektoniczne wymagają nie tylko uzupełnienia wcześniejszych zapisów, ale nierzadko zupełnie nowego podejścia.

Pierwszym obszarem, który wymagał rewizji, były betony architektoniczne stosowane w infrastrukturze mostowej. Konieczne stało się doprecyzowanie kategorii oraz rozszerzenie istniejących wytycznych tak, aby jednoznacznie określić, które rozwiązania są dopuszczalne, a które nie. Potrzeba ta wynikała zarówno z analizy dokumentacji przetargowych, jak i ze spotkań z wykonawcami, inspektorami nadzoru oraz przedstawicielami Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA).

Rozszerzenie zakresu merytorycznego wydania z 2011 roku o treści, które wcześniej były jedynie zasygnalizowane, jest efektem doświadczeń zdobytych przy realizacji licznych projektów z zastosowaniem betonu architektonicznego. Przykłady takich realizacji to m.in. Muzeum Wojska Polskiego, Muzeum Historii Polski, Plac Pięciu Rogów (projekty pracowni WXCA), Muzeum Sztuki Nowoczesnej (Thomas Phifer and Partners), Sąd Okręgowy w Częstochowie i Małopolskie Centrum Nauki Cogiteon (Heinle, Wisner und Partner), a także Park Akcji „Burza” pod Kopcem Powstania Warszawskiego (Archigrest i topoScape). Projekty te pozwoliły na konfrontację założeń teoretycznych z ich praktycznym zastosowaniem na placach budów.

Szczególne znaczenie miały także doświadczenia związane z nadzorowaniem i odbiorami posadzek polerowanych w Muzeum Józefa Piłsudskiego, które doprowadziły do opracowania nowej kategorii – betonu architektonicznego polerowanego. Kategoria ta umożliwia precyzyjne określenie wymagań, ułatwia proces wyceny oraz znacząco usprawnia odbiory gotowych elementów. Należy jednak podkreślić, że beton polerowany to nie tylko posadzki – jego zastosowanie obejmuje również prefabrykowane elewacje, elementy małej architektury czy inne komponenty o wysokich wymaganiach estetycznych. Stąd pojawiła się konieczność stworzenia spójnego systemu klasyfikacji dla szerokiego zakresu zastosowań betonu polerowanego.

Obecnie, w związku z rosnącym zainteresowaniem architektów alternatywnymi metodami obróbki powierzchni betonu – takimi jak piaskowanie, grozskowanie czy frezowanie – niezbędne stało się również doprecyzowanie wymagań dla tego typu wykończeń. W odpowiedzi na te potrzeby wprowadzono nowe kategorie betonu architektonicznego, uwzględniające specyfikę obróbek strukturalnych.

Każdy obserwator postrzega beton inaczej – ocena jego wyglądu zależy od indywidualnej wrażliwości estetycznej. Jednak subiektywne podejście do tego materiału jest niewystarczające zarówno z punktu widzenia inżyniera, jak i architekta. Brak jednoznacznych wytycznych dotyczących wykonywania i oceny betonu architektonicznego przez długi czas prowadził do nieporozumień i konfliktów na linii projektant–wykonawca–inwestor.

Zdecydowanie łatwiej jest rozmawiać o betonie – który dla jednych stanowi kluczowy element wyrazu architektonicznego, a dla innych podstawę stabilności konstrukcji – gdy istnieją precyzyjne kryteria oceny. Takimi kryteriami są m.in. dopuszczalna liczba i średnica porów na powierzchni betonu, zakres akceptowalnych różnic kolorystycznych, a także obowiązek wykonania próbki referencyjnej (mock-upu). Znacząco ułatwia to również wycenę kosztów realizacji – od początku wiadomo, jaki typ deskowania należy zastosować, jakie uszkodzenia poszycia formy są dopuszczalne oraz jaki stopień polerowania należy osiągnąć.

W Polsce rocznie produkuje się kilkanaście milionów metrów sześciennych betonu, z czego istotna część to beton architektoniczny. Dlatego powstanie wytycznych wykonawczych dla tego typu betonu było koniecznym krokiem w kierunku standaryzacji i uporządkowania wiedzy praktycznej. Po trzynastu latach funkcjonowania dokumentu *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne*, można jednoznacznie stwierdzić, jak istotne było jego opracowanie. O skuteczności i przydatności zapisów świadczy fakt, że większość specyfikacji technicznych dla betonu architektonicznego powstających w Polsce opiera się na zaleceniach zawartych w tej publikacji.



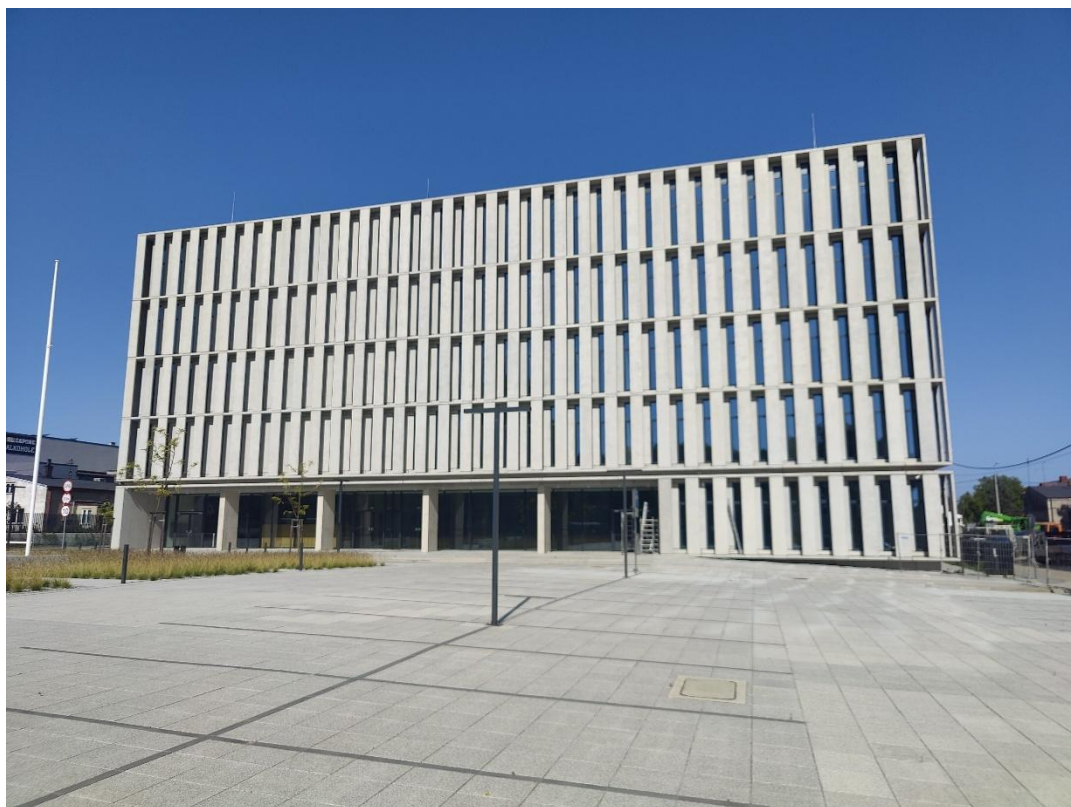
Fot. 1. Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie



Fot. 1a. Plac Pięciu Rogów w Warszawie



Fot. 2. Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Warszawie



Fot. 2a. Sąd Okręgowy w Częstochowie



Fot. 3. Park Akcji „Burza” pod Kopcem Powstania Warszawskiego

Kategorie betonu architektonicznego

Przypisanie kategorii betonu architektonicznego zależy od szczegółowości opisu wymagań stawianych powierzchni betonu, takich jak faktura, porowatość, ocena wizualna, jednorodność kolorystyki oraz inne cechy wpływające na estetyczny odbiór wykonanej konstrukcji. Doświadczenia z realizacji pokazują, że zbyt rygorystyczne ograniczanie dopuszczalnych odchyleń — szczególnie w przypadku betonów wykonywanych bezpośrednio na placu budowy — może prowadzić do trudności z osiągnięciem założonych parametrów. W konsekwencji może to skutkować pominięciem niektórych wymagań, koniecznością wykonywania kosztownych napraw lub wręcz całkowitą zmianą sposobu wykończenia powierzchni.

W związku z powyższym najbardziej zasadne wydaje się przypisanie betonu architektonicznego do jednej z trzech kategorii, różniących się zakresem wymagań: niskim, średnim i wysokim. Szczegółowe wytyczne dotyczące dopuszczalnej porowatości, faktury, jednorodności zabarwienia, konieczności wykonania próbek referencyjnej (mock-up'u), jakości deskowania oraz szacunkowych kosztów wykonania, zestawiono w Tabeli 1 – kategorie **BA1**, **BA2** i **BA3**.

Należy podkreślić, że powyższe wymagania odnoszą się do betonów, w których końcowy efekt estetyczny jest wynikiem odbicia formy – czyli betonu kształtowanego *przed* związaniem mieszanki, bez ingerencji w jej powierzchnię po rozdeskowaniu. Nie dotyczą one natomiast betonów:

- kształtowanych w *trakcie* wbudowywania (np. przez obróbkę powierzchni w czasie wiązania, jak przy użyciu matryc, wałków, szczotek),
- ani kształtowanych *po* stwardnieniu (np. poprzez szlifowanie, groszkowanie, piaskowanie, frezowanie).

W tych dwóch przypadkach należy uwzględnić zwiększoną liczbę porów w powierzchniach pionowych, co oznacza, że parametr dopuszczalnej ilości porów traci istotność, natomiast nadal obowiązuje wymaganie dotyczące maksymalnej średnicy porów.

Kategorie betonu architektonicznego dla powierzchni obrabianych w trakcie lub po wbudowaniu zostały ujęte w Tabeli 1 w pozycjach **BA1E**, **BA2E** i **BA3E**.

Tabela 1. Kategorie betonu architektonicznego

		Faktura*	Porowatość*	Równomierność zabarwienia*, **	Ekspozycja kruszywa	Mock-up	Kategorie deskowania***	Koszty
Małe wymagania BA1	Powierzchnie betonowe o małych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany piwnic, ściany parkingów podziemnych itp.	F1	P1	RZ1	Nie dotyczy	Dowolny wybór	KD1	niskie
Średnie wymagania BA2	Powierzchnie betonowe o typowych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany klatek schodowych ewakuacyjnych itp.	F2	P2	RZ2	Nie dotyczy	Zalecany	KD2	średnie
Wysokie wymagania BA3	Powierzchnie betonowe z wysokimi wymaganiami dotyczącym wyglądu, np.: elewacje, reprezentacyjne elementy budowli, ściany głównych klatek schodowych, hote wejściowe itp.	F3	P3	RZ3	Nie dotyczy	Wymagany	KD3 lub KD3A	wysokie /bardzo wysokie

		Faktura*	Porowatość *	Równomierność zabarwienia*, **	Ekspozycja kruszywa	Mock-up	Kategorie deskowania ***	Koszty
Małe wymagania BA1E****	Powierzchnie betonowe o małych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany piwnic, ściany parkingów podziemnych itp.	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	RZ1	K1/K2/K3/K4*****	Wymagany	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	niskie
Średnie wymagania BA2E****	Powierzchnie betonowe o typowych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany klatek schodowych ewakuacyjnych itp.	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	RZ2	K1/K2/K3/K4*****	Wymagany	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	średnie
Wysokie wymagania BA3E****	Powierzchnie betonowe z wysokimi wymaganiami dotyczącym wyglądu, np.: elewacje, reprezentacyjne elementy budowli, ściany głównych klatek schodowych, hole wejściowe itp.	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	RZ3	K1/K2/K3/K4*****	Wymagana	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	wysokie /bardzo wysokie

* Zob. Tabela 2.

** Ogólny wygląd konstrukcji, istniejących różnic w odcieniu kolorystyki, który można ocenić po minimum kilku tygodniach.

*** Zob. Tabela 3.

**** Kategorie rozszerzone o dopisaną literę E dotyczą betonów z eksponowanym kruszywie w skutek obróbki powierzchni m.in. przez opóźnienie wiązania powierzchni, piaskowanie, groszkowanie, frezowanie, kwasowanie, młotkowanie.

***** Zob. Tabela 7.



Fot. 4a. BA3E z ekspozycją kruszywa K1



Fot. 4a. BA3E z ekspozycją kruszywa K2



Fot. 4c. BA3E z ekspozycją kruszywa K3



Fot. 4d. BA3E z ekspozycją kruszywa K4

Tabela 2. Wymagania dotyczące powierzchni betonowych architektonicznych uzyskiwanych w wyniku odwzorowania deskowania i obróbki powierzchni

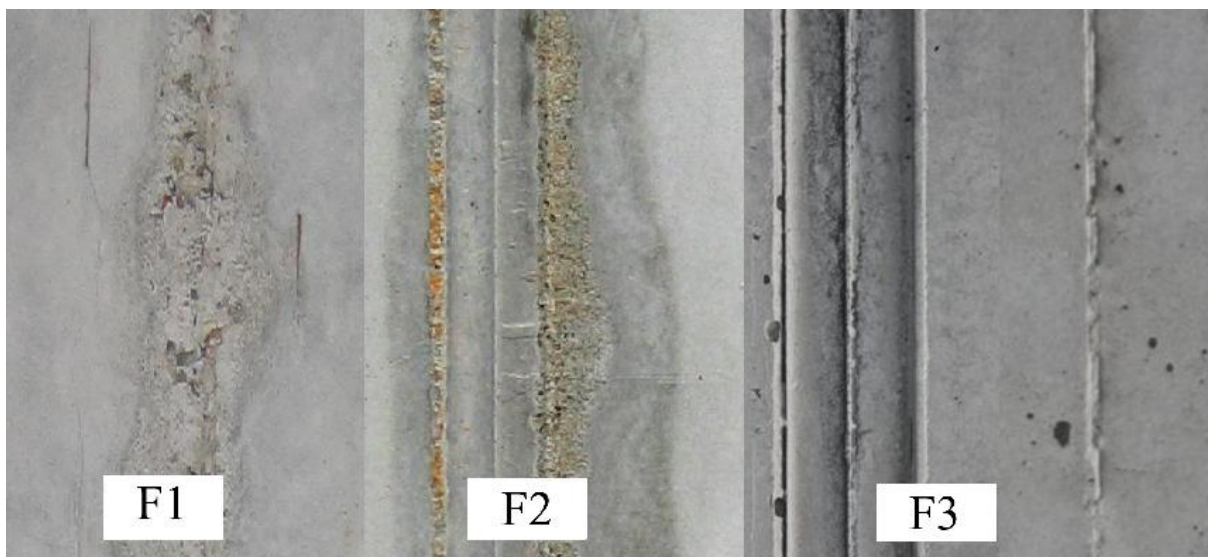
Faktura, styk elementów deskowania, Przerwy konstrukcyjne i technologiczne	F1	- w dużej mierze jednorodna powierzchnia betonowa, - zaczyn cementowy/zaprawa występujące w złączach elementów deskowania nie powinny być większe niż: szerokość do ok. 20 mm i głębokość do ok. 10 mm (fot. 4), - dozwolony odcisk ramy elementu deskowania, - przesunięcia płaszczyzn (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) – maksymalnie do 10 mm (fot. 5 i 6).
	F2	- w dużej mierze jednorodna powierzchnia betonowa, - w dużej mierze zamknięta powierzchnia betonowa - zaczyn cementowy/zaprawa występujące w złączach elementów deskowania (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) nie powinny być większe niż: szerokość do ok. 10 mm i głębokość ok. 5 mm (fot. 4), - dozwolony odcisk ramy elementu deskowania. Dodatkowe wymagania: - zapewnienie tego samego rodzaju deskowania i jego przygotowania, - zapewnienie czystości deskowania oraz równego nałożenia środka antyadhezyjnego, - ustalenie sposobu uszczelnienia styków deskowania, - ustalenie rodzaju wkładek dystansowych, - stosowanie deskowania o tej samej jakości powierzchni, - przygotowanie powierzchni próbnej. - przesunięcia płaszczyzn w miejscu przerwy (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) – maksymalnie do 10 mm
	F3	- gładka, zamknięta powierzchnia betonowa, - w dużej mierze jednorodna powierzchnia betonowa, - zaczyn cementowy/zaprawa występujące w złączach elementów deskowania (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) nie powinny być większe niż: szerokość do ok. 3 mm (fot. 4), - dalsze wymogi odnośnie np. złącz deskowania, odcisku ramy, należy szczegółowo ustalić. Dodatkowe wymagania: - jak dla F2, - konieczne szczegółowe zaprojektowanie deskowania (styki, uszczelnienia, rozmieszczenie blatów itd.), - chronienie deskowania przed wpływem warunków atmosferycznych, - ustalenie krótkiego odstępu od montażu deskowania do przeprowadzenia betonowania, - należy określić wytyczne do wykonania szczelin roboczych (listwa trapezowa, szczelina łącząca itd.), - sporządzenie Planu Zapewnienia Jakości, - zapewnienie ochrony wykonanym elementom (zabezpieczenie naroży, ochrona przed zabrudzeniem), - przesunięcia płaszczyzn w miejscu przerwy (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) – maksymalnie do 5 mm
Porowatość*	P1	- maksymalna liczba porów - ok. 3000 mm² **, *** (fot. 7a), - niedopuszczalne są pęcherze/pory o średnicy większej niż 15mm.

	P2	- maksymalna liczba porów - ok. 2350 mm² **, *** (fot. 7b), - niedopuszczalne są pęcherze/pory o średnicy większej niż 15mm. Dodatkowe wymagania: - sprawdzenie wzajemnego oddziaływania rodzaju betonu, środka antyadhezyjnego i deskowania, - zapewnienie tego samego rodzaju deskowania i jego przygotowania, - zapewnienie czystości deskowania i równomierne nałożenie środka antyadhezyjnego, - przygotowanie powierzchni próbnej.
	P3	- maksymalna liczba porów ok. 1600 mm² **, *** (fot. 7c), - niedopuszczalne są pęcherze/pory o średnicy większej niż 15mm. Dodatkowe wymagania: - jak dla P2, - wykluczenie zmiany składu betonu, - wykluczenie stosowania wody i kruszywa z recydingu, - przygotowanie co najmniej 2 powierzchni próbnych w zakresie mock-up'u.
	RZ1	- zmiana zabarwienia i uzyskanie jasnej/ciemnej barwy jest dopuszczalne, - rdza i brudne zacieki są niedopuszczalne.
Równomierność zabarwienia	RZ2	- równomierne, wielkopowierzchniowe zmiany odcienia na jasny/ciemny są dopuszczalne, - rdza i brudne zacieki są niedopuszczalne, - różne rodzaje powierzchni deskowania (różne sklejkę, różne rodzaje poszycia), jak również różnego rodzaju materiały wykończeniowe są niedopuszczalne. Dodatkowe wymagania: - jak dla P3, - ustalenie czasu mieszania betonu na co najmniej 60 sekund, - przewidzenie wykonania większej ilości powierzchni próbnych.
	RZ3	- wielkopowierzchniowe zmiany zabarwienia spowodowane różnego rodzaju materiałami wykończeniowymi, różnorodne rodzaje powierzchni deskowania oraz różna końcowa obróbka betonu są niedopuszczalne, - niewielkie zmiany zabarwienia są dopuszczalne, - rdza, brudne zacieki, wyraźnie widoczne poszczególne warstwy wbudowanej mieszanki są nie dopuszczalne, Dodatkowe wymagania: - jak dla RZ2, - wybór specjalnego środka antyadhezyjnego (przeznaczonego do wykonywania betonów architektonicznych). - uwzględnienie zmiany czasu rozdeskowania wynikającego z różnych warunków atmosferycznych, - zaplanowanie rozmieszczenia zbrojenia, aby uniemożliwić zetknięcie się buławy wibracyjnej z deskowaniem i zbrojeniem, - prowadzenie zrzutu mieszanki do deskowania/formy, by nie wpływało to na zmianę kolorystyki betonu, - uwzględnienie geometrii elementów konstrukcji i układu zbrojenia tak by umożliwić szybki proces betonowania, - zachowanie w/c na poziomie ± 0.02 lub zachowanie konsystencji z dokładnością do ± 20 mm (badanie każdego betonowozu).

*Liczba porów ze średnicą d w granicach $2\text{mm} < d < 15\text{ mm}$

**ilość porów na standardowej powierzchni kontrolnej o wymiarach 500 mm x 500 mm

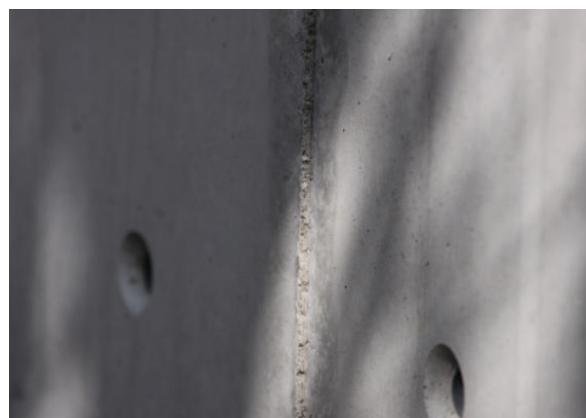
*** w przypadku stosowania deskowania chłonnego istnieje możliwość uzyskania mniejszej ilości porów na powierzchni, w takim przypadku należy przyjąć maksymalną powierzchnię porów odpowiednio na poziomie P1-3000 mm², P2-2000 mm², P3-1000 mm².



Fot. 5. Zaczyn-zaprawa występujące w złączach elementów



Fot. 6a. Przesunięcie płaszczyzny -
połączenie pionowe



Fot. 6b. Przesunięcie płaszczyzny -
połączenie poziome



Fot. 7a. Porowatość
kategoria P1



Fot. 7b. Porowatość
kategoria P2



Fot. 7c. Porowatość
kategoria P3

Tabela 3. Kategorie deskowania.

	KD1	KD2	KD3	KD3A
Otworki wiercone	dozwolone	dozwolone do napraw	niedozwolone	niedozwolone
Otworki po gwoździach i śrubach	dozwolone	dozwolone bez odprysków	dozwolone jako miejsca napraw po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone
Uszkodzenie deskowania w wyniku działania wibratora pogrążalnego	dozwolone	niedozwolone/dozwolone po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone	niedozwolone
Zadrapania	dozwolone	dozwolone jako miejsca napraw*	dozwolone jako miejsca napraw po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone
Resztki betonu	dopuszczalne w zagłębieniach (otworki po gwoździach, kratery itd.) bez przylepionego powierzchniowo betonu	niedozwolone	niedozwolone	niedozwolone
Zabrudzenia zaczynem cementowym	dozwolone	niedozwolone	niedozwolone	niedozwolone
Małe fałdki, pomarszczenia sklejk, znajdujące się w obszarze wiercenia, gwoździowania (<i>ripplings</i> ***, Fot. 8)	dozwolone	niedozwolone/dozwolone po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone	niedozwolone
Falowanie sklejk wynikające z absorpcji przez nią wody zanikające przy kolejnych użyciach	dozwolone	dozwolone	dozwolone	niedozwolone**
Miejscowe naprawy	dozwolone	dozwolone	niedozwolone/dozwolone po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone
Powierzchnia próbna	dowolna	zalecane wykonanie	wymagane wykonanie	wymagane wykonanie

* Wszelkie naprawy deskowania muszą być przeprowadzone przez wykwalifikowany i kompetentny personel, natomiast deskowanie musi być przed zastosowaniem sprawdzone.

** Konieczność użycia poszycia które nie wykazuje tendencji do falowania powierzchni przy pierwszym i kolejnych użyciach np. sklejki z powierzchnią plastikową lub matrycy.

*** Zjawisko *ripplingu* nie jest tożsame z falowaniem brzegów sklejk powstającego przy pierwszych jej użyciach.



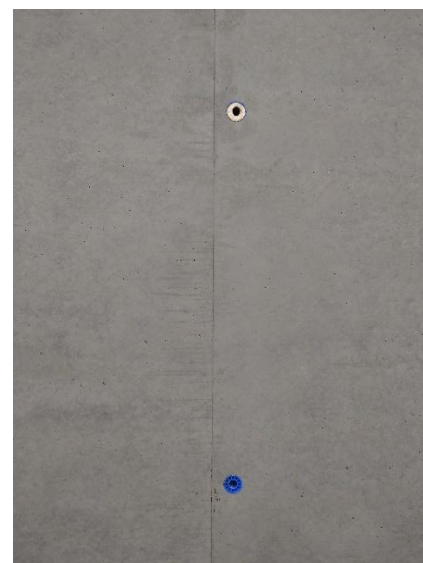
Fot. 8. Efekt gwoździowania sklejki – *rippling*



Fot. 9a. Zjawisko
falsowania sklejk.



Fot. 9b. Zjawisko
falsowania sklejk.



Fot. 9c. Zjawisko
falsowania sklejk na
deskowaniu ramowym.

Kategorie betonu architektonicznego mostowego

Ze względu na usytuowanie obiektów mostowych oraz specyfikę procesu ich projektowania i nadzoru, konieczne jest przypisanie poszczególnych typów obiektów do odpowiednich kategorii betonu architektonicznego. Umożliwia to ujednolicenie podejścia do wymagań jakościowych, niezależnie od przyjętej formy postępowania przetargowego, i pozwala uniknąć dowolnej interpretacji standardów wykonania.

Tabela 4. Kategorie betonu architektonicznego mostowego

		Faktura*	Porowatość*	Równomierność zabarwienia***	Mock-up	Kategorie deskowania***	Koszty
Małe wymagania BA1****	Obiekty typu PDZd i PG (bez ciągu pieszego), przepusty, ściany oporowe	F1	P1	RZ1	Dowolny wybór	KD1	niskie
Średnie wymagania BA2****	Obiekty typu PG (z ciągiem pieszym), wiadukty, mosty	F2	P2	RZ2	Zalecana	KD2	średnie

Wysokie wymagania a BA3****	Kładki i inne obiekty inżynierskie w miejscach reprezentacyjnych (np. centra miast)	F3	P3	RZ3	Wymagania	KD3	wysokie /bardzo wysokie
--	---	----	----	-----	-----------	-----	-------------------------

* Te wymogi/cechy zostały omówione szerzej w Tabeli 2.

** Ogólny wygląd konstrukcji, istniejących lub nieistniejących różnic w odcieniu kolorystyki, można ocenić przeważnie po ustabilizowaniu się warunków wilgotnościowych (przynajmniej po kilku tygodniach).

*** Patrz Tabela 3.

**** Wymagane zabezpieczenie powierzchni środkiem anti-graffiti (w przypadku przepustów dotyczy tylko elementów czołowych).

Kategorie betonu architektonicznego polerowanego

Stopień wybliszczenia powierzchni jest jedną z kluczowych cech betonu architektonicznego polerowanego, a zarazem jednym z najczęściej błędnie interpretowanych parametrów. W praktyce wykonawczej stopień wybliszczenia bywa określany poprzez wskazanie gradacji tarczy, na której zakończono obróbkę powierzchni. Jednak uzyskany efekt zależy nie tylko od samej gradacji, lecz także od rodzaju zastosowanej tarczy, czasu obróbki, liczby etapów szlifowania oraz parametrów technicznych całego procesu.

Z tego względu, oprócz podania zalecanej gradacji końcowej oraz minimalnej liczby stopniowania tarcz szlifierskich/polerskich, dla każdej kategorii betonu architektonicznego polerowanego przypisano wartość wskaźnika odwzorowania obrazu (DOI – *Distinctness of Image*). Parametr ten umożliwia jednoznaczną, mierzalną ocenę stopnia wybliszczenia powierzchni i pozwala uniknąć nieporozumień wynikających z subiektywnej oceny efektu wizualnego.

Tabela 5. Kategorie betonu architektonicznego polerowanego

Kategoria	Gradacja tarczy	Poziom wybliszczenia	Minimalna ilość stopniowania tarcz	Wymagania	Pomiar odwzorowania obrazu* (DOI)**
BAP1	≤100	Matowy	≤4	Brak odbicia lub odbicie bardzo rozproszone	0-9
BAP2	100 do 400	Satynowy	5	Satynowe, lekko rozproszone odbicie obiektów	10-39
BAP3	800 i wyżej	Błyszczący	6	Odbijane obiekty nie są ostre, ale można je zidentyfikować	40-69
BAP4	800 i wyżej	Bardzo błyszczący	7	Odbijane obiekty są ostre, łatwe w identyfikacji	70-100

*Zgodnie z ASTM D5767-18 Standard Test Method for Instrumental Measurement of Distinctness-of-Image (DOI) Gloss of Coated Surfaces.

** Należy wykonać minimum 3 testy w przypadku powierzchni do 100m² i po jednym teście na każde kolejne 100m².

Tabela 6. Klasa wypełnienia nieciągłości tekstury

Klasa	Wymagania
U1	Należy uzupełnić wszelkie ubytki, pęcherze.
U2	Należy uzupełnić ubytki, pęcherze o średnicy powyżej 5mm dla elementów poziomych, zaś dla elementów pionowych dopuszcza się występowanie pęcherzy o średnicy od 2 do 15mm o łącznej powierzchni 1600mm ² na powierzchni testowej 0.5 x 0.5 m, nie dopuszcza się występowania pęcherzy powyżej 15mm.

Kolejnym ważnym wskaźnikiem wpływającym na wygląd betonu polerowanego jest stopień ekspozycji kruszywa, który wynika zarówno z technologii wykonania, wielkości użytego kruszywa jak i głębokości szlifowania.

Tabela 7. Klasy ekspozycji kruszywa na powierzchni betonu architektonicznego

Klasa ekspozycji kruszywa	Nazwa	Przewidywana głębokość szlifowania	Wymagania
K1	Cementowa (zwana <i>Kremową</i>)	Bardzo mała	brak ekspozycji ziaren piasku do 4 mm; pasta cementowa 100%* lub brak ekspozycji kruszywa lub ekspozycja ziaren piasku do 4mm; 85-95% pasta cementowa; 5-15% ziarno do 4 mm
K2	Piaskowa (zwana <i>Sól i Pieprz</i>)	>1.5mm	100% ziarna do 4 mm** lub brak ekspozycji kruszywa lub ekspozycja ziaren piasku do 4 mm; 85-95% ziarna do 4 mm; 5-15% mleczko cementowe; Pojedyncze ziarna >4 mm
K3	Średniokruszywowa	>3mm	100% ziarna do 8 mm** lub ekspozycja kruszywa do 8 mm i ekspozycja ziaren piasku do 4 mm ; 85-95% ziarna do 8 mm; 5-15% ziarna do 4 mm; pojedyncze ziarna >8 mm
K4	Grubokruszywowa	>6mm	100% ziarna do 16 mm** lub

			ekspozycja kruszywa do 16 mm i ekspozycja ziaren kruszywa do 8 mm; 85-95% ziarna do 16 mm; 5-15% ziarna do 8 mm Pojedyncze ziarna do 22.5 mm lub 31.5 mm
--	--	--	---

* Dotyczy m.in. gotowych suchych mieszanek (tzw. mikrocementów), HPC (high-performance concrete), UHPC (ultra high-performance concrete), posadzek DST.

**Dotyczy gotowych suchych mieszanek, dla których dopuszcza się również inny wymiar maksymalnego ziarna określony przez producenta.



Fot. 10. Klasy ekspozycji kruszywa na powierzchni betonu architektonicznego polerowanego

Klasa ekspozycji kruszywa odnosi się do stopnia odsłonięcia ziaren kruszywa po zakończeniu operacji szlifowania i polerowania powierzchni.

Rozmiar oraz rozmieszczenie kruszywa na powierzchni zależą od składu mieszanki betonowej, a także od sposobu jej układania, zagęszczania i wykańczania. Istotnym czynnikiem wpływającym na uzyskany efekt jest również płaskość powierzchni podczas procesu szlifowania i polerowania – parametr ten powinien być brany pod uwagę przy wyborze odpowiedniej klasy ekspozycji.

W przypadku zastosowania standardowego kruszywa do betonu, zgodnego z normą **PN-EN 12620**, należy uwzględnić, że norma dopuszcza występowanie nadziarna i podziarna w ramach danej frakcji. Oznacza to, że np. przy klasie ekspozycji **K2**, na powierzchni mogą lokalnie występować pojedyncze ziarna o średnicy do 8 mm (choć ziarna >8 mm nie powinny się pojawiać). Analogicznie, dla klas **K3** dopuszcza się ziarna do 16 mm, a dla **K4** – do 22,5 mm lub 31,5 mm, w zależności od zastosowanej frakcji.

Powyższe ograniczenia nie dotyczą posadzek polerowanych wykonywanych z gotowych suchych mieszanek, w których rozkład i wielkość kruszywa są znacznie bardziej kontrolowane.

Jeśli dla danego elementu lub powierzchni nie określono wymagań dotyczących tolerancji wykonania lub równości powierzchni poprzez odniesienie do konkretnej normy, należy przyjąć klasy równości zgodnie z **Tabelą 8**. Kategorie **R1** i **R2** nie mają zastosowania w przypadku posadzek przeznaczonych do magazynów wysokiego

składowania obsługiwanych przez systemowe wózki magazynowe. W takich przypadkach należy stosować wymagania zgodne z normą **DIN 15185**.

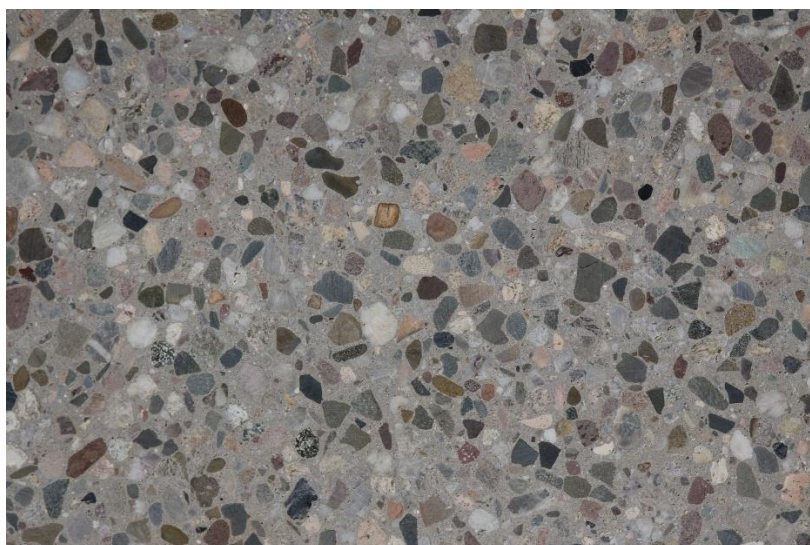
Podsumowanie

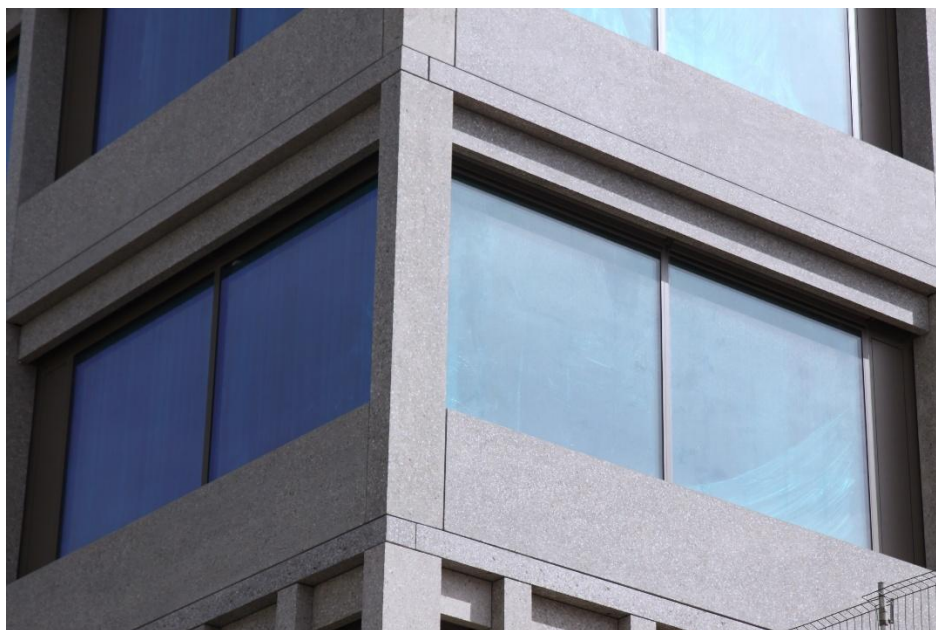
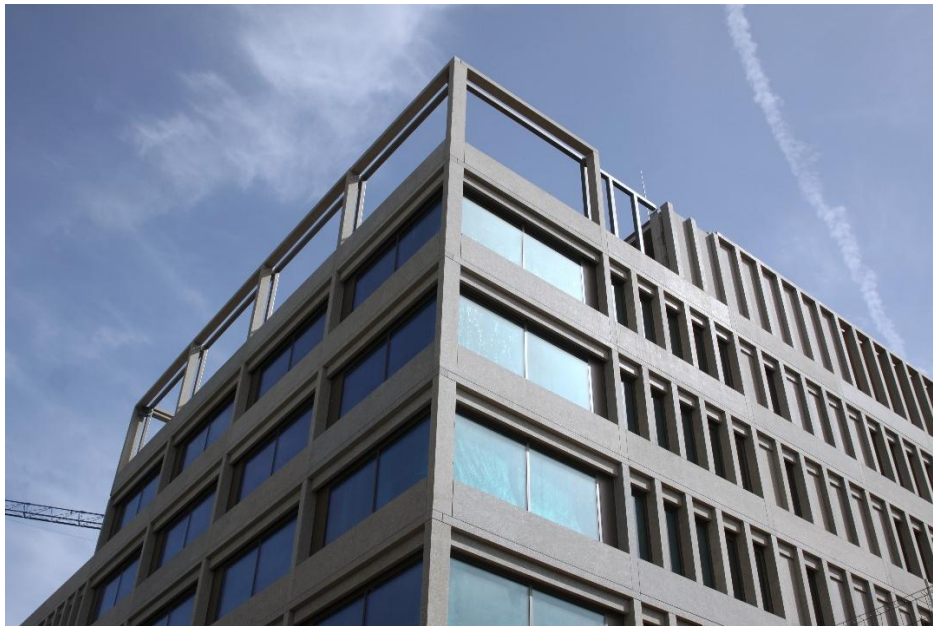
Wymagania dotyczące jakości powierzchni betonu architektonicznego są często bardzo wysokie. Jednocześnie należy pamiętać, że jego wykonanie jest procesem złożonym, zależnym od wielu czynników technologicznych, materiałowych i wykonawczych. Z tego względu niezbędne jest jednoznaczne i szczegółowe określenie wymagań stawianych wykonawcy. Pozwala to nie tylko na właściwą wycenę realizacji, ale również na odpowiednie przygotowanie wszystkich stron uczestniczących w procesie oraz zapewnienie prawidłowego przebiegu prac.

Istotne jest również uświadomienie sobie, że nawet przy zachowaniu najwyższej staranności i doświadczeniu wykonawcy, na powierzchni betonu mogą wystąpić drobne niedoskonałości. Są one naturalną cechą tego materiału, a jednocześnie – paradoksalnie – właśnie one decydują o jego autentycznym i unikalnym charakterze, który architekci często celowo eksponują w projektach.

Zawarte w niniejszych wytycznych zagadnienia nie stanowią wyczerpującego opracowania na temat technologii wykonywania betonu architektonicznego, jednak stanowią istotny krok w kierunku wypracowania bardziej inżynierskiego i usystematyzowanego podejścia do tego procesu.

Trzy podstawowe kategorie betonu architektonicznego – BA1, BA2 i BA3 – opracowane i opublikowane po raz pierwszy w 2011 roku, są dziś powszechnie znane i stosowane w praktyce projektowej oraz wykonawczej. Nowe kategorie – **BAE** (betony poddawane obróbce powierzchniowej) oraz **BAP** (betony architektoniczne polerowane) – dopiero zaczynają trafiać do świadomości architektów i projektantów. Należy spodziewać się, że ich pełne wdrożenie i upowszechnienie potrwa jeszcze kilka lat. Niemniej pierwsze kroki zostały już podjęte – obiekty, w których dokumentacji zastosowano kategorię BAP, są już w trakcie realizacji (fot. 160a–c).





Fot. 11a-c. Polerowana elewacja budynku Kampusu Ochota Uniwersytetu Warszawskiego (projekt: Projekt Praga)

Literatura

- [1] K. Kuniczuk, „Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne“, Polski Cement, Kraków 2010.
- [2] K. Kuniczuk, „Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne. Wydanie drugie rozszerzone“, Polski Cement, Kraków 2025.