



Metody napraw i wzmocniania elementów oraz konstrukcji betonowych w świetle wymagań normy PN-EN 1504

Prof. dr hab. inż. Andrzej Garbacz, Politechnika Warszawska

1. Wprowadzenie

Beton jest, i jak można przypuszczać będzie, powszechnie stosowanym, względnie tanim, materiałem konstrukcyjnym. Rozwój technologii betonu sprawił, że możliwości wznoszenia konstrukcji z betonu są praktycznie nieograniczone (rys. 1). Beton obok funkcji konstrukcyjnej coraz częściej ma również zadanie kształtowania formy architektonicznej budowli [1]. Jako beton architektoniczny tworzy widoki elewacji, ale i przestrzenie wewnątrz. Jedną z możliwości nowoczesnego kształtowania powierzchni betonu architektonicznego jest technologia fotobetonu.

Zapewnienie trwałości obiektów budowlanych uważane jest jako jeden z istotnych elementów zrównoważonego rozwoju w budownictwie. Ogólne wymagania trwałości konstrukcji żelbetonowych sformułowano w Eurokodzie 2 (EN-1992-1-1). Właściwie zaprojektowany (zgodnie z PN-EN 206) i wykonany może być z powodzeniem użytkowany zgodnie z przewidywaną klasą ekspozycji. Trwałość ta w dużej mierze uwarunkowana jest właściwościami betonu w strefie przypowierzchniowej, które zależą nie tylko od ogólnej charakterystyki jakościowo-ilościowej betonu, ale także w sposób szczególny – od zabiegów wykończeniowych oraz pielęgnacji [2, 3]. Trwałość betonu w konstrukcji uwarunkowana jest spełnieniem jakościowych i ilościowych warunków normowych wg PN-EN 206 dotyczących doboru składników i składu mieszanki betonowej w danej klasie ekspozycji, jak również zapewnieniem prawidłowego wykonania robót betonowych, w tym przede wszystkim właściwej pielęgnacji (rys. 3). Pielęgnacja betonu

jest niezbędnym etapem wykonywania każdej konstrukcji z betonu. Bez właściwej pielęgnacji nie może powstać „dobrej” jakości beton o wymaganych, specyfikowanych właściwościach, zapewniających uzyskanie wymaganej trwałości. Norma PN-EN 13670:2011 formułuje wymagania w zakresie pielęgnacji i ochrony betonu przed szkodliwymi warunkami atmosferycznymi, zamarzaniem i przed szkodliwymi drganiem, uderzeniami lub uszkodzeniami, w celu:

- zminimalizowania skurczu plastycznego,
- zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości powierzchniowej,
- zapewnienia odpowiedniej trwałości strefy powierzchniowej.

Do najczęstszych przyczyn niszczenia obiektów betonowych zalicza się [4]:

- korozję mrozową, następującą w wyniku powtarzającego się zamrażania i rozmrażania wody w porach betonu, zwłaszcza w połączeniu z oddziaływaniem środków odladzających,
- skażenie betonu i w jego wyniku korozję chemiczną (np. korozja siarczanowa, kwasowa itp.) betonu lub zbrojenia,
- utratę zdolności ochronnych otuliny betonowej wobec zbrojenia w wyniku procesów karbonatyzacji – zobojętnienie betonu lub uszkodzeń mechanicznych (spękania otuliny mogą być zarówno następstwem procesów korozji zbrojenia, jak i ich przyczyną).

Szczególny przypadek stanowi korozja wewnętrzna betonu, będąca następstwem niewłaściwego dobrania jego składników, np. alkaliczna reakcja kruszywa.

Zarysowania konstrukcji żelbetonowych występują w następstwie zmian objętościowych twardniejącego betonu oraz oddziaływań środowiska. Rysy obniżają estetykę wyglądu zewnętrznego, ale często także stanowią znaczący sygnał o procesach niszczenia, a nawet warunkują stan graniczny użyteczności. Rysy są do pewnego stopnia związane z samą naturą żelbetu. Przyczynami zarysowań mogą być również:

- błędy projektowe, np. zbyt mała ilość zbrojenia,
- błędy technologiczne, np. zbyt długie przerwy technologiczne przy układaniu warstw mieszanki betonowej, niedostateczne zagęszczenie mieszanki, niewłaściwa pielęgnacja betonu oraz zbyt płytka i porowata otulina zbrojenia,
- przeciążenia podczas użytkowania powodujące lokalne przekroczenie granicznych naprężeń rozciągających, np. uderzenia bądź udary cieplne.



Rys. 1. Przykłady konstrukcji betonowych o różnym przeznaczeniu



Tabela 1. Normy Europejskie z serii PN-EN 1504

Numer EN	Tytuł
1504-1	Definicje, wymagania, kontrola jakości i ocena zgodności
1504-2	Systemy ochrony powierzchniowej betonu
1504-3	Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne
1504-4	Łączenie konstrukcyjne
1504-5	Iniekcja betonu
1504-6	Kotwienie stalowych prętów zbrojeniowych
1504-7	Ochrona zbrojenia przed korozją
1504-8	Sterowanie jakością i ocena zgodności
1504-9	Ogólne zasady stosowania wyrobów i systemów
1504-10	Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz kontrola jakości prac

Wiele okoliczności może powodować intensyfikację procesów niszczenia. Są to:

- nieodpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne bądź materiałowe,
- nieodpowiednie wymieszanie i zagęszczenie mieszanki betonowej,
- niewystarczająco szczelna i o zbyt małej grubości betonowa otulina zbrojenia,
- niewłaściwa pielęgnacja betonu w okresie dojrzewania,
- prądy błędzące,
- podwyższona temperatura użytkowania, powodująca przyspieszenie procesów transportu masy w betonie i przebiegu reakcji chemicznych.

2. Naprawa jako sposób wydłużenia czasu użytkowania obiektów budowlanych

Budowla, której zdolność do prawidłowego spełniania założonych funkcji uległa pogorszeniu, wymaga przeprowadzenia naprawy, czyli podjęcia działań mających na celu przywrócenie obiektowi właściwego stanu użytkowania. Wytyczne prowadzenia napraw ujęto w 10-częściowej Normie Europejskiej EN 1504 dotyczących wyrobów i systemów do napraw i ochrony konstrukcji betonowych (tab. 1). Norma ta została szerzej omówiona w monografii pt. „Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504” [4]. W powszechnej opinii naprawy konstrukcji żelbetonowych stanowią złożone i trudne technicznie zadanie. W PN-EN 1504-9 sformułowano 6 zasad dotyczących naprawy betonu i 5 zasad ochrony zbrojenia. Termin „zasady” należy rozumieć jako ogólne cele, które zamierza się osiągnąć, wykonując naprawę lub ochronę. Zasadom przyporządkowano odpowiednie metody ich technicznej realizacji (tab. 2).

Przyporządkowując poszczególne materiały funkcjom, jakie spełniają w różnych etapach naprawy, można wyróżnić [5]:

- ochronę zbrojenia – powłoki ochronne o spoiwie cementowym (alkalizacja), bądź żywicznym, najczęściej epoksydowym (szczelność);
- przygotowanie podłoża betonowego:
 - materiały impregnacyjne, najczęściej preparaty mineralne zawierające krzemiany (silikatyzacja), silikony

Tabela 2. Zasady i metody naprawy betonu według PN-EN 1504-9

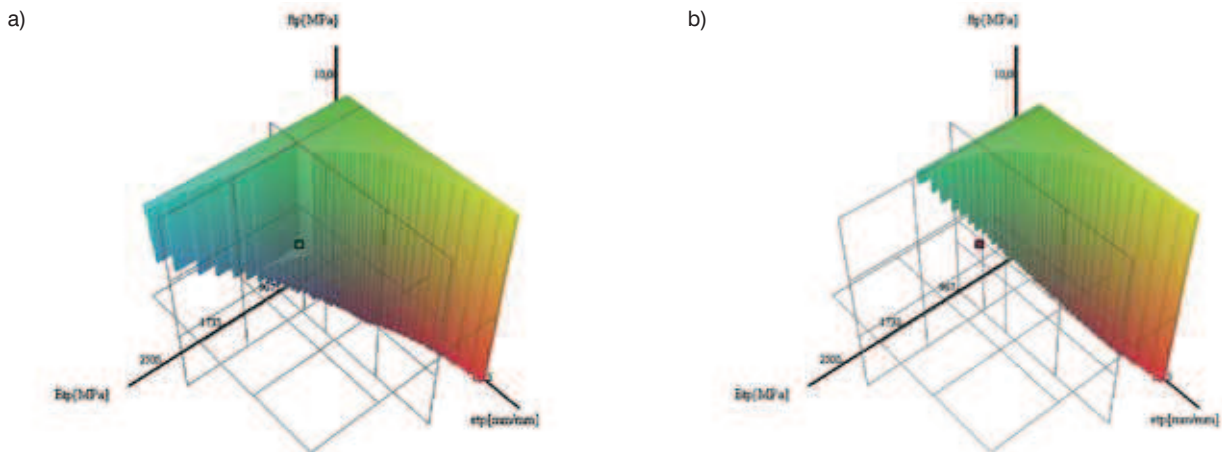
Zasada	Metoda
Ochrona przed wnikiem	- impregnacja - iniekcja - powłoki ochronne
Ograniczenie zawilgocenia	- impregnacja/hydrofobizacja/uszczelnianie - powłoki ochronne (osłony/okładziny) - ochrona elektrochemiczna
Odbudowanie elementu	- betony i zaprawy - betony natryskowe - częściowa wymiana
Wzmacnianie	- iniekcja - dodatkowe pręty, płyty, taśmy - zwiększenie przekroju - sprężanie
Odporność na czynniki fizyczne	- impregnacja - powłoki ochronne
Odporność na czynniki chemiczne	- impregnacja - powłoki ochronne
Utrzymanie lub przywrócenie stanu pasywnego stali zbrojeniowej	- zwiększenie grubości otuliny - wymiana betonu - realkalizacja (elektrochemicznie) - usunięcie chlorków
Podwyższenie oporności elektrycznej otuliny betonowej	- ograniczenie zawilgocenia - impregnacja/uszczelnianie - powłoki ochronne (okładziny)
Kontrola obszarów katodowych	- ograniczenie dostępu tlenu – powłoki ochronne
Ochrona katodowa	- zewnętrzne źródło prądu
Kontrola obszarów anodowych	- powłoki na zbrojeniu - inhibitory korozji

i siloksany, bądź żywiczne (epoksydowe, akrylowe, poliuretanowe) o niskiej lepkości,

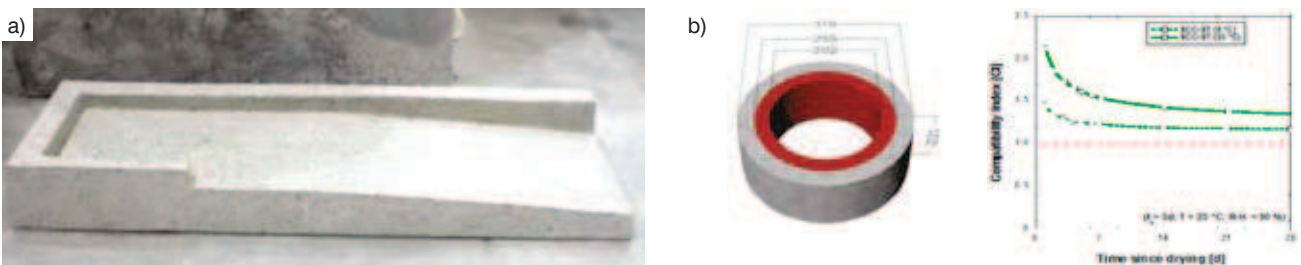
– środki gruntujące, stosowane przed nakładaniem polimerowych materiałów naprawczych lub ochronnych, najczęściej syntetyczne żywice,

– materiały do wykonywania warstw łączących, zazwyczaj modyfikowane zaczyny lub mikrozaprawy cementowe;

- środki iniekcyjne uszczelniające i/lub wzmacniające, stosowane są preparaty mineralne – cementowe i krzemianowe lub polimerowe – epoksydowe, poliuretanowe i akrylowe;
- ładunki klejowe, służące do osadzania kotew w elementach betonowych. Ładunek zawiera mieszkankę żywicy i wypełniacza mineralnego oraz utwardzacza w dokładnie odmierzonej ilości. Reakcja utwardzania zaczyna się, gdy obracająca się kotew spowoduje rozerwanie opakowania ładunku i wymieszanie składników;
- uzupełnianie ubytków, zarówno głębokich sięgających zbrojenia (naprawy konstrukcyjne), jak i płytkich (naprawy powierzchniowe), są to szpachlówki i zaprawy o spoiwie cementowym (modyfikowanym polimerami) lub żywicznym (epoksydowym lub akrylowym). Do tej grupy materiałów zalicza się także beton natryskowy (stosuje się kompozyty cementowe modyfikowane polimerami oraz pyłem krzemionkowym, a także włóknami stalowymi lub polipropylenowymi);



Rys. 2. Przykładowe podprzestrzenie kompatybilności powłoki polimerowej wyznaczone za pomocą programu ANCOMP ([8]). Podprzestrzeń zdefiniowana przez moduł sprężystości E_p , wydłużenie przy zerwaniu e_{tp} i wytrzymałość przy zerwaniu f_{tp} : powłoka nałożona na podkład niezarysowany, w którym w trakcie użytkowania obiektu pojawi się rysa o: a) $w_{max} = 0,1 \text{ mm}$, b) $w_{max} = 0,2 \text{ mm}$



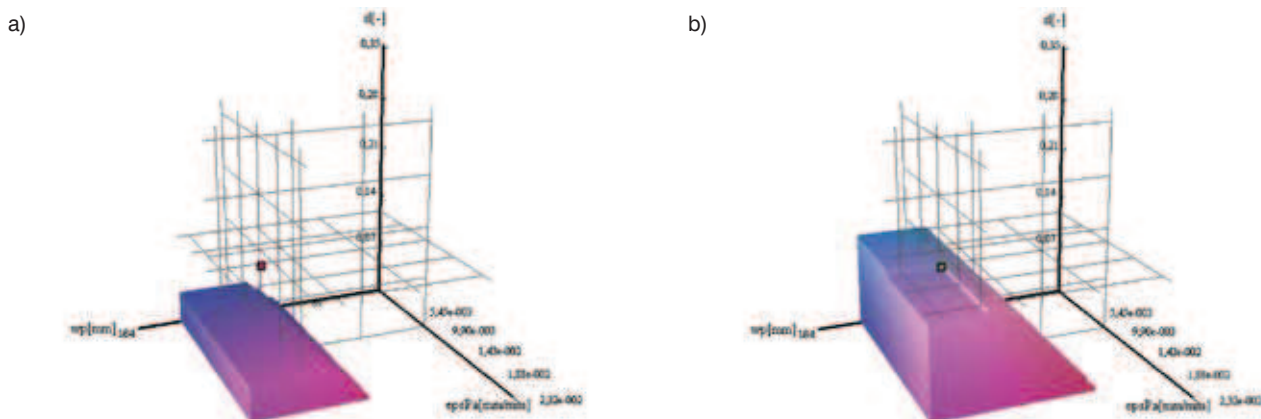
Rys. 3. Przykładowy test do badania kompatybilności w warunkach rzeczywistych: a) „cavity” test, b) „ring” test wg ASTM

• ochronę powierzchniową; wybór rozwiązania materiałowego zależy od stopnia i rodzaju agresywności środowiska. Stosowane są zarówno powłoki mineralne, jak i żywiczne. Od wczesnych lat 80. ub. wieku rozwijane i stopniowo wdrażane są elektrochemiczne metody napraw [6]. Atrakcyjność tych metod w naprawach żelbetu wynika zwłaszcza z ich „bezinwazyjnego” charakteru. Ograniczenie stanowi wciąż niedostateczne rozpoznanie skutków ubocznych. Wzmacnianie konstrukcji można definiować jako przywracanie pierwotnej nośności osłabionej konstrukcji (np. w wyniku procesów korozyjnych) bądź jako zwiększanie nośności w stosunku do projektowej, podyktowane zmienionymi warunkami użytkowania lub zmianą przeznaczenia obiektu. Wzmacnianie może być utożsamione z naprawą. Natomiast przy zwiększaniu nośności często istnieje konieczność uwzględniania norm dotyczących projektowania i wznoszenia konstrukcji, w szczególności PN-EN (Eurokod). Obecnie najczęściej wzmacnianie prowadzone jest przy wykorzystaniu różnych systemów z kompozytów FRP [7].

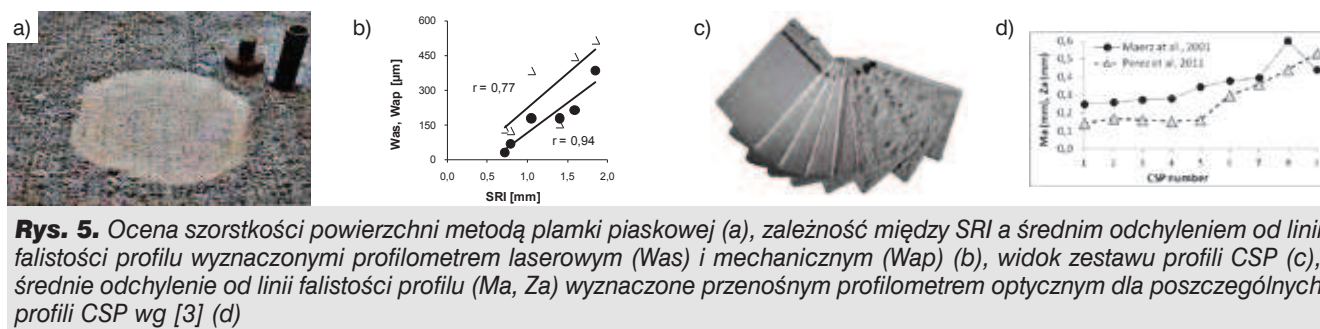
3. Wyznaczniki skutecznej naprawy

Właściwy dobór materiału do napraw konstrukcji betonowych jest jednym z najważniejszych czynników decydujących o jej skuteczności i trwałości. Podstawowym kryterium doboru jest zapewnienie dobrej współpracy wszystkich komponentów układu naprawczego [5]. Wymagania kompatybilności dotyczą nie

tylko cech fizykomechanicznych (głównie te są ujęte w normie PN-EN 1504), ale również: kompatybilności chemicznej, elektrochemicznej oraz kompatybilności cech barierowych, przede wszystkim przepuszczalności dwutlenku węgla i pary wodnej [5]. Prowadzi to zwykle do konieczności analizy wielowymiarowej przestrzeni dobrej współpracy. Służą do tego programy do wyznaczania przestrzeni kompatybilności (rys. 2) dla wybranych typów układów naprawczych [8]. Celem jest zapewnienie skuteczności napraw. Wiele nieskutecznych napraw jest wynikiem braku kompatybilności materiału naprawczego z podłożem. Może on być spowodowany zbyt dużym skurczem materiału naprawczego, a także różnicami we właściwościach cieplnych materiału naprawczego i podłoża. Zgodnie z normą PN-EN 1504 kompatybilność cieplna powinna być określana w przypadku powłok ochronnych, zapraw naprawczych materiałów łączących i materiałów iniekcyjnych. W USA i Kanadzie stosuje się często eksperymentalną weryfikację kompatybilności, najczęściej w warunkach rzeczywistych na placu budowy (rys. 3). Na przykład Bissonnette i inni [9] zaproponowali metodę obliczania wskaźnika kompatybilności CI na podstawie wyników testu pierścieniowego („ring” test). Na wartość CI największy wpływ ma skurcz utwardzania i podatność do pęcznienia. W przypadku wzmacniania konstrukcji w zakresie technologicznym i materiałowym wiele zagadnień jest wspólnych. Należy do nich zwłaszcza odpowiednia wytrzymałość podłoża (rys. 4) oraz zapewnienie właściwego zespolenia elementu



Rys. 4. Wpływ jakości podkładu betonowego na kształt podprzestrzeni kompatybilności dla wzmacniania konstrukcji betonowych kompozytami FRP wyznaczony za pomocą programu ANCOMP ([8]). Podprzestrzeń kompatybilności zdefiniowana przez: szerokość taśmy w_p , wydłużenie przy zerwaniu zaprawy klejącej P_a i współczynnik wzmacnienia λ . Ze wzrostem wytrzymałości betonu na ściskanie z 25 MPa do 45 MPa zwiększa się przestrzeń kompatybilności i występuje przejście ze stanu niekompatybilności (a) w stan kompatybilności (b)



Rys. 5. Ocena szorstkości powierzchni metodą płamki piaskowej (a), zależność między SRI a średnim odchyleniem od linii falistości profilu wyznaczonymi profilometrem laserowym (Was) i mechanicznym (Wap) (b), widok zestawu profili CSP (c), średnie odchylenie od linii falistości profilu (M_a , Z_a) wyznaczone przenośnym profilometrem optycznym dla poszczególnych profili CSP wg [3] (d)

wzmacnianego (naprawianego) z materiałem wzmacniającym (naprawczym).

Spełnienie warunków dobrej współpracy (dobór materiału o odpowiednich cechach technicznych) jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym, aby naprawa była skuteczna. Zapewnienie odpowiedniej przyczepności między poszczególnymi elementami układu naprawczego zwiększa tolerancję na niedostosowanie właściwości fizykomechanicznych podkładu betonowego i obecnie stosowanych materiałów naprawczych, a także na rozrzut ich wartości. Do najważniejszych czynników wpływających na przyczepność można zaliczyć [2, 4]:

- 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 cieplna, moduł sprężystości, pęcznienie),
- zmiany temperatury podczas użytkowania wywołujące zmiany właściwości materiałów i powodujące powstawanie naprężeń w obszarze przejściowym pomiędzy warstwami.

Dążenie do uzyskania możliwie największej przyczepności między materiałem naprawczym a podkładem betonowym [10] znajduje odzwierciedlenie zarówno we wspomnianej normie EN 1504-10, jak i w wytycznych producentów

systemów naprawczych – odnośnie przygotowania podkładu betonowego przed nakładaniem materiału naprawczego jako procesu zapewniającego spełnienie podstawowego wymagania, jakim jest „osiągnięcie wymaganego stanu podłoża w zakresie czystości, szorstkości, zarysowania, wytrzymałości na rozciąganie i ściskanie, zanieczyszczenia chlorkami lub innymi szkodliwymi substancjami i głębokości ich wniknięcia, głębokości karbonatyzacji, zawilgocenia, temperatury i stopnia skorodowania zbrojenia”. Norma PN-EN 1504-10 w części dotyczącej uszorstnienia zamieszcza dodatkowe wymaganie dotyczące określenia tekstury uszorstnionej powierzchni, która powinna być odpowiednia dla stosowanych wyrobów i systemów. Przywołuje ona dwie metody oznaczania szorstkości powierzchni – profilometrię i metodę piaskową (rys. 5a,b). W USA i Kanadzie do oceny uszorstnienia powierzchni wykorzystuje się 9 wzorców porównawczych (rys. 5c,d), tzw. profile CSP, opracowanych przez International Concrete Repair Institute [4]. Rodzaj zastosowanej obróbki powierzchniowej wpływa nie tylko na stopień schropowacenia podkładu, ale powoduje również powstawanie rys (rys. 6a–c). 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 kształtujący przyczepność w układach naprawczych.



Przy stosowaniu cementowych lub polimerowych wyrobów i systemów naprawczych można rozważać użycie środka gruntującego poprawiającego przyczepność. Środki gruntujące wzmacniają podłoże betonowe, wiążą luźne fragmenty powierzchni podłoża, a także zmniejszają prawdopodobieństwo powstawania pustek powietrznych wskutek migracji wody z mieszanki (rys. 7a). Stosowanie warstwy szczepnej wypełnia nierówności powierzchni i zwiększa adhezję mechaniczną (mechaniczne klinowanie). Dodatkowo zmniejsza ona skutki stosowania agresywnych obróbek wypełniając większe pęknięcia i wiążąc fragmenty betonu luźno związane z podkładem (rys. 7b). Należy jednak pamiętać, że zastosowanie warstwy łączącej może pogorszyć przyczepność, jeśli warstwa ta zwiąże przed nałożeniem kolejnych materiałów. Stosując cementowe wyroby i systemy naprawcze bez środka gruntującego poprawiającego przyczepność, należy pamiętać o wstępnym zwilżeniu powierzchni. Badania pokazują, że wysuszenie podkładu powoduje obniżenie przyczepności wyrobów cementowych i polimerowo-cementowych (rys. 7c).

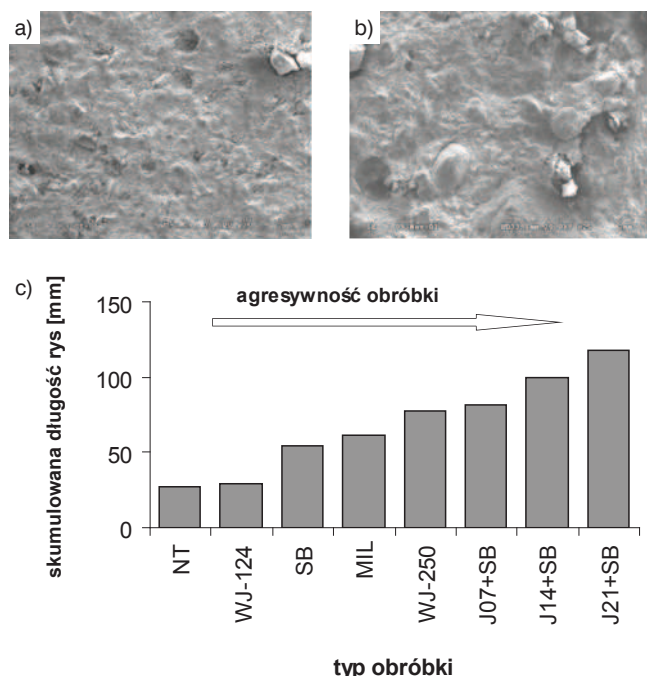
Obniżenie przyczepności można również zaobserwować w przypadku obecności wody w porach i zagłębieniach warstwy powierzchniowej. Nie należy więc dopuszczać do wyschnięcia powierzchni przed nakładaniem stosowanych wyrobów i systemów. Jednakże powierzchniowe pory i zagłębienia nie powinny zawierać wody w czasie nakładania materiału, gdyż może to zmniejszyć przyczepność. Zwilżenie podłoża ma również zapobiegać przemieszczaniu się wody z wyrobu naprawczego do podłoża, co jest szkodliwe

z punktu widzenia jego hydratacji. Powyższe rozważania potwierdzają kluczową rolę przygotowania podłoża oraz doboru materiału do danych warunków stosowania. Dlatego zgodnie z PN-EN 1504-10, najistotniejszym etapem kontroli jakości jest określenie stanu podłoża przed lub po jego przygotowaniu oraz warunków podczas stosowania wyrobów, gdyż są to czynniki wpływające na właściwości końcowe w stanie utwardzonym oraz jakość zespolenia materiału naprawczego z podłożem.

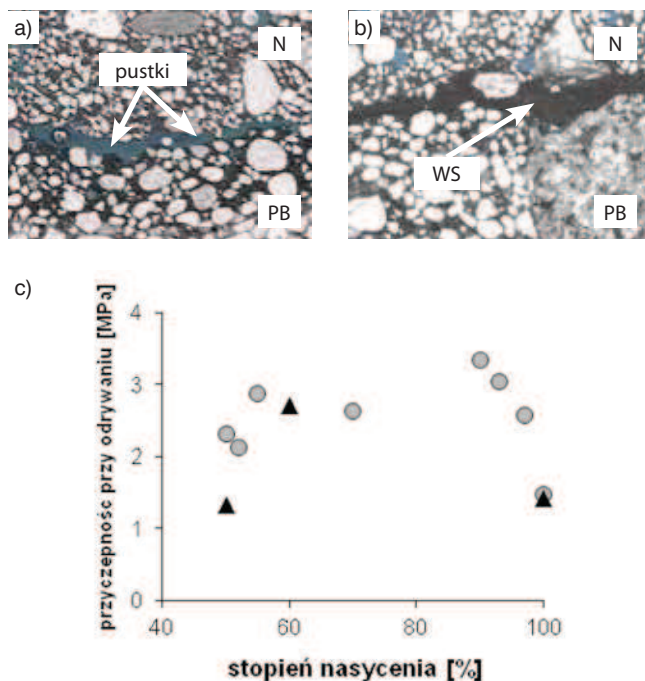
4. Metoda naprawy a strategia naprawy

Norma PN-EN 1504 porządkuje ogólną wiedzę i zebrane doświadczenia praktyczne w zakresie napraw konstrukcji betonowych. Zgodnie z normą utrzymanie lub przywrócenie bezpieczeństwa naprawianej konstrukcji jest najważniejszym wymaganiem w strategii zarządzania konstrukcją (rys. 8). Wyboru strategii zarządzania konstrukcją dokonuje się nie tylko na gruncie technicznym, ale także biorąc pod uwagę czynniki ekonomiczne, funkcjonalne i środowiskowe, a przede wszystkim wymagania właściciela konstrukcji dotyczące projektu i czasu użytkowania konstrukcji oraz możliwości konserwacji i naprawy.

Dobierając sposób technicznej realizacji (metodę) naprawy i/lub ochrony konstrukcji, należy porównać korzyści techniczne i względne koszty. Właściwy wybór zależy między innymi od kosztów naprawy, rozłożenia w czasie kosztów utrzymania i konserwacji w okresie użytkowania, po naprawie ewentualnych ograniczeń w zakresie obciążeń, ryzyka



Rys. 6. Przykłady powierzchni betonu po: a) piaskowaniu oraz b) frezowaniu; c) głębokość oddziaływania obróbki ze wzrostem jej agresywności w przypadku betonu C40/50; NT – bez obróbki; WJ – lanca wodna – ciśnienie 124 MPa; SB – piaskowanie; MIL – frezowanie; WJ-250 – lanca wodna (250 MPa); J+SB – obróbka młotem pneumatycznym o ciężarze 7,14,21 kg + piaskowanie

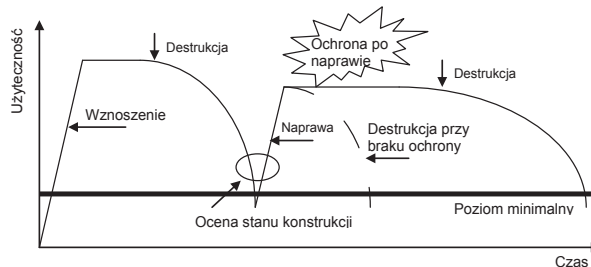


Rys. 7. Widok płaszczyzn zespolenia po naprawie: a) materiał naprawczy (N) nałożony bez warstwy szczepnej i b) z warstwą szczepną (WS) na podkład betonowy (PB) po frezowaniu, c) wpływ stopnia nasycenia podkładu betonowego wodą na przyczepność zapraw PCC wg [10]



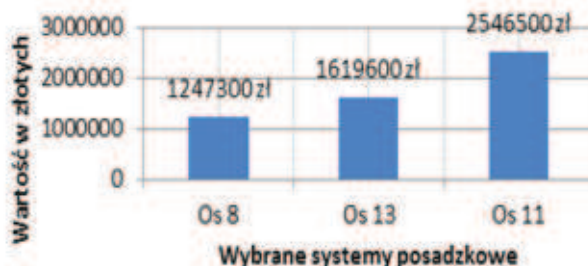
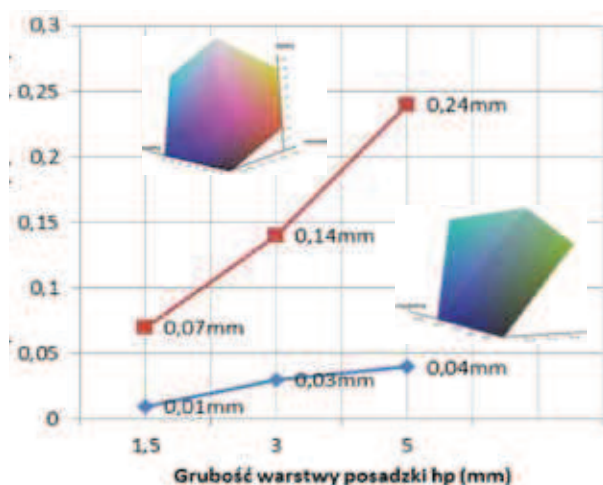
wystąpienia dalszych uszkodzeń itp. (te same względy będą towarzyszyły uszczegółowieniu decyzji o naprawie). Przesuwanie odpowiednich działań służących zapewnieniu trwałości na kolejne stadia użytkowania/degradacji obiektu powoduje wykładniczy wzrost kosztów. Zarządzający obiektami często świadomie wybierają bardziej ekonomiczne systemy, licząc się z kosztami przyszłych napraw. Przykładem mogą być posadzki przemysłowe (ochrona powierzchniowa) w parkingach wielopoziomowych ze stropami wykonanymi ze sprężonych elementów prefabrykowanych. Po pewnym czasie nadbeton ułożony na płytach prefabrykowanych ulegał spękaniu, a wraz z nim posadzka epoksydowa (system OS8). Istnieje poliuretanowy system posadzkowy (OS11 i OS 13), który byłby w stanie przenosić powstałe rysy. Oszacowany koszt wykonywania poszczególnych systemów OS wskazuje, że wykonanie OS13 jest droższe o ok. 40%, a OS11 o 100% od OS8 (rys. 9). Z tego względu inwestorzy często decydują się na zastosowanie tańszego systemu OS8, mając świadomość konieczności wykonywania napraw w przypadku wystąpienia uszkodzeń, przede wszystkim zarysowania posadzki. Oszacowano też, że za „zaoszczędzone” na systemie OS11 kwoty można naprawić aż ok. 8 km rys w posadzce z systemem OS8. Tego rodzaju postępowanie wpisuje się w strategię zarządzania konstrukcją przewidzianą w normie PN-EN 1504-9.

Najczęściej do realizacji danej zasady naprawy dobrane są „klasyczne” metody napraw, tak jak to ujęto w normie PN-EN 1504 (por. tab. 2), np. zapewnienie odporności na czynniki chemiczne wymaga nałożenia powłoki odpowiedniej do warunków podczas użytkowania; po usunięciu zubożonego i/lub skażonego betonu konieczne jest odbudowanie elementu przez nałożenie zaprawy lub betonu. Metody napraw ujęte w normie mogą być stosowane w nietypowym zakresie, często wynikającym z uwarunkowań pozatechnicznych. Jako przykład można podać zastosowanie metody głębokiej impregnacji elementów wiaduktów na autostradzie w Niemczech (rys. 10a) jako alternatywy dla typowej naprawy polegającej na usunięciu zubożonego

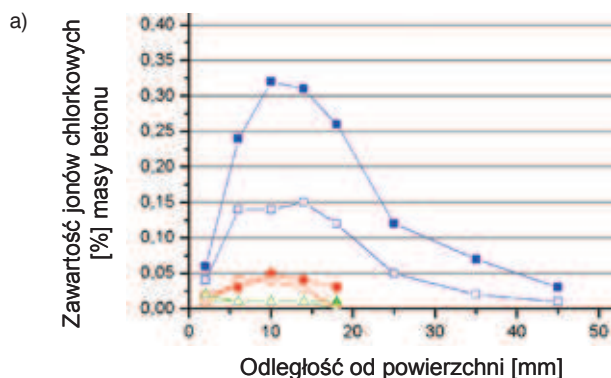


Rys. 8. Cykle naprawcze przy różnych strategiach zarządzania konstrukcją wg [5]

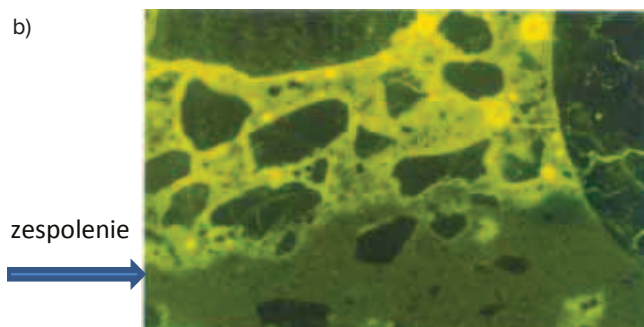
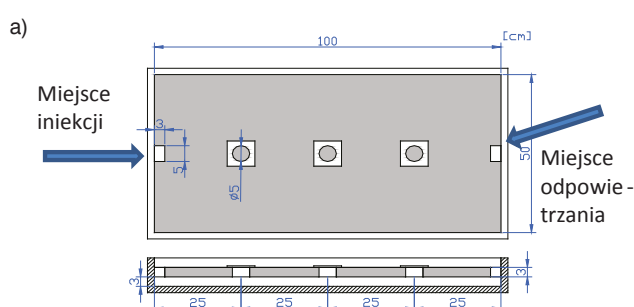
betonu, oczyszczeniu podłoża i zbrojenia stalowego, nałożeniu warstwy ochronnej na zbrojenie, a następnie nałożeniu betonu natryskowego (zasada naprawy – odbudowa elementu wg PN-EN 1504). W przypadku elementów, które zawierają niewielką ilość jonów chlorkowych i ułożonych stosunkowo blisko powierzchni (rys. 10b) założono, że głęboka impregnacja znacznie spowolni procesy niszczenia żelbetu, a jej zastosowanie pozwoli obniżyć koszty naprawy, a przede wszystkim niekorzystny wpływ na środowisko. Przykładem ciekawej nietypowej metody naprawy jest próba zastosowania iniekcji zaprawy samozagęszczalnej do naprawy balkonów, płyt mostów w Belgii (rys. 11). Ta koncepcja była wynikiem poszukiwania metod alternatywnych w odniesieniu do typowego sposobu naprawy, tj. zastosowania betonu natryskowego, ze względu na obawy o zanieczyszczenie środowiska (np. rzeki) podczas operacji natryskiwania. Analiza kosztów wykazała, że zastosowanie zaprawy SCC będzie tańsze niż betonu natryskowego. Przeprowadzone badania na Uniwersytecie w Liege pozwoliły na dobór składu zaprawy zapewniający uzyskanie dobrej jakości zespolenia. Największym wyzwaniem jest zapewnienie właściwego odpowiedzenia mieszanki.



Rys. 9. Oszacowanie zdolności do przenoszenia rys przez posadzkę za pomocą programu do analizy kompatybilności ANCOMP (a); koszty wykonania posadzek w systemach OS 8, OS 13, OS 11 w przeliczeniu na 10000 m² powierzchni (wielkość przeciętnej parkingu) [11] (b)



Rys. 10. Rozkład zawartości jonów chlorkowych w elemencie żelbetowym (a), proces impregnacji (b)



Rys. 11. Przykład do naprawy spodniej powierzchni elementu metodą iniekcji zaprawy samozagęszczalnej od góry (a) i widok zespolenia zaprawy z podłożem (b)

5. Podsumowanie

Norma PN-EN 1504 porządkuje zagadnienia związane ze stosowaniem materiałów i systemów do napraw i ochrony konstrukcji betonowych. Między innymi określono w niej najważniejsze etapy procesu naprawy: ocenę stanu konstrukcji, określenie przyczyn uszkodzenia, dobór właściwej zasady (zasad) ochrony i naprawy, wybór metod, określenie wymaganych właściwości wyrobów i systemów, specyfikację wymagań dotyczących konserwacji po wykonaniu ochrony i naprawy. Obecnie największe możliwości zwiększenia ekonomiczności i skuteczności napraw stwarza szybko zwiększająca się gama nowoczesnych, często innowacyjnych, wyrobów i systemów do napraw. Wiele z nich charakteryzuje się lepszymi właściwościami technologicznymi, ułatwiającymi ich stosowanie na budowie i mniejszą wrażliwością na jakość podłoża, a także warunki otoczenia podczas stosowania. Można wymienić tu: zaprawy bezskurczowe, zaprawy o regulowanym czasie utwardzania, zaprawy samozagęszczalne, zaprawy z inhibitorami korozji, zaprawy polimerowe o obniżonej wrażliwości na wilgoć w podłożu. Często modyfikacja składu pozwala na uzyskanie dodatkowych funkcji użytkowych, np. powłoki samoczyszczące czy antybakteryjne.

Kolejnym wyzwaniem, przed jakim stoją producenci wyrobów do napraw, jest naprawa konstrukcji wykonanych z betonów wyższych klas wytrzymałości. Będzie to też wymagało doboru odpowiedniej metody naprawy i spełnienia często odmiennych wymagań niż te ujęte w normie

PN-EN 1504. We wszystkich przypadkach kluczowym zagadnieniem będzie zapewnienie kompatybilności materiału naprawy z podłożem oraz odpowiedniej przyczepności.

Referat był wygłoszony na III Konferencji TECH-BUD'2017.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jackiewicz-Rek W., Mroczek M., Fotobeton jako sposób urozmaicenia formy architektonicznej budowli, *Materiały Budowlane* 12/2014
- [2] Jackiewicz-Rek W., Woyciechowski P., Pielęgnacja – klucz do zapewnienia trwałości betonu w konstrukcji, *Budownictwo, Technologie, Architektura* 3/2012
- [3] Bissonnette B., Courard I., Garbacz A., *Concrete Surface Engineering*, CRC Press Taylor & Francis Group, str. 254, 2015
- [4] Czarnecki L., Łukowski P., Garbacz A., *Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, str. 271, 2017
- [5] Czarnecki L., Emmons P. H., *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*, Polski Cement 2003
- [6] Czarnecki L., *Naprawy elektrochemiczne*, *Materiały Budowlane* 8/2001
- [7] Paśko P., Piątek B., Siwowski T., *Badania zakotwień w systemie wzmacniania konstrukcji sprężonymi taśmami CFRP*, *Budownictwo i Architektura* 3/2014
- [8] Głodkowska W., Garbacz A., *Wielokryterialna analiza dobrej współpracy w doborze materiałów do naprawy konstrukcji betonowych*, *Materiały Budowlane* 2/2014
- [9] Bissonnette B. i in., *Quantitative approaches to concrete repair compatibility*, *Materiały Budowlane*, 6/2017
- [10] Garbacz A., *Znaczenie przygotowania powierzchni betonu dla zapewnienia skuteczności napraw*, *Materiały Budowlane* 9/2013
- [11] Garbacz A., Chmielewska B., Sobociński P., *Posadzki żywiczne w parkingach*, *Materiały Budowlane* 8/2018