

WOJCIECH BILIŃSKI, KAZIMIERZ PISZCZEK*

MATERIAŁOWE I TECHNOLOGICZNE PODSTAWY
SYSTEMU KERASAL[®] STOSOWANEGO
DO MODERNIZACJI WEWNĘTRZNYCH POWIERZCHNI
ŻELBETOWYCH ZBIORNIKÓW NA WODĘ CZYSTĄ

MATERIAL AND TECHNOLOGICAL BASES OF KERASAL[®]
SYSTEM FOR MODERNIZATION OF INTERNAL
SURFACES OF REINFORCED CONCRETE
CONTAINERS FOR DRINKING WATER

Streszczenie

W artykule przedstawiono informacje materiałowo-technologiczne dotyczące systemu KERASAL[®]. System oparty jest na bazie mikrokrzemionki, stosowany do przeprowadzania remontów i prac naprawczych w celu wzmocnienia konstrukcyjnego oraz reprofilacji i doszczelnienia wewnętrznych powierzchni żelbetowych zbiorników przeznaczonych do gromadzenia wody czystej do spożycia oraz polepszenia warunków jej przechowywania.

Słowa kluczowe: zbiornik żelbetowy, mikrokrzemionka, remont

Abstract

Some material and technological information concerning KERASAL[®] system are presented in the article. This micro-silica based system is used for modernization, repair and sealing up of internal surfaces of reinforced concrete containers designed for storage of drinking water.

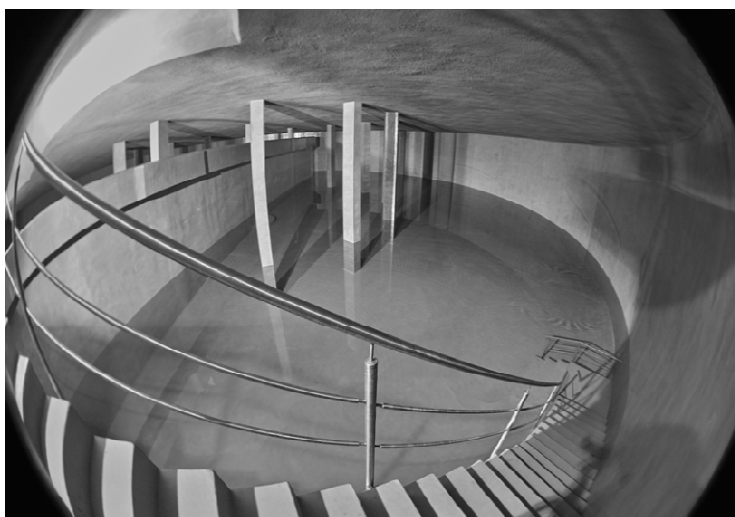
Keywords: reinforced concrete reservoirs, microsilica, repair

* Dr inż. Wojciech Biliński, dr inż. Kazimierz Piszczek, Instytut Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Przesłanki teoretyczne systemu KERASAL[®] nawiązują do najstarszych tradycji związanych z budową wodociągów w czasach rzymskich, w których hydraulicznie wiążące materiały budowlane potwierdziły swoją przydatność w konstruowaniu obiektów budowlanych przeznaczonych do gromadzenia i transportu wody przeznaczonej m.in. do spożycia. Współcześnie stosuje się tę zasadę w nowoczesnych zakładach produkcji wody, w studniach, filtrach uzdatniających, zbiornikach i rurociągach, gdzie powierzchnie kontaktu z wodą w dużej mierze wykonane są z betonu lub też zaprawy cementowej.

System KERASAL[®] został opracowany, a następnie wdrożony do wykonania nowych oraz naprawy żelbetowych, starych zbiorników w Niemczech na początku lat 90. ubiegłego wieku (fot. 1, 2). Zakres zrealizowanych prac modernizacyjnych obejmuje wykonanie ponad 400 tys. m² nowych wewnętrznych powierzchni betonowych zbiorników. Obecnie wyłącznym właścicielem marki KERASAL jest Firma HUF Gard Polska Sp. z o.o. z siedzibą w Częstochowie [1, 2].



Fot. 1. Ogólny widok wnętrza żelbetowego zbiornika na wodę do picia po wykonaniu prac naprawczych w systemie KERASAL[®] [1]

Photo 1. The general view of the interior of the reinforced the concrete reservoir on water to the drinking after doing repair works in the system KERASAL[®] [1]

Od 2008 roku technologię KERASAL[®] zaczęto stosować na terenie Polski. Pierwsze prace remontowe przeprowadzone z użyciem ww. systemu były wykonane na dwóch zbiornikach na wodę czystą zlokalizowanych w województwach lubelskim i opolskim [2, 5].



Fot. 2. Stan wewnętrznych powierzchni żelbetowego zbiornika po wykonaniu prac naprawczych w systemie KERASAL® [1]

Photo 2. The condition of the internal surfaces of the reinforced the concrete reservoir after doing repair works in the system KERASAL® [1]

2. Wymagania materiałowe

Oprócz spełnienia wymagań wytrzymałościowych przy stosowaniu systemu KERASAL® dodatkową możliwością jest uzyskanie odpowiedniej gładkości powierzchni stykających się z wodą. Materiały dostępne w systemie KERASAL® zastosowane do realizacji nowych zbiorników czy też doszczelnienia starych, wewnętrznych powierzchni żelbetowych zbiorników posiadają doskonałe właściwości fizykochemiczne i higieniczne, co znacznie ogranicza możliwości zanieczyszczenia wody lub zmiany jej jakości. Komponenty systemu spełniają odpowiednie wymagania podane w PN-EN 1508 [6] oraz DVGW W 300 [13], a dotyczące m.in.:

- zapewnienia skutecznej wodoszczelności wnętrza obiektu,
- spełnienia ekologicznych aspektów środowiska i przydatności fizykochemicznej,
- spełnienia warunku braku występowania aktywności mikrobiologicznej wewnątrz obiektu,
- zapewnienia łatwości utrzymania czystości wewnątrz obiektu dzięki gładkiej, nieporowatej i homogenicznej powierzchni,
- zapewnienia osiągnięcia wysokiej wytrzymałości mechanicznej, chemicznej jak i odporności na hydrolizę,
- zapewnienia wieloletniej trwałości połączonej z efektywnością gospodarczą przy eksploatacji obiektu.

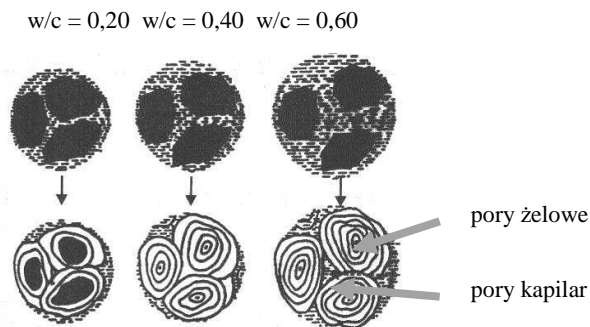
Na podstawie PN-EN 1508 [6] można wyróżnić następujące rodzaje konstrukcji żelbetowych zbiorników służących do gromadzenia wody czystej do picia: a) budowle, w których funkcję szczelności pełni wyłącznie element konstrukcyjny, b) budowle, w których funkcję szczelności spełnia zarówno element konstrukcyjny, jak i dodatkowa powłoka,

c) budowie, w których uzyskanie warunku szczelności odbywa się jedynie w wyniku zastosowania dodatkowej, wewnętrznej powłoki.

3. Technologia naprawy i doszczelnienia wewnętrznych powierzchni betonu zbiorników żelbetowych

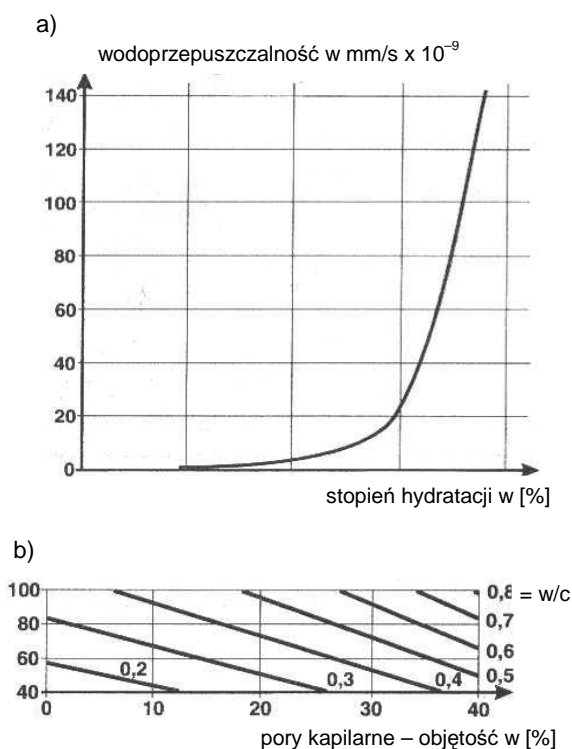
Do remontu i wyprawy zniszczonej powierzchni betonu w zbiornikach wody przeznaczonej do spożycia [4, 5] stosuje się beton natryskowy wg normy niemieckiej DIN 18551 [10]. Aby spełnić podane tam wymagania, należy zapewnić jego wysoce szczelne zagęszczenie. Betony natryskowe z uziarnieniem kruszywa o wielkości do 4 mm zgodnie z ww. normą nazywane są zaprawami natryskowymi. KERASAL[®] jest to wysokowartościowa i wodoszczelna zaprawa natryskowa, która powstaje z doboru odpowiednich cementów, wypełniaczy o określonej krzywej przesiewu, jak też – do wykorzystania efektu pucolano-wego – z dodatkiem nieorganicznego pyłu krzemionkowego (silica fume), zwanego także mikrokrzemionką. Przez wzgląd na mikrobiologię rezygnuje się z domieszek czy modyfikatorów organicznych powszechnie stosowanych w innych metodach naprawczych. Zastosowanie najdrobniejszych cząstek w postaci pyłu krzemionkowego znacznie podnosi siły kohezyjne świeżej zaprawy, co wpływa na zmniejszone odbicie przy natrysku ścian zbiornika. Pył krzemionkowy jest najdrobniejszym, nieorganicznym, amorficznym dodatkiem typu II stosowanym do betonu zgodnie z normą PN-EN 206-1 [9], powstającym w procesie produkcji stopów żelazokrzemu, pozyskiwanym podczas filtracji spalin. Tak pozyskany pył krzemionkowy składa się w ok. 95% z dwutlenku krzemu. Mikrokrzemionka w zaprawie powoduje dodatkowe wiązanie kamienia cementowego. Z łatwo rozpuszczalnego wodorotlenku wapnia powstaje trudno rozpuszczalny w wodzie wodzian (hydrat) wapniowo-krzemianowy (C–S–H), co prowadzi do znacznego podniesienia wytrzymałości na ściskanie i odporności na hydrolizę.

Na rysunku 1 przedstawiono poglądowo model twardnienia cementu dla różnych wartości współczynników $w/c = 0,20/0,40/0,60$. Im mniejszy jest stosunek w/c , tym mniejszą przestrzeń zajmują pory kapilarne i pory żelowe, a większą zajmuje szkielet. Natomiast na rys. 2a) zilustrowano nieliniową zależność między wodoprzepuszczalnością kamienia cementowego wyrażoną w jednostkach $[(\text{mm/s}) \times 10^{-9}]$ a procentowa wartością objętości jaką zajmują pory kapilarne. Gwałtowny wzrost wodoprzepuszczalności kamienia cementowego od wartości 20 do $140 (\text{mm/s}) \times 10^{-9}$ następuje przy wzroście objętości kapilar od 30 do 40%. Z kolei na rys. 2b) zamieszczono diagram, na którym przedstawiono liniowe zależności między stopniem hydratacji cementu w procentach w zależności od wyrażonej w procentach objętości kapilar oraz dla różnych wartości współczynników w/c [-].



Rys. 1. Model twardnienia cementu dla różnych wartości współczynnika w/c

Fig. 1. The model hardens the cement for the various values of the coefficient in w/c

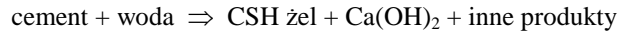


Rys. 2a) Wodoprzepuszczalność w $[(\text{mm/s}) \times 10^{-9}]$ kamienia cementowego w zależności od przestrzeni zajmowanej przez pory kapilarne w procentach; b) wskaźnik wodno-cementowy w/c w zależności od objętości pór kapilarnych w procentach [1]

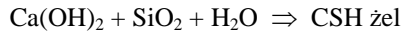
Fig. 2a) The water-permeability in $[(\text{mm/s}) \times 10^{-9}]$ the cement stone in dependence from the space occupied through porous capillary in [%]; b) the water-cement coefficient w/c in dependence from the volume of the porous capillary in [%] [1]

Optymalizacja struktury betonu odbywa się przez zwiększenie udziału trudnorozpuszczalnych wodzanów (CSH = Calcium-Silicat-Hydrat):

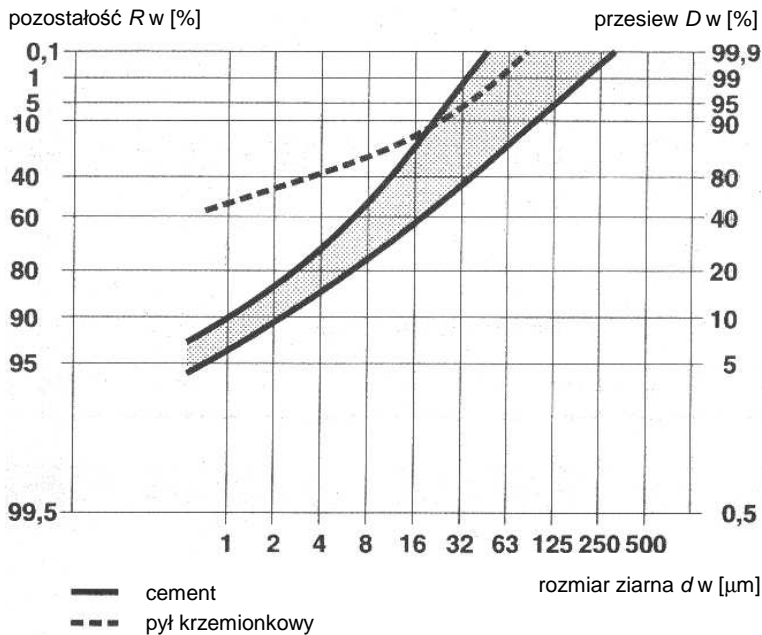
– proces uwodnienie cementu:



– działanie mikrokrzemionki (SF):



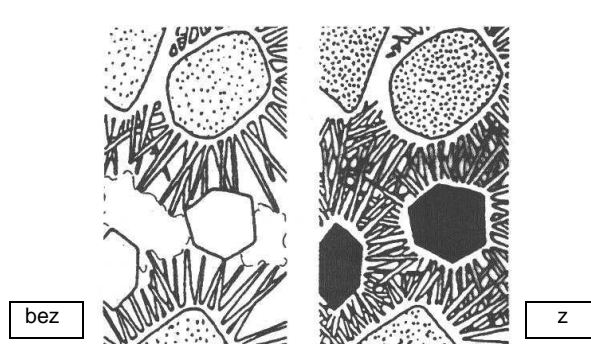
Na rysunku 3 przedstawiono rozkład uziarnienia cementu (linią ciągłą) i rozkład uziarnienia pyłu krzemionkowego (linią przerywaną).



Rys. 3. Rozkład uziarnienia cementu i pyłu krzemionkowego w [%], w zależności od rozmiaru ziarna d w [μm] [1]

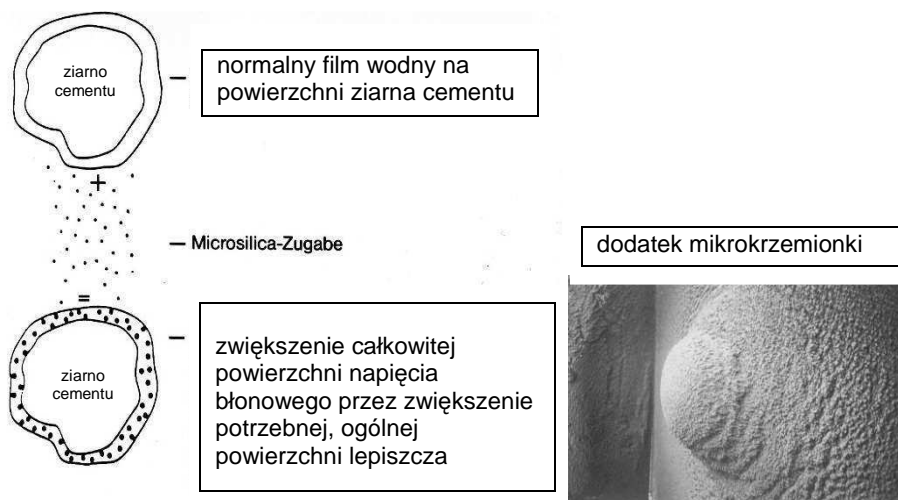
Fig. 3. The schedule of the graining of the cement and the silica suspension in [%], in dependence from the size the grain d in [μm] [1]

Graficzne uwodnienie cementu bez i z udziałem mikrokrzemionki zilustrowano na rys. 4. Zastosowanie mikrokrzemionki powoduje zwiększenie sił kohezyjnych świeżej zaprawy (patrz rys. 4–5). Na powierzchni ziarna cementu powstaje warstewka wody, tzw. film, a dodanie mikrokrzemionki poprawia szczelność i jakość powierzchni w procesie twardnienia betonu. Zwiększenie całkowitej powierzchni napięcia błonowego uzyskuje się przez zwiększenie potrzebnej ogólnej powierzchni lepiszcza przez dodanie mikrokrzemionki, a im cieńsza będzie warstewka wody, tym siły kapilarne będą większe.



Rys. 4. Uwodnienie ziaren cementu bez i z udziałem mikrokrzemionki

Fig. 4. Hydration of the grains of cement without and from the part microsilica



Rys. 5. Zwiększenie sił kohezyjnych świeżej zaprawy betonowej z zastosowaniem mikrokrzemionki

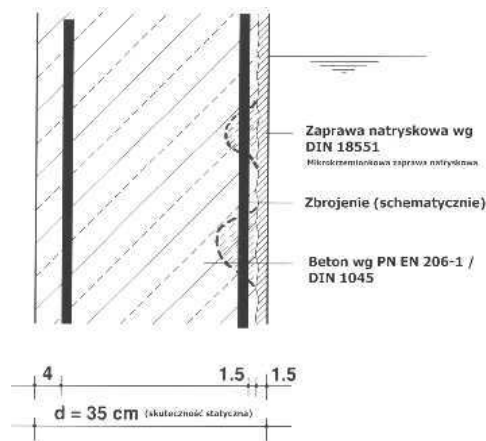
Fig. 5. The enlargement of cohesion-forces of the fresh seasoning with the part microsilica

W nowo budowanym zbiorniku wg [8, 11] uzyskuje się wewnętrzną powierzchnię betonu przez zastosowanie:

- gładkich, wodochłonnych desekowań,
- obłożenie deskowania wodochłonnymi matami z włókien sztucznych,
- połączenie metody beton/beton natryskowy przez nałożenie dodatkowej warstwy z natrysku betonu z jego wygładzeniem (mikrokrzemionkowa zaprawa natryskowa wg DIN 18551 [10, 11]).

4. Technologiczne aspekty obróbki powierzchni betonu

W zależności od wyników oceny stanu technicznego konstrukcji zbiornika nanosi się jedną lub dwie warstwy natrysku, w przypadku dodatkowej reprofilacji ze względu np. na odstąpięte zbrojenie (rys. 6). Każda z warstw natrysku bezpośrednio naniesiona na odpowiednio oczyszczone i przygotowane powierzchnie żelbetowego elementu konstrukcyjnego może mieć grubość od 1,0 cm do 3,0 cm. W celu osiągnięcia optymalnej grubości warstwy zaprawy natryskowej KERASAL[®] wzbogaconej mikrokrzemionką musi ona uzyskać właściwą, tj. oczekiwaną w zbiornikach wody pitnej, gładkość i szczelność. Po wykonaniu natrysku jest ona ręcznie wyrównywana i wygładzana.

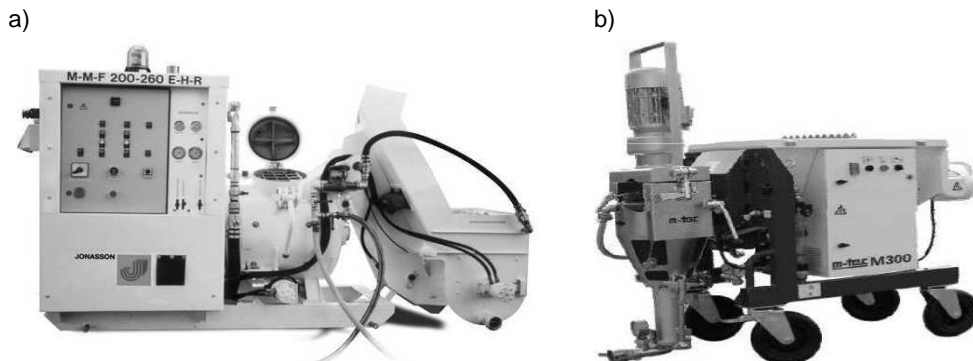


Rys. 6. Schemat powierzchniowego doszczelnienia żelbetowej ściany zbiornika w systemie KERASAL[®] [1]

Fig. 6. Scheme of the surface sealing of the reinforced the concrete wall of the reservoir in the system KERASAL[®] [1]

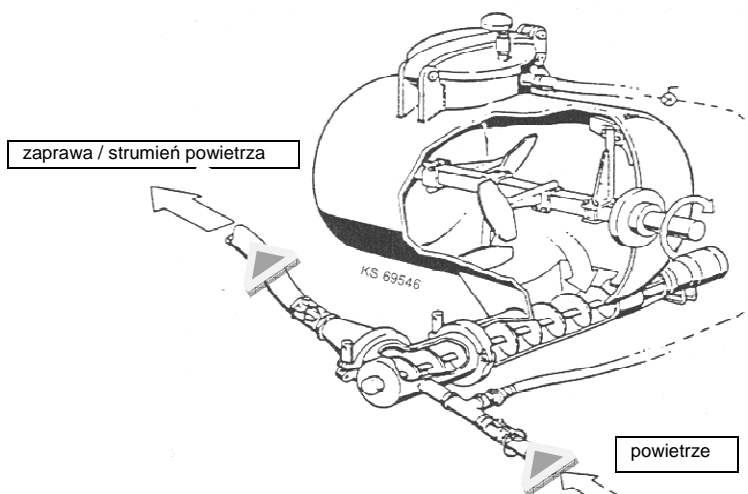
Warunkiem uzyskania wysokiej, równomiernej szczelności oraz gładkości powierzchni zaprawy natryskowej jest zastosowanie natrysku metodą mokrą, nieciągłego strumienia. W tej metodzie, ujętej przepisami normowymi DIN 18551 [10, 11], osiąga się w naniesionej warstwie natryskowej mierzalnie równomierny współczynnik wodno-cementowy (w/c). Stąd też naniesienie dodatkowej warstwy wygładzającej czy też mineralizacja powierzchni stają się wręcz zbędne.

Metoda natrysku mokrego polega na tym, że sucha zaprawa po dodaniu wody zarobowej jest mieszana przez około 5 min. w maszynie (fot. 3a), a następnie jest transportowana w strumieniu sprężonego powietrza przez maszynę natryskową MTEC M300 (fot. 3b) do końcówki dyszy. W innych rodzajach natrysku zaprawa woda i powietrze mogą być indywidualnie dozowane na końcówce dyszy, gdzie nie da się wykluczyć niejednorodnych i niekontrolowanych przemieszań materiału. Na rysunku 7 przedstawiono schemat ideowy maszyny mieszająco-dozującej przygotowującej mieszankę betonową KERASAL[®] do natrysku.



Fot. 3a) Maszyna mieszająca i b) maszyna natryskowa MTEC M300 podająca pod ciśnieniem mieszkę betonową KERESAL® [1]

Photo 3a) The machine server of the mixture concrete and b) the machine showers MTEC M300 server under the pressure of the mixture concrete KERESAL® [1]



Fot. 7. Schemat ideowy pracy maszyny mieszającej w systemie KERESAL® [1]

Photo 7. The ideological scheme to seal up of the work of the machine stirring in the system KERASAL® [1]

Podczas pokrywania powierzchni poziomych w celu uniknięcia segregacji zaprawy natryskowej stosuje się dodatkowo mieszacz wtórny systemu KERASAL®.

5. Dane techniczne grupy produktów KERASAL ANS 14

Poniżej zestawiono szczegółowe charakterystyki grupy produktów KERASAL ANS 14 dobierane na etapie opracowania projektu remontu doszczelnienia betonowych ścian zbiorników (wg stosownych norm i wytycznych zawartych w poz. [6–15]:

- zastosowanie mikrokrzemionkowej zaprawy natryskowej zgodnie z DIN 18551 [10, 11], PN EN 14487 [7, 8],
- kontrola jakości – własna i zewnętrzna – mikrokrzemionkowej zaprawy natryskowej zgodnie z DIN 18551 [10, 11],
- metoda natrysku mokrego z transportem w strumieniu powietrza wg DIN 18551 [10, 11],
- stosunek wodno-cementowy $w/c \leq 0,50$,
- klasa wytrzymałości opcjonalnie między C 16/20 do C 35/45 wg PN EN 206-1 [9]/ DIN 18551 [11], zastosowanie w statycznie skutecznym obszarze,
- przenikanie wody 5–8 mm, dlatego przy warstwie o grubości ≥ 20 mm i szczelnej obróbce szczelin roboczych i wykończeniowych pełna wodoszczelność,
- powietrze zawarte w mieszance betonowej $\leq 5\%$,
- porowatość wyprawy $\leq 12\%$ (pomiar porozymetrem rtęciowym),
- stosowanie kontrolowanych:
 - cementów wg PN-EN 197-1,
 - kruszyw wg PN-EN 12620 – wolnych od organicznych zanieczyszczeń, piasek kwarcowy 0–2 mm/0–4 mm,
 - nieorganiczne dodatki wg DIN 1045-2 [12] / PN EN 206-1 [9],
- żadnych domieszek chemicznych,
- dostawa w małych opakowaniach (workach 25 kg) w celu uniknięcia segregacji (wykluczone magazynowanie w silosach),
- jednowarstwowe pokrycie wszelkich nierówności z kończącym wygładzaniem, zasadnicza grubość warstwy – 15 mm,
- wielowarstwowe, zbrojone, statycznie skuteczne wyprawy możliwe do 80 mm grubości warstwy,
- dopuszczenie do stosowania w kontakcie z wodą pitną zgodnie z PZH-HK/W/ 0736/01/2006, PN-EN 1508 [6], DVGW – karta robocza W 300 [13], kontrola DVGW – karta robocza W 347 [15],
- zaprawa natryskowa wysoce odporna na hydrolizę i agresję chemiczną, jak też na ścieranie,
- metoda ekonomiczna zapewniająca trwałość – długość czasu użytkowania, podobnie jak w zwykłych budowlach betonowych.

6. Podsumowanie

W artykule omówiono mało znaną na polskim rynku budowlanym metodę KERASAL® naprawy wewnętrznych, betonowych powierzchni żelbetowych zbiorników podziemnych i nadziemnych na wodę do picia, opartą na ekologicznej i nowoczesnej technologii na bazie mikrokrzemionki (materiału nieorganicznego) jaką opracowano w Niemczech w latach 90. ubiegłego wieku. Po wyremontowaniu, opierając się na tej technologii, dużej liczby zbiorników w Europie Zachodniej sprzedano ww. markę KERASAL® Firmie HUFGARD

Polska Sp. z o.o. z Częstochowy. W Polsce znajduje się duża liczba starych zbiorników na wodę do picia wymagających pilnych remontów. Jednak ich właściciele, czyli m.in. MPWiK, najczęściej nie znają omawianego systemu i technologii naprawy gwarantującej skuteczne przedłużenie eksploatacji zbiorników o kolejne kilkadziesiąt lat. Doraźne naprawy zbiorników z wykorzystaniem materiałów powłokowych na bazie materiałów polimerowych PCC [2, 3] kończą się niepowodzeniem już po kilku latach eksploatacji, stawiając właścicieli przed koniecznością ponownego podjęcia działań naprawczych.

Literatura

- [1] Remonty zbiorników wody pitnej. Technologia KERASAL[®]. Zaprawy Techniczne dla budowli inżynierskich. Przegląd produktów. Materiały promocyjne Firmy HUF Gard POLSKA Sp. z o.o., 2009.
- [2] Olszewski Z., Stankiewicz S., *Remont zbiornika wody pitnej za pomocą zaprawy natryskowej KERASAL[®]*, Materiały Budowlane, nr 4/2009, Warszawa.
- [3] Traczewska T.M., Sitarska M., *Aspekty mikrobiologiczne stosowania materiałów polimerowych w systemach dystrybucji wody*, Instal, nr 4/2009, Warszawa, www.informacjainstal.com.pl.
- [4] Biliński W., Piszczyk K., *Remont zbiorników wody pitnej WARPIE wraz z przebudową instalacji wewnętrznych i rozbudową sieci zewnętrznych: wodociągowej, kanalizacji deszczowej i elektrycznej-oświetleniowej, budową 4 nowych komór zasuw wraz z wyposażeniem na rurociągach zasilających oraz zagospodarowaniem terenu z komunikacją wewnętrzną i miejscami postojowymi*, oprac. projektu budowlanego oraz wykonawczego w zakresie branży konstrukcyjnej dla MPWiK w Jaworznie, luty 2008, Kraków.
- [5] Biliński W., Piszczyk K., *Ekspertyza konstrukcyjno-budowlana wraz z projektem budowlanym modernizacji jednej komory żelbetowego dwukomorowego zbiornika na wodę czystą „Lipki”, zlokalizowanego w Raciborzu*, lipiec 2009, Kraków.
- [6] PN-EN 1508:2002 Zaopatrzenie w wodę. Wymagania dotyczące systemów i ich części składowych przeznaczonych do gromadzenia wody.
- [7] PN-EN 14487-1:2007 Beton natryskowy. Część 1: Definicje, wymagania i zgodność.
- [8] PN-EN 14487-2: 2007 Beton natryskowy. Część 2: Wykonywanie.
- [9] PN-EN 206-1. Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [10] DIN 18551 Spritzbeton. Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität. (Beton natryskowy. Część 1: Definicje, wymagania i zgodność).
- [11] DIN 18551 Spritzbeton. Teil 2: Ausführung. (Beton natryskowy. Część 2: Wykonywanie).
- [12] DIN 1045-2 Tragwerke aus Beton, Stahlbeton Und Spannbeton. Teil 2: Beton – Festlegung, Eigenschaften, Herstellung Und Konformität. Anwendungsregeln zu DIN EN 206-1. (Powierzchnie nośne z betonu, żelbetu i betonu sprężonego. Części 2: Beton – ustalenie właściwości, wykonanie i zgodność. Reguły zastosowane w normie w DIN EN 206-1).

- [13] DVGW W 300:2005-06 Technische regel Arbeitsblatt W 300. Wasserspeicherung – Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung von Wasserbehältern in der Trinkwasserversorgung. (DVGW W 300 Karta robocza W 300. Gromadzenie wody – Projektowanie, budowa, użytkowanie i utrzymanie zbiorników wody).
- [14] DVGW W 312:1993-11 Technische Regel. Wasserbehälter – Massnahmen zur Instandhaltung. (Środki do utrzymania w dobrym stanie zbiorników wodnych).
- [15] DVGW W 347:2006-05 Technische Regel. Hygienische Anforderungen an zementgebundene Werkstoffe im Trinkwasserbereich – Prüfung Und Bewertung. (Higieniczne wymagania stawiane materiałom cementowym w zakresie wody pitnej – sprawdzanie i ocena).