

OCENA SKUTECZNOŚCI NAPRAW – WPŁYW JAKOŚCI PODKŁADU BETONOWEGO

Lech Czarnecki ¹⁾, Luc Courard ²⁾ Andrzej Garbacz ¹⁾

1) Politechnika Warszawska, Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych

2) University of Liege, Honorowy Profesor Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki
Warszawskiej

1. Wprowadzenie

Udział napraw i wzmocnień łącznie z pracami modernizacyjnymi wynosi ponad 60% całkowitej wartości rynku robót budowlanych w Europie [1]. Koszt stosowanych materiałów naprawczych, należących zwykle do zaawansowanej technicznie grupy kompozytów budowlanych, jest wysoki - ponad 50% kosztów ogólnych. Zapewnienie skuteczności napraw jest traktowane jako wyzwanie cywilizacyjne. Zagadnienie to stanowi genezę obecnie wprowadzanej normy europejskiej o statusie normy polskiej PN-EN 1504 „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności”. Obejmuje ona kompleksowo problematykę stosowania wyrobów i systemów do napraw, a jej istotną częścią jest arkusz 10 zawierający zalecenia stosowania wyrobów lub systemów naprawczych na placu budowy oraz kontroli jakości przeprowadzonych prac [2] zależnie od przyjętej metody naprawy. W normie PN-EN 1504 wyróżnia się cztery zasadnicze etapy kontroli jakości:

- ocena stanu podłoża przed i/lub po przygotowaniu,
- tożsamość wszystkich stosowanych wyrobów,
- zapewnienie wymaganych warunków przed i/lub podczas stosowania wyrobów,
- ocena właściwości końcowe w stanie utwardzonym.

Zawarte w normie zalecenia mają charakter ogólny. W ocenie wpływu jakości podkładu betonowego wykorzystuje się obecnie metody Inżynierii Powierzchni Betonu (IPB). Głównym zadaniem Inżynierii Powierzchni Betonu w tym zakresie jest jakościowe i ilościowe określenie wpływu jakości powierzchni betonu na ich skuteczność [3]. Wykorzystanie tej koncepcji w kształtowaniu adhezji w układach naprawionych oraz ocenie skuteczności napraw było przedmiotem długoletniej współpracy między Katedrą Inżynierii Materiałów Budowlanych Politechniki Warszawskiej (KIMB PW) a University of Liege (UL) w ramach międzyrządowych projektów badawczych.

2. Ocena jakości podkładu betonowego

2.1. Wymagania ogólne

Właściwe przygotowanie powierzchni betonu, a w konsekwencji uzyskanie wysokiej przyczepności materiału naprawczego do podkładu betonowego, jest od lat intuicyjnie określane jako jeden z głównych czynników wpływających na skuteczność napraw [4]. Norma PN-EN podaje tylko ogólne sformułowania co do wyboru metody obróbki (tabl.1)

Wybór metody obróbki jest zawsze powiązany z efektem jaki chcemy uzyskać. Należy przy tym uwzględnić mechanizm usuwania warstwy betonu i stopień agresywności z tym związany.

Tablica 1. Metody oczyszczania, uszorstniania i usuwania betonu wg PN-EN 1504-10

	Metoda	Cel
Oczyszczanie	<ul style="list-style-type: none"> – mechaniczne, przez młotkowanie i ścieranie – oczyszczanie strumieniowo-ściernie – oczyszczanie strumieniem wody o niskim ciśnieniu, do ok. 18 MPa lub do ok. 60 MPa w przypadku ograniczeń w ilości wody 	podłoże powinno być wolne od pyłu, luźnych fragmentów materiału, zanieczyszczenia powierzchni oraz materiałów zmniejszających przyczepność lub uniemożliwiających zwilżanie przez materiały naprawcze; oczyszczone podłoże powinno być chronione przed dalszym zanieczyszczeniem
Uszorstnianie	<ul style="list-style-type: none"> – mechaniczne, przez młotkowanie i ścieranie – oczyszczanie strumieniowo-ściernie – oczyszczanie strumieniem wody o wysokim ciśnieniu, do ok. 60 MPa 	Uzyskanie tekstury uszorstnionej powierzchni odpowiedniej dla stosowanych wyrobów i systemów należy określić teksturę uszorstnionej powierzchni, która powinna być zgodna z wymaganiami producenta wyrobów
Usuwanie	<ul style="list-style-type: none"> – Mechaniczne, przez młotkowanie – Oczyszczanie strumieniem wody o wysokim ciśnieniu, do ok. 60 MPa i o bardzo wysokim ciśnieniu, do 110 MPa 	Słaby, uszkodzony i zniszczony beton, a tam, gdzie to konieczne, także beton nieuszkodzony powinien być usunięty zgodnie z zasadą i metodą wybraną według normy PN-EN 1504-9.



2.2. Charakterystyka szorstkości powierzchni

Najprostsza metodą oceny szorstkości powierzchni jest metoda wizualna. Na przykład International Concrete Repair Institute [5] w USA opracował 9 wzorców porównawczych do oceny profilu szorstkości betonu po obróbce. Profile CSP (Concrete Surface Profile) ponumerowano od 1 (prawie gładki) do 9 (bardzo chropowaty) wraz z przyporządkowanym im modelowym obróbkom. Należy tu jednak zauważyć, że tekstura i wygląd otrzymanego profilu zależy od wielu czynników takich jak: wytrzymałość, wielkość i rodzaj kruszywa, a także wykończenie powierzchni. W związku z tą niejednoznacznością jednym z celów inżynierii powierzchni betonu jest znalezienie miarodajnych wskaźników opisujących strukturę geometryczną powierzchni.

Norma PN-EN 1504-10 w części dotyczącej uszorstnienia zamieszcza wymaganie dotyczące określenia zalecanej tekstury powierzchni. Przywołuje ona dwie metody oznaczania szorstkości – profilometrię i metodę piaskową. Metody piaskowe (tabl.2) oparte są na pomiarze głębokości makrotekstury powierzchni metodą objętościową. Polegają one na ostrożnym rozprowadzeniu znanej objętości materiału ziarnistego na nawierzchni i obliczeniu całkowitej powierzchni nim pokrytej. Bardziej szczegółową charakterystykę rozwinięcia powierzchni można uzyskać stosując profilometrię mechaniczną i laserową [6,7]. W profilometrze mechanicznym rysik (rys.1a) przesuwają się po powierzchni, a jego zmiana położenia w pionie i w poziomie jest rejestrowana przez komputer tworząc profil powierzchni. Zasada działania profilometru laserowego (rys.1b) opiera się na pomiarze

odległości między emitery wiązki laserowej a powierzchnią na podstawie różnicy czasu wyjścia i przyjścia. Na tej podstawie konstruowany jest obraz powierzchni. Wadą tej metody jest rozpraszanie wiązki laserowej wewnątrz ziaren niektórych rodzajów kruszywa, np. kwarcu. Odmianą techniki laserowej jest opto-morfologia, w której wykorzystuje się tzw. projekcję prążków Moire'a [8]. Zaletą tej metody jest możliwość stosowania jej bezpośrednio na obiekcie (rys.1c). Badania przeprowadzone w KIMB PW i UL [9] wskazują, że test piaskowy daje dobre oszacowanie uśrednionego profilu szorstkości (rys.2a). Nie dostarcza natomiast informacji o innych parametrach profilu (rys.2b), które mogą być istotne przy opracowaniu projektu naprawy, np. objętości materiału naprawczego.

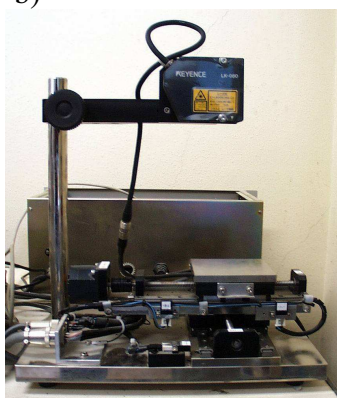
Tablica 2. Metody piaskowe charakteryzowania szorstkości powierzchni betonowych

Norma/obiekt	Schemat	Rodzaj materiału ziarnistego	Parametr
PN-EN 13036-1 Nawierzchnie drogowe i lotniskowe		kulki szklane $d = 0,18 \pm 0,25 \text{ mm}$ Zalecana objętość: 25 ml	średnia głębokość tekstury MTD [mm]: $MTD = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot D^2}$ gdzie: V – objętość próbki materiału ziarnistego [mm ³], D – średnica koła pokrytego materiałem ziarnistym [mm]
PN-EN 1766 Wyroby i systemy do napraw i ochrony przed korozją konstrukcji betonowych		piasek kwarcowy $d = 0,05 \pm 0,1 \text{ mm}$, wysuszony do stałej wagi Zalecana objętość: 25 ml	Wskaźnik szorstkości (oznaczany czasami jako SRI od Surface Roughness Index): $SRI = \frac{V}{D^2 \cdot 1272}$ gdzie: V – objętość próbki materiału ziarnistego [mm ³], D – średnica koła pokrytego materiałem ziarnistym [mm]

a)



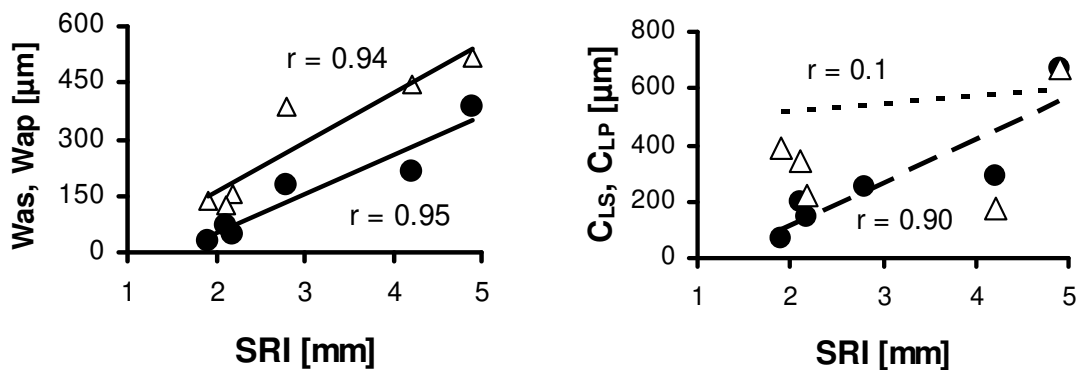
b)



c)

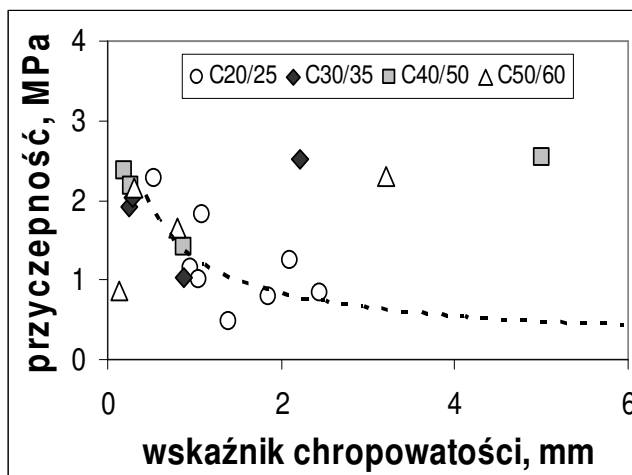


Rys. 1. Przykłady profilometrów: a) mechaniczny, b) laserowy, c) laserowy wykorzystujący metodę opto-morfologii



Rys.2. Zależność między indeksem chropowatości SRI i: a) średnią falistością profilu wyznaczoną za pomocą profilometru laserowego - Was (Δ) i mechanicznego Wap (\bullet) oraz b) odpowiednio parametrem C_L charakteryzującym głębokość dolin profili otrzymanych za pomocą profilometru laserowego i mechanicznego

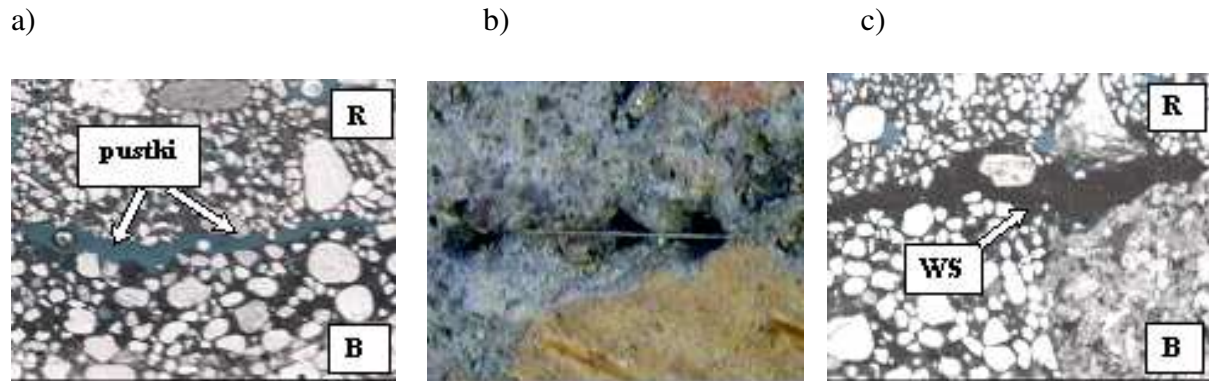
Wpływ stopnia rozwinięcia powierzchni, wynikający z zastosowanej obróbki powierzchni betonu, na przyczepność jest niejednoznaczny [10]. Badania prowadzone w Politechnice Warszawskiej we współpracy z Uniwersytetem w Liege (rys.3) wskazują, że wzrost uszorstnienia powierzchni jest korzystny w przypadku podkładów wykonanych z betonów wyższych klas wytrzymałości [11]. Przeciwną tendencję obserwuje się dla betonów niższych klas wytrzymałości, gdyż obróbki dające większe uszorstnienie powodują jednocześnie większe uszkodzenie przypowierzchniowej warstwy betonu (mikropęknięcia) [12].



Rys.3. Zmiana przyczepności ze wzrostem wskaźnika podkładów betonowych różnych klas wytrzymałości poddanych obróbkom powierzchniowym o zróżnicowanej agresywności

Z punktu widzenia szorstkości powierzchni po obróbce istotna jest również właściwa konsystencja mieszanki zaprawy naprawczej. Mała urabialność mieszanki zaprawy może skutkować niecałkowitym wypełnieniem przez nią nierówności powierzchni powodując spadek przyczepności (rys.4a). W wielu przypadkach mała urabialność zapraw jest wynikiem obecności zbrojenia rozproszonego (np. mikrowłókien szklanych) jako dodatku obniżającego ich skurcz utwardzania. Jeśli odległość między pikami profilu jest mniejsza niż długość włókien można obserwować blokowanie ich na nierównościach powierzchni i w

konsekwencji utrudnione wypełnienie tych miejsc zaprawą (rys.4b). W tej sytuacji często konieczne jest stosowanie warstwy szepnej wypełniającej nierówności powierzchni i zwiększającej adhezję mechaniczną (mechaniczne klinowanie). Dodatkowo zmniejsza ona skutki stosowania agresywnych obróbek wypełniając większe zarysowania i wiążąc fragmenty betonu luźno związane z podkładem (rys. 4c).

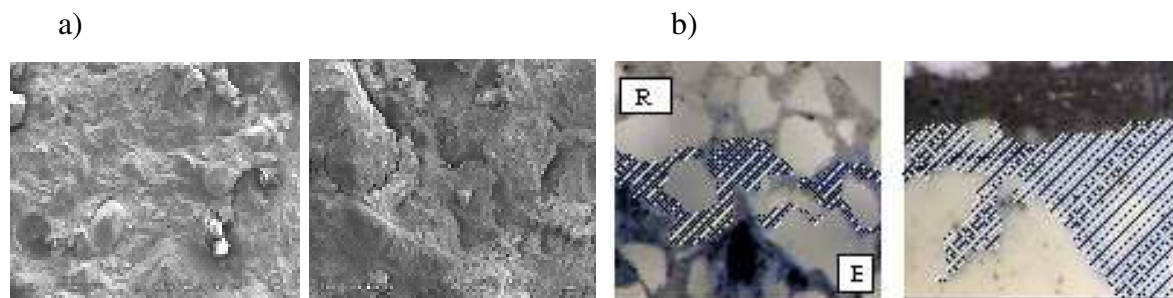


Rys. 4. Przykładowe widoki płaszczyzny zespolenia dla układu naprawczego: (a) układ bez warstwy szepnej, w których podkład betonowy poddano frezowaniu mechanicznemu, (b) przykład pustek powstających w wyniku blokowania mikrowłókien szklanych na nierównościach powierzchni podkładu betonowego poddanego piaskowaniu, (c) poprawa jakości zespolenia w układach z warstwą szepną; R- materiał naprawczy, B – podkład betonowy, WS – warstwa szepna

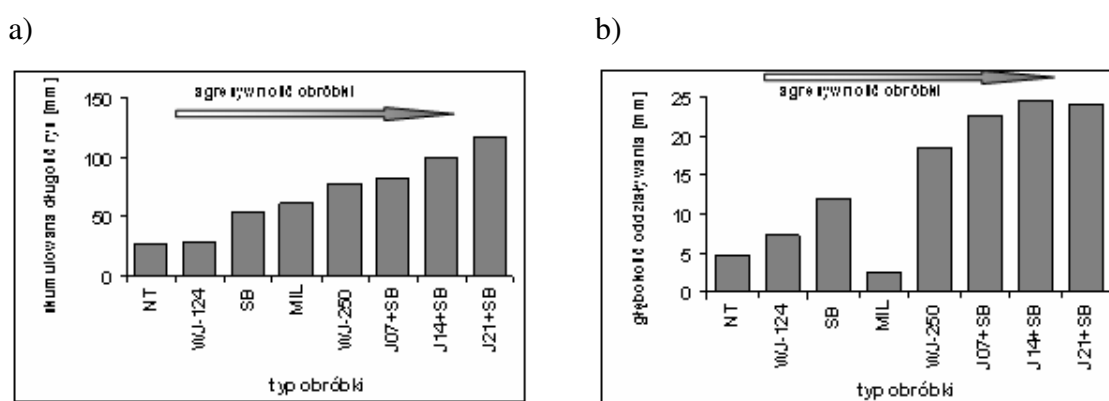
2.3. Ocena stopnia zarysowania

Rodzaj zastosowanej obróbki powierzchniowej wpływa nie tylko na stopień uszorstnienia podkładu, ale powoduje również powstanie mikrorys (Rys.5). Mogą one stanowić, źródło potencjalnych uszkodzeń podczas użytkowania naprawionego obiektu. Wielu autorów wskazuje obecność rys i mikrorys w warstwie przypowierzchniowej wynikająca z zastosowanej obróbki powierzchniowej jako główny czynnik obniżający przyczepność w układach naprawczych [np.10,12]. Do jakościowej analizy stopnia zarysowania betonu oprócz obserwacji wizualnych (badania makroskopowe) wykorzystuje się coraz częściej techniki mikroskopowe. Pojawienie się nowych technik eksperymentalnych rozszerzyło możliwości obserwacji i oceny rys. Przy obserwacjach makroskopowych dokonuje się identyfikacji dużych rys, raków, dużych pustek i obszarów silnie porowatych. Obserwacje mikroskopowe umożliwiają wykrycie drobnych rys w zaczynie, kruszywie i strefie przejściowej zaczyn-kruszywo lub zaczyn-zbrojenie i porów. Zależnie od przyjętego poziomu obserwacji stosuje się mikroskopy optyczne (powiększenia głównie z zakresu 10 do 100x) lub skaningowe mikroskopy elektronowe - SEM (powiększenia rzędu 100 - 500x). Do opisu cech geometrycznych układu mikrorys wykorzystuje się coraz częściej metody stereologiczne wspomagane automatyczną analizą obrazu [np. 13, 14]. Pewna trudność stanowi tu konieczność uzyskania odpowiedniej jakości obrazu.

Badania przeprowadzone w KIMB PW oraz w UL [11, 15] potwierdziły wpływ obróbki na obecność rys w podłożu (Rys.6a). Ze wzrostem agresywności rosła skumulowana długość rys. Agresywność danego typu obróbki może być regulowana jej parametrami, np. ciężar młota pneumatycznego, ciśnienie w obróbce hydrodynamicznej. Istotnym wnioskiem praktycznym wynikającym z badań jest spostrzeżenie, że dla większości obróbek głębokość oddziaływania obróbki nie przekraczała 2,5 cm (Rys.6b).



Rys.5. Przykłady a) ukształtowania powierzchni podkładów betonowych po frezowaniu uzyskana za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego przy pow.25 i 100x oraz b) uwidocznienia uszkodzeń płaszczyzny zespolenia za pomocą mikroskopu świetlnego dzięki zastosowaniu iniekcji żywicy epoksydowej; obszary niebieskie wskazują miejsca podkładu osłabione w wyniku zastosowania obróbki powierzchniowej betonu



Rys. 6. Wpływ rodzaju obróbki na stopień zarysowania: (a) skumulowana długość rys dla betonu C40/50; (b) głębokość oddziaływania obróbki wg kryterium zarysowania dla betonu C40/50; NT – bez obróbki; WJ - lanca wodna – ciśnienie 124 i 250MPa; SB – piaskowanie; MIL – frezowanie; WJ-250 – lanca wodna (250MPa); J+SB – obróbka młotem pneumatycznym o ciężarze 7, 14, 21 kg + piaskowanie

Badania stopnia zarysowania na obiekcie są trudniejsze do przeprowadzenia. Można je przeprowadzić na obróbkach pobranych na obiekcie. Siłą rzeczy będą one miały charakter selektywny. Z tego względu poszukiwane są metody pozwalające na określenia stopnia zarysowania podkładu betonowego bezpośrednio na obiekcie, ze szczególnym uwzględnieniem metod nieniszczących. Jedną z tego rodzaju technik jest pomiar powierzchniowej przepuszczalności wody [16]. Wstępne wyniki badań prowadzonych obecnie na Politechnice Warszawskiej wskazują na różnicowanie powierzchniowej przepuszczalności wody zależnie od zastosowanej obróbki podkładu betonowego.

3. Ocena skuteczności napraw

Ocena skuteczności naprawy ukierunkowana jest głównie na badania jakości warstwy materiału naprawczego i strefy łączącej (tabl.3). Najważniejszym parametrem tej oceny jest wartość przyczepności przy odrywaniu (metoda „pull-off”). Z punktu widzenia metodyki badawczej, jak i analizy uzyskiwanych wyników, nieniszcząca ocena stanu układu: materiał naprawczy - podkład betonowy jest zagadnieniem trudniejszym niż badania betonu. Dobór metody NDT do oceny skuteczności napraw betonu powinien uwzględniać [17]: typ i wymiary defektów, typ materiału naprawczego (mineralny lub polimerowy), grubość warstwy

(lub warstw) materiału naprawczego, stan powierzchni podkładu betonowego, możliwość prowadzenia badań przy dostępie z jednej strony.

Tablica 3. Zestawienie cech badanych podczas kontroli skuteczności wybranych metod naprawy wg EN 1504-10:2005

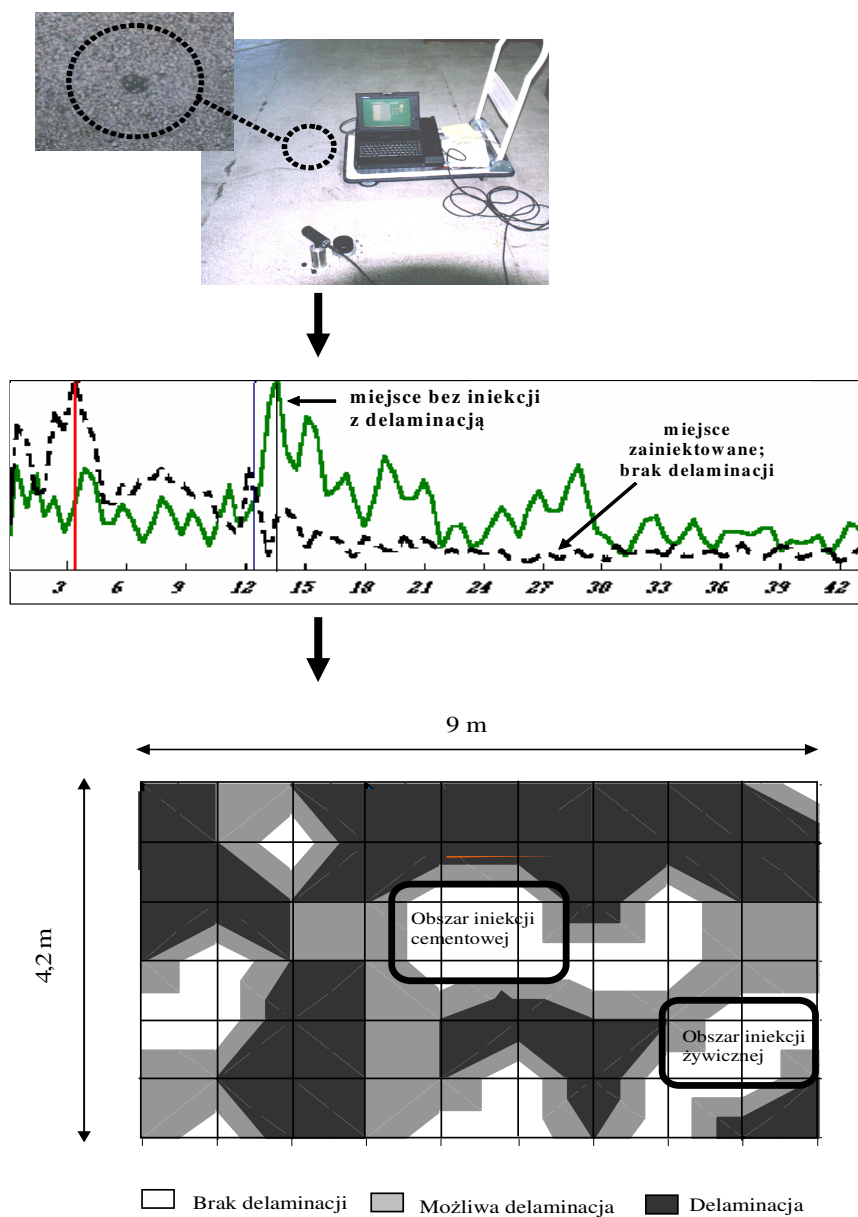
Numer badania lub obserwacji	Cecha *)	Metoda badania lub obserwacja	Metoda naprawy				Norma
			Powłoki ochronne	Wypełnianie rys, pustek i szczelin	Zaprawy lub betony do uzupełniania ubytków	Wzmacnianie płytami lub taśmami	
1	Rozwarstwienie	Opukiwanie młotkiem (T)			■		
15	Oporność elektryczna	Wenner test (T)			□		
29	Grubość powłoki lub zaprawy po utwardzeniu	Siatka nacięć (T) lub metoda objętościowa (T) lub wizualnie na próbkach walcowych lub metoda covermeter	■		■	◆	ISO 2808 EN12504-1
30	Zdolność krycia	Wizualnie (O)	■				ISO4628-1-6:2003-04
32	Przepuszczalność	Karsten test (T); Badania przepuszczalności na próbkach walcowych (T)	◆	◆	◆		EN-12390-8 ISO-7031
33	Stopień wypełnienia rys	wizualnie na próbkach walcowych lub metoda ultradźwiękowa		◆			
35	Przyczepność powłoki lub zaprawy	Siatka nacięć (T) "Pull-off" test (T)	■	■	■		EN ISO 2409-6 & ISO 4624 EN 1542-1
36	Wytrzymałość na ściskanie	Oznaczenie wytrzymałości na próbkach walcowych wyciętych z podkładu (T) lub sklerometr (T)			■		EN 12504-1 EN 12504-2
37	Gęstość po stwardnieniu	Metoda suszenia			■		EN-12390-7
38	rysy skurczowe	Czujniki mechaniczne lub elektroniczne (O)			■		
39	pustki w i pod warstwą materiału naprawczego	Metoda ultradźwiękowa lub radiografia lub wizualnie na próbkach walcowych			◆		EN 12504-4 ISO 8047 EN 12504-1
42	Obecność porów w i pod warstwą płyt wzmacniających	Impact-echo lub opukiwanie młotkiem lub metody ultradźwiękowe				■	EN 12504-4 ISO 8047
43	Nośność konstrukcji	Obciążanie próbne				◆	
44	Przyczepność materiału wypełniającego rysę do podłoża	Wizualnie na próbkach walcowych oznaczenie wytrzymałości na ściskanie na próbkach walcowych		□			
45	Kolor i tekstura powierzchni	Wizualnie			◆		

■ – we wszystkich przypadkach; ◆ - w szczególnych przypadkach; □ - w zastosowaniach specjalnych.

T : badanie O: obserwacja

* - nie uwzględniono cech przewidzianych dla kontroli skuteczności takich metod naprawy jak: impregnacja i hydrofobizacja, wzmacniania dodatkowym zbrojeniem stalowym oraz zabezpieczania zbrojenia powłokami

W przypadku układów wielowarstwowych, wpływ na propagację fal sprężystych może mieć różnica impedancji akustycznych (iloczyn gęstości i prędkości fali) poszczególnych elementów układu naprawczego. Podatność powierzchni rozdziału dwóch ośrodków do odbicia fali sprężystej charakteryzowana jest współczynnikiem odbicia, R . Doświadczenia badawcze oraz analizy numeryczne przy stosowaniu metody I-E wskazują, że granica rozdziału jest „widoczna”, jeśli R jest większe od $+0,24$ [18,19]. Właściwości akustyczne kompozytów typu PCC [20], podstawowego typu materiałów naprawczych, wykazują niewielkie zmiany ($<10\%$) dla szerokiego zakresu zawartości polimeru (0-30%) i są zbliżone do wartości charakterystycznych dla zapraw i betonów cementowych. Istnieje możliwość wykorzystania metod badania elementów betonowych również do badania układów naprawczych (rys.7). Wpływ odbicia fali od powierzchni zespolenia powinien być uwzględniany w przypadku stosowania takich materiałów, jak np. powłokowe kompozyty polimerowe czy nawierzchnie asfaltowe.



Rys. 7. Przykład zastosowania metody impact-echo do oceny skuteczności naprawy (mapa delaminacji między posadzką mineralną a podkładem betonowym)

Można się spodziewać, że w ocenie skuteczności napraw coraz częściej wykorzystywane będą zaawansowane metody analizy sygnału. Oprócz powszechnie stosowanej analizy fourierowskiej i spektralnej (rozkład prędkości fazowych) wrasta zainteresowanie nowymi metodami. Jedną z nich jest analiza falkowa, która daje możliwość analizy częstotliwościowo-czasowej [21]. Badania przeprowadzone w KIMB PW wskazują, że uwzględnienie parametrów charakteryzujących szorstkość powierzchni zespolenia zwiększa dokładność wnioskowania o jakości powierzchni zespolenia.

4. Podsumowanie – tendencje rozwojowe

Znaczenie właściwego przygotowania podkładu betonowego przed nałożeniem nań warstwy naprawczej, powłoki lub polimerowego systemu ochronnego podkreślono zarówno w normie europejskiej PN-EN 1504-10, jak i amerykańskich wytycznych ACI Concrete Repair Manual [5]. Szczególne znaczenie ma dobór odpowiedniej obróbki powierzchni. Analiza relacji między właściwościami powierzchni betonu a skutecznością napraw stanowi ważne zadanie badawcze inżynierii powierzchni betonu. Tego rodzaju analiza wymaga dysponowania odpowiednimi narzędziami badawczymi. Badania przeprowadzone w Politechnice Warszawskiej i Uniwersytecie w Liege wskazują, że większe uszorstwienie odgrywa korzystną rolę w przypadku betonów wyższych klas wytrzymałości. W odniesieniu do betonów niższych klas większą rolę w kształtowaniu przyczepności odgrywają mikropęknięcia, których gęstość rośnie z agresywnością zastosowanej obróbki powierzchniowej. Można oczekiwać, że jednym z ważniejszych kierunków rozwoju inżynierii powierzchni będzie opracowanie metod szybkiej oceny szorstkości i mikrozarysowania.

W zakresie metod oceny skuteczności należy spodziewać się wzrostu znaczenia metod nieniszczących, dzięki postępowi zarówno w odniesieniu do aparatury badawczej, jak i coraz częściej wykorzystywanych metod zaawansowanej analizy sygnału. Świadczy o tym stale rosnąca liczba publikacji traktujących o zastosowaniu metod NDT w ocenie betonu.

Podziękowania

Praca powstała w ramach wspólnego projektu badawczego Polska (MNiSW) – Walonia (DRI), Belgia. Artykuł finansowano ze środków pracy statutowej PW – grant 504 G 1080 7007.

5. Literatura

- [1]. Czarnecki L., Emmons P., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Wyd. Polski Cement, Kraków, 2002, ss.430
- [2]. PN-EN 1504. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz kontrola jakości prac
- [3]. Garbacz A., Piotrowski T., Inżynieria powierzchni w naprawach konstrukcji betonowych, Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych (ed. M.Kamiński, J.Jasiczak, W.Buczowski, T.Błaszczyszki), Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007, s.31-41
- [4]. Czarnecki L, Chmielewska B. Factors affecting adhesion in building joints. Cement-Lime-Concrete, 2005; 2:74-85
- [5]. Concrete Repair Manual, ACI International, Farmington Hills, MI, USA, 2003
- [6]. Courard L, Nélis M. Surface analysis of mineral substrates for repair works: roughness evaluation by profilometry and surfometry analysis. Mag Conc Res 2003; 55: 355-366

- [7]. Liubimov V, Oczóś K. Geometrical structure of surface (in Polish). Rzeszów, Politechnika Rzeszowska. 2003:pp;.352
- [8]. Courard L., Perez F., Bissonnette B., Górka M., Garbacz A., Two different techniques for the evaluation of concrete surface, In: ICCRRR 2005 International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Cape Town, South Africa, 2005, 1015-1020
- [9]. Garbacz A., Courard L., Kostana K., Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems, *Materials Characterization*, 56, 2006, s.281-28
- [10]. Silfwerbrand J., Paulsson J., Better bonding of bridge deck overlays, *Concrete International*, 1998, 10, s.56-61
- [11]. 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, Portugal (2-4 April 2006), 99-110
- [12]. Garbacz A, Górka M, Courard L. On the effect of concrete surface treatment on adhesion in repair systems. *Mag Conc Res* 2005; 57: 49-60
- [13]. Coster M., Chermant J-L. Image analysis and mathematical morphology for civil engineering materials, *Cement and Concrete Composites*, 23, 2001, 133-151
- [14]. Glinicki M.A., Litorowicz A.: Digital analysis of microscopic images for crack system evaluation in concrete elements, W "Adhesion in Interfaces of Building Materials: a Multi-scale Approach" (ed. L. Czarnecki and A. Garbacz), *Advances in Materials Science and Restoration AMSR No. 2*, Aedificatio Publishers, 2007, s.127-139
- [15]. Courard, L., Bissonnette, B., Belair, N. Effect of surface preparation techniques on the cohesion of superficial concrete: comparison between jack-hammering and water-jetting. In: ICCRRR 2005 International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Cape Town, South Africa, 1027-1031 (2005)
- [16]. Courard L., Garbacz A., Niewęłowska-Mazurkiewicz A., Piotrowski T., *Inżynieria powierzchni betonu. Część 2. Wpływ obróbki na zarysowanie betonu*, *Materiały Budowlane*, 2006, 12, s.8-11
- [17]. Garbacz A. Nieniszczące badania betonopodobnych kompozytów polimerowych za pomocą fal sprężystych – ocena skuteczności napraw, *Prace Naukowe, Budownictwo*, z.147, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2007, stron 208
- [18]. Sansalone M., Street W. B., *Impact–echo. Nondestructive evaluation of concrete and masonry*, Bulbrier Press, Ithaca NY, 1997
- [19]. Garbacz A., Kwaśniewski L., Modeling of stress wave propagation in repair systems tested with impact-echo method, *Brittle Matrix Composites 8 – BMC8*, Warszawa, 2006, s.303-314
- [20]. Garbacz A., Łukowski P., Bęcek J., Wpływ zawartości polimeru na propagację fali ultradźwiękowej w kompozytach polimerowo-cementowych. 33 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Poznań – Licheń, 2004, *Zeszyty Problemowe Badania Nieniszczące*, nr 9, 2004, 83-88
- [21]. Garbacz A., Piotrowski T., Courard L., A Analysis of stress wave propagation in repair systems using wavelet approach, *RILEM PRO 51 (CD): 2nd International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering* (Ed. J. Marchand, B.Bissonnette, R.Gagne, M.Jolin, F.Paradis), Quebec, Canada, 2006