

dr hab. inż. Piotr Woyciechowski, prof. PW^{1)*}

ORCID: 0000-0002-8127-7559

dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek¹⁾

ORCID: 0000-0001-6056-5458

Ocena jakości estetycznej włóknisto-cementowych prefabrykatów elewacyjnych z betonu

Aesthetic quality assessment of fibre-cement flat-sheets for facades

DOI: 10.15199/33.2021.09.06

Streszczenie. Przedmiotem artykułu jest metodyka oceny estetyki elewacyjnych płyt cementowo-włóknistych. Przedstawiono propozycję kryteriów takiej oceny, a także propozycję metody badawczej, umożliwiającej prognozowanie zachowania estetyki takich płyt w czasie eksploatacji, na podstawie przyspieszonego badania starzeniowego.

Słowa kluczowe: elewacyjne płyty cementowo-włókniste; beton architektoniczny; kryteria oceny estetyki.

Abstract. The subject of the article is a methodology for assessing the aesthetics of fiber-cement facade flat-sheets. A proposal of criteria for such an evaluation was presented, as well as a proposal of a research method that would enable the prediction of the aesthetic behavior of such elements during exploitation, based on an accelerated aging test.

Keywords: fiber-cement facade flat-sheets; architectural concrete; criteria of aesthetic assessment.

Z analizy wymagań ogólnych zawartych w PN-EN 13369 [4] wynika, że jakość wszelkiego typu prefabrykatów z betonu zapewniana jest przede wszystkim przez spełnienie wymagań dotyczących:

- zawartości cementu, domieszek oraz dodatków; maksymalnego współczynnika w/c oraz maksymalnej zawartości chlorków i alkaliów zgodnie z EN 206-1;
- pielęgnacji betonowego elementu: możliwość użycia jednej z trzech metod normowych lub ewentualnie innej metody o udokumentowanej przydatności w danych warunkach produkcji;
- minimalnej klasy wytrzymałości, przy czym w przypadku prefabrykatów żelbetowych z betonu zwykłego jest to C20/25, prefabrykatów z betonu sprężonego – C30/37, a w przypadku betonu lekkiego minimalna klasa to LC 16/18.

Szczegółowe wymagania dotyczące poszczególnych typów wyrobów są formułowane także w normach danego wyrobu i obejmują m.in. cechy geometryczne, właściwości mechaniczne całego wyrobu lub wycinanych z niego próbek, właściwości związane z trwałością, przeznaczeniem i funkcją elementu.

Jednym z często stosowanych obecnie elementów elewacyjnych są **plaskie płyty włóknisto-cementowe** o gładkiej

powierzchni lub kształtowanej matrycą (zgodnie z PN-EN 12467), z reguły barwione w masie, które dają architektom możliwości ciekawego kształtowania architektury obiektów. W przypadku płyt elewacyjnych jednym z elementów oceny jakości powinny być **cechy estetyczne**, w tym zachowanie jakości estetycznej w czasie, w przewidywanych warunkach eksploatacyjnych. Procedury normowe nie obejmują jednak cech estetycznych [1, 2].

Zakres wymagań wg normy PN-EN 12467

Norma PN-EN 12467 [3] opisuje **cztery kategorie płyt elewacyjnych** ze względu na ich klasę ekspozycji:

- **kategoria A** – elementy wystawione na działanie wysokiej temperatury, dużego zawilgocenia oraz silnego działania mrozu;
- **kategoria B** – elementy wystawione na działanie wysokiej temperatury, zawilgocenia oraz okazjonalnie na działanie mrozu, np. elementy chronione bądź nienarażone na działanie skrajnych warunków atmosferycznych;
- **kategoria C** – elementy do wewnętrznego stosowania, narażone na wysoką temperaturę, zawilgocenie, brak działania mrozu;
- **kategoria D** – elementy podkładowe.

Badania wytrzymałości na zginanie, odkształceń przy zmianach wilgotności

oraz przesiąkliwości płyt elewacyjnych wykonuje się zgodnie z PN-EN 12467. Bada się próbki o różnych wymiarach, wycinane z płyty, zachowując grubość wyrobu, a pozostałe wymiary dostosowuje do schematu metody badawczej. Ponadto norma przewiduje wiele tzw. procedur starzeniowych, w tym:

- cykl zamrażania-rozmrażania;
- cykliczne działanie temperatury 60°C i deszczu;
- badanie odporności na działanie ciepłej wody (60°C);
- badanie cyklicznego zawilgocenia-wysychania.

Służą one jednak tylko do sprawdzenia wpływu starzenia elementów na zmianę ich cech mechanicznych, reprezentowanych przez wytrzymałość na zginanie pasma wyciętego z płyty poddanej starzeniu. Czas kondycjonowania próbek zależy od wcześniej podanych kategorii A, B, C oraz D związanych z przeznaczeniem elementów. W przypadku elementów bardziej narażonych na czynniki niszczące w warunkach eksploatacji stosuje się dłuższy czas trwania testów (tabela 1).

Za pozytywny wynik badania uznaje się sytuację, w której po przeprowadzeniu wymaganego scenariusza cykli starzeniowych wytrzymałość na zginanie badanego elementu zmniejsza się nie więcej niż 25%, z uwzględnieniem statystycznego rozrzutu wyników. Wymienione badania nie uwzględniają aspek-

¹⁾ Politechnika Warszawska; Wydział Inżynierii Łądowej

^{*} Adres do korespondencji: piwoy@il.edu.pl

Tabela 1 Liczba cykli starzeniowych wymaganych wg PN-EN 12467 [3]

Table 1. Number of aging cycles according to PN-EN 12467 [3]

Badanie	Kategoria			
	A	B	C	D
Mrozooodporność	100 cykli	25 cykli	nie dotyczy	25 cykli
Gorąco – deszcz	50 cykli	25 cykli	nie dotyczy	nie dotyczy
Ciepła woda	56 dni	56 dni	56 dni	56 dni
Zawilgocenie – suszenie	50 cykli	25 cykli	25 cykli	25 cykli

tów estetycznych i to zarówno przy różnej ocenie odbiorczej produkowanych płyt, jak i przy prognozowaniu trwałości. Wymagania estetyczne formułowane są zwykle indywidualnie w specyfikacji konkretnego obiektu. Często mają one charakter arbitralny, uznaniowy i są trudne w egzekwowaniu.

Przykład oceny jakości estetycznej

Ocenę jakości kilku płyt elewacyjnych przedstawiono w tabeli 2. Przedmiotem oceny były płyty cementowo-włókniste z włóknem szklanym, bar-

wione w masie, gładkie, hydrofobizowane powierzchniowo. Ocenę przeprowadzono na próbkach o wymiarach 60 x 60 cm (fotografia 1) wyciętych z płyt pochodzących bezpośrednio z produkcji. Jako miarę oceny jakości przyjęto: charakterystykę porowatości powierzchni, szorstkość i gładkość, jednorodność kolorystyczną i występowanie zarysowań. Przedmiotem oceny były płyty uznane zarówno przez producenta, jak i wykonawcę jako akceptowalne do wbudowania.

Ocena starzenia estetycznego elementów została przeprowadzona metodą autorską, która objęła przeprowa-



Fot. 1. Próbkę wyciętą z płyt elewacyjnych, przygotowane do oceny wizualnej

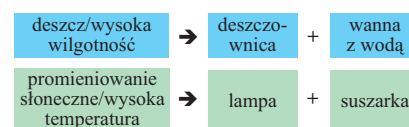
Photo 1. Specimens cut-off from façade sheets – ready for visual assessment

Tabela 2. Ocena wizualna jakości płyt elewacyjnych przed starzeniem

Table 2. Visual assessment of facade sheets before aging cycles

Cecha		Numer płyty				
		A1	A2	A3	A4	A5
— brzeg niecięty --- brzeg cięty						
	średnica	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm
Pory otwarte na powierzchni	kształt	sferyczny	sferyczny	sferyczny	sferyczny	sferyczny
	występowanie	zróżnicowane, większość przy brzegach nieciętych (do 40 szt./100 cm ²)	zróżnicowane, dwa główne skupiska	zróżnicowane, większość przy brzegach nieciętych (do 15 szt./100 cm ²)	zróżnicowane, głównie przy brzegach nieciętych (do 15 szt./100 cm ²)	równomierne, rozproszone
	średnia liczebność	250 szt./3600 cm ²	35 szt./3600 cm ²	80 szt./3600 cm ²	45 szt./3600 cm ²	70 szt./3600 cm ²
	średnica	< 1,0 mm	< 0,5 mm	< 0,5 mm	< 0,5 mm	< 0,5 mm
Pory zamknięte na powierzchni	względna liczebność	niewielka, jedno główne skupisko oraz pojedyncze	nieliczna, występowanie w skupiskach	średnia, występowanie w skupiskach	duża, występowanie w skupiskach	niewielka
	Charakter powierzchni	chropowata	chropowata	chropowata	średnio gładki	chropowata, matowa
Polysk powierzchni		niski	średni	niski	średni	niski
Zacieki		punktowe, podłużne	nierównomierne	podłużne, punktowe	podłużne	punktowe
Przebarwienia		wąskie, podłużne	podłużne w formie szerokich pasów	tylko powstałe od zacieków	podłużne przebarwienia	podłużne w formie szerokich pasów
Płytkie zarysowania		umiarkowana liczba zarysowań mechanicznych			nieliczne zarysowania mechaniczne	

dzenie cykli starzenia i ocenę wybranych cech estetycznych płyt przed i po starzeniu. W przypadku cech estetycznych, szczególnie związanych z zabarwieniem elementów, oprócz czynników starzeniowych typu temperatura i woda, istotny jest też wpływ promieniowania słonecznego. Przyjęto zatem zestaw czynników starzeniowych wg rysunku 2.



Rys. 2. Czynniki starzeniowe

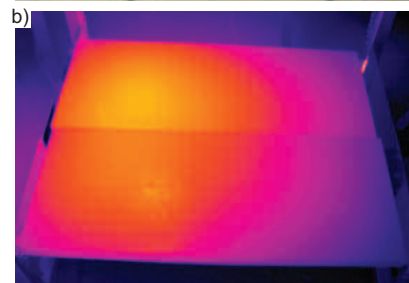
Fig. 2. Aging factors

Próbki poddano 25 cyklom trwającym po 24 h, przy czym każdy składał się z następujących etapów:

- deszczowanie – 0,5 h;
- naświetlanie – 2 h;
- suszenie – 2 h;
- zanurzenie w wodzie – 19,5 h.

Do zraszania płyt użyto słuchawki prysznicowej umieszczonej 2,0 m nad badanymi elementami. Natężenie wody natryskowej wyniosło 4 l/0,5 m²/min. Podczas jednego cyklu elementy zraszano 30 min. Obszar zraszania nie obejmował całej powierzchni płyt (fotografia 2), ponieważ postawiono sobie za cel weryfikację przyczyn zniszczenia próbek.

Do naświetlania badanych elementów promieniowaniem zbliżonym do promie-



Fot. 2. Sposób ekspozycji: a) obszar zraszania; b) obszar naświetlania

Photo 2. Mode of exposure: a) sprinkling area; b) irradiation area

niowania słonecznego użyto żarówek o mocy 300 W każda. Emitują one światło widzialne oraz ultrafioletowe UVA (315 – 400 nm), UVB (280 – 315 nm). Odległość żarówek od płyt wynosiła ok. 50 cm, co powodowało nagrzewanie się elementów do ok. 55 °C. Naświetlanie w jednym cyklu trwało 2 h. Źródło naświetlania zlokalizowano niesymetrycznie, aby uzyskać część powierzchni silnie naświetlaną i słabo naświetlaną. Do suszenia badanych elementów użyto suszarki elektrycznej. Proces przebiegał w temperaturze ok. 60 °C przez 2 h w każdym cyklu. Przed każdym suszeniem próbek urządzenie podgrzewano do wymaganej temperatury.

Problemem oceny estetyki jest zwykle brak wymiernych, policzalnych kryteriów ewaluacyjnych. W badaniach jako metody wymierne zastosowano profilometryczne badanie chropowatości, badanie powierzchniowej absorpcji wody oraz badanie kąta zwilżenia powierzchni wodą. Do badania chropowatości użyto profilometru Surtronic Duo marki Taylor Hobson, do badania wskaźnika absorpcji kropli wody mikropipety, wody destylowanej oraz stopera, a do badania kąta zwilżenia metody analizy obrazu fotograficznego.

Wstępna analiza wyników wykazała, że **największe zużycie płyt wystąpiło, zgodnie z oczekiwaniami, w obszarze, gdzie oddziaływało deszczowanie oraz naświetlanie.** Z tego względu dalsze obserwacje i pomiary ograniczono do tych części płyt badawczych. W tabeli 3 przedstawiono wyniki oceny wizualnej jakości płyt. Porównując dane z tabeli 3 i tabeli 1 (ocena przed starzeniem) stwierdzono, że zawarte w nich kryteria nie są zbyt czułe na zużycie eksploatacyjne płyt elewacyjnych. Ciekawą obserwacją jest zanik płytkich zarysowań powierzchniowych po cyklach starzenia, co należy interpretować jako uboczny efekt schropowacenia powierzchni i ścierania się warstwy hydrofobizującej.

Znacznie bardziej przydatne do wyciągnięcia wniosków dotyczących trwałości efektu estetycznego są **wskaźniki wymierne**, wykorzystane w badaniu. W tabeli 4 podano wyniki chropowatości i absorpcji powierzchniowej po 9 min oraz po 25 cyklach starzenia, a w ta-

Tabela 3. Ocena wizualna jakości płyt elewacyjnych po starzeniu

Table 3. Visual assessment of facade sheets after aging cycles

Cecha	Numer płyty					
	A1	A2	A3	A4	A5	
— brzeg niecięty						
— brzeg cięty						
Pory otwarte na powierzchni	średnica	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm	< 2 mm
	kształt	sferyczny	sferyczny	sferyczny	sferyczny	sferyczny
	występowanie	zróżnicowane, większość przy brzegach nieciętych (do 15 szt./100 cm ²)	równomierne, rozproszone	zróżnicowane, głównie przy brzegach nieciętych (do 25 szt./100 cm ²)	równomierne, rozproszone	
Pory zamknięte na powierzchni	średnia liczebność	50 szt./2500 cm ²	60 szt./2500 cm ²	40 szt./2500 cm ²	90 szt./2500 cm ²	50 szt./2500 cm ²
	względna liczebność	średnia, występowanie rozproszone	nieliczna, występowanie w skupiskach	średnia, występowanie w skupiskach	duża, występowanie rozproszone	średnia, występowanie w skupiskach
Charakter powierzchni	chropowata	chropowata	chropowata	chropowata	silnie chropowata, matowa	
Połysk powierzchni	niski	średni	niski	średni	bardzo niski	
Zacieki	podłużne poziome	brak	podłużne pionowe	brak	brak	
Przebarwienia	zróżnicowane, rozproszone	zróżnicowane, rozproszone	zróżnicowane, rozproszone	zróżnicowane, rozproszone	zróżnicowane, rozproszone	
Płytkie zarysowania	brak	brak	brak, pęknięcie narożnika płyty	brak	nieliczne zarys. mechaniczne	

Tabela 4. Zmiana absorpcji powierzchniowej i chropowatości w wyniku starzenia

Table 4. Changes of surface absorption and roughness index as an effect of aging

Badana cecha	Przed starzeniem			Po starzeniu		
	nr próbki	wynik badania	średnia	nr próbki	wynik badania	średnia
Absorpcja po 9 min [%]	1	53,1	54,1	1	57,8	60,7
	2	59,1		2	64,0	
	3	50,2		3	60,2	
Wskaźnik chropowatości Ra [µm]	4	1,3	1,68	4	1,98	2,06
	5	1,95		5	2,02	
	6	1,68		6	1,91	
	7	1,75		7	2,13	
	8	1,72		8	2,24	

li 5 – wyniki badania kąta zwilżania płyt przed i po cyklach starzeniowych.

Wyniki z tabel 4 i 5 skonfrontowane z analizą zawartą w tabelach 1 i 3 wskazują, że **głównym powodem zmiany estetyki płyt elewacyjnych w okresie symulującego starzenie eksploatacyjne jest zużywanie się powłoki hydrofobizującej.** Nasze doświadczenia z innych badań pokazują, że zastosowane starzenie laboratoryjne odpowiada okresowi ok. trzech lat eksploatacji w warunkach rzeczywistych. Kąt zwilżenia i chropowatość, będące miarami efektywności powłoki, zwiększają się relatywnie szybko w miarę starzenia, co potwierdzają

zalecenia producentów powłok hydrofobizujących o konieczności ich odnawiania (ponownego wykonania) po tym okresie.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na istniejące problemy jakościowej i ilościowej doraźnej oceny estetyki elewacyjnych prefabrykatów cementowych, ale także problemy przewidywania charakteru i tempa zmian tej estetyki w warunkach eksploatacji. Procedury starzeniowe przedstawione w PN-EN 12467 nie dotyczą zmian estetycznych, a jedynie skutków technicznych starzenia be-

