



DARIA JÓZWIAK - NIEDŹWIEDZKA¹⁾
ZBIGNIEW TUCHOLSKI²⁾

WIADUKT ŻELBETOWY Z POCZĄTKÓW XX WIEKU – ANALIZA MIKROSTRUKTURY STULETNIEGO BETONU

STRESZCZENIE. W artykule opisano historię wiaduktu Kolei Kaliskiej, a także stan zachowania konstrukcji. Omówiono aktualny stan jakości betonu z wiaduktu sklepionego parabolicznego Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej – najprawdopodobniej jednej z dwóch najstarszych budowli inżynierskich o konstrukcji betonowej na terenie Warszawy. Zamieszczono opis przygotowywania cienkich szlifów betonowych oraz przedstawiono wyniki analizy obrazów uzyskanych za pomocą mikroskopu optycznego do obserwacji mikrostruktury betonu w świetle spolaryzowanym i w świetle ultrafioletowym. Scharakteryzowano rodzaj kruszywa (analiza petrograficzna), a także przeprowadzono ocenę wielkości współczynnika wodno-cementowego uzyskanego na podstawie rozkładu intensywności barwnika fluorescencyjnego w świetle UV.

1. WSTĘP

Celem pracy jest przedstawienie historii i stanu obecnego wiaduktu sklepionego parabolicznego Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej. Przeprowadzone badania mikrostruktury betonu stanowią podstawę do oceny stanu konstrukcji wiaduktu oraz metod jego ewentualnej konserwacji. Do chwili obecnej wiadukt zachowany jest w stosunkowo dobrym stanie technicznym, choć jego mury oporowe są w niewielkim stopniu

¹⁾ dr inż. – Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, Warszawa

²⁾ dr inż. – Instytut Historii Nauki PAN, Warszawa

uszkodzone. Brak jest również fragmentów ich licowania kamiennego. Na ceglach i sklepieniach żelbetowych widoczne są ponadto ślady pocisków, prawdopodobnie z okresu 1939 - 1945. Wiadukt pomalowany jest częściowo „graffiti”, które w znacznym stopniu szpeci jego wygląd zewnętrzny. Zachowane są obie, zapewne oryginalne barierki stalowe o konstrukcji nitowanej. Są one w znacznym stopniu skorodowane, w prawej barierce brak jest wzmacniających płaskowników oraz widoczne są połączenia śrubami, zastępujące nity. Zachowały się również oryginalne zawiasy czopowe wmurowane w elementy konstrukcyjne wiaduktu, na których pierwotnie osadzone były oba skrzydła bramy drewnianej. Na rysunku 1 przedstawiono stan obecny omawianego obiektu.



Rys. 1. Wiadukt sklepiony paraboliczny Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej, stan obecny (fot. Konrad Duszczyk 2009)

Fig. 1. Parabolic vaulted viaduct – Railway Warsaw-Kalisz, present view (photo by Konrad Duszczyk 2009)

Z uwagi na wiek i jakość zachowanej konstrukcji, a także na ewentualne prace konserwatorskie możliwe było pobranie jedynie niewielkich próbek betonu bez dokonywania typowych odwiertów, dlatego też analizę jakości betonu przeprowadzono na cienkich szlifach.

Mikroskopową obserwację mikrostruktury betonu na cienkich szlifach w świetle przechodzącym wykonuje się zwykle wraz z oceną makroskopową betonu (przeważnie na rdzeniach betonowych pobranych z konstrukcji) i o ile jest to możliwe, przeprowadza się również wizję lokalną danego obiektu. Dodatkowe informacje dotyczące składu betonu, jego wieku, warunków środowiska, w jakich pracuje konstrukcja pomagają ustalić prawdopodobne przyczyny powstania stanu zagrożenia lub potencjalne powody uszkodzenia obiektu budowlanego [1].

Wykorzystanie mikroskopii optycznej do diagnostyki betonu jako głównego albo jedynego narzędzia daje przewagę nad innymi technikami badawczymi (np. SEM, analiza rentgenowska dyfrakcyjna, skaningowa kalorymetria różnicowa, itp.). Mikroskopia optyczna oferuje bowiem duże pole widzenia i pozwala na stosunkowo proste wykonanie oznaczeń ilościowych. Informacje pochodzące z obserwacji cienkich szlifów betonowych w optycznym mikroskopie mogą być jeszcze dokładniejsze poprzez wykorzystanie fluorescencji, a także światła przechodzącego przy użyciu światła spolaryzowanego (skrzyżowane nikole i równoległe nikole). Obraz cienkich szlifów w świetle UV dostarcza informacji o jakości zaczynu i kruszywa, systemie porów powietrznych, defektach mikrostruktury jak np. rysy, ich wielkości i rozmieszczeniu oraz wartości stosunku wodno-spoiwowego, czyli tych informacji, które mają znaczenie przy określaniu stanu przyczyny zniszczenia betonu [1].

W artykule przedstawiono wyniki analizy cienkich szlifów betonowych oglądanych w świetle przechodzącym oraz świetle ultrafioletowym.

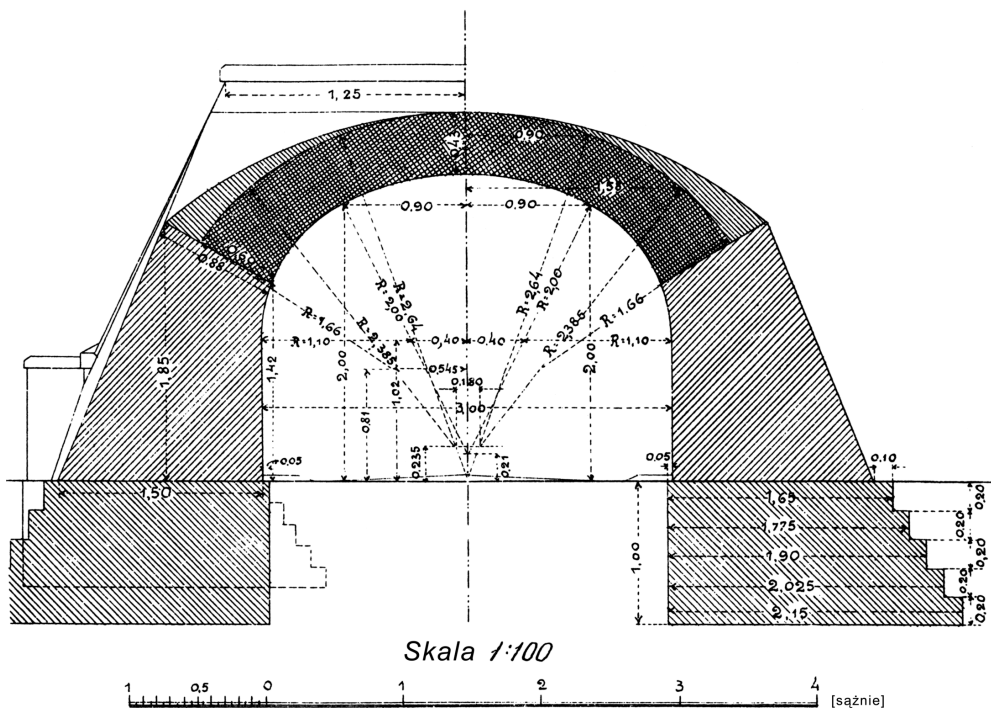
2. HISTORIA WIADUKTU KOLEI KALISKIEJ

Droga Żelazna Warszawsko-Kaliska zbudowana została przez zarząd Drogi Żelaznej Warszawsko - Wiedeńskiej, pod groźbą upaństwowienia, na początku XX wieku. Ukaz carski, zatwierdzający koncesję na budowę tej linii, został wydany 14 kwietnia 1900 roku [2]. Główną przyczyną jej budowy były względy strategiczne – możliwość szybkiego przerzucania wojsk ku zachodniej granicy imperium, w kierunku pruskiej twierdzy głogowskiej [3]. Budowa linii związana była z odejściem od rosyjskiej „strategii bezdroży” pod koniec XIX wieku i rozpoczęciem ofensywnej polityki kolejowej na zachodnim kierunku operacyjnym. Z powyższych względów linię zbudowano jako szerokotorową – tor 1524 mm. Na Kolei Kaliskiej zastosowano dźwigary z jazdą górą w celu zmniejszenia wysokości nasypów. Ze względów militarnych (w celu zapewnienia szybkiej odbudowy strategicznej linii dofrontowej) zastosowano system wielopręślowy z dźwigarami o niewielkiej rozpiętości [4].

Droga Żelazna Warszawsko - Kaliska była najprawdopodobniej pierwszą linią kolejową w zaborze rosyjskim, podczas budowy której zastosowano przepusty i wiadukt ze sklepieniami konstrukcji żelazo - betonowymi (spojęcowymi). Miały, bowiem one konstrukcję mieszaną murowaną z cegieł, zaś ich sklepienia wykonano jako żelbetowe.

Budowane na tej linii sklepione przepusty i wiadukt miały konstrukcję paraboliczną. Według nomenklatury budowlanej dróg żelaznych imperium rosyjskiego parabolicznymi określano mosty ze sklepieniami koszykowymi, zwykle o 3-ech lub 5-ciu środkach, gdy promienie kół, składających linię koszykową, zmniejszały się od podstaw ku wierzchołkowi [5]. Konstrukcje paraboliczne w porównaniu z formą sklepienia kołową dawały znaczną oszczędność, gdyż nie licząc skrzydeł mostu, jednakowych w obu konstrukcjach, stosowano w nich dużo mniejsze ilości materiałów. Mosty paraboliczne posiadały również znaczną wytrzymałość; w pierwszych latach eksploatacji nie zdarzył się żaden przypadek pęknięcia sklepienia tej konstrukcji, podczas gdy konstrukcje łukowe kołowe ulegały często uszkodzeniom [5].

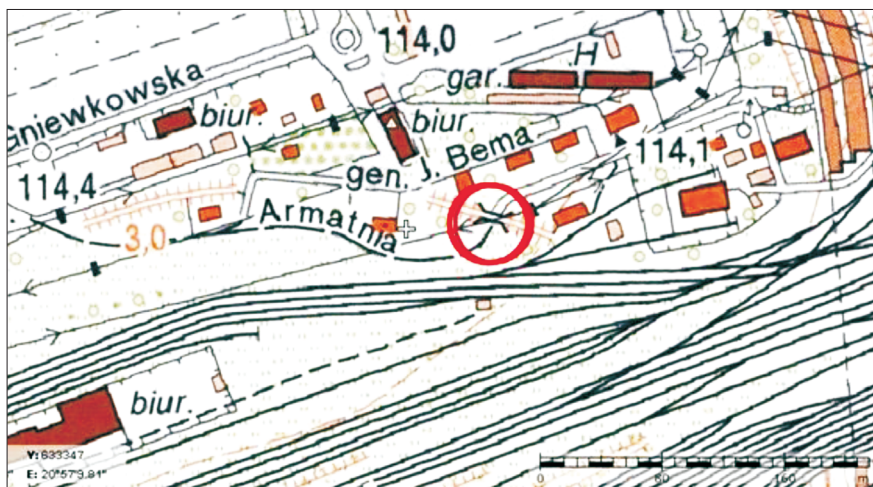
Kolej Kaliska przecinała stację towarową Kolei Warszawsko - Wiedeńskiej Warszawa - Rozrządowa (obecna stacja Warszawa - Zachodnia) skośnym, kratownicowym, jednoprzęsłowym, łukowym, wiaduktem stalowym z jazdą dolną, konstrukcji nitowanej o długości przęsła 41,00 sążni (87,4 m), o świetle między filarami 39,80 sążni (84,9 m). Miał on przyczółki oraz dwa filary kamienne, a także dwa skrajne przęsła blachownicowe również o konstrukcji nitowanej, po stronie warszawskiej przęsła o długości 4,312 sążni (9,2 m), zaś po stronie kaliskiej przęsła 5,39 sążni (11,5 m). Wysokość od poziomu główek szyn na wiadukcie do główek szyn na leżącej poniżej stacji DŻWW – 2,63 sążnie (5,61 m) [5]. Na rysunku 2 przedstawiono przekrój podłużny wiaduktu na podstawie oryginalnego projektu, natomiast na rysunku 3 pokazano umiejscowienie wiaduktu w Warszawie.



Rys. 2. Wiadukt Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej na ul. Armatniej w Warszawie, przekrój [13]

Fig. 2. Railway Warsaw - Kalisz Viaduct, Armatnia Street, Warsaw, longitudinal cross-section [13]

Ceglany wiadukt sklepiony zbudowany został w nasypie dojazdowym o wysokości 2,99 sążnia (6,2 m), (bez podsypki i nawierzchni kolejowej) do wspomnianego wiaduktu stalowego. Na koronie nasypu i na płycie wiaduktu pierwotnie znajdowała się warstwa podsypki, na której ułożono materiały nawierzchniowe – podkłady, mostownice i oba toki szynowe. Wiadukt miał barierki stalowe wykonane z kątowników i płaskowników o konstrukcji nitowanej [5].



Rys. 3. Wiadukt Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej na ul. Armatniej w Warszawie;
mapa sytuacyjna

Fig. 3. Railway Warsaw - Kalisz Viaduct, Armatnia Street, Warsaw; site map

Projektantami wiaduktu stalowego a także żelbetowego był inż. Józef Prüffer, zastępca naczelnego inżyniera budowy kolei kaliskiej B.N. Kazina oraz inżynierowie Ernest Bobieński i Bronisław Plebiński. Znaczący wkład w budowę kolei wniósł również ówczesny naczelnik wydziału technicznego DŻWW inż. Aleksander Wasiutyński. Była to wówczas niezwykle nowatorska konstrukcja, bowiem sklepienie wiaduktu miało konstrukcję żelbetową, natomiast ze względów estetycznych widoczną z zewnątrz część boczną sklepienia oraz szczyty murów oporowych licowano ozdobnymi płytami kamiennymi. Ceglane mury oporowe zaopatrzone w szczeliny dylatacyjne oddzielające je od konstrukcji wiaduktu.

Zasadniczym przeznaczeniem wiaduktu było zapewnienie dojazdu z ul. Armatniej, (przy której zlokalizowane było osiedle pracowników DŻWK) do placów przeładunkowych, zlokalizowanych pomiędzy szerokotorową, tymczasową stacją towarową DŻWK, a grupą normalnotorowych torów przeładunkowych stacji DŻWW Warszawa Rozrządowa. Zapewne ze względu na konieczność dozoru przeładowywanych towarów przejazd pod wiaduktem wyposażono w drewniane dwuskrzydłowe wrota, zamocowane na stalowych zawiasach.

3. METODY BADANIA ZAPRAW I BETONÓW W HISTORYCZNYCH BUDOWLACH

Zaprawy w starych budowlach są materiałami trudnymi do analizy, zarówno ze względu na złożony skład, jak i rodzaj stosowanych wówczas technologii. Do ich wykonania użyte zostały powietrzne lub hydrauliczne spoiwa lub ich mieszanki, kruszywo – nie zawsze krystaliczne, oraz rozmaite domieszki, które reagują ze spoiwem [6].

Zastosowanie nowoczesnych technik badawczych, charakteryzujących badane materiały pod względem mikrostruktury pozwala w znacznym stopniu na określenie składu i wybranych właściwości zapraw.

Gleize i in. [6] badali spoiwa i kruszywa w zaprawach pochodzących z dziewięciu obiektów, wybudowanych w latach 1750 - 1922 w Brazylii. Wykorzystali oni dyfrakcję rentgenowską (XRD), termogravimetrię (TG), spektroskopię w podczerwieni (FT-IR) oraz absorpcyjną spektrometrię atomową (AAS) do oceny zapraw. Przeprowadzone badania wykazały, że w przeważającej mierze jako spoiwo wykorzystywano wapno hydratyzowane, otrzymane z wypalania muszli, a w niektórych wypadkach mieszane z dodatkami nadającym spoiwom cechy materiału hydraulicznego, jak np. prażona glina. Podobne metody badawcze wykorzystał Gosselin i in. [7] do oceny dziewiętnastowiecznego cementu użytego do budowy katedry w Bourges we Francji. Badania te miały na celu dokładne poznanie składu mineralnego i chemicznego zastosowanego cementu z uwagi na planowane prace restauratorskie. Kosior-Kazberuk i in. [8] prowadzili badania dotyczące zapraw użytych do budowy obmurowań ścian komór śluzowych Kanału Augustowskiego metodami XRD, TG, termicznej analizy różnicowej (DTA) oraz mikroskopii SEM-EDS. Określili oni rodzaj wykorzystanych spoiw, zbadali podstawowe cechy zapraw spajających elementy murowe śluz oraz przeprowadzili opis morfologii, składu chemicznego i fazowego produktów hydratacji. Januszewski natomiast badał właściwości mechaniczne betonów pobranych z obiektów wojskowych z okresu II Wojny Światowej, bunkrów radzieckich, niemieckich i polskich [9]. Określił on wytrzymałość na ściskanie, przyczepność prętów zbrojeniowych do betonu, a także ocenił mikrostrukturę zaczynów za pomocą mikroskopu skaningowego.

Metodę cienkich szlifów wykorzystał Pavia i in. [10] do oceny 26-ciu historycznych rzymskich zapraw wykonanych około 1500 - 2000 lat temu. Analiza próbek pozwoliła na ocenę petrograficzną pobranego materiału, a także na odtworzenie antycznej technologii produkcji spoiwa, metody wypalania i gaszenia wapna.

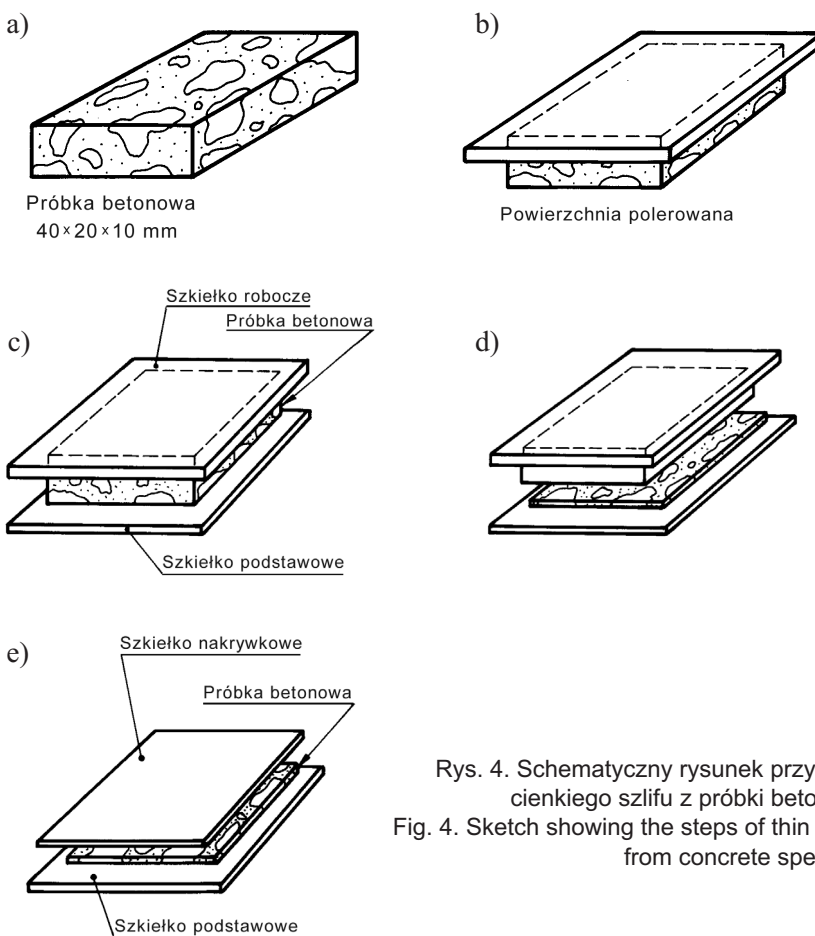
Metoda cienkich szlifów pozwala między innymi na określenie składu, wielkości i kształtu ziaren kruszywa, a także budowy i składu produktów hydratacji. Analiza petrograficzna historycznych zapraw pozwala uzyskać podstawowe informacje o technologii ich przygotowywania, a także umożliwić określenie jakości dawniej produkowanych zapraw, lub ich odtworzenie [10], co ma duże znaczenie przy pracach renowacyjnych i konserwatorskich.

4. BADANIA DOŚWIADCZALNE

4.1 PRZYGOTOWANIE CIENKICH SZLIFÓW BETONOWYCH

W celu określenia mikrostruktury betonu wykonano cienkie szlify impregnowane żywicą z barwnikiem fluorescencyjnym. Probki przygotowano zgodnie z zaleceniami normy NT BUILD 361 [11], do analizy w świetle przechodzącym i świetle UV.

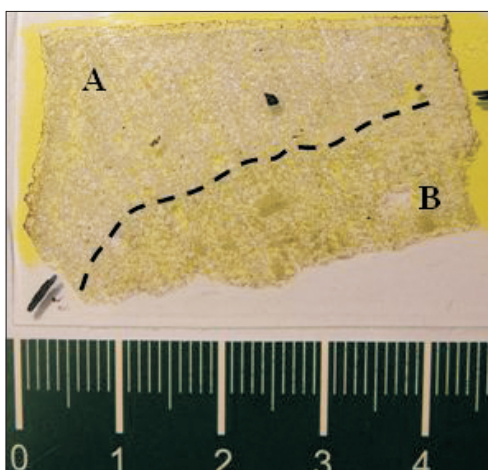
W Polsce podobna metoda przygotowywania szlifów jest stosowana głównie do badań petrograficznych kamienia naturalnego [13] i betonu w IPPT PAN. Na rysunku 4 przedstawiono schemat postępowania przy przygotowywaniu cienkich szlifów betonowych.



Rys. 4. Schematyczny rysunek przygotowania cienkiego szlif z próbki betonowej [11]
 Fig. 4. Sketch showing the steps of thin sectioning from concrete specimen [11]

Z uwagi na stan pobranych próbek betonowych z wiaduktu Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej, były one impregnowane w całości. Do impregnacji próbek zastosowano żywicę epoksydową Conpox Resin BY 158 wymieszaną z żółtym barwnikiem fluorescencyjnym EpoDye. Wysuszone próbki umieszczono w komorze próżniowej. W wyniku różnicy ciśnień panujących wewnątrz i na zewnątrz komory próżniowej następował przepływ żywicy epoksydowej wymieszanej z barwnikiem fluorescencyjnym i z utwardzaczem Conpox Hardener HY 2996. Proces impregnacji trwał około 30 min, aby umożliwić wnikięcie żywicy w mikrostrukturę betonu, jednak na tyle krótko, aby nie doprowadzić do związania żywicy przed wyjęciem próbek z torby. Następnie próbki wyjęto z żywicy i umieszczono w komorze klimatyzacyjnej. Po

stwardnieniu żywicy próbki przycięto do wymiarów około $40 \times 20 \times 10$ mm (rys. 4a). Następnie do jednej z powierzchni próbek przyklejono tzw. szkiełko robocze (rys. 4b) i polerowano przeciwległą powierzchnię. Do tak przygotowanej powierzchni za pomocą specjalnego kleju przyklejono szkiełko podstawkowe (rys. 4c). Część próbki ze szkiełkiem roboczym została odcięta (rys. 4d), tak aby próbka na szkiełku podstawkowym miała grubość około 1 mm. Następnie szlifowano próbki do grubości 0,05 mm i dalej polerowano, aż do osiągnięcia przez nie wymaganej grubości cienkiego szlifuj tj. 0,025 mm. Po sprawdzeniu poprawności wykonania cienkich szlifów, poprzez ocenę barwy interferencyjnej kwarcu w próbkach betonowych w mikroskopie optycznym przy świetle przechodzącym, na próbki naklejono szkiełka nakrywkowe (rys. 4e). Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe zdjęcie badanego cienkiego szlifuj betonowego.



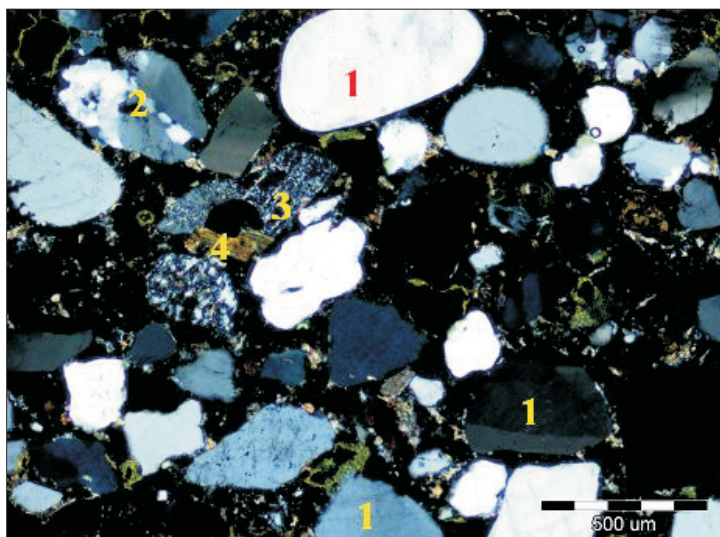
Rys. 5. Przykład cienkiego szlifuj wykonanego z betonu pobranego z wiaduktu sklepionego parabolicznego Drogi Żelaznej Warszawsko - Kaliskiej; skala w cm

Fig. 5. An example of thin section prepared from concrete taken from parabolic vaulted viaduct, Railway Warsaw - Kalisz; scale in cm

4.2 WYNIKI ANALIZY CIENKICH SZLIFÓW BETONOWYCH

Analizę cienkich szlifów betonowych przeprowadzono za pomocą mikroskopu optycznego Olympus BX 51 wyposażonego w kamerę cyfrową. Mikroskop do obserwacji w świetle przechodzącym wyposażony był w lampę halogenową o mocy 100 W. Obserwacje przeprowadzono w świetle spolaryzowanym (skrzyżowane nikole i równoległe nikole) oraz w świetle UV.

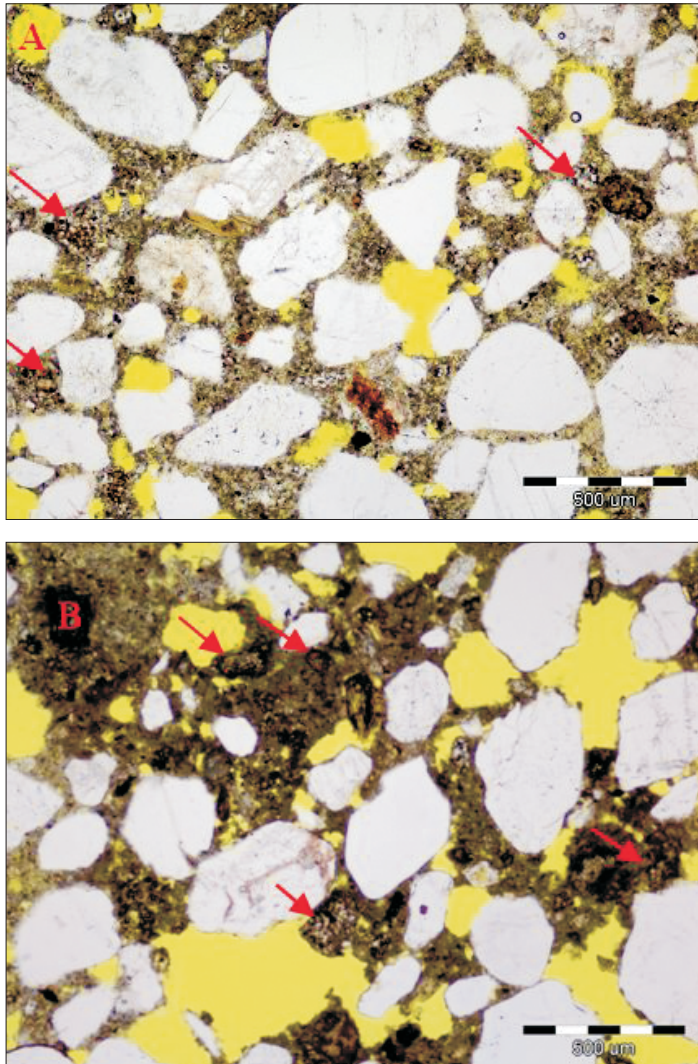
W obrazach cienkich szlifów betonowych wyraźnie widać granicę między dwoma betonami, oznaczone jako A i B (rys. 5). Z analizy petrograficznej wynika, że do obu betonów jako kruszywo drobne zastosowano piasek kwarcowy (rys. 6), w którym poza ziarnami kwarcu stwierdzono również obecność pojedynczych ziaren granitu, zbudowanych z kwarcu, biotyty i skaleni. W kruszywie nie stwierdzono obecności pustek ani spękań, które mogłyby powodować osłabienie betonu.



Rys. 6. Beton A, obraz w świetle przechodzącym, nikole skrzyżowane, powiększenie 40×
 1 – kwarc, 2 – konglomerat ziarn kwarcu, 3 – skaień, 4 – biotyt w ziarnie granitu
 Fig. 6. Concrete A, photograph taken in crossed polarized light, a magnification 40×
 1 – quartz, 2 – conglomerate of quartz grains, 3 – feldspar, 4 – biotite in granite

Beton B zawiera o wiele więcej wolnych przestrzeni (kolor żółty) nie będących porami pochodzącymi od napowietrzenia niż beton A (rys. 7). Ponadto mikrostruktura betonu A jest zawarta, kruszywo jest równomiernie rozłożone w odróżnieniu od mikrostruktury betonu B. W betonie B zastosowano kruszywo łamane natomiast w betonie A – mieszane, łamane i otoczkowe. W próbkach betonów pobranych z wiaduktu nie stwierdzono kruszywa grubego. Może to wynikać z faktu, że próbki betonu zostały pobrane z wierzchniej warstwy (około 40 mm) konstrukcji sklepienia.

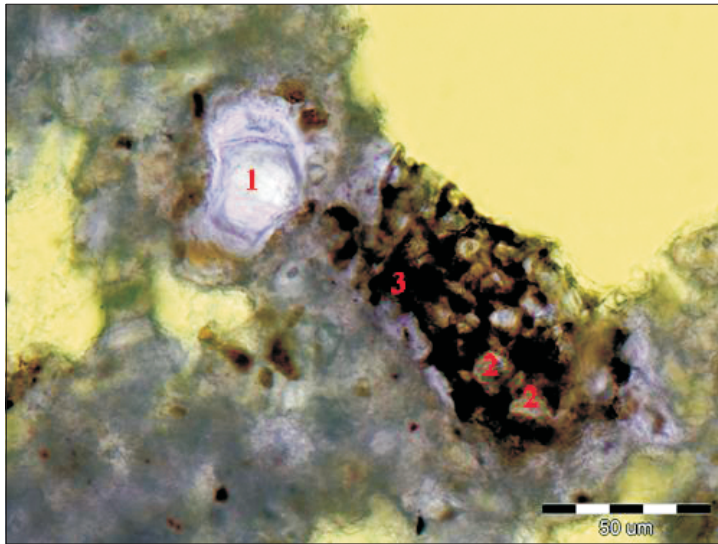
Stwardniały zaczyn cementowy składa się głównie z hydratów faz tworzących klinier portlandzki, głównie C_3S (alit) i C_2S (belit) określanych łącznie jako gel, z kryształków $Ca(OH)_2$ i reliktyw ziaren niezhydratyzowanego cementu. Zarówno w betonie A jak i B widoczne są niezhydratyzowane ziarna cementu, tworzące konglomeraty, (rys. 7 i 8). Do obu betonów zastosowano grubomielony cement bez dodatków. Zauważalne są duże fragmenty ziaren klinkieru portlandzkiego, które nie uległy hydratacji. Ziarna o tak dużych wymiarach nie występują w cementach obecnie produkowanych. Na rysunku 8 widoczne są poszczególne składniki cementu, tj. krzemian trójwapniowy C_3S , krzemian dwuwapniowy C_2S i glinianożelazian czterowapniowy (braunmilleryt) C_4AF . Glinian trójwapniowy C_3A nie może być dostrzeżony na cienkich szlifach, gdy jest dostatecznie dużo C_4AF (i nie można było stwierdzić obecności tego składnika). Stosunkowo duże białawe ziarna alitu są dobrze widoczne (kształt heksagonalny); można zauważyć również strefę przereagowaną – zewnętrzną i jeszcze nie zhydratyzowaną – wewnętrzną, otoczona ciemną obwódką. Widać także mniejsze pomarańczowo - brązowawe ziarna belitu, a między nimi znajduje się braunmilleryt barwy czarnej.



Rys. 7. Beton nowy A (górne zdjęcie) i beton B (dolne zdjęcie), obraz w świetle przechodzącym, nikole równoległe, powiększenie 40×; strzałkami oznaczono niezhydratyzowane ziarna cementu

Fig. 7. New concrete A (upper photo) and concrete B (lower photo), photograph taken in plane polarized light, a magnification 40×; arrows are showing the unhydrated cement grains

Kryształy portlandytu, pokazane na rysunku 9, znajdują się w betonie A i B, zarówno przy kruszywie jak i w całym zaczynie. Wodorotlenek wapnia przybiera różne kształty, jednak w świetle przechodzącym, przy skrzyżowanych nikolach jego barwa jest zawsze mocno różowo - niebiesko - żółta.

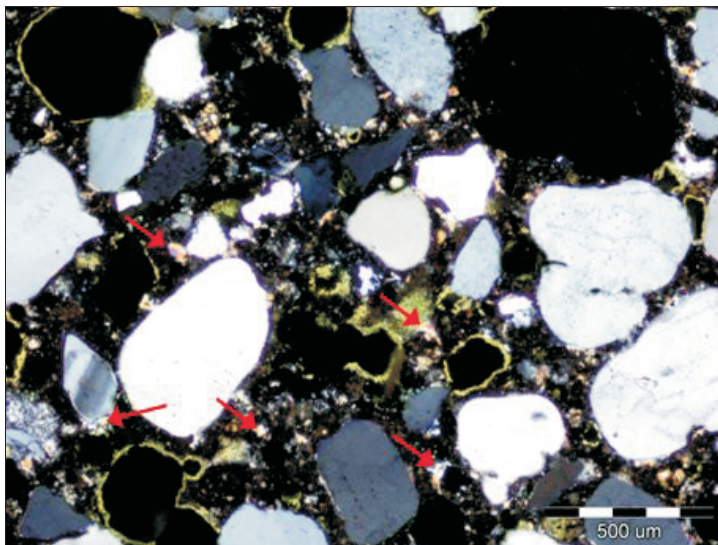


Rys. 8. Beton B: konglomerat ziarn cementu i częściowo zhydratyzowany alit, obraz w świetle przechodzącym, nikole równoległe, powiększenie 400 \times ;

1 – alit, 2 – belit, 3 – braunmilleryt

Fig. 8. Concrete B: conglomerate of cement grains and partially hydrated alite, plane polarized light, a magnification 400 \times ;

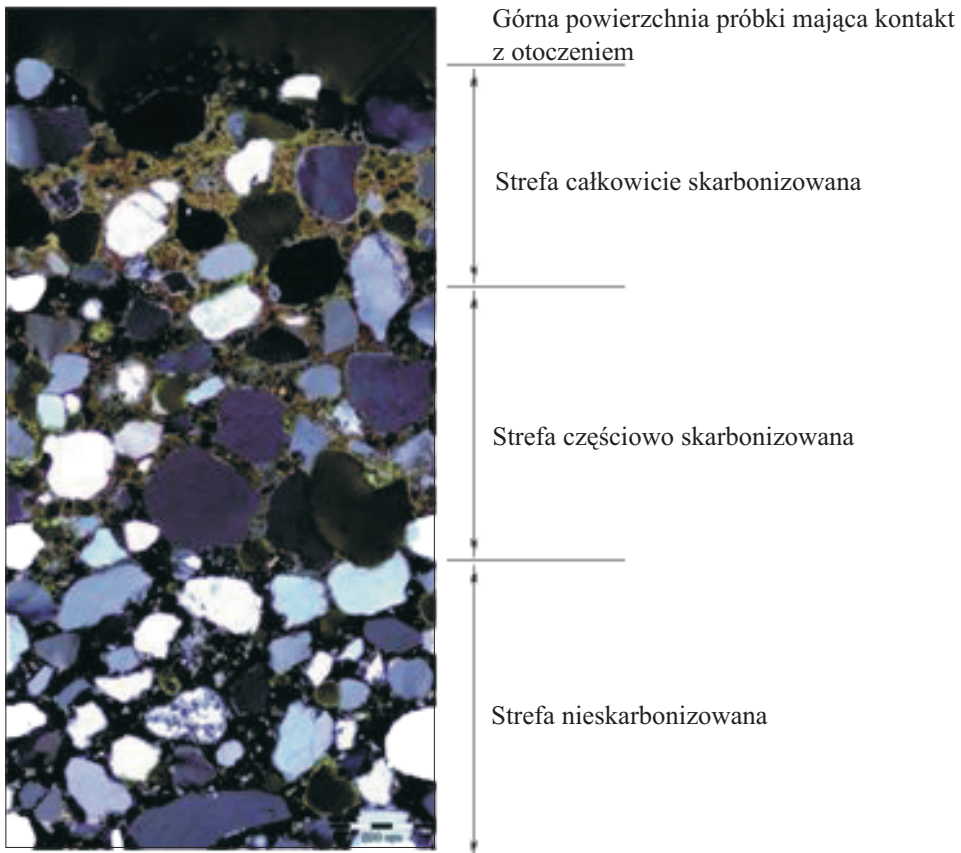
1 – alite, 2 – belite, 3 – braunmilleryt



Rys. 9. Beton A: obraz w świetle przechodzącym, nikole skrzyżowane, powiększenie 40 \times ; strzałkami zaznaczono kryształy $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Fig. 9. Concrete A: crossed polarized light, a magnification 40 \times ; arrows are showing the crystals of calcium hydroxide

Porównując beton A i B pod mikroskopem w świetle przechodzącym przy skrzyżowanych nikolach stwierdzono występowanie strefy skarbonatyzowanej (wyraźnie różna barwa zaczynu), zarówno na brzegach próbki mających kontakt ze środowiskiem zewnętrznym jak i na połączeniu betonów A i B (rys. 10). Wynika stąd, że beton B był wcześniej wykonany, natomiast beton A został na niego nałożony. Strefa skarbonatyzowana w środku próbki ma głębokość około 1,4 mm, natomiast na zewnątrz – około 1,5 mm. Beton „stary” B nie został całkowicie skarbonatyzowany, ponieważ w tej strefie widoczne są różowe kryształy $\text{Ca}(\text{OH})_2$, a w betonie A można wyróżnić strefę całkowicie i częściowo skarbonatyzowaną (rys. 10).

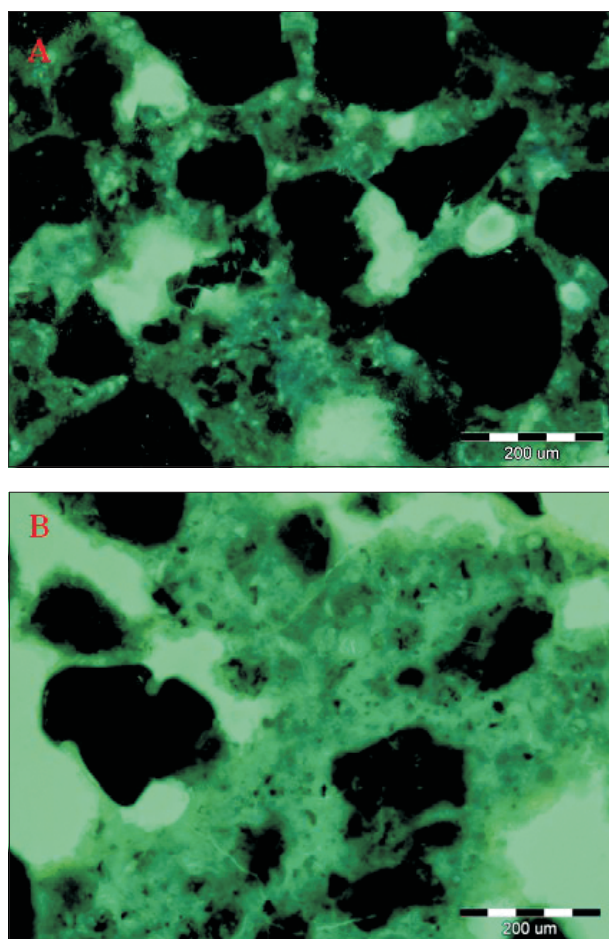


Rys. 10. Beton A: karbonatyzacja, światło przechodzące, nikole skrzyżowane, powiększenie 40×

Fig. 10. Concrete A: carbonatization, crossed polarized light, a magnification 40×

Na podstawie porównania intensywności zabarwienia w cienkich szlifach z próbkami wzorcowymi (standardami od $w/s = 0,35$ do $w/c=0,7$; krok co 0,05), a także oceniając morfologię $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – ilość i rozkład portlandytu oraz stopień zhydratyzowania ziaren cementu określono wartość współczynnika wodno-spoiwowego. Z analizy cienkich

szlifów betonowych w świetle ultrafioletowym wynika, że betony A i B różnią się wartością współczynnika wodno-cementowego (rys. 11). Wyraźnie widać, że zaczyn cementowy w betonie A jest ciemniejszy niż w betonie B. Porównując rozkład jasności barwy zielonej w betonach A i B z próbkami wzorcowymi stwierdzono, że stosunek wodno-cementowy betonu A wynosi 0,45 a betonu B jest równy 0,65. Określenie współczynnika w/c przeprowadzono na nieskarbonatyzowanej części próbek, ponieważ proces ten może wpływać na zmniejszenie oznaczanej wartości współczynnika wodno-cementowego (produkty karbonatyzacji mogą wypełniać pory kapilarne i mikrorory powodując uszczelnienie struktury betonu). Ponadto większe wyoziary kryształów $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zauważone w betonie B potwierdzają, że stosunek wodno-cementowy w tym betonie był wyższy niż w betonie A.



Rys. 11. Beton A (górne zdjęcie) i B (dolne zdjęcie), obraz w świetle UV, powiększenie 100×
Fig. 11. Concrete A (upper photo) and concrete B (lower photo), UV light, a magnification 100×

5. PODSUMOWANIE

Przy pomocy techniki cienkich szlifów betonowych przeprowadzono analizę mikrostruktury ponadstuletniego betonu. Wykonano analizę petrograficzną, wyróżniono dwa betony, „stary” oraz prawdopodobnie beton naprawczy, określono wielkość współczynnika wodno-cementowego a także wykazano, że w betonie znajdują się wielofazowe relikty ziaren klinkieru portlandzkiego.

Wyniki otrzymane na podstawie analizy cienkich szlifów z betonu pobranego ze sklepienia wiaduktu kolei Warszawsko - Kaliskiej stanowią część dokumentacji wniosku o ochronę konserwatorską tego obiektu. Wiadukt ten jest najprawdopodobniej jedną z dwóch najstarszych w Warszawie budowli o konstrukcji betonowej a jednocześnie stanowi relikwiny części nieistniejącej obecnie linii kolejowej. Drugą taką budowlą jest wyłączony z eksploatacji i zachowany jak zabytek techniki, pierwszy na świecie most konstrukcji spawanej na Słudwi pod Łowiczem, projektu prof. Stefana Bryły.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Jakobsen U.H., Johansen V., Thaulow N.*: Optical microscopy – A primary tool in concrete examination! Proceedings 11th ICMA, Cincinnati 1997, 275 - 294
- [2] *Wojasiewicz W.*: Mosty dróg żelaznych Królestwa Polskiego. WKiŁ, Warszawa 1982
- [3] *Kołodziejczyk R.* (praca zbiorowa pod red.): Studia z dziejów kolei żelaznych w Królestwie Polskim (1840 - 1914), PWN, Warszawa 1970, 187 - 216
- [4] Odnoga kaliska drogi żelaznej Warszawsko - Wiedeńskiej, mosty żelazne. Przegląd Techniczny nr 9/1903, 133
- [5] Odnoga kaliska drogi żelaznej Warszawsko - Wiedeńskiej, mosty sklepione paraboliczne. Przegląd Techniczny nr 49/1903, 665 - 666
- [6] *Gleize P.J.P., Motta E.V., Silva D.A., Roman H.R.*: Characterization of historical mortars from Santa Catarina (Brazil). Cement and Concrete Composites no. 31/2009, 342 - 346
- [7] *Gosselin C., Vergès-Belmin V., Royer A., Martinet G.*: Natural cement and monumental restoration. Materials and structures, **42**, 2009, 749 - 763
- [8] *Kosior-Kazberuk M., Gawlicki M., Rakowska A.*: Study on historic mortars produced from artificial hydraulic lime. Proc. of the 5th International Conference Structural Analysis of Historical Constructions, New Dehli, **2**, 2006, (eds: Lourenço P.B., Roca P., Modena C., Agrawal S.)
- [9] *Januszewski M.*: Long-term durability and microstructural comparison of three reinforced concrete military structures. Concrete in aggressive aqueous environments – Performance, Testing and Modeling. Proceedings of the International RILEM TC-211-PAE Final conference, PRO 63, Toulouse, France, June 2009, **2**, 485 - 492

- [10] *Pavia S., Caro S.*: An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material. *Construction and Building Materials*, **22**, 8, 2008, 1807 - 1811
- [11] Concrete, Hardened: Water-Cement Ratio. Nordtest Method BUILD 361, 2, 1999
- [12] PN-EN 12407: 2007: Metody badań kamienia naturalnego. Badania petrograficzne
- [13] Постройка Варшавско - Калишской железной дороги. Warszawa 1903

REINFORCED CONCRETE VIADUCT FROM BEGINNING OF THE 20TH CENTURY – MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF 100 YEARS OLD CONCRETE

Abstract

In the paper the history of a viaduct from Railway Warsaw - Kalisz and its present condition is described. The parabolic vaulted viaduct that was built for the Railway Warsaw - Kalisz, is probably one of two oldest concrete structures in Warsaw.

The quality of concrete specimens taken from parabolic vaulted viaduct is analyzed and the preparation of thin sections is described. The analysis of impregnated thin sections was performed using transmitted polarized light, crossed polarized light and fluorescent light. The petrographic analysis of aggregate was conducted and the grain shape and grain size distribution is described. The paste quality was also analyzed and water-cement ratio of concrete taken from viaduct was determined in UV light. The results of thin section analysis showed that this over 100 years old structure was made from two different concretes: "old concrete" and "new concrete". "Old concrete" was cast in 1904, and "new concrete" – probably between First and Second World War as a part of some kind of repair works.

