

Analiza wpływu szorstkości powierzchni styku jako parametru kształtującego nośność styku zespolonych elementów betonowych

Dominika Franczak-Balmas

*Katedra Konstrukcji Budowlanych, Wydział Budownictwa i Architektury,
Politechnika Lubelska, e-mail: d.franczak @pollub.pl*

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki oraz analizę badań nośności styku próbek złożonych z dwóch betonów, badanych na rozciąganie przez rozłupywanie. Analizie poddano wpływ szorstkości betonu pierwotnego jako parametru kształtującego nośność w styku betonowych elementów zespolonych.

Słowa kluczowe: szorstkość styku, betonowe konstrukcje zespolone, przyczepność, styk, nośność styku

1. Wprowadzenie

Naprężenia przyczepności stanowią istotne zagadnienie w analizie pracy statycznej elementów, w których występuje zespolenie pomiędzy betonami wyprodukowanymi w różnym czasie. Połączenia takie, poprzez kształtowanie styków zbrojonych bądź niezbrojonych, realizowane są w elementach zespolonych, złączach konstrukcji prefabrykowanych, występują również w strefach napraw i wzmocnień elementów betonowych lub jako przerwy technologiczne [1, 2]. W połączeniach kontaktowych typu beton-beton w stykach przerw technologicznych, napraw czy wzmocnień szczególnie istotnym parametrem jest rysoodporność styku, o której decydują naprężenia przyczepności.

W podejściu do wyznaczania nośności styku zbrojonego na ścinanie zawartym w prenormie *fib* Model Code 2010 [3] występują zmiany w porównaniu z aktualną normą EC2-1-1 [4]. Zgodnie z EC2-1-1 nośność styku należy wyznaczyć jako sumę maksymalnych wartości poszczególnych składników, natomiast w MC2010 ilościowo rozróżniono udział poszczególnych składników tejże nośności w zależności od wartości poślizgu w styku. Istotną zmianą jest również uwzględnienie dodatkowego składnika nośności, jakim jest praca trzpieniowa zbrojenia zszywającego styk. Tak więc wyróżniono trzy główne składniki stanowiące nośność na ścinanie styku zbrojonego opisane jako mechanizmy:

A – ząbienia mechanicznego i połączenia adhezyjnego,

B – tarcia wskutek zewnętrznych sił ściskających prostopadłych do styku oraz sił spinających jako skutek występowania zbrojenia i/lub łączników,

C – trzpieniowego działania zbrojenia i/lub łączników przecinających styk.

Nośność graniczna styku na ścinanie opisana jest ogólnym wzorem:

$$\tau_u = \underbrace{\tau_a}_{A} + \underbrace{\mu \cdot (\sigma_n + \kappa_1 \cdot \rho \cdot f_y)}_{B} + \underbrace{\kappa_2 \cdot \rho \cdot \sqrt{f_y \cdot f_{cc}}}_{C}, \quad (1)$$

A

B

C

gdzie: τ_a – nośność na ścinanie jako suma połączenia adhezyjnego i ząbienia, μ – współczynnik tarcia w styku, σ_n – najniższe naprężenie ściskające wynikające z działania siły normalnej do płaszczyzny styku, ρ – stopień zbrojenia przecinającego styk, κ_1 – współczynnik interakcji siły rozciągającej wzbudzonej w prętach zbrojenia, κ_2 – współczynnik interakcji dla nośności zginania.

Zagadnienie nośności styku zbrojonego na ścinanie w ujęciu prenormy *fib* Model Code 2010 [3] oraz EC 2-1-1 [4] opisano szerzej w pracy [5]. W niniejszym artykule przedmiotem rozważań jest mechanizm połączenia adhezyjnego i ząbienia mechanicznego jako czynnika wpływającego na wartość naprężeń przyczepności styku pomiędzy betonami.

2. Rola i udział adhezji w nośności styku ścinanego według prenormy Model Code 2010

W stykach zbrojonych przekroczenie naprężeń przyczepności oraz przemieszczenie i/lub rozwarstwienie wzajemne elementów zespolonych jest warunkiem decydującym o pracy zbrojenia zszywającego i powstania w nim naprężeń [6], a sztywność zespolenia wpływa na pracę statyczną elementów zespolonych [7]. W prenormie MC2010 wyraźnie to zaznaczono poprzez wprowadzenie podziału styków na sztywne i nieszttywne w zależności od charakterystyki „przyczepność-poślizg” oraz wprowadzenie współzależności mechanizmów decydujących o nośności styku na ścinanie.

W styku sztywnym główny składnik nośności na ścinanie stanowi silne połączenie adhezyjne (styk jest niezbrojony lub ilość zbrojenia przeszywającego styk jest niewielka tzn. $\rho < 0,05\%$). W takim przypadku zgodnie z prenormą udział pracy zbrojenia zszywającego należy pominąć i wyznaczyć nośność graniczną styku na ścinanie według wzoru:

$$\tau_{Rdt} = c_a f_{ctd} + \mu \sigma_n \leq 0,5 \nu f_{cd} \quad (2)$$

gdzie: c_a – współczynnik dla przyczepności adhezyjnej.

W przypadku styku nieszttywnego, z uwagi na słabe połączenie adhezyjne, o nośności decydują tarcie oraz działanie trzpieniowe, a ilość zbrojenia zszywającego powinna spełniać warunek $\rho \geq 0,05\%$. Nośność graniczną dla styku nieszttywnego należy obliczyć według wzoru:

$$\tau_{Rdt} = c_r f_{ck}^{\frac{1}{3}} + \mu \sigma_n + \kappa_1 \rho f_{yd} (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) + \kappa_2 \rho \sqrt{f_{yd} f_{cd}} \leq \beta_c \nu f_{cd} \quad (3)$$

gdzie: c_r – współczynnik wpływu ząbienia kruszywa w szorstkim styku, β_c – współczynnik dla wytrzymałości ściskanego zastrzału.

Zgodnie z MC2010 parametrem decydującym o ilościowym współdziałaniu poszczególnych składników w granicznej nośności styków ścinanych jest jego szorstkość. Wartości współczynników c_a , c_r , κ_1 , κ_2 oraz μ zastosowanych we wzorach (2, 3) w zależności od szorstkości powierzchni styku zestawiono w Tab. 1.

Jako główne czynniki wpływające na przyczepność adhezyjną w prenormie MC2010 wyróżnione zostały szorstkość powierzchni styku oraz czystość styku. W licznych badaniach naukowych potwierdzono również wpływ innych czynników na nośność styku, które zostały wymienione w komentarzu do prenormy. Są to następujące parametry: klasa wytrzymałości łączonych betonów [8, 9, 10], właściwości betonu „starego” takie jak: jakość warstwy przystykowej [10, 11], porowatość i wilgotność [12], właściwości betonu „nowego” takie jak: jakość, skład [13, 14], skurcz, wiek [13, 8]. W komentarzu do prenormy nie wymieniono natomiast wpływu zastosowania warstw szcpepnych, warunków pielęgnacji, w tym temperatury, a także efektu skali [15].

Tabela 1. Współczynniki dla różnych szorstkości powierzchni według [3]

charakterystyka powierzchni styku		c_a	κc_r	κ_1	κ_2	μ	
szorstkość	R_t [mm]					$f_{ck} \geq 20$	$f_{ck} \geq 35$
bardzo szorstka (w tym wręby)	$\geq 3,0$ mm	0,5	0,2	0,5	0,9	0,8	1,0
szorstka (silnie chropowata)	$\geq 1,5$ mm	0,4	0,1	0,5	0,9	0,7	
gładka*	-	0,2	0	0,5	1,1	0,6	
bardzo gładka**	-	0,025	0	0	1,5	0,5	

* powierzchnia betonu bez obróbki po wibrowaniu lub lekko chropowata po deskowaniu

** deskowanie stalowe, plastikowe, ze sklejk

Podkreślić należy, iż wyznaczenie granicznej nośności ze wzorów (2, 3) dla celów projektowych, wymaga uwzględnienia jedynie wpływu szorstkości powierzchni jako parametru pozwalającego na ilościowe określenie współdziałania poszczególnych składników w tejże nośności. Wartość składnika adhezji oprócz szorstkości zależna jest od wytrzymałości betonu, przy czym nie wskazano, którą wytrzymałość – betonu starego czy nadbetonu, należy wziąć pod uwagę.

3. Chropowatość powierzchni

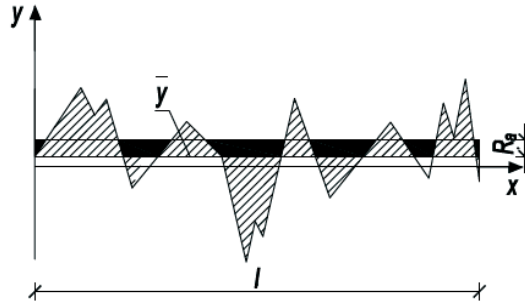
Stopień uszorstnienia powierzchni wpływa istotnie na adhezję mechaniczną, której istotą działania jest mechaniczne klinowanie elementów składowych przy wykorzystaniu nierówności i porów na powierzchni łączonych materiałów. Poprzez stosowanie obróbki mechanicznej powierzchni styku, a więc rozwiniecie nierówności powierzchni i zwiększenie pola powierzchni kontaktu, można kształtować naprężenia przyczepności. Należy jednak pamiętać, iż agresywność zastosowanej metody obróbki i związana z nią możliwość powstania mikropęknięć i uszkodzenia przypowierzchniowej warstwy betonu może wpływać na naprężenia przyczepności, choć jak wskazują badacze [10] wpływ ten jest niejednoznaczny. Na korzystny wpływ wzrostu stopnia uszorstnienia na przyczepność pull-off wskazują badacze [10, 11] w przypadku podkładów wykonanych z betonów wyższych klas natomiast odwrotny trend z uwagi na powstanie większych mikropęknięć na skutek zastosowania agresywnych metod obróbki podłoża obserwuje się w przypadku niższych klas betonu pierwotnego. Wpływ rodzaju obróbki na stopień zarysowania warstw powierzchniowych podkładu betonowego oraz metody jego oceny zostały omówione w [11]. W pracy tej badacze podkreślają, iż obok wpływu stopnia zarysowania podkładu na przyczepność należy wziąć pod uwagę również jego chropowatość. Spadek przyczepności przy podkładach o małym stopniu chropowatości następuje wraz ze wzrostem stopnia jego zarysowania. Natomiast w przypadku oceny podkładów o podobnym stopniu zarysowania, ale różniącym się stopniem chropowatości badacze [11] wskazują, iż znaczny wzrost chropowatości korzystnie wpływa na przyczepność.

W prenormie *fib* Model Code 2010 wymienione zostały dwa parametry służące do ilościowego określenia charakterystyki szorstkości powierzchni styku. Pierwszym z nich jest szorstkość średnia R_a opisująca średnie odchylenie profilu powierzchni od linii średniej (\bar{y}) na odcinku o długości l (Rys. 1):

$$R_a = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l |y(x) - \bar{y}| \cdot dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \bar{y}| \tag{4}$$

$$\bar{y} = \frac{1}{l} \cdot \int_0^l y(x) \cdot dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i(x) \quad (5)$$

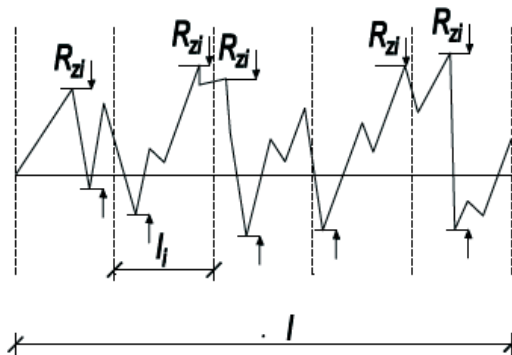
gdzie: l – długość odcinka oceny, $y_i(x)$ – wysokość profilu w miejscu opisanym rzędną x .



Rys. 1. Średnia szorstkość według [3]

Drugim parametrem jest „średnia wysokość od szczytu do doliny” R_z opisująca średnie maksymalne odchylenia szczytu do doliny w pewnej liczbie przedziałów oceny (Rys. 2):

$$R_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{zi} \quad (6)$$



Rys. 2. Wysokości maksymalne od „szczytu do doliny” R_{zi} w pięciu przedziałach ($l=5$) według [3]

Pomimo zdefiniowania parametrów R_a , R_z w MC2010 klasyfikację podziału szorstkości powierzchni na kategorie przedstawiono jedynie na podstawie parametru szorstkości R_t (Tab. 2), będącego wynikiem badania szorstkości powierzchni metodą wyrównania piaskiem. Zastosowanie tej metody ograniczone jest jednak jedynie do badania powierzchni poziomych oraz charakteryzujących się stosunkowo dużą chropowatością. Natomiast nie uwzględniono przy kategoryzacji szorstkości powierzchni wartości dwóch pozostałych parametrów R_a , R_z , podano jedynie przybliżoną zależność pomiędzy dwoma parametrami opisaną wzorem:

$$R_t \approx \frac{R_z}{2} \quad (7)$$

Podana klasyfikacja na kategorie szorstkości jest klasyfikacją uproszczoną znajdującą zastosowanie w inżynierskiej praktyce projektowej, lecz, jak podkreślono w [3], ostateczną ocenę kategorii szorstkości powinna stanowić ocena inżynierska wspomaganą metodami badawczymi w tym badaniami topografii powierzchni.

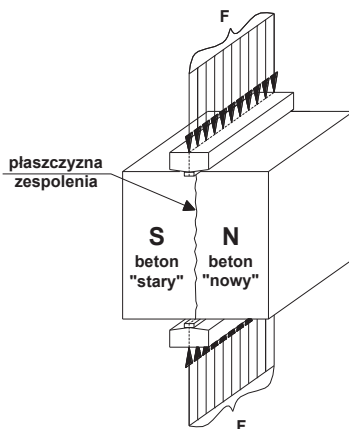
Tabela 2. Klasyfikacja szorstkości powierzchni [3]

Kategoria powierzchni	metoda obróbki powierzchni	R_t [mm]
bardzo szorstka	np. obrabiana strumieniem wody pod wysokim ciśnieniem, nacinana	$\geq 3,0$ mm
szorstka	np. nieobrabiana, lekko chropowata	$\geq 1,5$ mm
gładka	np. piaskowana, czyszczona wodą pod strumieniem itp.	$< 1,5$ mm
bardzo gładka	np. betonowa w stalowej formie	niemierzalne

Obok wspomnianej metody piaskowej badania szorstkości wymieniono w [3] metody badania z wykorzystaniem profilometru mechanicznego, triangulacji laserowej oraz fotogrametrii. Metody te zostały szerzej opisane w [10].

4. Program i przebieg badań

Celem badań było rozpoznanie, jaki wpływ na kształtowanie adhezji w styku elementów zespolonych typu „beton-beton” ma szorstkość powierzchni betonu pierwotnego – „starego”. Badania główne wykonano na zespolonych próbkach sześciennych o wymiarach 150x150x150 mm poddanych rozciąganiu przez rozłupywanie. Styk między betonami usytuowany był pionowo, w osi przykładanych sił. Schemat badań przedstawiono na Rys. 3.



Rys. 3. Schemat badań próbek zespolonych

Badania podzielono na trzy serie próbek, w każdej zastosowano inny sposób ukształtowania powierzchni styku w celu uzyskania różnych tekstur jego uszorstnienia. Próbkę zostały wykonane dwuetapowo. W pierwszym etapie w formach układano beton „stary”, pozostałą przestrzeń w seriach R oraz RG wypełniając styropianem, a w serii RP gładką sklejką laminowaną. Po okresie 14 dni dojrzewania betonu „starego” dobetonowywano „nowy” beton. Nie czekano na osiągnięcie wieku 28 dni, ponieważ przy odpowiednich

warunkach pielęgnacji betonu naprężenia przyczepności już w pierwszych kilkunastu dniach dojrzewania osiągają ok. 80-90 procent wartości 28-dniowej [16].

Powierzchnię styku betonu „starego” w seriach R oraz RP przed dobetonowaniem przygotowano poprzez oczyszczenie z mleczka cementowego stalowymi szczotkami oraz nawilżenie wodą. Powierzchnię styku próbek RG uszorstniono mechanicznie przy zastosowaniu młotka udarowego o ciężarze 6,1 kg z końcówką do groszkowania betonu, a następnie nawilżono wodą.

Skład mieszanki betonowej wykonanej z cementu CEM I 32,5 R przedstawiono w Tab. 3. Podczas dojrzewania próbki poddawane były pielęgnacji poprzez nawilżanie wodą. Badania realizowano po 14 dniach dojrzewania betonu „nowego”.

Tabela 3. Skład mieszanek betonowych

cement [kg/m ³]	woda [l/m ³]	piasek [kg/m ³]	żwir [kg/m ³]	w/c
465	177	455	1330	0,38

5. Wyniki badań

Szczegółowe wyniki badań próbek zestawiono w Tab. 4. Podano tu parametry wytrzymałościowe użytych materiałów – średnie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie oraz średnie nośności styku próbek zespolonych na rozciąganie ($\sigma_{crm,z}$), utożsamiane z naprężeniem powodującym zarysowanie styku (Rys. 6). Nośność styku próbek zespolonych ustalono na podstawie badań próbek rozłupywanych korzystając z analogii do wzoru normowego [4]:

$$f_{ctm} = 0,9 \cdot f_{ctm,sp} \quad (8)$$

Średnie wytrzymałości próbek monolitycznych wyznaczono z wyników badań trzech próbek, natomiast nośność styku na rozciąganie – pięciu próbek w serii R i siedmiu próbek w serii RG. Współczynniki zmienności wyników nośności styku na rozciąganie osiągały wartości 11,2% dla serii RG oraz 14,6% dla serii R.

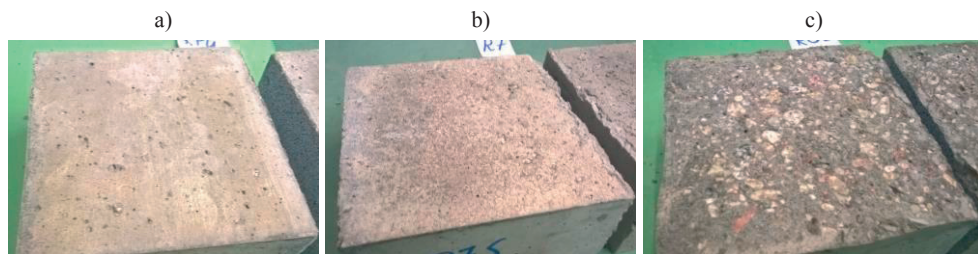
Tabela 4. Wyniki badań.

seria	wytrzymałość betonów składowych				nośność styku na rozciąganie			średnia szorstkość R_a [mm]
	beton stary		beton nowy		$\sigma_{crm,z}$ [MPa]	$\sigma'_{crm,z}$ [MPa]	$v_{jcrm,z}$ [%]	
	f_{cm} [MPa]	f'_{cm} [MPa]	f_{cm} [MPa]	f'_{cm} [MPa]				
RG	49,35	3,27	46,98	3,02	1,72	0,19	11,19%	0,43
R	54,25	3,00	47,36	2,52	1,08	0,16	14,60%	0,24
RP	-	-	-	-	-	-	-	0,14

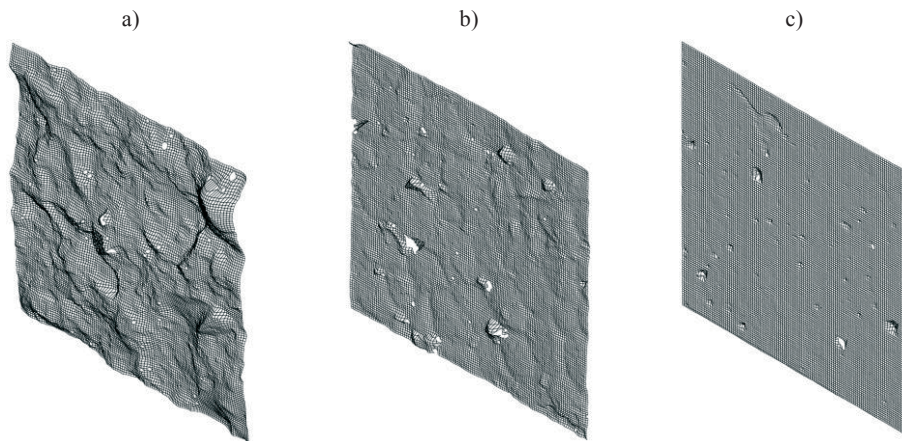
Wyniki badań wytrzymałościowych 7 próbek serii RP, w której powierzchnię styku uzyskano z laminowanej sklejki pominięto w dalszej analizie z uwagi na fakt, iż nie uzyskano wystarczającego połączenia adhezyjnego a wartość współczynnika zmienności wyników nośności styku przekroczyła 50%.

Reprezentatywne obrazy zniszczenia próbek zespolonych wszystkich serii przedstawiono na Rys. 4. Zniszczenie wszystkich próbek zespolonych serii R nastąpiło poprzez rozwarstwienie w płaszczyźnie styku w zaczynie cementowym. Po zniszczeniu próbek serii

R na powierzchni styku betonu „starego” widoczny był zaczyn, który wniknął w nierówność styku (Rys. 4b). W przypadku serii RG zaobserwowano zniszczenie poprzez rozwarstwienie w płaszczyźnie styku w warstwie przypowierzchniowej betonu „nowego” z widocznym odsłonięciem i/lub zniszczeniem kruszywa. W przypadku próbek serii RP zniszczenie nastąpiło poprzez pęknięcie w płaszczyźnie styku przy czym nie zaobserwowano wyraźnych śladów zaczynu cementowego.



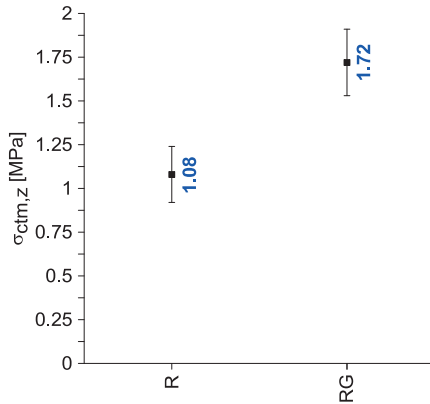
Rys. 4. Obrazy zniszczenia próbek zespolonych serii: a) RP, b) R, c) RG



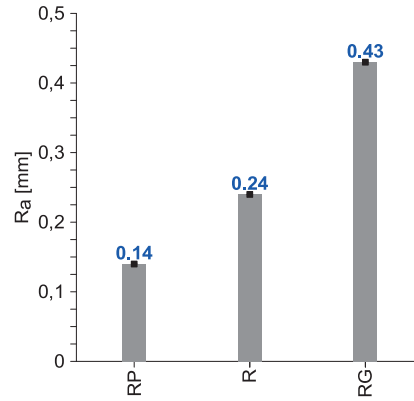
Rys. 5. Obrazy fragmentów skanów powierzchni styku betonu „starego” otrzymane w wyniku skanowania laserem 3D w seriach próbek: a) RG (powierzchnia obrabiana młotem udarowym o wadze 6,1 kg), b) R (powierzchnia uzyskana ze styropianu) i c) RP (powierzchnia uzyskana z gładkiej sklejkii laminowanej)

Chropowatość powierzchni betonu „starego” przed dobetonowaniem betonu „nowego” została oceniona na podstawie topografii tej powierzchni przy zastosowaniu skanera laserowego 3D Picza Laser Scanner LPX-600. Pomiar wykonano z rozdzielczością 0,2 mm, z uzyskanych współrzędnych punktów obliczono średnią szorstkość styku R_a korzystając ze wzorów (4, 5). Obliczone wartości średniej szorstkości R_a zestawiono w Tab. 4. Obrazy skanów powierzchni wybranych próbek pokazano na Rys. 5.

Na Rys. 7 przedstawiono graficznie wyniki obliczeń średniej szorstkości styku próbek, wyniosła ona odpowiednio dla próbek serii: RP – 0,14 mm, R – 0,24 mm i RG – 0,43 mm.



Rys. 6. Nośność styku na rozciąganie próbek zespolonych serii R i RG



Rys. 7. Średnia szorstkość powierzchni styku betonu „starego”

6. Analiza wyników

Porównując wyniki przedstawione na Rys. 6 i Rys. 7 można stwierdzić, że wyższą nośność styku ($\sigma_{ctm,z}$) zaobserwowano w przypadku próbek o większej chropowatości powierzchni styku, przyrost współczynnika średniej chropowatości R_a o 80% (od wartości 0,24 mm dla serii R do 0,43 mm dla serii RG) skutkowało przyrostem nośności styku o blisko 60% (od wartości 1,08 MPa dla serii R do 1,72 MPa dla serii RG).

W przypadku próbek serii RP (powierzchnia styku uzyskana z gładkiej laminowanej sklejki) powierzchnię styku można zakwalifikować do kategorii bardzo gładkiej. Dla tej serii nie uzyskano wystarczającego połączenia adhezyjnego na co wskazuje obraz zniszczenia (Rys. 4a) bez widocznego zaczynu w styku oraz duży współczynnik zmienności wyników nośności styku.

Powierzchnię styku próbek serii R można zakwalifikować do kategorii gładkiej, po zniszczeniu tej serii próbek na powierzchni styku betonu „starego” wyraźnie widoczny był zaczyn betonu „nowego”, który wniknął w nierówności styku (Rys. 4b), wystąpiło zniszczenie adhezyjne. Powierzchnię betonu „starego” w serii próbek RG, na podstawie metody obróbki przeprowadzonej przy użyciu młota udarowego można zakwalifikować co najmniej do kategorii szorstkiej. Obraz zniszczenia (Rys. 4c) ukazuje głównie zniszczenie przystykowej warstwy nadbetonu z towarzyszącym zniszczeniem (rozłupaniem) kruszywa. Obraz ten świadczy o bardziej efektywnym wniknięciu zaczynu nadbetonu w pory i nierówności betonu „starego” w przypadku zastosowania obróbki mechanicznej niż w przypadku próbek serii R oraz działania adhezji mechanicznej (zazębienie się cząstek).

Do analizy wyników badań zastosowano współczynnik efektywności zespolenia α_{cr} (Rys. 8) zdefiniowany jako:

$$\alpha_{cr} = \frac{\sigma_{ctm,z}}{f_{ctm}} \quad (9)$$

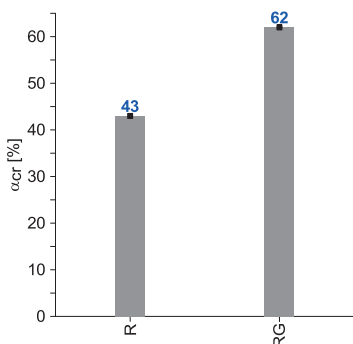
gdzie: $\sigma_{ctm,z}$ – średnie naprężenia rysujące styk próbki zespolonej, f_{ctm} – średnia wytrzymałość na rozciąganie słabszego z betonów.

Wartości tego współczynnika zobrazowano na Rys. 8.

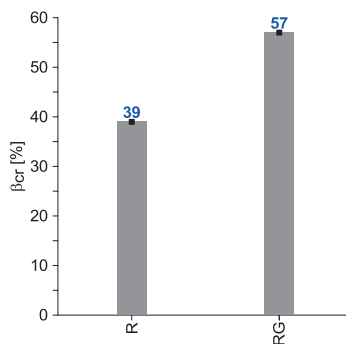
Ponieważ nośność styku, zależy od wytrzymałości obydwu betonów [8], wyznaczono również średni współczynnik efektywności zespolenia β_{cr} (Rys. 9) zdefiniowany jako:

$$\beta_{cr} = \frac{\sigma_{crm,z}}{\frac{f_{ctm,S} + f_{ctm,N}}{2}} \quad (10)$$

gdzie: $\sigma_{crm,z}$ – średnie naprężenia rysujące styk próbki zespolonej, $f_{ctm,S}$ – średnia wytrzymałość na rozciąganie betonu „starego”, $f_{ctm,N}$ – średnia wytrzymałość na rozciąganie betonu „nowego”.



Rys. 8. Współczynnik efektywności zespolenia styku próbek



Rys. 9. Średni współczynnik efektywności zespolenia

Analizując Rys. 8 oraz Rys. 9 zaobserwowano wyraźny wzrost wartości współczynników efektywności zespolenia ze wzrostem chropowatości styku. Współczynnik α_{cr} wzrósł od 43% a β_{cr} od 39% w przypadku serii R (dla której $R_a = 0,24\text{mm}$) do 62% (α_{cr}) oraz do 57% (β_{cr}) w przypadku serii RG (dla której $R_a = 0,43\text{mm}$). Zatem zwiększenie wartości wskaźnika średniej szorstkości o 80% skutkowało przyrostem wartości współczynnika efektywności zespolenia α_{cr} oraz średniego współczynnika efektywności zespolenia β_{cr} o 45%.

7. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań, w odniesieniu do nośności styku dwóch betonów można stwierdzić, co następuje:

- Sposób przygotowania powierzchni styku istotnie wpływa na kształtowanie jego nośności. Adhezja mechaniczna jest kluczowym składnikiem nośności styku ponieważ wraz ze wzrostem chropowatości powierzchni (rozwiniecie pola powierzchni kontaktu) rośnie jego nośność (wzrost o 60%), współczynnik efektywności zespolenia oraz średni współczynnik efektywności zespolenia (wzrost o 45%)
- W przypadku bardzo gładkich powierzchni praktycznie nie uzyskano przyczepność adhezyjnej w styku między betonami. Aby zaczyn cementowy mógł wnikać w pory i nierówności podkładu betonowego powierzchnia styku musi posiadać widoczne nierówności i być co najmniej gładka.

Literatura

1. Halicka A., Franczak D., Fronczyk J., *Analiza przyczyn zarysowań cylindrycznego zbiornika żelbetowego ujawnionych podczas próby szczelności*. Przegląd Budowlany 4 (2012) 35-41.

2. Kamiński M., Maj M., Kmiecik P., *Wpływ technologii kształtowania przerw roboczych w aspekcie zachowania właściwej nośności ścian zbiorników i kominów żelbetowych*. Przegląd Budowlany 4 (2012) 125-129.
3. Prenorma konstrukcji betonowych – fib Model Code 2010. Wydawnictwo Polski Cement, Kraków 2014.
4. PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne I reguły dla budynków.
5. Halicka A., Jabłoński Ł., *Styk między betonami układanymi w różnym czasie – parametry i nośność według fib Model Code 2010*. Inżynieria i Budownictwo 7 (2015) 346-350.
6. Halicka A., *Studium naprężeń i odkształceń w płaszczyźnie styku i strefie przypodporowej elementów zespolonych z udziałem betonów skurczowych i ekspansywnych*. Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 2007.
7. Gromysz K., *Badania żelbetowych płyt warstwowych obciążonych doraźnie, cyklicznie i kinematycznie*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013.
8. Franczak-Balmas D., *Analiza wpływu wytrzymałości betonów składowych jako czynnika kształtującego nośność niezbrojonego styku zespolonych elementów betonowych*. Budownictwo i Architektura 15(4) (2016) 53-61.
9. Beushausen H., Alexander M.G., *Bond strength development between concretes of different ages*. Magazine of Concrete Research 60(1) (2008) 65-74.
10. Garbacz A., Piotrowski T., Courard L., *Inżynieria powierzchni betonu. Część 1. Struktura geometryczna powierzchni*. Materiały Budowlane 9 (2006) 3-7.
11. Courard L., Garbacz A., Niewęgłowska-Mazurkiewicz A., Piotrowski T., *Inżynieria powierzchni betonu. Część 2. Wpływ obróbki na powstawanie rys*. Materiały Budowlane 12 (2006) 8-11.
12. Beushausen H., Hohlig B., Talotti M., *The influence of substrate moisture preparation on bond strength of concrete overlays and the microstructure of the OTZ*. Cement and Concrete Research 92 (2017) 84-91.
13. Franczak D., Halicka A., *Wpływ wieku betonu na nośność styku w elementach zespolonych typu „beton-beton”*. Przegląd Budowlany 1 (2012) 46-51.
14. Hak-Chul Shin, Zhifu Wan: *Interfacial properties between New and Old Concretes*. 2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies, Ancona, Italy 2010.
15. Halicka A., Franczak-Balmas D., *The size effect in monolithic and composite concrete members. Part 2*, Cement Lime Concrete 1 (2014) 262-266.
16. Halicka A., Franczak D., *Rozwój przyczepności między dwoma betonami w czasie twardnienia betonu*. Wydawnictwa Uczelniane, Lublin 2009.

An analysis of the impact surface roughness of concrete substrate as a factor influencing the bond strength in composite concrete elements

Dominika Franczak-Balmas

*Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Nadbystrzycka 40, 20-618 Lublin, e-mail: d.franczak@pollub.pl*

Abstract: The article presents the results and analysis of the research of the bond strength between two concrete parts in composite member investigated by tensile splitting test. The study was conducted on three groups of specimens differing in substrate roughness. The impact of roughness of substrate on bond strength in the concrete composite elements is discussed.

Keywords: substrate roughness, composite members, bond, bond strength, adhesion.