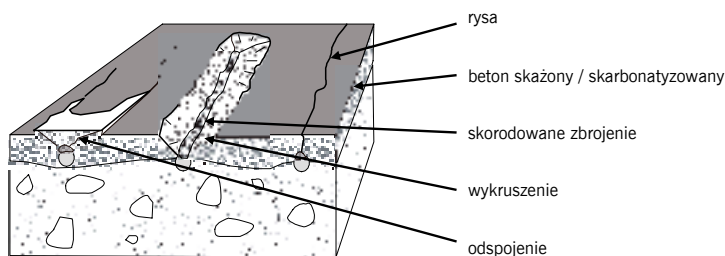


Naprawy i ochrona konstrukcji betonowych w świetle norm europejskich

1. Wprowadzenie

Budowla, której zdolność do prawidłowego spełnienia założonych funkcji uległa pogorszeniu, wymaga przeprowadzenia naprawy. Oznacza to zbiór działań mających na celu przywrócenie obiektowi właściwego stanu użytkowania. Jeżeli konieczne jest odtworzenie całkowicie lub w znacznym stopniu zniszczonego obiektu, mamy do czynienia z rekonstrukcją. Przystosowanie konstrukcji do nowych warunków użytkowania wymaga modernizacji, a w przypadku zwiększonych obciążeń – wzmocnienia. W celu poprawy trwałości konstrukcji stosuje się ochronę antykorozyjną [1].



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie uszkodzeń żelbetu wg [1]

Beton jest materiałem względnie taniem w konstrukcji, ale nie wiecznotrwałym, a jego naprawa lub wymiana podczas użytkowania obiektu jest kosztowna. Trwałość obiektów budowlanych została wpisana do wymagań podstawowych dyrektywy europejskiej 89/106/ECC [2] i jest traktowana jako ważny element zrównoważonego rozwoju w budownictwie. W europejskiej normie EN 206-1 [3] sformułowano wymagania dotyczące trwałości betonu, a w EN-1992-1-1 Eurocode 2 [4] ogólne wymagania trwałości konstrukcji żelbetonowych. Naprawom elementów i konstrukcji żelbetonowych poświęcona jest wdrażana do stosowania od kilku lat obszerna seria norm europejskich EN 1504 (dziesięć części).

2. Objawy i przyczyny uszkodzeń

Podstawowe rodzaje uszkodzeń betonu (rys. 1) to spękania i ubytki. W odniesieniu do rys ważne jest położenie wobec zbrojenia, a także szerokość, długość i głębokość (rysa skrośna lub powierzchniowa). Ubytki betonu mogą być powierzchniowe, o znaczeniu głównie estetycznym, lub głębokie – potencjalnie sięgające strefy zbrojenia. Ponadto wyróżnia się:

- wady złączy, tzn. uszkodzenia występujące na styku warstw betonu układanego w różnym

czasie lub w miejscu celowo wprowadzonego podziału: wykruszenia i wyłamania krawędzi, a także wady materiału wypełniającego złączy (brak przyczepności pęknięcia itp.)

- uszkodzenia powierzchni: pylenie w wyniku niedostatecznej odporności na ścieranie (w skrajnym przypadku – powierzchniowa dezintegracja), przebarwienia, złuszczenia, lokalne kawerny i odpryski
- wady struktury materiału: segregacja, skupiska ziaren kruszywa, lokalnych pustek lub obszarów niedostatecznie zagęszczonych („struktura plastra miodu”, „raki”)
- deformacje kształtu, zwłaszcza ugięcia i zwichrowania.

Pierwotnymi przyczynami występowania uszkodzeń mogą być błędy projektowe (w tym nietrafny dobór rozwiązania materiałowo-technologicznego), wykonawcze i eksploatacyjne (niewłaściwe warunki użytkowania, brak właściwej konserwacji itp.). Przyczyną bezpośrednią jest przekroczenie naprężeń granicznych.

Materiał w konstrukcji podlega działaniu czynników korozyjnych o charakterze chemicznym, biologicznym, mechanicznym i innym fizycznym (rys. 2). Rozróżnia się [5] oddziaływania bezpośrednie (np. obciążenia użytkowe, ciężar własny, śnieg, wiatr) i pośrednie (np. ciepło-wilgotnościowe, skurcz, osiadanie budowli). W zależności od czasu trwania i sposobu działania rozróżnia się oddziaływania stałe, zmienne i wyjątkowe.

Destrukcyjne oddziaływanie środowiska na materiał, prowadzące do obniżenia jego właściwości użytkowych, definiuje się jako korozję. W normie PN-EN 206-1 rozróżnia się podstawowe klasy środowiskowe ze względu na zagrożenia wobec betonu. Jak wykazuje doświadczenie, najczęstszymi przyczynami niszczenia obiektów betonowych w Polsce są [7]:

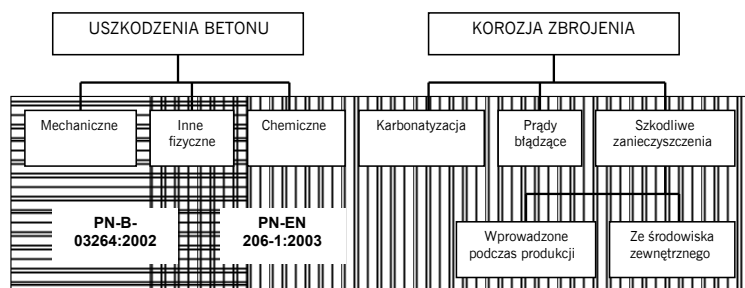
- korozja mrozowa, następująca w wyniku powtarzającego się zamrażania i rozmrażania wody w porach betonu, zwłaszcza w połączeniu z oddziaływaniem środków odładzających
- skażenie betonu i w jego wyniku korozja chemiczna (np. korozja siarczanowa, kwasowa itp.) betonu lub zbrojenia
- utrata zdolności ochronnych otuliny betonowej wobec zbrojenia w wyniku procesów karbonatyzacji – zubożnienia betonu lub uszkodzeń mechanicznych.

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

3. Naprawy w świetle norm europejskich

Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) opracował serię 10 norm pod ogólnym tytułem „Products and systems for the protection and repair of concrete structure” – „Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji z betonu” (tabl. 1). Normy

Rys. 2. Podstawowe przyczyny uszkodzeń konstrukcji żelbetonowych z zaznaczeniem obszaru oddziaływań objętych zakresem PN-EN 206-1 i PN-B-03264 [6]



te odnoszą się do materiałów stosowanych praktycznie we wszystkich etapach naprawy i ochrony konstrukcji betonowych (rys. 3).

Zgodnie z normą EN 1504-3 wyróżnia się, w zależności od rodzaju i zakresu naprawianych uszkodzeń:

- naprawy niekonstrukcyjne (powierzchniowe, kosmetyczne), których celem jest przywrócenie kształtu i estetyki obiektu – reprofilacja. Naprawy powierzchniowe mogą obejmować zarówno elementy nośne, jak i nienośne, ale bez ingerencji w ich pracę statyczną. Naprawy niekonstrukcyjne wiążą się często z poprawą niektórych funkcji elementu, na przykład zwiększeniem szczelności w celu lepszej ochrony zbrojenia;
- naprawy konstrukcyjne, obejmujące elementy nośne obiektu i związane z ingerencją w ich pracę statyczną. Celem jest poprawa nośności elementu; należą tu między innymi iniekcje scalające i wypełniające rysy, częściowa wymiana i uzupełnienie zbrojenia oraz uzupełnianie ubytków w strefie zbrojenia.

W normie EN 1504-9 sformułowano sześć zasad (tabl. 2) dotyczących naprawy betonu i pięć zasad (tabl. 3) ochrony zbrojenia. Zasadom przyporządkowano odpowiednie metody technicznej realizacji.

W normie EN 1504-10 zestawiono metody napraw i ochrony konstrukcji przed korozją, odnosząc je do zasad naprawy i ochrony, sformułowanych w EN 1504-9. Dla każdej metody podano zestaw cech wraz z wymaganiami, które powinny być sprawdzone, aby zapewnić właściwy przebieg robót (podłoże, materiały i otoczenie). Kontrola jakości prac, w tym warunków, w jakich prowadzi się naprawę, obejmuje łącznie badania 45 cech (podłoże, materiały, otoczenie). Zakres badań uzależniony jest od zasady, której przyporządkowana jest metoda naprawy lub ochrony. Na ogół są to proste próby przeprowadzane na placu budowy; w 18 przypadkach metoda badania polega na wizualnym sprawdzeniu danej cechy. W komentarzach do norm [8] podkreśla się zwłaszcza znaczenie przyczepności do podłoża i międzywarstwowej jako warunku powodzenia naprawy.

W normach z serii EN 1504, zwłaszcza w EN 1504-9, określono etapy naprawy oraz czynniki, jakie powinny być brane pod uwagę w poszczególnych fazach realizacji przedsięwzięcia (rys. 4).

4. Ochrona przed korozją

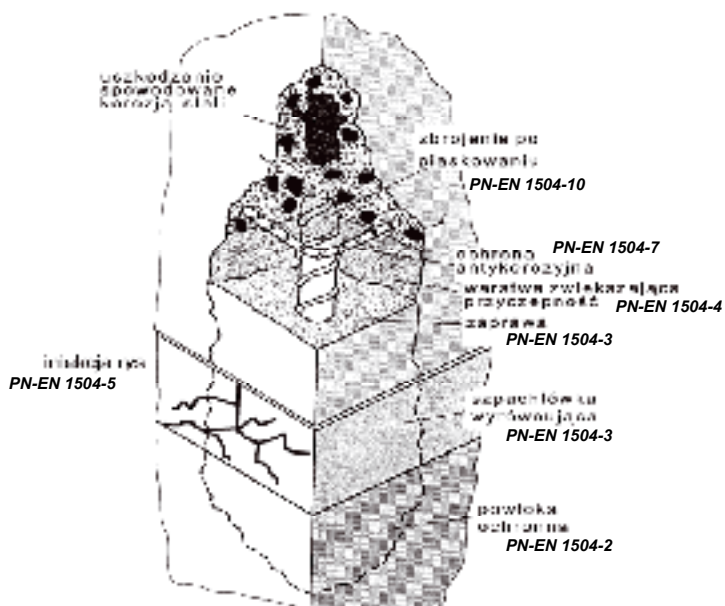
Konstrukcja po naprawie jest nadal narażona na oddziaływanie środowiska. W warunkach zagrożenia chemicznego regułą jest, iż po naprawie cały element chroni się powierzchniowo w celu zapewnienia odpowiedniego czasu użytkowania po naprawie (rys. 5).

Sposoby ochrony konstrukcji betonowych przed korozją i zasady ich doboru są przedmiotem zestawu polskich norm pod ogólnym tytułem „Antykorozyjne zabezpieczenia w budownictwie. Konstrukcje betonowe i żelbetowe”. Zbiór ten obejmuje m.in.:

- PN-82/B-01801 Podstawowe zasady projektowania
- PN-86/B-01802 Nazwy i określenia
- PN-85/B-01805 Ogólne zasady ochrony
- PN-88/B-01808 Zasady określania uszkodzeń powłok ochronnych

Tablica 1. Normy europejskie z serii EN 1504

Numer EN	Tytuł	Rok wprowadzenia do stosowania w Polsce
1504-1	Definicje, wymagania, kontrola jakości i ocena zgodności	2000, nowelizacja 2006
1504-2	Systemy ochrony powierzchniowej betonu	2006
1504-3	Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne	2006
1504-4	Łączenie konstrukcyjne	2006
1504-5	Iniekcja betonu	2006
1504-6	Kotwienie stalowych prętów zbrojeniowych	2007
1504-7	Ochrona zbrojenia przed korozją	2007
1504-8	Sterowanie jakością i ocena zgodności	2006
1504-9	Ogólne zasady stosowania wyrobów i systemów	w trakcie zatwierdzania
1504-10	Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz kontrola jakości prac	2005, nowelizacja 2006



- PN-86/B-01811 Ochrona materiałowo-strukturalna: wymagania
- PN-91/B-01813 Ochrona powierzchniowa dla silnego stopnia agresywności środowiska: zasady doboru.

Rys. 3. Naprawa elementu żelbetowego wg [1] z przypisaniem odpowiednich części normy PN-EN 1504

Zgodnie z tymi normami, w celu przeciwdziałania niszczeniu konstrukcji budowlanych w wyniku korozji stosuje się (tabl. 4):

- ochronę konstrukcyjną przez odpowiednie ukształtowanie konstrukcji, zmniejszające agresywne oddziaływanie środowiska
- ochronę materiałowo-strukturalną, czyli zwiększenie

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

Oznaczenie	Zasada	Metoda
PI	Ochrona przed wnikaniem (Protection against Ingress)	– impregnacja – iniekcja – powłoki ochronne
MC	Ograniczenie zawilgocenia (Moisture Control)	– impregnacja/hydrofobizacja/uszczelnianie – powłoki ochronne (osłony/okładziny) – ochrona elektrochemiczna
CR	Odbudowanie elementu (Concrete Restoration)	– betony i zaprawy – betony natryskowe – częściowa wymiana
SS	Wzmacnianie konstrukcji (Structural Strengthening)	– iniekcja – dodatkowe pręty, płyty, taśmy – zwiększenie przekroju – sprężanie
PR	Odporność na czynniki fizyczne (Physical Resistance)	– impregnacja – powłoki ochronne
RC	Odporność na czynniki chemiczne (Resistance to Chemicals)	– impregnacja – powłoki ochronne

Tablica 3. Zasady i metody dotyczące ochrony zbrojenia według EN 1504-9

Oznaczenie	Zasada	Metoda
RP	Utrzymanie lub przywrócenie stanu pasywnego stali zbrojeniowej (Preserving or Restoring Passivity)	– zwiększenie grubości otuliny – wymiana betonu – realkalizacja (elektrochemicznie) – usunięcie chlorków
IR	Podwyższenie oporności elektrycznej otuliny betonowej (Increasing Resistivity)	– ograniczenie zawilgocenia – impregnacja / uszczelnianie – powłoki ochronne (okładziny)
CC	Kontrola obszarów katodowych (Cathodic Control)	– ograniczenie dostępu tlenu – powłoki ochronne
CP	Ochrona katodowa (Cathodic Protection)	– zewnętrzne źródło prądu
CA	Kontrola obszarów anodowych (Control of Anodic Areas)	– powłoki na zbrojeniu – inhibitory korozji



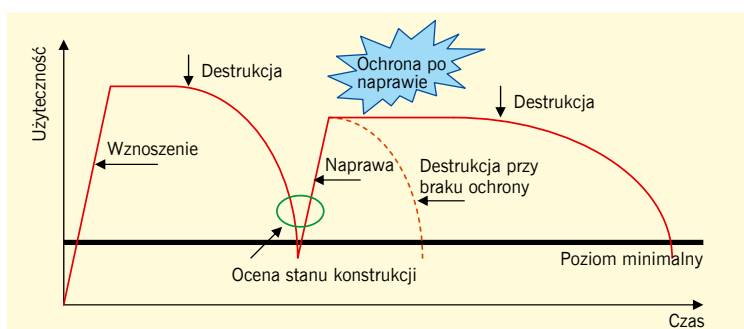
Rys. 4. Etapy naprawy wg EN 1504-9 z przypisaniem elementów szczególnie istotnych

– zwiększenie odporności materiału na działanie agresywnych środowisk przez odpowiedni dobór składu i struktury materiałów

– ochronę powierzchniową, czyli zwiększenie odporności konstrukcji przez ograniczenie (środowisko średnio agresywne) lub odcięcie (środowisko silnie agresywne) dostępu środowiska agresywnego.

Ochrona konstrukcyjna polega na właściwym ukształtowaniu konstrukcji. Obejmuje ona projektowanie konstrukcji o najprostszych kształtach, tak aby powierzchnia betonu narażona na działanie czynników korozyjnych była jak najmniejsza, bez miejsc, w których mogłyby się zbierać agresywne

Rys. 5. Czas użytkowania przy zastosowaniu ochrony powierzchniowej [1]



Tablica 4. Rodzaje ochrony konstrukcji przed korozją w zależności od agresywności środowiska (zaczernienie oznacza konieczność stosowania danego rodzaju ochrony)

Ochrona	Stopień agresywności środowiska wg PN-EN 206-1		
	słaby, I _s	średni, m _s	silny, h _s
Konstrukcyjna			
Materiałowo-strukturalna			
Powierzchniowa ograniczająca			
Powierzchniowa odcinająca			

pyły, ciecze lub opary. W obiektach narażonych na działanie agresywnych środowisk schemat statyczny i układ konstrukcyjny powinny być dobrane w taki sposób, żeby ewentualne uszkodzenia korozyjne poszczególnych elementów nie powodowały zniszczenia obiektu. Należy również zapewnić możliwość wymiany elementów najbardziej narażonych na korozję; w rozwiązaniu konstrukcyjnym należy unikać miejsc trudno dostępnych.

Ochrona materiałowo-strukturalna obejmuje:

- dobór materiałów o możliwie największej odporności na działanie środowiska
- kształtowanie struktury utrudniającej wnikanie agresywnych substancji z otoczenia.

Ochrona materiałowo-strukturalna obiektów remontowanych polega na przywróceniu właściwego poziomu cech użytkowych betonu lub na ich poprawie, w tym zwłaszcza właściwości ochronnych betonu wobec stali zbrojeniowej. Cele te realizuje się przez naprawę podłoża betonowego, w szczególności stosując:

- iniekcję rys i pęknięć otuliny betonowej
- impregnację betonu
- uzupełnienie ubytków betonu
- zabezpieczenie zbrojenia.

Systemy zabezpieczeń powierzchniowych betonu omawiane są w EN 1504-2. W normie tej rozważa się trzy metody ochrony powierzchniowej: impregnację hydrofobizującą, impregnację i nakładanie powłok (rys. 6).

Impregnacja polega na nasycaniu betonu preparatem poprawiającym niektóre jego właściwości, zwłaszcza odporność na wilgoć, szczelność i wytrzymałość mechaniczną w strefie przypowierzchniowej. Jeśli zamierzony efekt impregnacji ogranicza się do zwiększenia odporności powierzchni betonu na wnikanie wody (co osiąga się dzięki zmniejszeniu zwilżalności powierzchni betonowej), mówimy o hydrofobizacji.

Stosowanie powłok (o grubości do 2 mm), wypraw (o grubości od 1 do 10 mm) i wykładzin (warstwy sztywnych płyt przyklejonych do podłoża) ma na celu ochronę konstrukcji przed niekorzystnym działaniem czynników zewnętrznych, takich jak woda, zmienne działanie ujemnych i dodatnich temperatur, dwutlenek węgla i inne agresywne czynniki chemiczne (chlorki, siarczany itp.). Systemy ochrony powierzchniowej o szczególnych właściwościach (duża chemoodporność, odporność na uderzenia, wysoki stopień wodoszczelności) określa się jako powłoki lub wyprawy specjalne.

5. Zasady doboru materiałów do napraw i ochrony

Dobór materiałów do naprawy jest jedną z podstawowych decyzji warunkujących jej powodzenie. Duża liczba i różnorodność oferowanych rozwiązań materiałowych powoduje, że nierzadko występuje tu „kłopot bogactwa”. O przydatności materiału naprawczego decyduje wiele czynników, w tym:

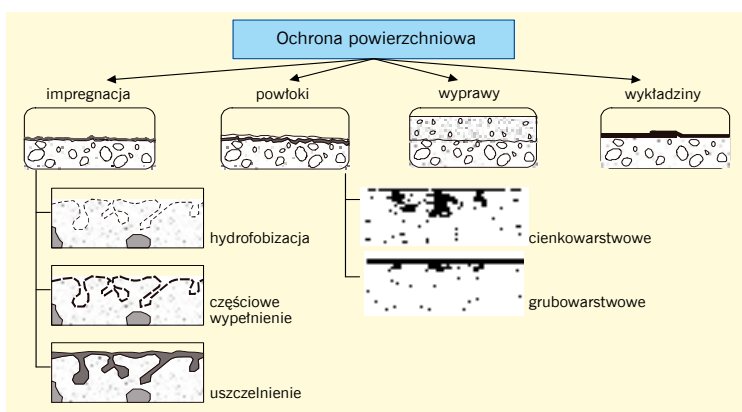
- łatwość stosowania (cechy technologiczne)
- skuteczność naprawy (cechy użytkowe)
- trwałość naprawy.

W EN 1504-1 przydatność jest definiowana jako „zapewnienie skutecznej i trwałej naprawy lub ochrony bez niepożądanych efektów wobec naprawianej konstrukcji, innych konstrukcji, wykonawców, użytkowników, osób trzecich i środowiska”.

Wymagania przydatności materiału obejmują cechy chemiczne, mechaniczne i inne fizyczne konieczne dla zapewnienia trwałości i stabilności naprawianego betonu i całej konstrukcji.

Właściwy dobór materiałów naprawczych powinien przede wszystkim uwzględniać konieczność zapewnienia dobrej współpracy elementów układu naprawianego. Zasadę kompatybilności można sformułować [5] jako taki dobór elementów układu naprawianego, aby zapewniał on nieprzekroczenie dopuszczalnych naprężeń i/lub odkształceń w żadnej części układu, w przewidywanym czasie i warunkach użytkowania.

W celu skutecznej naprawy powinno być spełnione równocześnie wiele różnych warunków kompatybilności. Prowadzi to do wielowymiarowej przestrzeni dobrej współpracy (rys. 7). W celu oszacowania kompatybilności różnych układów „podkład betonowy – materiał naprawczy” można stosować np. specjalnie opracowany program komputerowy „Compatibility Computer System CCS 1.3” [9]. Podstawowym warunkiem skuteczności i trwałości naprawy jest zapewnienie odpowiedniej przyczepności w układzie „materiał naprawczy – podłoże”. Pozwala to na zmniejszenie niekorzystnych skutków ewentualnego niedopasowania (niekompatybilności) cech technicznych materiału naprawczego i podkładu. Adhezja w złączu powinna przewyższać wytrzymałość na rozciąganie elementów łączonych, przy czym zgodnie z EN 1504-4 wytrzymałość materiału naprawczego powinna być nie mniejsza od wytrzymałości podkładu betonowego. Oznacza to, że naprawa betonów wysokiej wytrzymałości będzie wymagała opracowania materiałów naprawczych nowej generacji o znacznie podwyższonej przyczepności do naprawianego podkładu betonowego.



6. Podsumowanie

Naprawy konstrukcji żelbetowych stanowią złożone i trudne technicznie zadanie. Opracowanie podstaw naukowych i wynikających stąd zaleceń technicznych przeprowadzania napraw wymaga całościowego ujęcia. Wiele uporządkowania i nowych inspiracji przynosi seria norm europejskich EN 1504 dotyczących wyrobów i systemów do napraw i ochrony konstrukcji betonowych. Normy te stanowią próbę sformalizowanego ujęcia zagadnienia napraw według współczesnego stanu wiedzy i techniki. Należy jednak zauważyć, że dziedzina ta znajduje się nadal w dynamicznym rozwoju i jest przedmiotem dyskusji na różnych kontynentach, nie tylko w Europie [10].

prof. dr hab. inż. Lech Czarnecki
Politechnika Warszawska

dr hab. inż. Paweł Łukowski
Politechnika Warszawska

Niniejsza praca powstała w ramach realizacji grantu statutowego Politechniki Warszawskiej nr 504G 1080 7007.

Rys. 6. Sposoby ochrony powierzchniowej



Rys. 7. Przykład przestrzeni dobrej współpracy wyznaczonych za pomocą programu CCS

Literatura

- 1 L. Czarnecki, P.H. Emmons, *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*, Polski Cement, Kraków 2003
- 2 *Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych państw członkowskich, dotyczących wyrobów budowlanych nr 89/106/EEC*
- 3 PN-EN 206-1:2003 *Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność*.
- 4 PN-EN 1992-1-1:2005 *Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*.
- 5 L. Czarnecki, *Dobór materiałów do napraw konstrukcji żelbetowych – kryterium kompatybilności*. XX Konferencja Naukowo-Techniczna „Awaria Budowlane”, Szczecin – Międzyzdroje 2001, s. 145-169
- 6 L. Czarnecki, P. Łukowski, *Naprawa konstrukcji betonowych użytkowanych w warunkach zagrożeń chemicznych*, „Materiały Budowlane”, 12/2005, 1-3
- 7 L. Czarnecki, *Uszkodzenia i naprawy betonu*, „Inżynieria i Budownictwo” 2/2002, s. 59-65
- 8 H.S. Sasse, R. Stenner, *Adhesion and the new series of european standards on protection and repair of concrete structures*. 2nd International RILEM Symposium ISAP '99 „Adhesion between Polymers and Concrete”, Drezno 1999, s. 485-494
- 9 L. Czarnecki, A. Garbacz, P. Łukowski, J.R. Clifton, *Polymer Composites for Repairing of Portland Cement Concrete: Compatibility Project*. NIST Report (NISTIR 6394), National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, USA, 1999
- 10 L. Czarnecki, A.M. Vaysburd, N. Mailvaganam, P.H. Emmons, J. McDonald, *Repair and rehabilitation of structures – Some random thoughts*, „Indian Concrete Journal” 1/2000, s. 13-21