

JERZY ANTKIEWICZ, WIESŁAW TEŻYCKI

OTiK w Gdyni

TRWAŁOŚĆ I PRZYCZEPNOŚĆ NAPRAW WYKONANYCH NA BETONOWYCH EKRANACH ZAPÓR ZIEMNYCH

Streszczenie. Na skarpach odwodnych zapór ziemnych wykonano wiele napraw i zabezpieczeń powierzchni płyt z betonu hydrotechnicznego oraz badań wytrzymałości układu beton-naprawa metodą pull-off. Na podstawie uzyskanych wyników pokazano zależności pomiędzy: metodą usuwania skorodowanego betonu, naprężeniem niszczącym dla zerwań w betonie, udziałami procentowymi zerwań kohezyjnych w betonie i adhezyjnych beton-naprawa oraz głębokością, na której następują zerwania. Przedstawiono wykonane naprawy i zabezpieczenia betonu oraz ich stan po okresie obserwacji do 8 lat.

Słowa kluczowe: ekran betonowy, zaporę ziemna, przygotowanie podłoża, przyczepność, trwałość, naprężenie zrywające

Wstęp

Na powierzchniach ekranów betonowych zapór ziemnych kumulują się niekorzystne oddziaływania niszczące beton: nawilżanie, zamrażanie i ścieranie wywoływane przez krę lodową, pływające kawałki drewna i hydrodynamiczne oddziaływanie wody. Na domiar złego, konstrukcje większości ekranów są wykonane z nienapowietrzonego betonu o małej mrozoodporności, gdyż ich budowa przypadła na okres, gdy w Polsce niedostępna był nowoczesna technologia betonu. Brakowało siły roboczej, sprzętu i materiałów, które zaangażowano na wielkich budowach socjalizmu, jak np. Huta Katowice. Nadzór techniczny i kontrola jakości robót były niedostateczne, co bywało przyczyną niezadowolającego stanu technicznego konstrukcji już na początku eksploatacji (OLSZAMOWSKI i TEŻYCKI 2004).

Naprawy betonu wykonywane w przeszłości zaprawą cementową lub betonem pękaly i odspajały się od podłoża (rys. 1). Analiza dostępnego piśmiennictwa wykazuje brak pozytywnych doświadczeń z wykonania powierzchniowych napraw betonu w hydrotechnicznych budowach piętrzących (MICHALAK i TEŻYCKI 2000).



Rys. 1. Odspojone i zniszczone naprawy na skarpie zapory odwodnej (OLSZAMOWSKI i TEŻYCKI 2004)

Fig. 1. Delaminated and damaged patches on upstream slope of earth dam (OLSZAMOWSKI and TEŻYCKI 2004)

Zła jakość podłoża betonowego i ekstremalne warunki ekspozycji na środowisko to poważne utrudnienie i wyzwanie dla skutecznej naprawy lub zabezpieczenia powierzchni. Z tego względu badania napraw betonu w Kanadzie i USA bardzo często są prowadzone właśnie na zaporach wodnych (MIRZA i DURAND 1994, Repair... 1993).

W istniejącej sytuacji szczególnie użyteczne wydają się przedstawione wyniki kilkuletnich obserwacji i badań przeprowadzonych w czasie wykonania napraw betonu na skarpach odwodnych zapór ziemnych.

Przygotowanie powierzchni betonu do naprawy

Przygotowanie powierzchni do naprawy polega na usunięciu wierzchniej warstwy skorodowanego betonu o niewystarczającej wytrzymałości. Równorzędnym celem jest odkrycie ziaren kruszywa i nadanie powierzchni odpowiedniej szorstkości, czyli wytworzenie nieregularnie rozmieszczonych porów, wklęsłości i wypukłości. W taki sposób zostają zapewnione warunki odpowiednie do uzyskania dużej przyczepności i energii pęknięcia połączenia betonu z nakładaną później zaprawą lub betonem naprawczym (Concreter... 2003, PN-EN 1542 2003, WITTMANN i MÜLLER 1993).

Metoda obróbki podłoża i faktura powierzchni są związane z trwałością naprawy, czym obecnie zajmuje się inżynieria powierzchni betonu (GARBAZCZ i IN. 2006).

Metoda badania wytrzymałości podłoża i przyczepności naprawy

Badanie nośności podłoża betonowego i przyczepności napraw do betonu wykonuje się metodą pull-off opisaną w normach (DIN 1048 1991, PN-EN 1542 2000), która polega na odrywaniu od podłoża stempli metalowych naklejonych na nawierconym cylindrycznie

fragmentie betonu poddawanego testowi. Badając naprawy, nawiercenie wykonuje się aż do podłoża betonowego. Odrywanie stempla następuje za pomocą urządzenia umożliwiającego pomiar naprężenia zrywającego. Wyniki pomiaru dla zerwań przebiegających w betonie są miarą nośności podłoża betonowego (wytrzymałości na odrywanie).

W praktyce napraw ekranów podłożem jest beton hydrotechniczny o ziarnach kruszywa często przekraczających 12 cm i stosunkowo małej wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie. Dostępne metody przygotowania powierzchni ograniczają się do skuwania betonu młotami pneumatycznymi lub wodą pod ciśnieniem powyżej 1000 bar łańcuchem ręcznym lub robotem. Uzyskiwana w takiej sytuacji amplituda nierówności powierzchni często przekracza 10 lub nawet 20 cm, co powoduje, że naklejenie stempla badawczego w praktyce jest możliwe dopiero po wygładzeniu powierzchni, czyli po wykonaniu naprawy.

Wytrzymałość podłoża, zerwania adhezyjne i głębokość napraw

Naprawę betonu uważamy za udaną, gdy w badaniu przyczepności naprężenie zrywające jest wysokie i naprawa nie odpaja się od betonu, a zerwanie następuje kohezyjnie w betonie podłoża. Oznacza to, że wytrzymałość wykonanej warstwy naprawczej i jej połączenia z betonem jest większa od wytrzymałości naprawianego betonu. Istotne jest zatem, aby usuwanie betonu i naprawa sięgały na taką głębokość, na której wytrzymałość betonu podłoża jest wysoka i jednocześnie statystycznie minimalne jest ryzyko, że naprawa odspoi się od betonu.

W praktyce budowlanej, istniejących projektach, specyfikacjach technicznych, kartach informacyjnych i aprobatkach technicznych wyrobów budowlanych funkcjonuje stereotypowe zalecenie usuwania kolejnych warstw betonu „aż do uzyskania nośnego podłoża”. Tymczasem większej głębokości skuwania może towarzyszyć między innymi:

- większe niszczące oddziaływanie obróbki i osłabienie struktury pozostawionego betonu,
- uzyskanie innej faktury powierzchni, np. wynikające z odkrycia większych ziaren kruszywa,
- brak możliwości zagęszczenia grubej warstwy naprawczej w kontakcie z betonem.

Aby ustalić zależności pomiędzy głębokością skuwania i wytrzymałością betonu oraz liczbą niekorzystnych odspojeń następujących na połączeniu naprawy i betonu wykonano ponad 300 badań przyczepności napraw płyt z betonu hydrotechnicznego. Grupę liczącą 111 wyników tworzą zerwania, w których zniszczenie nastąpiło kohezyjnie w betonie podłoża i dla których zanotowano głębokość (odległość od lica), gdzie wystąpiło zerwanie. Za zniszczenia kohezyjne przyjęto zerwania, które przebiegały przez beton podłoża co najmniej w 90%. Naprężenia zrywające w tej grupie wyników przedstawiono na wykresie w poszczególnych przedziałach głębokości zerwania (rys. 2).

Wytrzymałość betonu podłoża osiąga wartości maksymalne na głębokości od 30 do 40 mm i nie rośnie wraz z głębokością.

Grupa licząca 280 wyników obejmuje wszystkie badania, dla których zanotowano głębokość (odległość od lica), na której nastąpiło zerwanie oraz udział procentowy zerwania adhezyjnego przebiegającego między betonem i naprawą (także warstwą szczerpą). Udział procentowy zerwań adhezyjnych przedstawiono na wykresie w poszczególnych przedziałach głębokości zerwania (rys. 2).

Zdecydowanie najmniej niekorzystnych zerwań, przebiegających na połączeniu naprawy i betonu, występuje w przedziale głębokości od 0 do 40 mm.



Rys. 2. Naprężenie niszczące pull-off zerwań kohezyjnych w betonie i udział procentowy zerwań adhezyjnych beton-naprawa w funkcji głębokości następowania zerwań

Fig. 2. Average failure stress for cohesive failures in concrete and average percentage of adhesive failures repair-concrete versus depth of failure

Z wykonanych badań wynika, że w wypadku naprawiania płyt z betonu hydrotechnicznego usytuowanych na skarpie zapory, głębokość skuwania betonu nie powinna przekraczać 50 mm. Statystycznie najlepszym zakresem głębokości naprawy jest przedział od 10 do 40 mm. Maksymalnej wytrzymałości betonu towarzyszy tu minimalne prawdopodobieństwo niekorzystnego zerwania się naprawy na połączeniu z betonem.

Wpływ rodzaju obróbki na jakość podłoża

W czasie wykonywania napraw betonu na płytach ekranu stosowano zamiennie trzy różne metody przygotowania powierzchni. Wierzchnia warstwa betonu była skuwana młotami pneumatycznymi lub wodą pod ciśnieniem powyżej 1000 bar lancą ręczną lub robotem (rys. 3).

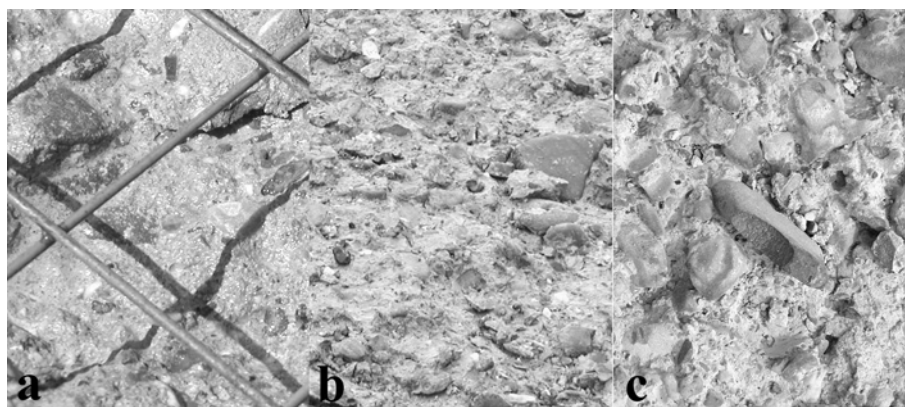
Selektywne działanie wody (usuwanie słabszego betonu i pozostawianie mocniejszego) powoduje, że powierzchnia betonu po skuwaniu wodą pod wysokim ciśnieniem jest dużo bardziej szorstka (ma bardziej rozwiniętą fakturę). W powierzchni skuwanej młotami powstają widoczne zarysowania i odspojenia betonu (rys. 4), które należy dodatkowo „dokuwać”, oraz niewidoczne mikrospękania osłabiające wytrzymałość i w konsekwencji zmniejszające przyczepność warstw nanoszonych na beton (Concrete... 2003). Dlatego powszechna i zrozumiała jest opinia, że przygotowanie powierzchni wodą pod wysokim ciśnieniem jest metodą lepszą niż skuwanie powierzchni młotami. Nie znajduje ona jednak potwierdzenia w wynikach badań wykonanych na płytach z betonu hydrotechnicznego pokrywających skarpę zapory ziemnej.

Grupa 122 wyników obejmuje zerwania, w których zniszczenie nastąpiło kohezyjnie w betonie podłoża i dla których zanotowano stosowaną metodę przygotowania podłoża. Za zniszczenia kohezyjne w betonie przyjęto zerwania przebiegające dominująco w betonie podłoża (powyżej 50%). Naprężenia zrywające w tej grupie wyników przedstawiono na wykresie (rys. 5) osobno dla każdej ze stosowanych metod obróbki powierzchni.



Rys. 3. Sprzęt i metody przygotowania powierzchni do naprawy: a – młotkowanie, b – skuwanie wodą pod ciśnieniem powyżej 1000 bar lancą ręczną, c – skuwanie robotem

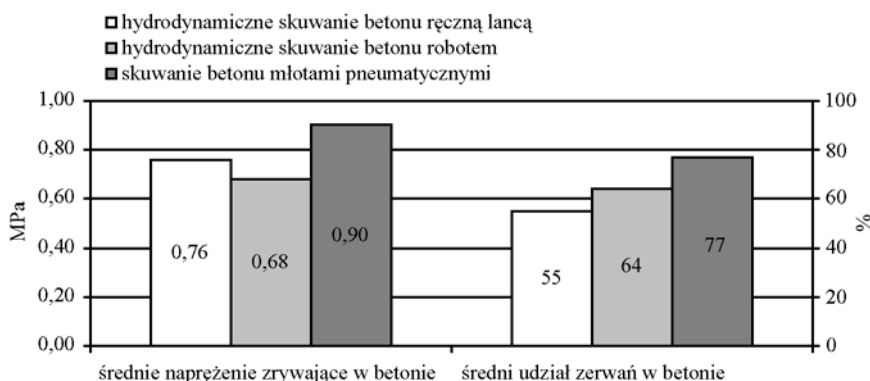
Fig. 3. Surface preparation technologies and equipment: a – hammering, b – hand operated waterjetting, c – robotic hydrodemolition



Rys. 4. Powierzchnie betonu przygotowane do naprawy przez: a – młotkowanie, b – skuwanie wodą pod ciśnieniem powyżej 1000 bar lancą ręczną, c – skuwanie robotem

Fig. 4. Concrete surfaces prepared by: a – hammering, b – hand operated waterjetting, c – robotic hydrodemolition

Z punktu widzenia jakości metody przygotowania powierzchni i przyczepności naprawy istotne jest, aby przy wysokim naprężeniu zerwanie nawierconego rdzenia przebiegało w betonie podłoża w jak największej części. Zerwanie bowiem kohezyjne w podłożu (a nie adhezyjne na połączeniu beton-naprawa) oznacza, że stosowana metoda obróbki betonu daje powierzchnię o większej wytrzymałości na rozciąganie niż wytrzymałość litego betonu, czyli metoda obróbki „nie psuje” powierzchni.



Rys. 5. Właściwości podłoża betonowego po przygotowaniu powierzchni różnymi metodami
Fig. 5. Concrete substrate properties for different surface preparation technologies

Dla każdej metody przygotowania podłoża obliczono średni udział zerwań kohezyjnych w betonie podłoża, w grupie wszystkich zerwań obejmującej 172 wyniki (tj. bez względu na miejsce i charakter kohezyjny lub adhezyjny zerwania). Udziały zerwań kohezyjnych w betonie przedstawiono na wykresie osobno dla każdej ze stosowanych metod obróbki powierzchni (rys. 5).

Uzyskane wyniki wskazują, że skuwanie powierzchni młotami, pomimo wymienionych oczywistych wad, okazało się najlepszą metodą przygotowania do naprawy płyt z betonu hydrotechnicznego. Skuwanie betonu młotami zapewniło najwyższe średnie napięcia zrywające i najwyższy udział procentowy zerwań kohezyjnych w betonie podłoża.

Zabezpieczenie powierzchni w strefie falowania

Częstym uszkodzeniem powierzchni betonu w strefie falowania jest ubytek spoiwa objawiający się w pierwszym etapie obnażeniem zalegającej płytko warstwy ziaren kruszywa grubego. W takiej sytuacji ekonomicznym i jak się okazuje skutecznym rozwiązaniem jest pokrycie powierzchni cienką warstwą zaprawy polimerowo-cementowej (2-15 mm). Jej zadaniem jest uzupełnienie startego lub wymytego spoiwa i zabezpieczenie powierzchni przed dalszą destrukcją, która może doprowadzić do wymycia spoiwa spomiędzy grubych ziaren i ich uwolnienia z powierzchni płyt (OLSZAMOWSKI i TEŻYCKI 2004).

Biorąc pod uwagę małą trwałość napraw betonu wykonanych w historii obiektu (Ekspertyza... 1983) oraz ekstremalne warunki ekspozycji występujące w strefie falowania, wykonano naprawy testowe i poddano je kilkuletniej próbie trwałości. W tym celu czasowo obniżono piętrzenie zbiornika i na płyty w strefie falowania naniesiono trzy różne zaprawy polimerowo-cementowe (rys. 6 a). Każdą zaprawę наносzono kilkoma różnymi technikami aplikacji. Powierzchnie testowe poddano ocenie po 6 latach ekspozycji. Okazało się, że dwie z trzech zapraw były niemal zupełnie starte (rys. 6 b). Najtrwalsza z zapraw była starta z powierzchni grubych ziaren kruszywa, ale pozostała



Rys. 6. Badania terenowe trwałości zapraw naprawczych wyeksponowanych w strefie falowania (OLSZAMOWSKI i TEŻYCKI 2004)

Fig. 6. Field durability testing of repair mortars exposed in wave action zone (OLSZAMOWSKI and TEŻYCKI 2004)

w dobrym stanie pomiędzy tymi ziarnami (rys. 6 c), czyli nadal zapewniała ochronę dla spoiwa w tych obszarach. Stwierdzono też, że trwałość warstwy ochronnej zależała istotnie od właściwości zastosowanej zaprawy, a także sposobu jej nanoszenia.

Wybraną w ten sposób najbardziej trwałą zaprawę zastosowano w 1998 roku do zabezpieczenia powierzchni ekranu w strefie falowania (rys. 7). Po 8 latach od wykonania stan techniczny zabezpieczenia powierzchni uznano za bardzo dobry (rys. 8).



Rys. 7. Wykonywanie naprawy betonu (z lewej) i zabezpieczenia powierzchni (z prawej) na skarpie odwodnej zapory

Fig. 7. Performing concrete repair (left) and protection (right) on upstream slope of the dam



Rys. 8. Cienka warstwa zaprawy naprawczej tworząca zabezpieczenie powierzchni w strefie falowania po 8 latach od nałożenia

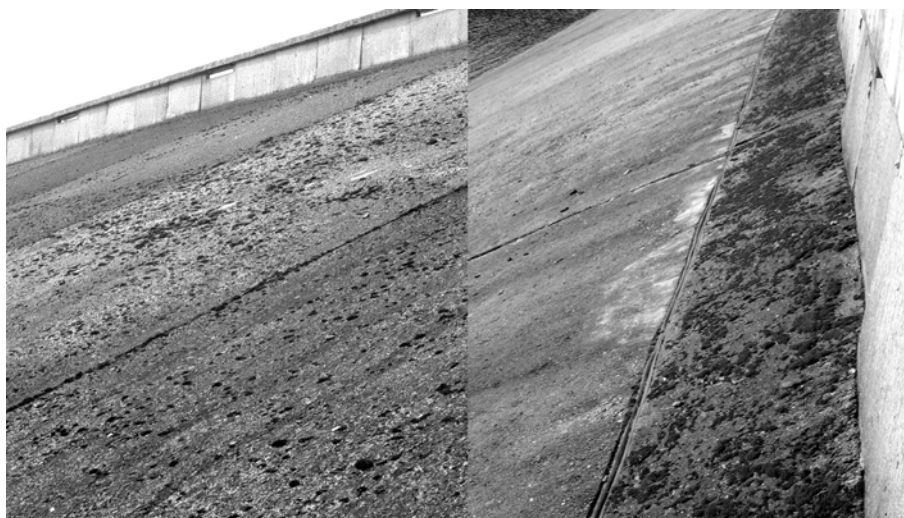
Fig. 8. Thin layer of repair mortar serving as surface protection in wave action zone 8 years after application

Zabezpieczenie powierzchni powyżej maksymalnego poziomu piętrzenia

Beton powyżej strefy falowania często porastają mchy, porosty i trawy, które znajdują sprzyjające warunki do rozwoju w zagłębieniach powierzchni (rys. 9). W dłuższej perspektywie prowadzi to do osłabienia powierzchniowych warstw betonu, dlatego konieczne jest regularne usuwanie roślin, mechaniczne lub chemiczne.

Rozwiązanie problemu mogłoby polegać na oczyszczeniu ekranu i wyszpachlowaniu nierówności zaprawą naprawczą. Ze względu na znaczną powierzchnię byłby to jednak zabieg stosunkowo kosztowny. Ekonomiczną i skuteczną alternatywą okazało się umycie powierzchni betonu wodą pod ciśnieniem 180 bar i naniesienie wałkami powłoki ochronnej z bezbarwnej, paroprzepuszczalnej farby akrylowej cechującej się wskaźnikiem ograniczenia chłonności wody wynoszącym 100% oraz przyczepnością do betonu ≥ 3 MPa. Nanoszona farba, spływając w zagłębienia powierzchni, wypełnia i zamyka w ten sposób pory, niedopuszczając do ukorzeniania się roślin oraz utrudniając nawilżanie betonu przez wody opadowe.

Po 8 latach od wykonania nadal bardzo dobra jest skuteczność powłoki ochronnej w przeciwdziałaniu porastaniu powierzchni (rys. 9).



Rys. 9. Rozwój mchów na betonie przed wykonaniem zabezpieczenia powierzchni powyżej strefy falowania (po lewej), ekran betonowy po 8 latach od nałożenia powłoki ochronnej, widoczny fragment niepokryty powłoką (po prawej)

Fig. 9. Moss growth on concrete before the surface protection was applied above wave action zone (left), concrete revetment 8 years after application of protective coating, uncoated section visible (right)

Naprawa powierzchni warstwą betonu

W okresie obniżonego poziomu piętrzenia przeprowadzono naprawy powierzchni płyt betonowych warstwą betonu o grubości kilku centymetrów zbrojoną siatką stalową. Betonowanie poprzedzono nanoszeniem na powierzchnię warstwy szczepnej (rys. 7, 10). W takim rodzaju naprawy, wykonywanej na skarpie zapory, istotne znaczenie mają urabialność i konsystencja mieszanki betonowej, które dobrano tak, aby umożliwić prawidłowe zagęszczenie warstwy naprawczej na połączeniu z naprawianym podłożem.

Naprawione powierzchnie są usytuowane w strefie stale zanurzonej, dlatego kontrola stanu technicznego naprawy będzie możliwa dopiero w kolejnym okresie obniżonego piętrzenia.

Podsumowanie

Na podstawie wykonanych i opisanych badań terenowych, napraw betonu ekranów zapór ziemnych i ich 8-letniej obserwacji stwierdzono, że:

- największa wytrzymałość betonu na odrywanie oraz najmniejsze prawdopodobieństwo odspajania się napraw na połączeniu z betonem występuje w odległości 10-40 mm od lica naprawionych płyt,



Rys. 10. Naprawa ekranu betonem: natrysk warstwy szepnej (z lewej), układanie mieszanki betonowej (z prawej)

Fig. 10. Revetment repair performed with concrete: spraying the bonding layer (left), placing the concrete (right)

- przygotowanie betonu płyt do naprawy metodą skuwania betonu młotami pneumatycznymi zapewniło większą wytrzymałość betonu na odrywanie od podłoża i większy udział zerwań kohezyjnych w podłożu niż selektywna obróbka wodą pod ciśnieniem powyżej 1000 bar łańcą ręczną lub robotem,
- skutecznym zabezpieczeniem powierzchni betonu przed porostami powyżej maksymalnego poziomu piętrzenia była powłoka ochronna z farby akrylowej,
- trwałym zabezpieczeniem powierzchni betonu w strefie falowania była warstwa z zaprawy polimerowo-cementowej o grubości 2-15 mm,
- trwałość zabezpieczenia powierzchni zaprawą zależała istotnie od właściwości zastosowanej zaprawy i sposobu jej nanoszenia.

Projektując naprawę i/lub zabezpieczenie powierzchni ekranu betonowego, najlepiej jest przeprowadzić kwalifikację poszczególnych płyt do: wymiany, naprawy warstwą betonu o grubości kilku centymetrów, naprawy warstwą zaprawy o grubości do 15 mm lub zabezpieczenia powłoką z farby. W kwalifikacji powinniśmy brać pod uwagę zarówno stopień uszkodzenia betonu, jak i jego usytuowanie (w strefie stale zanurzonej, lub obejmowanej przez zmienne poziomy piętrzenia, falowanie i rozbryzgi, lub powyżej strefy falowania).

Literatura

- Concrete Repair Manual. 2003. American Concrete Institute.
 DIN 1048. 1991. Teil 2. Prüfverfahren fuer Beton, Festbeton in Bauwerken und Bauteilen.

Antkiewicz J., Teżycki W., 2007. Trwałość i przyczepność napraw wykonanych na betonowych ekranach zapór ziemnych. *Nauka Przyr. Technol.* 1, 2, #10.

- Ekspertyza techniczna. Ocena stanu technicznego budowli betonowych zbiornika Wisła-Czarne. 1983. Zarz. Główn. PZITB, Zesp. Rzeczozn. Budow.
- GARBACZ A., PIOTROWSKI T., COURARD L., 2006. Inżynieria powierzchni betonu. Cz. 1. Struktura geometryczna powierzchni. *Mat. Bud.* 9.
- MICHALAK E., TEŻYCKI W., 2000. Innowacyjne systemy naprawcze w zrealizowanym remoncie konstrukcji żelbetowych zapory wodnej. W: XII Konferencja Techniczna „KONTRA 2000”, Trwałość budowli i ochrona przed korozją. Warszawa-Zakopane.
- MIRZA J., DURAND B., 1994. Evaluation, selection and installation of surface repair mortars at a dam site. *Constr. Build. Mat.* 8, 1.
- OLSZAMOWSKI Z., TEŻYCKI W., 2004. Naprawa konstrukcji betonowych i żelbetowych zapory Wisła-Czarne. *Inż. Bud.* 3.
- PN-EN 1504-10. 2005. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje. Wymagania. Sterowanie jakością i ocena zgodności. Cz. 10. Stosowanie wyrobów i systemów na placu budowy oraz sterowanie jakością prac. PKN, Warszawa.
- PN-EN 1542. 2000. Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie.
- Repair, Evaluation, Maintenance and Rehabilitation Research Program. 1994. Overlays on Horizontal Concrete Surfaces: Case Histories. NTIS National Technical Information Service, Springfield, USA.
- WITTMANN F.H., MÜLLER T., 1993. Adherence and fracture energy. W: 2nd Bolomey Workshop on Adherence of Young on Old Concrete, Sion/Sitten, Switzerland.

DURABILITY AND ADHESION OF REPAIRS PERFORMED ON CONCRETE REVETMENTS OF EARTH DAMS

Summary. Concrete repairs and protective coatings were applied on concrete slabs located on the upstream slopes of earth dams. Pull-off tests were conducted to evaluate tensile stress capacity of concrete-repair system. Dependencies between: surface preparation technology, failure stress in concrete, percentage of cohesive ruptures in concrete, percentage of adhesive failures in concrete-repair interface and the depth of failure are demonstrated. Case histories of repairs and 8 years performance review are presented.

Key words: concrete revetment, earth dam, repair, surface preparation, adhesion, durability, failure stress

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Jerzy Antkiewicz, OTiK Spółka z o.o., ul. Hutnicza 4, 81-061 Gdynia, Poland, e-mail: otik@use.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.05.2007

Do cytowania – For citation: Antkiewicz J., Teżycki W., 2007. Trwałość i przyczepność napraw wykonanych na betonowych ekranach zapór ziemnych. Nauka Przyr. Technol. 1, 2, #10.