

dr hab. inż. Andrzej Garbacz, prof. PW*

Znaczenie przygotowania powierzchni betonu dla zapewnienia skuteczności napraw

Importance of concrete substrate preparation for effective repair

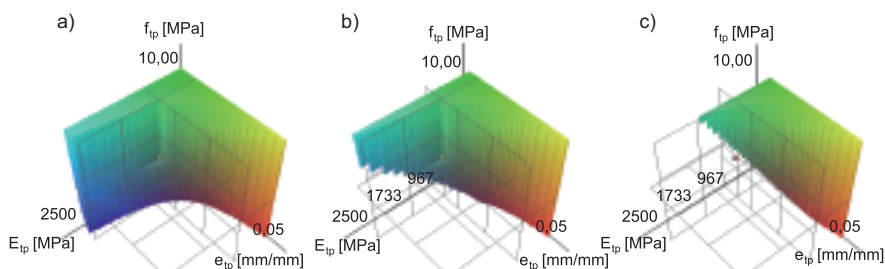
Właściwy dobór materiału do naprawy konstrukcji betonowych jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o jej skuteczności i trwałości. Podstawowym kryterium doboru jest **zapewnienie dobrej współpracy wszystkich komponentów układu naprawczego** [1]. Zgodnie z definicją L. Czarnieckiego [2] zasada dobrej współpracy (zasada kompatybilności) to taki dobór, pod względem właściwości chemicznych i fizycznych elementów układu naprawianego, aby zapewniał on nieprzekraczanie dopuszczalnych naprężeń i/lub odkształceń w żadnej części układu, w przewidywanym czasie i warunkach użytkowania. Wymagania kompatybilności dotyczą nie tylko cech fizykomechanicznych, ale również kompatybilności chemicznej, elektrochemicznej oraz kompatybilności cech barierowych [3]. Prowadzi to do konieczności analizy wielowymiarowej przestrzeni dobrej współpracy. Przy współudziale autora w **Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych Politechniki Warszawskiej opracowano komputerowy program określania N-wymiarowej przestrzeni kompatybilności Compatibility Computer System – CCS** [4, 5]. Umożliwia on analizę kompatybilności przyjętego w naprawie rozwiązania materiałowego, a także określenie zakresu możliwej zmienności parametrów materiałowych podkładu betonowego oraz materiału naprawczego, tak aby nie przekroczyć warunków granicznych przemiany: stan kompatybilny – stan niekompatybilny. W ramach projektu badawczego *Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa oraz trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju* opracowana została nowa zaawansowana wersja programu komputerowego do wyznaczania przestrzeni kompatybilności ANCOMP [6]. Umożliwia on analizę kompatybilności do-

wolnych układów złożonych w konstrukcjach budowlanych. Analiza podprzestrzeni kompatybilności wyznaczonych za pomocą tego programu, dla handlowo dostępnych materiałów, potwierdza istotny wpływ jakości podkładu betonowego (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na ścinanie oraz możliwość powstawania rys) na skuteczność napraw i wzmocnień (rysunki 1 – 2).

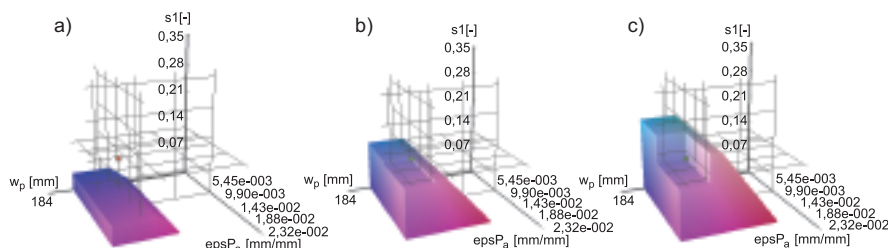
Spełnienie warunków dobrej współpracy (dobór materiału o odpowiednich cechach technicznych) jest konieczne, ale niewystarczające, aby naprawa była skuteczna. Zapewnienie odpowiedniej przyczepności między poszczególnymi elementami układu naprawczego zwiększa tolerancję na niedostosowanie właściwości fizykome-

chanicznych podkładu betonowego i obecnie stosowanych materiałów naprawczych, a także na rozrzut ich wartości. **Do najważniejszych czynników wpływających na przyczepność można zaliczyć** [7]:

- wytrzymałość mechaniczną i rozwinięcie powierzchni podłoża;
- mikrorysy, porowatość podłoża i zawartość w nim wilgoci i zanieczyszczeń;
- właściwości fizyczne łączonych materiałów (lepkość, zwilżalność, skurcz wiązania, rozszerzalność cieplną, moduł sprężystości, pęcznienie);
- fluktuacje temperatury wywołujące zmiany właściwości materiałów i powodujące powstawanie naprężeń w obszarze przejściowym pomiędzy warstwami.



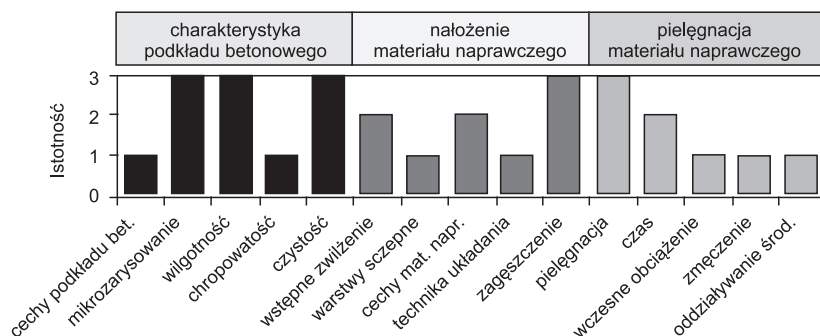
Rys. 1. Przykładowe podprzestrzenie kompatybilności powłoki PC zdefiniowane przez moduł sprężystości E_{tp} , wydłużenie przy zerwaniu e_{tp} i wytrzymałość przy zerwaniu f_{tp} pokazujące wpływ możliwości zarysowania podkładu betonowego po jej nałożeniu na kształtowanie przestrzeni kompatybilności: a) powłoka nałożona na podkład zarysowany – szerokość rysy $w_{max} = 0,1$ mm (stan kompatybilny); powłoka nałożona na podkład niezarysowany, w którym w trakcie użytkowania obiektu pojawi się rysa o: b) $w_{max} = 0,1$ mm, c) $w_{max} = 0,2$ mm



Rys. 2. Wpływ jakości podkładu betonowego na kształt podprzestrzeni kompatybilności dla wzmacniania konstrukcji betonowych kompozytami FRP wyznaczone za pomocą programu ANCOMP. Podprzestrzeń kompatybilności zdefiniowana przez: szerokość taśmy w_p , wydłużenie przy zerwaniu zaprawy klejącej $eps P_a$ i współczynnik wzmacniania $s1$. Ze wzrostem wytrzymałości betonu na ściskanie odpowiednio: a) 25 MPa, b) 45 MPa, c) 65 MPa zwiększa się przestrzeń kompatybilności i występuje przejście ze stanu niekompatybilności (a) w stan kompatybilności (b, c)

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Dążenie do stworzenia warunków do uzyskania możliwie największej przyczepności między materiałem naprawczym a podkładem betonowym znajduje odzwierciedlenie zarówno w PN-EN 1504-10, jak i w wytycznych producentów systemów naprawczych dotyczących przygotowania podkładu betonowego przed nakładaniem materiału naprawczego. Celem jest *osiągnięcie wymaganego stanu podłoża w zakresie czystości, szorstkości, zarysowania, wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie, zanieczyszczenia chlorkami lub innymi szkodliwymi substancjami i głębokości ich wnikięcia, głębokości karbonatyzacji, zawilgocenia, temperatury i stopnia skorodowania zbrojenia*. Zdaniem Silfwerbranda aż trzy z pięciu najistotniejszych czynników [8] dotyczą jakości podkładu betonowego, będącej wynikiem zastosowanej obróbki powierzchniowej (rysunek 3).



Rys. 3. Czynniki decydujące o jakości złącza [8]

Metody obróbki powierzchniowej

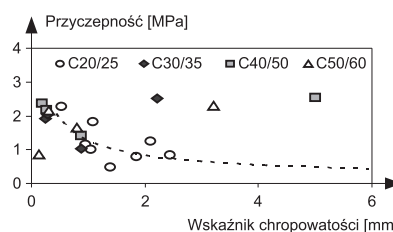
Wybór metody obróbki jest zawsze powiązany z efektem, jaki chcemy uzyskać. Należy przy tym uwzględnić mechanizm usuwania warstwy betonu i stopień agresywności z tym związany. W PN-EN 1504-10 podano ogólne zalecenia doboru obróbki powierzchniowej (tabela 1). Należy podkreślić, że tekstura i wygląd otrzymanego profilu może zależeć od wielu czynników, takich jak: wytrzymałość podłoża betonowego, wielkość i rodzaj kruszywa, a także wykończenie powierzchni (np. zacieranie).

Charakterystyka tekstury powierzchni podkładu betonowego. PN-EN 1504-10, w części dotyczącej uszorstnienia, podaje dodatkowe wymaganie dotyczące określenia tekstury uszorstnionej powierzchni. Przywołuje ona dwie metody oznaczania szorstkości powierzchni – profilometrię i metodę piaskową (tabela 2). Do opisu struktury geometrycznej powierzchni stosuje się wiele parametrów wyznaczanych zgodnie z PN-EN ISO 4287 (tabela 3). Dostępne profilometry umożliwiają charakteryzowanie profilu powierzchni

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

	Metoda	Cel
Oczyszczanie	– 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; oczyszczony podłoże powinno być chronione przed dalszym zanieczyszczeniem
Uszorstnianie	– mechaniczne, przez młotkowanie i ścieranie – oczyszczanie strumieniowo-ściernie – oczyszczanie strumieniem wody o wysokim ciśnieniu, do ok. 60 MPa	uzyskanie tekstury uszorstnionej powierzchni odpowiedniej do stosowanych wyrobów i systemów; należy określić teksturę uszorstnionej powierzchni, która powinna być zgodna z wymaganiami producenta wyrobów
Usuwanie	– 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 wg normy PN-EN 1504-9.

przy różnych poziomach obserwacji (filtrowanie obrazu profilu całkowitego) i wyznaczenie parametrów falistości i „mikrochropowatości”. **Badania przeprowadzone w Politechnice Warszawskiej wykazały, że obróbka powierzchniowa nie ma istotnego wpływu na**



Rys. 4. Zmiana przyczepności ze wzrostem wskaźnika chropowatości podkładów betonowych różnych klas wytrzymałości poddanych obróbce powierzchniowej o różnicowanej agresywności

nośnych profilometrów optycznych, które mają mniejszą rozdzielczość, ale umożliwiają uzyskanie wiarygodnej charakterystyki falistości profilu. Stwierdzono również istotną zależność między wskaźnikiem chropowatości SRI, określonym metodą piaskową, a średnią falistością powierzchni podkładu betonowego.

Struktura geometryczna a przyczepność. Chociaż w PN-EN 1504-10 stwierdzono, że szorstki profil jest korzystny dla zapewnienia przyczepności (zwiększenie mecha-

„mikrochropowatość” powierzchni betonu. Profile powierzchni otrzymane w wyniku zastosowania różnej obróbki powierzchniowej dobrze opisują parametry falistości [9]. Potwierdza to także możliwość stosowania prze-

Tabela 2. Ogólna charakterystyka zaleczanych w PN-EN 1504-10 metod charakteryzowania szorstkości podkładu betonowego

Metoda	Przykład	Ogólna charakterystyka
Metoda piaskowa PN-EN 1766		obliczanie wskaźnika chropowatości na podstawie średnicy plamy piaskowej w wyniku rozprzodzenia określonej objętości piasku kwarcowego (oznaczany czasami jako SRI od Surface Roughness Index): $SRI = \frac{V_{SRI}}{d_{SRI}^2} \cdot 1272$ [mm]
Profilometria (metoda laboratoryjna)		metody laboratoryjne wykorzystujące profilometry mechaniczne lub laserowe; parametry geometryczne zarejestrowanych profili powierzchni wyznaczone zgodnie z PN-EN ISO 4287
Interferometria (metoda przenośna)		odmiana profilometrii optycznej (zwana też optomorfologią), w której wykorzystuje się tzw. projekcję prążków Moiré'a, a następnie, na podstawie odpowiednich algorytmów, wyznacza profil powierzchni

Tabela 3. Parametry charakteryzujące profil powierzchni

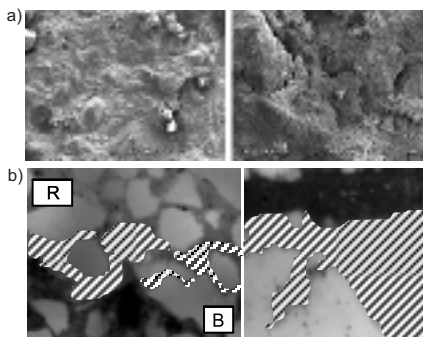
m_x	Linia i wartość średnia	linia, której poziom (wartość średnia) jest określony minimum sumy odchylenia kwadratowego profilu zdefiniowanej następująco: $X = \min \sum y^2(x)$
X_a X_a	odchylenie standardowe	średnia odległość profilu od linii średniej zdefiniowana jako: $X_a = \frac{1}{l} \int_0^l y(x) dx$
X_p	max wysokość pikiu	odległość między max punktem profilu a linią średnią
X_m	max głębokość	odległość między min punktem profilu a linią średnią
X_t	max wysokość profilu	odległość między max i min punktem profilu $X_t = \max(X_p + X_m)$
X = P (profil całkowity), X = W (falistość), X = R (mikrochropowatość)		

nicznego klinowania), to wpływ stopnia rozwinęcia, wynikający z zastosowanej obróbki powierzchni betonu, na przyczepność jest nadal dyskutowany, np. Silfwerbrand twierdzi, że szorstkość podkładu ma drugorzędne znaczenie [8]. Badania prowadzone w Politechnice Warszawskiej we współpracy z Uniwersyteciem w Liege (rysunek 4) wskazują, że wzrost uszorstnienia powierzchni jest korzystny w przypadku podkładów wykonanych z betonów wyższych klas wytrzymałości [9, 10]. Przeciwną tendencję obserwuje się w przypadku betonów niższych klas wytrzymałości, gdyż obróbki dające większe uszorstnienie powodują jednocześnie większe uszkodzenie przy powierzchniowej warstwy betonu [9].

Wpływ obróbki na zarysowanie podkładu betonowego

Rodzaj zastosowanej obróbki powierzchniowej wpływa nie tylko na stopień schropowacenia podkładu, ale powoduje również powstanie rys (fotografia 1). Mogą one stanowić źródło potencjalnych uszkodzeń podczas użytkowania naprawionego obiektu. Wielu autorów wskazuje obecność rys i mikrorys w warstwie przypowierzchniowej wynikającą z zastosowanej obróbki powierzchniowej jako główny czynnik kształtujący przyczepność w układach naprawczych [np. 8, 9]. Z tego względu, podobnie jak w PN-EN 1504-10, **rekomenduje się stosowanie wody pod ciśnieniem**, w celu ograniczenia występowania rys powierzchniowych [8].

Do jakościowej analizy stopnia zarysowania betonu, oprócz obserwacji wizualnych (badania makroskopowe), wykorzystuje się coraz częściej techniki mikroskopowe. 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 oraz porów [11, 12]. W wielu badaniach w celu scharakteryzowania rys w betonach czy zaprawach posługiwano się metodami stereologicznymi z zastosowaniem procedur automatycznej analizy obrazu [13].



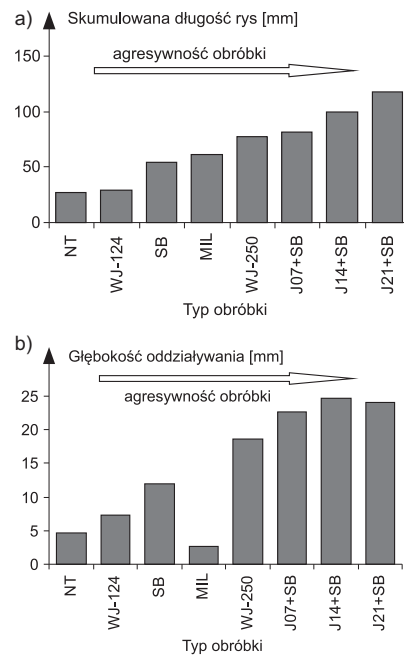
Fot. 1. Widok ukształtowania powierzchni podkładów betonowych po frezowaniu uzyskany za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego przy powiększeniu 25 i 100x (a) oraz uwidocznienie uszkodzeń płaszczyzny zespolenia za pomocą mikroskopu świetlnego dzięki zastosowaniu iniekcji żywicy epoksydową (b); obszary zakreskowane wskazują miejsca podkładu osłabione w wyniku zastosowania obróbki powierzchniowej betonu

Agresywność danego typu obróbki może być regulowana jej parametrami, np. ciężarem młota pneumatycznego, ciśnieniem obróbki hydrodynamicznej. Badania pokazały również, że **ze wzrostem agresywności obróbki rośnie skumulowana długość rys** [14, 15] – rysunek 5a, **a głębokość oddziaływania nie przekracza 2,5 cm** (rysunek 5b). Często konieczne jest przeprowadzenie ponownej obróbki powierzchni mniej agresywnymi metodami, tak aby przywrócić integralność betonu.

Badania stopnia zarysowania obiektu są trudniejsze do przeprowadzenia. Można je wykonać na obróbkach pobranych z obiektu, ale będą miały charakter selektywny. Z tego względu poszukiwane są metody małoszczące pozwalające na określenie stopnia zarysowania podkładu betonowego bezpośrednio na obiekcie. W celu określenia jakości podkładu zaleca się określenie powierzchniowej wytrzymałości na rozciąganie metodą „pull-off” wg PN-EN 1542.

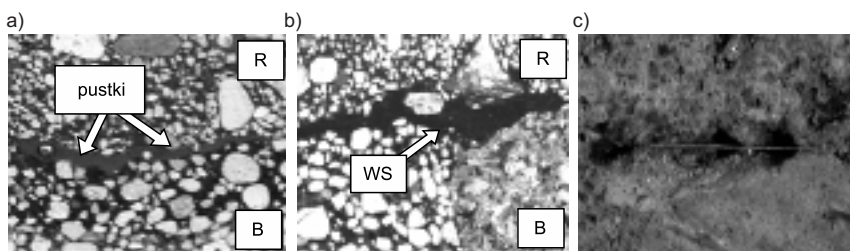
Warstwy łączące

Z punktu widzenia uzyskanej szorstkości powierzchni po obróbce istotna jest właściwa konsystencja zaprawy naprawczej. Mała urabialność zaprawy może skutkować niecałkowitym wypełnieniem przez nią nierówności powierzchni, powodując spadek przyczepności (fotografia 2a). W wielu przypadkach mała urabialność zapraw jest wynikiem obecności zbrojenia rozproszonego (np. mikrowłókien szklanych) jako dodatku obniżającego ich skurecz 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 (fotografia 2c). W tej sytuacji często konieczne jest stosowanie warstw łączących.



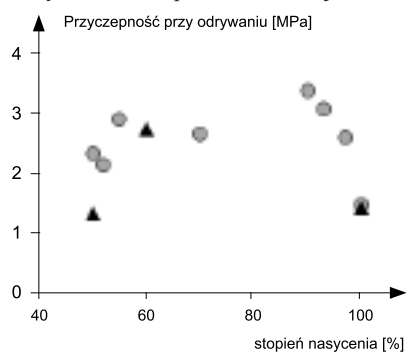
Rys. 5. Wpływ rodzaju obróbki na stopień zarysowania: (a) skumulowana długość rys dla betonu C40/50; (b) głębokość oddziaływania obróbki wg kryterium zarysowania dla betonu C40/50; NT – bez obróbki; WJ – lanca wodna – ciśnienie 124 i 250 MPa; SB – piaskowanie; MIL – frezowanie; WJ-250 – lanca wodna (250 MPa); J+SB – obróbka młotem pneumatycznym o masie 7, 14, 21 kg + piaskowanie

Są one z reguły mikrozaprawami cementowymi modyfikowanymi polimerami dobrze wypełniającymi nierówności powierzchni i zwiększającymi adhezję mechaniczną (mechaniczne klinowanie). Dodatkowo zmniejszają skutki stosowania agresywnych obróbek, wypełniając większe pęknięcia i wiążąc fragmenty betonu luźno związane z podkładem (fotografia 2b). Obecnie preferowane są systemy naprawcze niewymagające stosowania warstw łączących, gdyż w warunkach budowy często utrudnione jest dotrzymanie reżimów technologicznych – nałożenie zasadniczej zaprawy naprawczej na utwardzoną warstwę łączącą może spowodować obniżenie przyczepności.



Fot. 2. Przykładowe płaszczyzny zespolenia układu naprawczego bez warstwy szepnej (a) i z warstwą szepną (b), w których podkład betonowy poddano frezowaniu mechanicznemu; (c) przykład pustek powstających w wyniku blokowania mikrowłókien szklanych na nierównościach powierzchni podkładu betonowego poddanego piaskowaniu; R – materiał naprawczy, B – podkład betonowy, WS – warstwa szepna

Istotnym czynnikiem wpływającym na przyczepność jest odpowiednie nawilżenie powierzchni podkładu [16]. Badania pokazują, że wysuszenie podkładu powoduje obniżenie przyczepności wyrobów cementowych i polimerowo-cementowych (rysunek 6). Obniżenie przyczepności można również zaobserwować w przypadku obecności wody w warstwie powierzchniowej.



Rys. 6. Zależność przyczepności zaprawy PCC od stopnia nasycenia podkładu betonowego wg [16]

Wnioski

Właściwy dobór materiału do naprawy konstrukcji betonowych jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o jej skuteczności i trwałości. Podstawowym kryterium doboru jest zapewnienie kompatybilności wszystkich komponentów układu naprawczego. W celu zwiększenia tolerancji na możliwe różnice we właściwościach fizykochemicznych materiału naprawczego i podkładu betonowego konieczne jest zapewnienie odpowiedniej przyczepności. Szczególną rolę w jej kształtowaniu odgrywa właściwe przygotowanie powierzchni, a przede wszystkim uzyskanie właściwego rysu przez dobór właściwej obróbki powierzchniowej oraz zapewnienie odpowiedniego zwilżenia podkładu. Badania przeprowadzone w Politechnice Warszawskiej, University of Liege i Laval University wskazują, że większe uszorstnienie odgrywa korzyst-

ną rolę w przypadku betonów wyższych klas wytrzymałości. W odniesieniu do betonów niższych klas większą rolę w kształtowaniu przyczepności mają mikropęknięcia, których gęstość rośnie z agresywnością zastosowanej obróbki powierzchniowej.

Praca została przygotowana w ramach projektu POIG. 01.01.02-10-106/09-01 (PT2) pt. Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju.

Streszczenie

Podstawowym kryterium doboru materiału do napraw konstrukcji betonowych jest zapewnienie kompatybilności wszystkich komponentów układu naprawczego. Na podstawie symulacji komputerowych za pomocą opracowanego w PW programu ANCOMP wykazano szczególną rolę jakości podkładu betonowego. Przeanalizowano wpływ uszorstnienia powierzchni, mikrozarzysowanie wynikające z obróbki powierzchniowej oraz zwilżenie podkładu na kształtowanie przyczepności. Wysoka adhezja zwiększa tolerancję na możliwe różnice we właściwościach fizykochemicznych materiału naprawczego i podkładu betonowego.

Słowa kluczowe: skuteczność napraw, kompatybilność, przygotowanie podkładu betonowego, uszorstnienie, mikrozarzysowanie, zwilżenie.

Abstract

The main criterion for the selection of material for the repair of concrete is to ensure compatibility of all components of the repair. Computer simulations using the ANCOMP program developed at Warsaw University of Technology clearly demonstrate the special role of concrete substrate quality. In this work the effect of surface roughness, microcracking resulting from surface treatment and substrate wetting on an adhesion is discussed. High adhesion increases tolerance to possible differences in the physical and chemical properties of the repair material and the concrete substrate.

Literatura

- [1] Czarniecki L., Emmons P., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Wyd. Polski Cement, Kraków, 2002.
- [2] Czarniecki L., Głodkowska W., Wiąckowska A., Model of compatibility of polymer composite-cement concrete (PC-CC) system, Int. Colloquium Durability of polymer based composite systems for structural application, Brussels, 1991, 484 – 493.
- [3] Czarniecki L., Vaysburd A.M., Mailvaganam N.P., Emmons P. H., McDonald J.E., Repair and rehabilitation of structures – some random thoughts, Indian Concrete Journal, 74 (2000), 13 – 20.
- [4] Czarniecki L., Garbacz A., Łukowski P., Clifton J.R., Polymer Composites for Repairing of Portland Cement Concrete: Compatibility Project, Report no. NISTIR 6394, National Institute of Standards and Technology, 1999.
- [5] Garbacz A., del Mar Lopez M., Naaman A., Czarniecki L., Compatibility space model for strengthening reinforced concrete beams with CFRP laminates, Report No. UMCEE 00-07, The University of Michigan, 2000.
- [6] Garbacz A., Model kompatybilności powłok ochronnych typu PCC w świetle wymagań normy PN-EN 1504-2, II Konferencja Naukowa „Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju”, 2012.
- [7] Czarniecki L., Chmielewska, B., Uwarunkowania adhezji w złączach budowlanych, Cement Wapno Beton, 2 (2005), 74 – 85.
- [8] Silfwerbrand J., Paulsson J., Better bonding of bridge deck overlays. Concrete International 1998; 10: 56 – 61
- [9] Garbacz A., Courard L., Bissonnette B., A surface engineering approach applicable to concrete repair engineering, Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences 61 (1) (2013), 73 – 84.
- [10] Courard L., Michel F., Schwall D., Van der Wielen A., Piotrowski T., Garbacz A., Perez F., Bissonnette B., Surfology: concrete surface evaluation prior to repair, Materials Characterisation IV, Computational Methods and Experiments, WIT Press 2009, 407 – 416.
- [11] Glinicki M.A., Litorowicz A., Cyfrowa analiza rysu w betonie wywołanych przez działanie termiczne, XVIII Konferencja Naukowo-Techniczna „Beton i prefabrykacja – Jadwisin 2002”, CEBET, Tom 1, 112 – 119.
- [12] Courard L., Garbacz A., Niewęgłowska-Mazurkiewicz A., Piotrowski T., Inżynieria powierzchni betonu. Część 2. Wpływ obróbki na zarysowanie betonu, Materiały Budowlane, 12 (2006), 8 – 11.
- [13] Coster M., Chermant J-L., Image analysis and mathematical morphology for civil engineering materials, Cement and Concrete Composites, 23, 2001, 133 – 151.
- [14] 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, Portugal, 99 – 110.
- [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. ICCRRR 2005 International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Cape Town, South Africa, 2005, 1027 – 1031.
- [16] Courard L., Lenaers J.-F., Michel F., Garbacz A., Saturation level of the superficial zone of concrete and adhesion of repair systems, Construction and Building Materials, 25, 2011, 2488 – 2494.