

dr inż. Szymon Wojciechowski^{1*)}

dr hab. inż. Zbigniew Pozorski, prof. PP²⁾

ORCID: 0000-0003-0897-6297

inż. Paweł Wójcik¹⁾

Wpływ sposobu przygotowania powierzchni próbek walcowych betonu na wyniki badań laboratoryjnych uzyskiwanych w próbie osiowego ściskania

Wyttrzymałość na ściskanie jest kluczową cechą mechaniczną betonu, decydującą o jego przydatności w konstrukcjach inżynierskich. Zgodność wytrzymałości na ściskanie betonu ocenia się na próbkach dojrzewających 28 dni wg normy PN-EN 206 [1], a jej wyznaczanie odbywa się w próbie osiowego ściskania zgodnie z normą PN 12390-3 [2] na próbkach sześciennych (150×150×150 mm) lub rzadziej cylindrycznych (Ø150×300 mm), przygotowanych wg PN EN 12390-1 [3]. Zgodnie z normami wymagane jest odpowiednie przygotowanie powierzchni czołowych próbek – powinny być płaskie i równoległe. Nawet niewielkie odchyłki od płaskości mogą powodować nierównomierny rozkład naprężeń podczas ściskania i wpływać na sposób zniszczenia próbek oraz wyniki wytrzymałości.

W praktyce najczęściej stosuje się próbki sześciennie betonowane w formach kalibrowanych, które następnie ściskane są w kierunku prostopadłym do betonowania. Płaskość ich powierzchni jest wówczas uzyskiwana dzięki ściankom formy. Badanie wytrzymałości na próbkach cylindrycznych jest konieczne m.in. ze względu na: krajowe wymagania; specyfikę badania (np. moduł sprężystości); badanie próbek rdzeniowych pobieranych bezpośrednio z konstrukcji lub mieszanek, w przypadku których relacja wytrzymałości próbek walcowych

i sześciennych jest bliska jedności [4]. Zakłady prefabrykacji betonowej, jak i betoniarnie, podobnie jak Pekabex, dbając o zachowanie najwyższych standardów, powinny weryfikować wytrzymałość, badając nie tylko próbki sześciennie, ale także cylindryczne.

W przypadku prowadzenia badań na próbkach cylindrycznych, właściwe przygotowanie (wyrównanie) powierzchni można wykonać kilkoma metodami. Do najczęściej stosowanych, wskazanych w literaturze [2, 3], należą: **szlifowanie; nałożenie warstwy cementu wysokoglinowego; nałożenie warstwy siarkowej; wykonanie nakładek piaskowych**. Sporadycznie można spotkać się także z wyrównaniem powierzchni przez zastosowanie podkładek elastomerowych oraz nałożenie warstwy gipsowej. Najczęściej wykorzystywana w praktyce laboratoryjnej metoda szlifowania jest także najbardziej czasochłonna. Szlifowanie jednego walca trwa ok. 30 min. Zgodnie z [2] metoda ta oraz metoda nakładek piaskowych są jedynymi dopuszczonymi do stosowania w betonach o wytrzymałości większej niż 50 MPa. Celem artykułu jest zbadanie, jak różne sposoby szlifowania powierzchni czołowych oraz nałożenie warstw siarkowych wpływają na wyniki badania wytrzymałości na ściskanie w betonach o wysokiej wytrzymałości (C60/75).

Opis oraz wyniki badania

Przeprowadzono testy na dwudziestu próbkach walcowych (Ø150×300 mm), podzielonych na cztery grupy po

5 sztuk, zróżnicowane pod względem obróbki powierzchni czołowych (fotografia 1):

a) bez obróbki – próbki te miały wygładzoną jedynie powierzchnię górną zaraz po betonowaniu, natomiast druga powierzchnia czołowa była powierzchnią od spodu formy;

b) obróbka zgrubna – powierzchnie przygotowane przez szlifowanie ręczne z wykorzystaniem szlifierki kątowej wraz ze ściernicą garnkową P80; celem było szybkie wyrównanie największych nierówności – metoda ta nie gwarantuje pełnej równoległości względem spodu próbki, miała natomiast poprawić kontakt z płytą prasy;

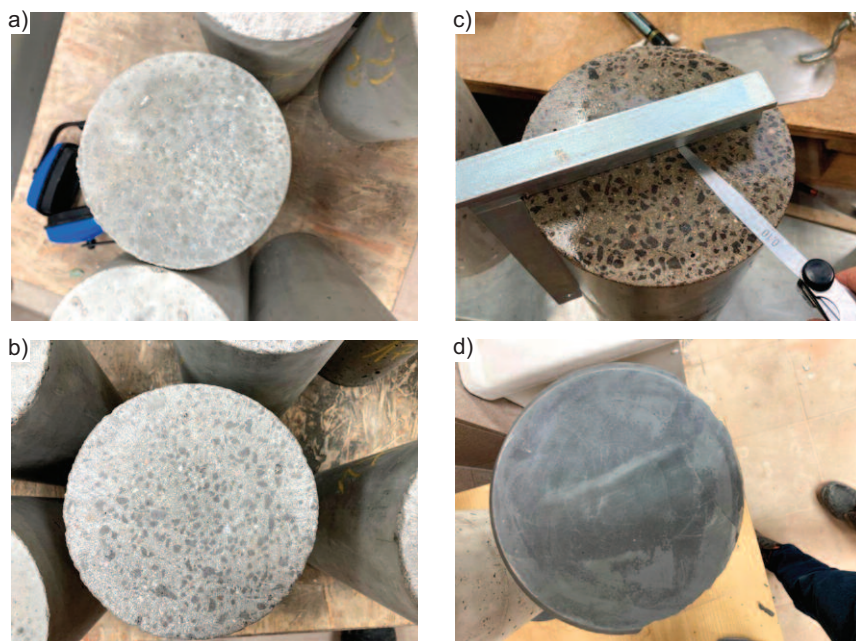
c) obróbka profesjonalna – powierzchnie przygotowane przez szlifowanie na maszynie Controls 55-C0201/B, w laboratorium Politechniki Poznańskiej; metoda ta miała zapewnić bardzo dobrą płaskość i równoległość czołowych płaszczyzn walców, odpowiadającą wymaganiom normowym;

d) nałożenie warstwy siarkowej – próbki przygotowane przez nałożenie warstwy siarkowej na obie powierzchnie (fotografia 2a) z wykorzystaniem statywu pozwalającego na zachowanie prostopadłości powierzchni (fotografia 2b). Mieszaninę siarki z dodatkami mineralnymi podgrzewano do temperatury ok. 120°C, następnie płynną siarkę wlewano do formy, a próbkę, dociskając do statywu prowadzącego, równomiernie opuszczano, uzyskując warstwę grubości ok. 3 mm. Przed rozformowaniem całość pozostawiono do zastygnięcia na ok. 15 s.

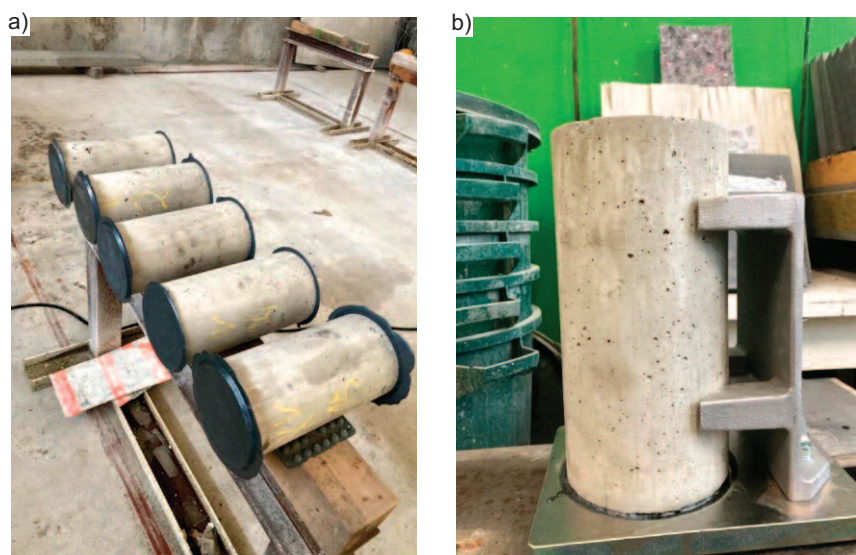
¹⁾ Pekabex BET S.A.

²⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

*) Adres do korespondencji: szymon.wojciechowski@pekabex.com



Fot. 1. Grupy wykończenia powierzchni: a) brak obróbki; b) obróbka zgrubna; c) obróbka profesjonalna; d) nałożona warstwa siarkowa



Fot. 2. Próbkki: a) z nałożoną warstwą siarkową; b) umieszczona w statywie podczas siarkowania

Próbkki wykonane zostały zgodnie z recepturą betonu samozagęszczalnego (SCC) klasy C60/75, wykorzystywanego w seryjnej produkcji elementów prefabrykowanych Pekabex. Po rozformowaniu walce pielęgnowano przez 28 dni zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 12390-2 [5], a następnie, po wykończeniu powierzchni, wykonano pomiary płaskości powierzchni zgodnie z p. 4.3 normy [3]. Płaskość powierzchni oceniano przez przyłożenie stalowej linijki oraz wykonanie próby przełożenia listka szczelinomie-

rza w zakresie 1,00 – 0,03 mm. Próbkę przeprowadzono w trzech miejscach na średnicy w każdym z trzech położań linijki stalowej, obracanej o kąt 45°. Wartości maksymalne uzyskane w przypadku każdej próbki zaprezentowano w tabeli. Wymaganie normy [3] dotyczące płaskości wynosi 0,0006 d = 0,09 mm, gdzie d oznacza średnicę próbki. W przypadku próbek przygotowywanych przez szlifowanie, po kilku cyklach szlifowania osiągnięto szczelinę ok. 0,15 mm i dalsza poprawa nie była możliwa. W próbkach z nakła-

danymi warstwami siarkowymi uzyskano szczelinę mniejszą niż 0,10 mm (podczas próby nie było możliwe przełożenie paska o grubości 0,10 mm, a jedynie o grubości 0,05 mm). Próbkki z grupy a oraz b charakteryzowały się nierówną powierzchnią, a w części punktów możliwe było przełożenie paska grubości 1,00 mm.

Już pobieżna analiza wyników ściskania wszystkich czterech grup próbek, wraz z obliczoną średnią f_{cm} , pokazuje wyraźne różnice między grupami a i b oraz grupami z przygotowanymi powierzchniami c i d (tabela). Grupa a (próbki bez obróbki) osiągnęła średnią wytrzymałość 37,0 MPa, natomiast próbki z grupy b – 41,2 MPa. Wartość odchylenia standardowego także się zwiększa prawdopodobnie ze względu na nierówność powierzchni w wyniku szlifowania ręcznego. Próbkki z grupy c osiągnęły średnią wytrzymałość na poziomie 71,9 MPa, spełniając z zapasem wymagania dotyczące betonu klasy C60/75, podobnie jak próbki z grupy d, w przypadku których uzyskano wynik średni 76,4 MPa przy najmniejszym odchyleniu standardowym wynoszącym 1,9 MPa. Ponadto zaobserwowano wyraźną korelację pomiędzy przygotowaniem próbek a przebiegiem ich zniszczenia. Próbkki z grup a i b niszczyły się niezgodnie z opisem zalecanym przez normę [2]. Nie występował typowy efekt eksplozji, zarysowania pojawiały się stopniowo, a proces zniszczenia postępował powoli (fotografia 3a). Większość tych próbek uległa zniszczeniu przez spękanie ukośne lub wielopłaszczyznowe, zamiast klasycznych odłamów stożkowych. Natomiast próbki z grup c i d za każdym razem niszczyły się w sposób gwałtowny, eksplozywny, zgodnie z oczekiwaniami (fotografia 3b).

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzanych badań stwierdzono, że odpowiednie przygotowanie powierzchni jest warunkiem koniecznym, aby uzyskać poprawne wyniki wytrzymałości betonu, szczególnie w przypadku betonów wysokiej klasy. W ekstremalnym przypadku (grupa a) beton miał średnią wytrzy-

Wytrzymałość na ściskanie, parametry płaskości i charakterystyka typu zniszczenia

Nr	Typ	Masa m [kg]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		Odchylenie s [MPa]	Płaskość powierzchni [mm]	Typ zniszczenia [-]
			próbki f_{ci}	średnia f_{cm}			
A	1	12,92	36,0	37,0	7,9	> 1,00	powolny nieprawidłowy
	2	13,06	34,9				
	3	12,90	33,1				
	4	12,84	30,6				
	5	13,04	50,6				
B	1	13,00	37,4	41,2	12,5	> 1,00	powolny nieprawidłowy
	2	13,08	39,3				
	3	13,10	23,4				
	4	12,92	55,4				
	5	13,04	50,4				
C	1	12,74	72,6	71,9	5,5	$\geq 0,10$ $< 0,15$	eksplozywny prawidłowy
	2	12,72	64,1				
	3	12,84	72,3				
	4	12,68	71,0				
	5	12,76	79,6				
D	1	13,05	77,6	76,4	1,9	$\geq 0,05$ $< 0,10$	eksplozywny prawidłowy
	2	13,04	77,1				
	3	13,02	74,9				
	4	13,01	74,1				
	5	13,09	78,5				

małość zaledwie 37,0 MPa. Taki wynik nie odzwierciedla oczywiście rzeczywistej jakości betonu, lecz jest efektem metody badania. Zastosowanie metod prowizorycznych (grupa b) może nieznacznie poprawić wyniki, ale wciąż prowadzi do dużych błędów. Dokładne szlifowanie oraz prawidłowe nakładanie warstwy siarkowej zapewniają natomiast wyniki zgodne z oczekiwanymi oraz wysoką wiarygodność testu.

Nakładanie warstwy siarkowej na powierzchnię próbek betonu okazało się najskuteczniejszą metodą ich przygotowania do badania zarówno ze względu na uzyskiwaną wytrzymałość, jak i powtarzalność wyników. Dzięki zastoso-

waniu dedykowanej mieszanki siarkowej, uzyskane wyniki były powtarzalne i jednorodne nawet w przypadku wytrzymałości powyżej 50 MPa, tj. powyżej górnego zakresu stosowania warstw siarkowych zalecanego przez normę. Proces siarkowania okazał się także najszybszym rozwiązaniem. Wymagał on jednak ostrożności, szczególnie właściwego doboru temperatury siarki ze względu na ryzyko zatrucia oparami oraz możliwość przegrzania, które mogło doprowadzić do pogorszenia właściwości powierzchni.

Fotografie: autorzy

Literatura

[1] PN-EN 206+A2:2021-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność.



Fot. 3. Sposób zniszczenia próbek: a) błędna forma; b) prawidłowa forma. Schematy wg [2]

[2] PN-EN 12390-3:2019-07 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań,

[4] PN-EN 12390-1:2021-12 Badania betonu – Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek i form.

[5] Józefczyk Ł., Pozorski, Z. Adameczuk T. Ocena wpływu wymiarów próbek na wytrzymałość betonu samozagęszczalnego: badania polowe i laboratoryjne w odniesieniu do PN-EN 12504-1, Przegląd Budowlany, 2025.

[5] PN-EN 12390-2:2019-07 Badania betonu – Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl

