

ANALIZA WPLYWU CHROPOWATOŚCI PODKŁADU BETONOWEGO NA PRZYCZEPNOŚĆ NA ODRYWANIE WARSTWY WIERZCHNIEJ

Łukasz Sadowski

Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

Streszczenie. W praktyce budowlanej o trwałości podłóg betonowych w dużym stopniu decyduje odpowiednia przyczepność na odrywanie warstwy wierzchniej do podkładu betonowego. Zarówno przy wykonywaniu i naprawie podłóg betonowych bardzo ważne jest przygotowanie powierzchni zespolenia warstw, którego miarą jest wartość przyczepności na odrywanie. Wartość ta jest uzyskiwana na drodze badawczej za pomocą seminiszczącej metody pull-off. W niniejszym artykule zastosowano nieniszczącą metodę optyczną i seminieniszczącą metodę pull-off w badaniach przyczepności na odrywanie warstw w modelowych elementach próbnych stanowiących podłogę betonową. W elementach tych powierzchnia podkładu betonowego została przygotowana czterowariantowo: szlifowanie mechaniczne powierzchni podkładu betonowego wraz z odpyleniem powierzchni i naniesienie na powierzchnię preparatu gruntującego, szlifowanie mechaniczne powierzchni podkładu betonowego wraz z odpyleniem powierzchni, brak przygotowania powierzchni podkładu betonowego, pozostanie powierzchni otrzymana bezpośrednio po betonowaniu oraz brak przygotowania powierzchni podkładu betonowego i naniesienie na powierzchnię preparatu gruntującego. Celem badań było sprawdzenie na ile możliwe jest uzyskanie wiarygodnych zależności między wartościami poszczególnych parametrów chropowatości powierzchni betonowej warstwy konstrukcyjnej otrzymanymi z wykorzystaniem nieniszczącej metody optycznej a wartością przyczepności na odrywanie uzyskaną seminieniszczącą metodą pull-off przy różnych sposobach przygotowania powierzchni warstwy konstrukcyjnej.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, powierzchnia zespolenia, metoda optyczna, metoda pull-off

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CONCRETE BASE ROUGHNESS ON THE PULL-OFF ADHESION OF THE TOPPING LAYER

Abstract. In the civil engineering industry the durability of concrete floors is to a large extent characterized by the pull-off adhesion of the topping to the base. It is highly essential to properly prepare the interlayer bonding surface while making or repairing concrete floors. The measure of the interlayer bond is the pull-off adhesion value. The latter is determined by means of semidestructive pull-off tests. In the following paper the nondestructive optical method and the semidestructive pull-off method were employed to test the interlayer pull-off adhesion in concrete floor model specimens. The surface of the base layer had been prepared in four ways: by mechanical grinding + dust removal + bonding layer application, mechanical grinding + dust removal, no preparation (raw post-concreting surface), and no preparation + bonding layer application, respectively. The intent of the investigations was to find out whether it is possible to determine reliable relationships between the particular surface roughness parameters obtained from optical tests and the pull-off adhesion obtained from semidestructive pull-off tests for different ways of preparing the surface of the concrete base.

Wstęp

Podłogi betonowe występują głównie obiektach budownictwa ogólnego i przemysłowego [5]. Mogą one być wykonane bezpośrednio na gruncie lub oparciem konstrukcyjnym dla podłogi betonowej może być strop. W podłogach betonowych mogą występować różne wady, do których zalicza się między innymi brak przyczepności na styku warstwy wierzchniej i podkładu betonowego [6, 15]. Wady te mogą powstawać zarówno podczas wykonywania jak i podczas eksploatacji. Od odpowiedniego przygotowania powierzchni podkładu betonowego zależy zatem, czy warstwa ta będzie w wystarczającym stopniu zespolona z warstwą wierzchnią, a od tego zależy trwałość podłóg betonowych [2]. Miarą wymierną zespolenia warstw jest wartość przyczepności na odrywanie f_b , określana w praktyce seminieniszcząco metodą pull-off [8]. Warto zwrócić uwagę na to, że przydatność do tego celu metody pull-off jest uzależniona od liczby wykonanych odwiertów, których zagęszczenie istotnie ingeruje w stan powierzchni warstwy wierzchniej badanej podłogi betonowej [14].

Jest udowodnione w literaturze, że parametry chropowatości powierzchni podkładu betonowego uzyskane za pomocą metody profilowej nadają się do badania wpływu chropowatości podkładu betonowego na przyczepność na odrywanie [9]. W pracy [20] wykazano, że istnieje związek pomiędzy parametrami opisującymi chropowatość podkładu betonowego a wytrzymałością na odrywanie betonu mierzoną za pomocą seminiszczącej metody pull-off. Przedstawione powyżej dotyczą jedynie parametrów uzyskiwanych na bazie profilu tzn. parametrów dwuwymiarowych.

W związku z tym w pracach [21, 22] wykorzystano metodę obrazowania powierzchniowego, z wykorzystaniem skanera trójwymiarowego. Warto zauważyć, że wpływ parametrów chropowatości powierzchni, wynikający z zastosowanej obróbki powierzchni betonu, na przyczepność jest niejednoznaczny [11] i może bowiem zależeć od wytrzymałości podłoża betonowego [23] oraz składu mieszanki betonowej, a w szczególności wielkości i rodzaju zastosowanego kruszywa [4]. Przeciwną tendencję obserwuje się w przypadku betonów niższych klas

wytrzymałości [3]. Badania przedstawione w pracy [21] wskazują, że wzrost chropowatości powierzchni jest korzystny w przypadku podkładów wykonanych z betonów wyższych klas wytrzymałości. Znane jest z literatury na ile przydatne mogą być wartości trójwymiarowych parametrów chropowatości powierzchni do oceny wartości przyczepności na odrywanie f_b [10]. Przykłady analizy wpływu parametru R_s t. j. stosunku powierzchni chropowatej do powierzchni jej rzutu na płaszczyznę [7, 19] oraz parametru S_{dr} oznaczającego stosunek powierzchni chropowatej minus powierzchnia jej rzutu na płaszczyznę do powierzchni jej rzutu na płaszczyznę [1] przedstawiono w pracach [21, 22]. W pracy [12] przedstawiono natomiast badania chropowatości powierzchni betonowej stanowiącej warstwę konstrukcyjną podłogi betonowej. W tym celu wykorzystano również skaner trójwymiarowy i uzyskano trójwymiarowe parametry chropowatości powierzchni.

W celu usystematyzowania stosowanych parametrów i zapobieżeniu rozrostu ich liczby (co zdarzyło się w przypadku parametrów 2D) zaleca się stosowanie czternastu tzw. the Birmingham 14 [13, 18, 24, 25]. Z punktu widzenia oceny chropowatości powierzchni betonowych najbardziej przydatne mogą okazać się parametry amplitudowe. W celu odróżnienia parametrów uzyskiwanych z powierzchni od parametrów wyznaczonych z pojedynczego profilu, parametry amplitudowe oznacza się dużą literą S [12, 17]. Wobec tego w celu analizy wpływu chropowatości podkładu betonowego na przyczepność na odrywanie warstwy wierzchniej w niniejszym artykule wykorzystano wartości parametru średniego arytmetycznego odchylenia rzędnych S_a . Brak jest jednak do tej pory zastosowania do tego celu metody optycznej [16]. Nie są znane również wiarygodne zależności między wartością przyczepności na odrywanie f_b określaną seminieniszcząco metodą pull-off a wartościami poszczególnych parametrów rejestrowanych w metodzie optycznej. Wtedy można by było w praktyce określić w sposób nieniszczący wartość przyczepności na odrywanie f_b w dowolnym punkcie pomiarowym, bez konieczności ingerowania w stan powierzchni warstwy wierzchniej podłogi.

Badania przedstawione w niniejszym artykule zostały wykonane w ramach projektu p.t.: Nowy nieniszczący sposób oceny przyczepności na odrywanie warstw w posadzkach

betonowych za pomocą metod akustycznych, współfinansowanego przez Unię Europejską w Ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

1. Metodyka i zakres zrealizowanych badań

Badania wykonano w hali laboratoryjnej Laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej na dwóch modelowych elementach próbnych o wymiarach 2500 x 2500 mm, stanowiących podłogę betonową, składających się z warstwy wierzchniej o grubości 25 mm ułożonej na 125 mm warstwie podkładu betonowego. Warstwa wierzchnia o grubości 25 mm została wykonana z zaprawy cementowej klasy C20/25. Podkład betonowy wykonano z betonu klasy C30/37, w którym wielkość maksymalnego ziarna kruszywa wynosiła 8 mm. Elementy te przechowywane były do czasu badań w laboratorium w temperaturze $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Podkład betonowy został ułożony na 100 mm warstwie podkładowej z piasku. Zastosowano cztery sposoby przygotowania powierzchni podkładu betonowego, a mianowicie:

- szlifowanie mechaniczne powierzchni podkładu betonowego wraz z odpyleniem powierzchni i naniesienie na powierzchnię preparatu gruntującego (powierzchnia I),
- szlifowanie mechaniczne powierzchni podkładu betonowego wraz z odpyleniem powierzchni (powierzchnia II),
- brak przygotowania powierzchni podkładu betonowego, pozostanie powierzchnia otrzymana bezpośrednio po betonowaniu (powierzchnia III),
- brak przygotowania powierzchni podkładu betonowego i naniesienie na powierzchnię preparatu gruntującego (powierzchnia IV).

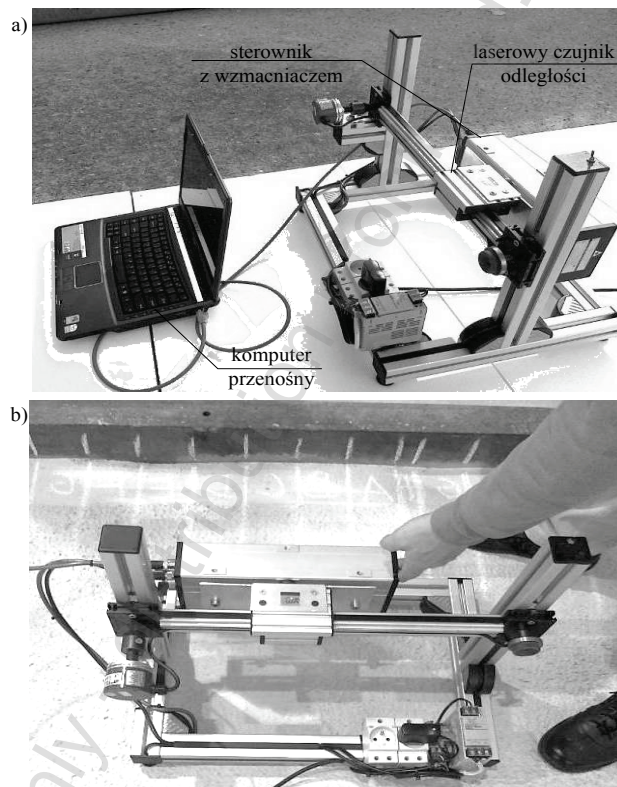
Preparat gruntujący przed użyciem wymieszano i rozcieńczono wodą w proporcji 1 do 3. Tak przygotowany roztwór nakładano na powierzchnię podkładu betonowego i rozprowadzano ręcznie. Powierzchnię podkładu betonowego gruntowano 4 godziny przed ułożeniem warstwy wierzchniej. W czasie gruntowania temperatura podkładu betonowego wynosiła $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Po oznakowaniu powierzchni warstwy wierzchniej modelowego elementu próbnego wyznaczono na każdej z nich obszar badawczy o wymiarach 1500 x 1500 mm oraz naniesiono siatkę punktów w rozstawie co 100 mm, przy zachowaniu minimalnej odległości 500 mm od krawędzi.

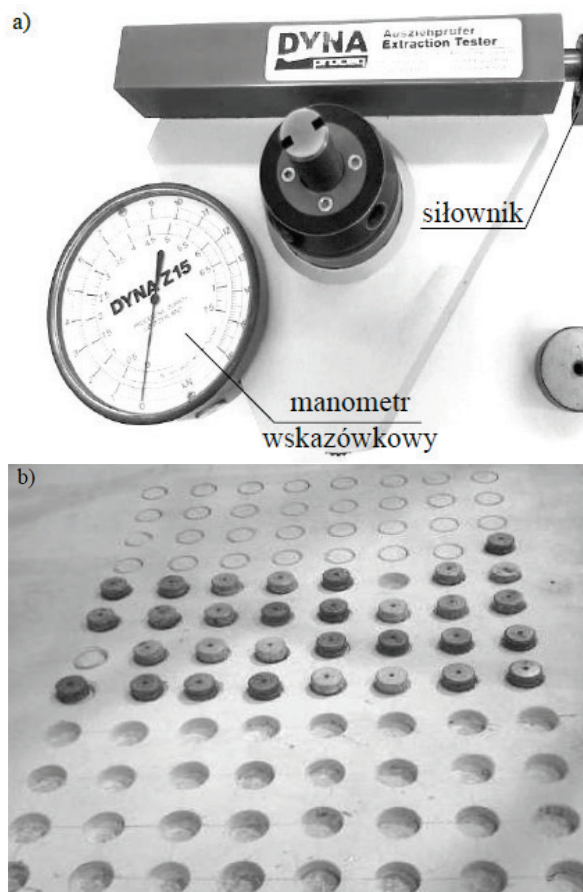
W skład stanowiska badawczego do wykonywania badań chropowatości powierzchni metodą optyczną wchodzi laserowy czujnik odległości umieszczony na napędzie liniowym z prowadnicą, sterownik z wbudowanym wzmacniaczem oraz komputer przenośny (rys. 1a). Proces skanowania odbywa się przez ręczne przesunięcie laserowego czujnika odległości nad obszarem pomiarowym, podczas którego rejestrowanych jest szereg profili powierzchni z rozdzielczością 0,074 mm, oddalonych od siebie co 0,07 mm. W wyniku tego skanowania uzyskuje się przestrzenny obraz powierzchni betonowej. Za pomocą specjalistycznego oprogramowania zainstalowanego na komputerze przenośnym dokonując obróbki danych można wygenerować wartość parametru chropowatości tzn. średniego arytmetycznego odchylenia powierzchni od powierzchni odniesienia S_a [17]. W badaniach metodą optyczną wykorzystano oprogramowanie IVC Studio 3.1 S.R.2 zainstalowane na komputerze przenośnym. Badania wykonano we wcześniej wyznaczonych punktach pomiarowych za pomocą kamery IVC-2D o wymiarach 161 mm x 55 mm x 60 mm, rozdzielczości 1028 x 768 pikseli umieszczonej na prowadnicy (rys. 1b).

Z kolei metoda seminieniszcząca pull-off umożliwia ocenę wartości przyczepności warstw przez pomiar siły odrywającej za pomocą siłownika z manometrem wskazówkowym (rys. 2a). Wykonuje się w tym celu odwierty w warstwie wierzchniej o średnicy 50 mm i odrywa się je od powierzchni podkładu betonowego. Wartość siły odrywającej jest wskazywana na manometrze i na tej podstawie wyliczana jest wartość przyczepności na odrywaniu f_b [8]. Badania seminieniszcząca metodą pull-off polegały na określeniu przyczepności warstwy

wierzchniej do podkładu betonowego poprzez pomiar siły odrywającej za pomocą siłownika z manometrem wskazówkowym w tych samych punktach, w których wcześniej wykonano badania metodą optyczną (rys. 2b).



Rys. 1. Widok: a) zestawu pomiarowego wykorzystywanego w metodzie optycznej, b) badań wykonywanych za pomocą nieniszczącej metody optycznej



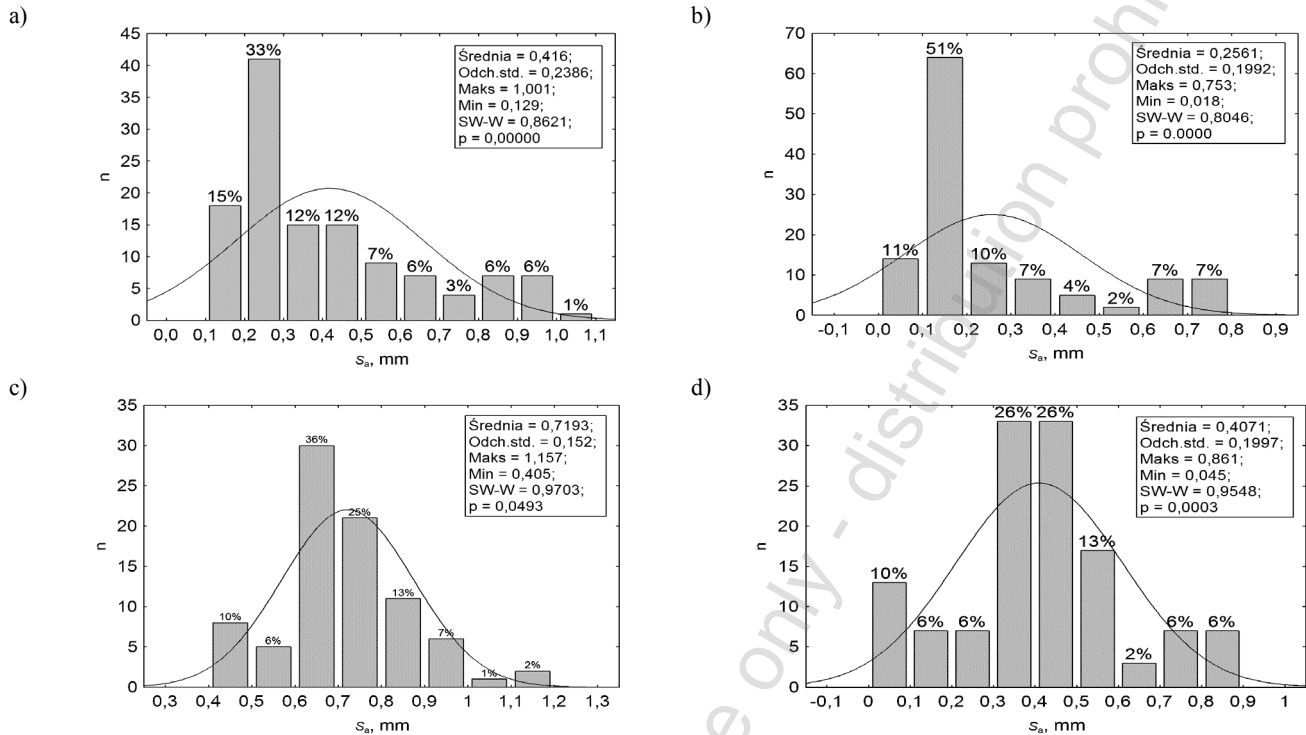
Rys. 2. Widok: a) aparatury badawczej wykorzystywanej w metodzie pull-off, b) odwiertów wykonanych w warstwie wierzchniej podłogi betonowej

2. Wyniki badań i ich analiza

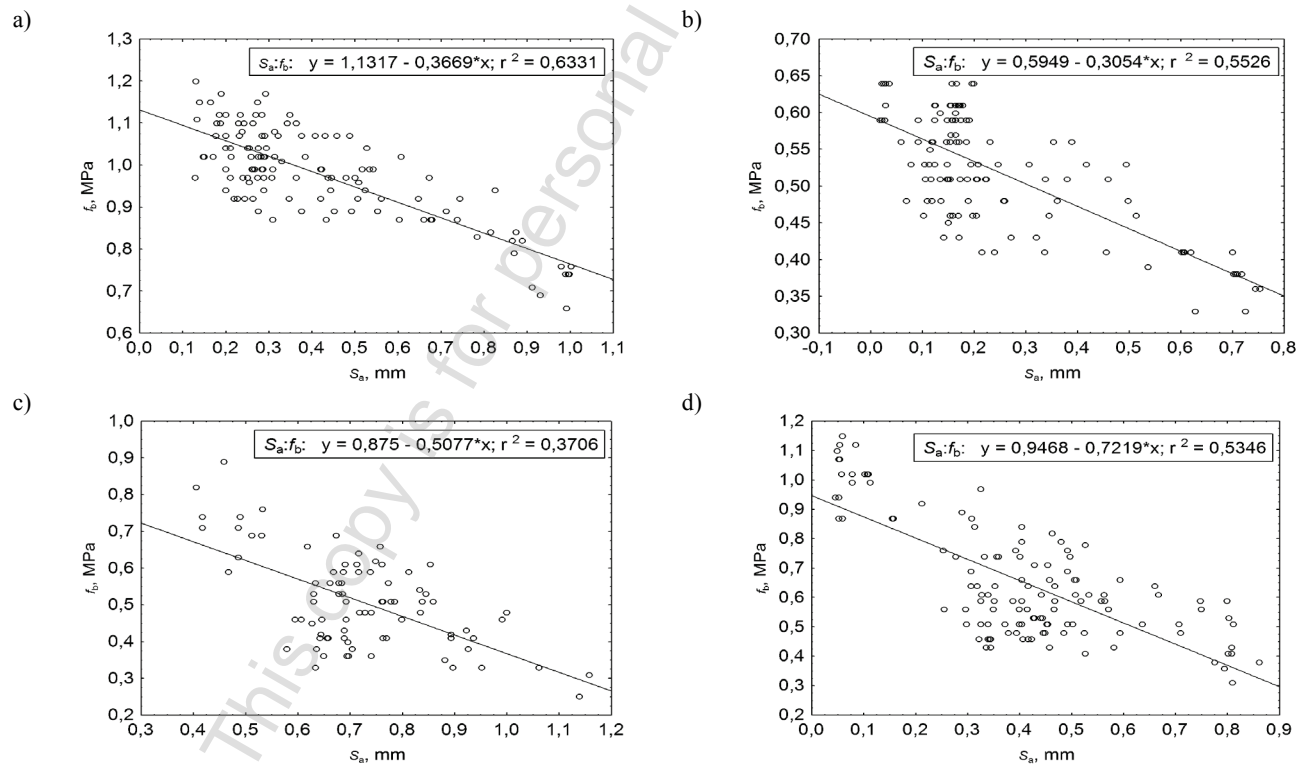
Na rysunku 3 przedstawiono histogramy i zestawiono wybrane charakterystyki statystyczne parametrów uzyskanych za pomocą nieniszczącej metody optycznej.

Na rysunku 4 przedstawiono zależności między wartością przyczepności na odrywanie f_b a wartością średniego arytmetycznego odchylenia rzędnych S_a .

Jak zostało to przedstawione na rysunku 3 w badaniach nieniszcząca metodą optyczną uzyskano wartości średniego arytmetycznego odchylenia rzędnych powierzchni S_a w przedziale od 0,129 do 1,001 mm dla powierzchni I, od 0,018 do 0,753 mm dla powierzchni II, od 0,405 do 1,157 mm dla powierzchni III oraz od 0,045 do 0,861 mm dla powierzchni IV. Najwyższe wartości średnie arytmetycznego odchylenia rzędnych powierzchni S_a oraz odchylenia standardowego uzyskano dla powierzchni III a najniższe dla powierzchni II.



Rys. 3. Histogram wartości parametru S_a i zestawienie wybranych charakterystyk statystycznych opisowych: a) powierzchnia I, b) powierzchnia II, c) powierzchnia III, d) powierzchnia IV



Rys. 4. Zależność pomiędzy wartością przyczepności na odrywanie f_b a wartością średniego arytmetycznego odchylenia rzędnych S_a : a) powierzchnia I, b) powierzchnia II, c) powierzchnia III, d) powierzchnia IV

Z rysunku 4 wynika natomiast, że bez względu na sposób przygotowania powierzchni warstwy konstrukcyjnej zależności te mają podobny przebieg tzn. wraz ze spadkiem wartości średniego arytmetycznego odchylenia rzędnych S_a wzrasta wartość przyczepności na odrywanie f_b . Współczynnik determinacji r^2 przyjmuje wartości od 0,3706 w przypadku powierzchni nr III a 0,6331 dla powierzchni I.

Z rysunków 3 i 4 wynika, że zastosowanie preparatu gruntującego nie miało wpływu na wartość parametru wartości średniego arytmetycznego odchylenia rzędnych powierzchni S_a . Spowodowało natomiast wzrost uzyskiwanych wartości przyczepności na odrywanie f_b . Przykładowo zastosowanie preparatu gruntującego na powierzchni szlifowanej pozwoliło uzyskać dwukrotnie większe wartości przyczepności na odrywanie f_b dla powierzchni, w przypadku której zastosowano preparat przed nałożeniem warstwy wierzchniej.

3. Podsumowanie

W niniejszym artykule przedstawiono rezultaty badań przyczepności na odrywanie warstw w dwóch modelowych elementach próbnych stanowiących podłogę betonową, uzyskane za pomocą nieniszczącej metody optycznej oraz seminiszczącej metody pull-off. Badania te miały na celu sprawdzenie czy jest możliwe uzyskanie wiarygodnych zależności między parametrem chropowatości powierzchni betonowej rejestrowanym w metodzie optycznej a przyczepnością na odrywanie ocenianą metodą pull-off.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że bez względu na sposób przygotowania powierzchni podkładu betonowego zależności między wartością przyczepności na odrywanie f_b uzyskaną za pomocą seminiszczącej metody pull-off a parametrem chropowatości powierzchni uzyskanym za pomocą nieniszczącej metody optycznej mają podobny przebieg, dając się opisać funkcjami matematycznymi prostoliniowymi.

Biorąc pod uwagę uzyskane w badaniach metodą optyczną niezbyt wysokie wartości współczynnika determinacji r^2 wydaje się, że na użytek nieniszczącej wiarygodnej oceny wartości przyczepności na odrywanie warstw w podłogach betonowych warto uwzględnić większą ilość trójwymiarowych parametrów chropowatości równocześnie.

Wydaje się również, że na użytek tej oceny warto byłoby również uwzględnić parametry uzyskiwane nieniszczącymi metodami akustycznymi na powierzchni warstwy wierzchniej. Prace w tym kierunku są realizowane, a w celu skojarzenia większej liczby parametrów wykorzystane zostaną sztuczne sieci neuronowe.

Literatura

- [1] Belem T., Homand-Etienne F., Souley M.: *Fractal analysis of shear joint roughness*, 1997, Elsevier Science Ltd, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. 34-3-4/1997.
- [2] Błaszczyński T., Jasiczak J., Ksit B., Siewczyńska M.: *Aspects of bond layer role in concrete repairs*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 6-4/2006, pp. 73–85.
- [3] Colla C., Krause M., Maierhofer Ch., Hohberger H.J., Sommer H.: *Combination of NDT techniques for site investigation of non-ballasted railway tracks*, NDT&E International 35/2001, pp. 95-105.
- [4] Courard L., Schwall D., Garbacz A., Piotrowski T.: *Effect of concrete substrate texture on the adhesion properties of PCC repair mortar*, Proc. Of Inter. Symposium on Polymers in Concrete. ISPIC 2006, Guimaraes/2006, pp. 99-110.
- [5] Czarniecki L.: *Posadzki przemysłowe – kierunki rozwoju*, Materiały Budowlane nr 9/2006.

- [6] Czarniecki L., Mierzwa J.: *Wybrane przyczyny materiałowe uszkodzeń posadzek betonowych*, Materiały Budowlane, nr 9/2004.
- [7] El Soudani, S. M.: *Profilometric analysis of fractures*. Metallurgy, 11/1978, pp. 247-336.
- [8] PN-EN 12504-3: 2005, *Badania betonu w konstrukcjach. Część 3. Oznaczanie siły wyrwywające*, PKN, Warszawa 2006.
- [9] Franck A., De Belie N.: *Concrete floor-bovine claw contact pressures related to floor roughness and deformation of the claw*, J Dairy Sci., 89(8)/2006.
- [10] Garbacz A., Courard L., Kostana K.: *Characterisation of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems*, Materials Characterisation, 56/2006, pp. 281-289.
- [11] Garbacz A., Gorka M., Courard L.: *Effect of concrete surface treatment on adhesion in repair systems*. Magazine of Concrete Research 57/2005, pp. 49-60.
- [12] Grzelka M., Majchrowski R., Sadowski L.: *Investigations of concrete surface roughness by means of 3D scanner*, Proceedings of Electrotechnical Institute, 16/2011.
- [13] Grzelka M., Chajda J., Budzik G., Gessner A., Wieczorowski M., Staniek R., Gapiński B., Koteras R., Krasicki P., Marciniak L.: *Optical coordinate scanners applied for the inspection of large scale housings produced in foundry technology*, Archives of Foundry Engineering, 49-1/2010, pp. 255-260.
- [14] Hoła J., Sadowski L., Schabowicz K.: *Nondestructive identification of delaminations in concrete floor toppings with acoustic methods*, Automation in Construction, vol. 20, nr 7/2011, pp. 799-807.
- [15] Hoła J., Sadowski L.: *Testing interlayer pull-off adhesion in concrete floors by means of nondestructive acoustic methods*, 18th World Conference on Non Destructive Testing, Durban, 2012.
- [16] Hoła J., Sadowski L., Reiner J., Stankiewicz M.: *Concrete surface roughness testing using nondestructive three-dimensional optical method*, NDE for Safety/Defektoskopie, Sec, Czech Republic/2012, pp. 101 – 105.
- [17] Majchrowski R.: *Próbkowanie spiralne w pomiarach topografii powierzchni*. Rozprawa doktorska, Poznań/2008.
- [18] Mathia T., Zahouani H., Stout K. J., Sullivan P. J., Dong W. P., Mainsah E., Lou N.: *The development of methods for 42ukasz42erization of roughness in three dimensions*. ECSC-EEC-EAEC, Brussels-Luxembourg and Authors, 1993.
- [19] Prokopski G.: *Mechanika pękania betonów cementowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2007.
- [20] Santos P, Julio E.: *Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of the substrate surface*, Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 8/2007.
- [21] Siewczyńska M.: *Wpływ wybranych parametrów betonu na przyczepność powłok ochronnych*, Rozprawa doktorska, Poznań, 2008.
- [22] Siewczyńska M.: *Method for determining the parameters of surface roughness by usage of a 3D scanner*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 12/2012, pp. 83-89.
- [23] Silfverbrand J., Paulsson J.: *Better bonding of bridge deck overlays*. Concrete International, 10/1998, pp. 56-61.
- [24] Thomas. T. R.: *Rough Surfaces*. Imperial College Press, 1999.
- [25] Whitehouse D. J.: *Surfaces and their measurement*. Hermes Penton, 2002.

Mgr inż. Łukasz Sadowski

e-mail: lukasz.sadowski@pwr.wroc.pl

Od 2007r. uczestnik stacjonarnych studiów doktoranckich na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego Politechniki Wrocławskiej. Od 2008 posiada otwarty przewód doktorski p.t.: Ocena zespolenia warstw w posadzkach betonowych metodami akustycznymi z wykorzystaniem sztucznej inteligencji. Od 2011 pracuje w Instytucie Budownictwa Politechniki Wrocławskiej na stanowisku asystenta naukowo-badawczego. Badania realizowane do pracy doktorskiej są wykonywane w ramach projektu badawczego nr 0926/B/T02/2011/40 p. t.: „Nowy nieniszczący sposób oceny przyczepności na odrywanie warstw w posadzkach betonowych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie.

Artykuł recenzowany

