

Miasto Poznań  
Zarząd Dróg Miejskich  
ul. Wilczak 17,  
61-623 Poznań

## **EKSPERTYZA TECHNICZNA STANU PODPÓR I DŹWIGARÓW GŁÓWNYCH WIADUKTU W UL. HETMAŃSKIEJ NAD UL. WAGROWSKĄ W POZNANIU**

Opracował:



dr hab. inż. Arkadiusz Madaj, prof. PP  
(nr upr. 7131/133/P/2001)

Poznań, sierpień 2022

## 1. Podstawa i przedmiot opracowania

Opracowanie wykonano na zlecenie: Miasto Poznań, Zarząd Dróg Miejskich, 61-623 Poznań, ul. Wilczak 17 (Umowa - Zlecenie nr UOI.342.13.2022 z dnia 20.07.2022).

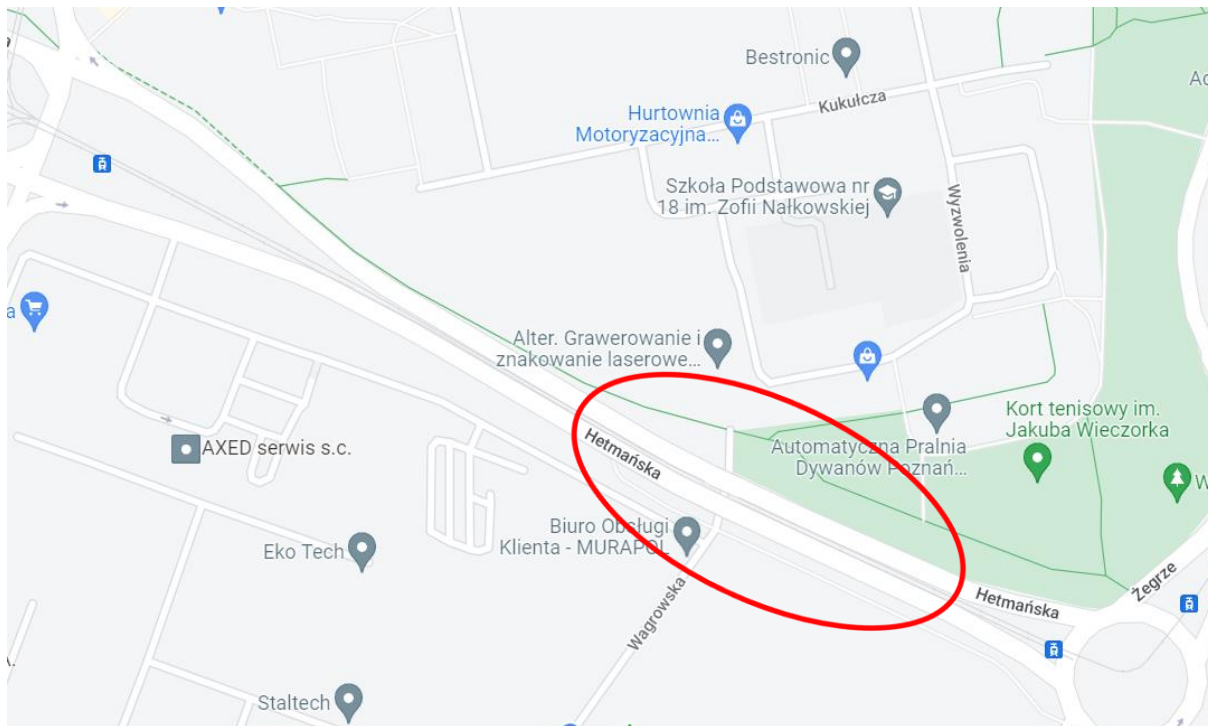
Przedmiotem opracowania jest ocena stanu technicznego podpór i dźwigarów głównych wiaduktu w ul. Hetmańskiej nad ul. Wągrową w Poznaniu.

Opracowanie wykonano w oparciu o:

- badania konstrukcji wykonane we lipcu 2022r.,
- fragmenty dokumentacji: „Projekt budowlano-wykonawczy. Remont estakad północnej i południowej w ciągu ulicy Hetmańskiej nad ulicą Wągrową w Poznaniu”, Poznańskie Biuro Projektów Dróg i Mostów, Poznań, maj 2020
- fragmenty dokumentacji projektu estakady z roku 1980.
- fragmenty projektu remontu estakady nad nowoprojektowanym odcinkiem ul. Wągrowskiej z roku 2021.

## 2. Opis konstrukcji

Wiadukt jest obiektem dziewięcioprzęsłowym, położonym w ciągu ul. Hetmańskiej, nad ul. Wągrową w Poznaniu (rys. 1). Kąt skrzyżowania z ul. Wągrową wynosi 90°. Przęsła mają rozpiętości w osiach podpór odpowiednio 18,36 m + 7x 18,72 m + 18,36 m. Całkowita długość wiaduktu w osiach skrajnych podpór wynosi 167,76 m.



Rys. 1 Lokalizacja obiektu

Jest to wiadukt drogowo – tramwajowy składający się z trzech niezależnych konstrukcji: wiadukt drogowy + wiadukt tramwajowy + wiadukt drogowy. Całkowita szerokość wiaduktu wynosi 30,46m, na co składają się dwa wiadukty drogowe o szerokości 11,42 m każda + wiadukt tramwajowy o szerokości 7,62 m (rys. 2, 2a, 3).

W przekroju poprzecznym każdy z wiaduktów drogowych składa się z ośmiu belek sprężonych strunobetonowych typu WBS, o wysokości 100 cm. Trzy skrajne belki są w rozstawie 105 cm, a pozostałe belki są w rozstawie osiowym 145 cm. Wiadukt tramwajowy składa się z siedmiu belek typu WBS. Skrajne dwa dźwigary są w rozstawie 105 cm a pozostałe co 120 cm. Belki połączone są poprzecznymi podporowymi oraz przęsłowymi (po jednej poprzeczni przęsłowej w środku każdego przęsła) oraz płytą żelbetową o grubości 19cm (5 cm płyty żelbetowe, tzw. deskowanie tracone + płyta betonu „in situ” grubości 14 cm). W czasie remontu w 2001 roku na pomoście wykonano płytę nadbetonu o gr. ok. 5 cm, na której ułożone są kolejno (wg dokumentacji archiwalnej): izolacja o grubości 1cm oraz warstwa nawierzchni bitumicznej o całkowitej grubości 9 cm. Belki oparte są na łożyskach stalowych.

Na każdym z wiaduktów drogowych znajduje się jezdnia o całkowitej szerokości 8,0 m oraz chodnik szerokości 2,42 m i opaska o szerokości 0,99 m. Na wiadukcie tramwajowym znajdują się dwa tory.

Na wiadukcie drogowym zaprojektowano odwodnienie w postaci wpustów osadzonych w płycie pomostowej i rur spustowych sprowadzających wodę do kanalizacji deszczowej.

Na wiadukcie drogowym, na obu końcach zastosowano modułowe urządzenia dylatacyjne. Nad filarami wykonano wiotkie płyty uciągające.

Podpory wiaduktu wykonano jako słupowe, wykonane z prefabrykatów. Pod wiaduktami drogowymi są podpory trzysłupowe, natomiast pod wiaduktem tramwajowym – dwusłupowe. Słupy mają nominalne wymiary 70 x 90 cm. (Aktualnie słupy wiaduktu drogowego, po wykonanym remoncie w 2001 roku mają wymiary ok. 75 x 95 cm). Wysokość słupów od krawędzi ławy fundamentowej do spodu oczepu wynosi 4,0 m. (wysokość słupów na poziomym terenie jest zróżnicowana, ponieważ słupy w dolnej części zostały obsypane gruntem w różnym stopniu). Słupy są osadzone w tzw. szklankach ław zwieńczających pale fundamentowe. Słupy są zwieńczone oczepem o przekroju trapezowym, o wysokości 70cm. Przyczółki są zatopione.

### 3. Opis i ocena stanu technicznego wiaduktu

#### 3.1. Ogólna charakterystyka stanu technicznego

**Uwaga wstępna.** Zgodnie ze zleceniem dokonano oceny jedynie stanu podpór oraz dźwigarów głównych wiaduktu.

Ogólny stan techniczny podpór i dźwigarów głównych wiaduktu jest mocno zróżnicowany. W zadowalającym stanie technicznym są dźwigary główne przęsła, zarówno wiaduktów drogowych jak wiaduktu tramwajowego. W zdecydowanie gorszym stanie są podpory: zarówno wiaduktów drogowych (pomimo wykonanego remontu) jak i wiaduktu tramwajowego. **Jeśli stan techniczny dźwigarów głównych (przęsła) można uznać za zadowalający, to stan techniczny podpór, zarówno wiaduktów drogowych jak i tramwajowego jest przedawaryjny.** Pewien niepokój budzi również szczelność dylatacji wiaduktu tramwajowego.

**Opisany stan konstrukcji ma istotny wpływ na obniżenie trwałości obiektu i obniżenie jego nośności, jakkolwiek w mojej ocenie nie istnieje jeszcze bezpośrednie zagrożenie wystąpienia awarii konstrukcji.**

#### 3.2 Badania materiałowe

W celu oceny wytrzymałości betonu w podporach przeprowadzono badania sklerometryczne, przy wykorzystaniu młotka Schmidta typu N. Badania przeprowadzono na powierzchni podpór, na których wykonano warstwę torkretu, na powierzchni słupów, na których usunięto warstwę torkretu i na podporach wiaduktu tramwajowego (na których nie wykonano torkretu). Na podstawie badań sklerometrycznych stwierdzono:

- słupy wiaduktu drogowego (powierzchnia pokryta torkretem):

- wytrzymałość średnia:  $R_{sr} = 26,6 \text{ MPa}$

- współczynnik zmienności  $v(R) = 61\%$

- wskaźnik jednorodności  $k = 0,39$

- słupy wiaduktu tramwajowego:

- wytrzymałość średnia:  $R_{sr} = 18,1 \text{ MPa}$

- współczynnik zmienności  $v(R) = 43\%$

- wskaźnik jednorodności  $k = 0,59$

- słupy wiaduktu drogowego (korodowane):

- wytrzymałość średnia:  $R_{sr} = 10,1 \text{ MPa}$

- współczynnik zmienności  $v(R) = 63\%$



- wskaźnik jednorodności  $k = 0,45$

Na podstawie badań sklerometrycznych i na podstawie oceny makroskopowej betonu klasę betonu podpór oszacowano, że odpowiada klasie:

- w miejscach w których usunięto warstwę torkretu C12/15 – C16/20,
- na powierzchni warstwy torkretu C25/30,
- w podporach wiaduktu tramwajowego nie pokrytych warstwą torkretu C16/20 – C20/25.

Przy czym w każdym z badanych elementów, beton charakteryzuje się bardzo dużym rozrzutem wytrzymałości, co w sposób istotny obniża klasę betonu w elementach ocenianych jako całość.

Badania stopnia karbonatyzacji betonu wykonano za pomocą roztworu fenoloftaleiny. Badania wykazały, że beton warstwy torkretu i betonu na głębokości zbrojenia jest całkowicie skarbonatyzowany (pH zbliżone do 7,0). Dopiero na głębokości ok. 5 – 6 cm poniżej powierzchni podpór zaobserwowano nieznaczne zabarwienie fenoloftaleiny, co wskazuje, że pH betonu jest powyżej 7,0. Tak więc beton nie chroni w sposób aktywny zbrojenia.

### **3.3. Stan techniczny dźwigarów głównych ustroju nośnego (przęseł)**

Ogólny stan dźwigów głównych przęseł jest dobry. Brak jest uszkodzeń, które wskazywałyby na obniżenie ich aktualnej nośności. Dotyczy to zarówno wiaduktów drogowych jak i wiaduktu tramwajowego.

W przypadku wiaduktu tramwajowego występują uszkodzenia korozyjne dźwigarów w miejscach oparcia na podporach. Są one skutkiem nieszczelności dylatacji wiaduktu tramwajowego oraz nieszczelności styku wiaduktów drogowych i tramwajowego. Zakres tych uszkodzeń jest na razie niewielki, jakkolwiek widoczne są odsłonięte korodujące strzemiona oraz zbrojenie podłużne. Nie zaobserwowano korozji splotów sprężających. Dochodzi również do wypłukiwania związków betonu, czego skutkiem są powstające miejscach dylatacji stalaktyty. Rozwój korozji nie jest jednak intensywny, ponieważ woda spod torowiska jest pozbawiona chlorków stosowanych do zimowego utrzymania dróg.

Poza lokalnymi, niewielkimi uszkodzeniami korozyjnymi zlokalizowanymi na końcach przęseł, zaobserwowano poważniejsze uszkodzenia dwóch dźwigarów głównych (przedszkrajnego i trzeciego licząc od strony południowej) przęsła siódmego (licząc od Ronda Starołęka) wiaduktu południowego. Są to uszkodzenia wynikające z korozji betonu oraz tzw. zbrojenia miękkiego. Aktualnie trudno jest ustalić ich przyczynę, ponieważ w miejscu uszkodzeń korozyjnych nie stwierdzono przecieków wody przez izolację. Można jedynie

domniemywać, że takie przecieki występowały przed wykonanym remontem w roku 2001, a belki przed naprawą nie zostały starannie oczyszczone (nie usunięto skorodowanego i nasączonego chlorkami betonu). W związku z tym, pomimo usunięcia przecieków, procesy korozyjne postępują w dalszym ciągu, co jest zjawiskiem powszechnie obserwowanym np. jako efekt rozsadzającego działania pęczniejących soli Friedla Taka diagnoza jest tym bardziej prawdopodobna, gdyż są to belki zlokalizowane w osi odwodnienia estakady południowej.

Korzystnym czynnikiem z punktu widzenia wpływu zaobserwowanych uszkodzeń na nośność dźwigarów głównych jest w tym wypadku fakt, że są to strunobetonowe belki WBS, a nie kablobetonowe.

### 3.4. Stan techniczny podpór

**Stan techniczny podpór jest przedawaryjny.** Ocena ta wynika ze stopnia skorodowania betonu i zbrojenia głównego słupów podpór i oczepów. Niemożliwy jest natomiast do oceny stan ław fundamentowych – zwieńczających pale fundamentowe, w których tzw. szklankach osadzono prefabrykowane słupy.

W celu wyjaśnienia przyczyn bardzo złego stanu podpór należy opisać historię powstania wiaduktu.

Wiadukt został wybudowany na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Projekt wiaduktu powstał w 1980 roku. **Na początku XXI wieku, prawdopodobnie w roku 2001, został wykonany remont wiaduktu, ale tylko wiaduktów drogowych. Nie przeprowadzono remontu wiaduktu tramwajowego – zarówno przęseł jak i podpór.** Wykonano natomiast lokalne naprawy podpór wiaduktu tramwajowego i uszczelniono przerwę między wiaduktami drogowymi i tramwajowym oraz na zakończeniach (wspornikach) wielu oczepów położono blachy, których celem jest ochrona oczepów przed przeciekającą wodą przez szczelinę znajdującą się pomiędzy wiaduktem tramwajowym i wiaduktami drogowymi.

W ramach remontu wiaduktów drogowych dokonano przebudowy pomostu – pogrubiono płytę pomostową, przebudowano chodniki, dokonano pozornego uciąglenia przęseł – zastosowano w miejscach dylatacji tzw. płytki uciągające, wykonano nową izolację pomostu oraz nową nawierzchnię na jezdniach i chodnikach. Dokonano również przebudowy przyczółków, wykonując nowe ścianki żwirowe oraz płyty przejściowe. Nie wiadomo natomiast czy dokonano remontu słupów (Aktualnie nie jest to możliwe do ustalenia, gdyż z uwagi na konstrukcje przyczółków- przyczółki zatopione - nie są one widoczne).

**W wypadku filarów wiaduktu drogowego**, zarówno na powierzchni słupów jak i oczepów wykonano w technologii torkretu, tzw. koszulki betonowe. Nie jest natomiast wiadomym, czy koszulki takie zostały wykonane do poziomu fundamentów - aktualnie bowiem dolne części słupów są obsypane gruntem na wysokości ok 80 cm. Grubość koszulek jest zmienna, ale średnio można szacować, że wynosi ona ok. 1,5 – 2,5 cm.

Przystępując do budowy ulicy pod drugim przęsłem (licząc od Ronda Starołęka) stwierdzono, że na powierzchni słupów występują liczne pęknięcia, a tzw. koszulka z torkretu, przy uderzeniu w jej powierzchnię, wydaje głuchy dźwięk. Wskazuje to odspojenie się koszulki od korpusu słupów (brak przyczepności do podłoża). Po usunięciu odspojonej koszulki, pod jej powierzchnią stwierdzono zawansowaną korozję zbrojenia prętów zbrojenia głównego i strzemion. Po odkuciu niektórych prętów okazało się, że nie jest to tylko korozja przypowierzchniowa zbrojenia, ale pręty są skorodowane na całym obwodzie. W wypadku niektórych prętów stopień korozji jest na tyle zawansowany, że skorodowane zostało użebrowanie prętów. Jednak szacuje się, że w miejscach odkrywek globalny ubytek przekroju zbrojenia nie przekracza 10%. W związku z tym, zgodnie zaleceniami normy PN-88/B-01807 oraz ogólnie przyjętą praktyką, nie ma konieczności wzmacniania konstrukcji – uzupełnienia zbrojenia. **W przypadku podpór, w których zostanie usunięta warstwa torkretu należy dokonać weryfikacji oszacowanego ubytku przekroju zbrojenia i podjąć stosowne decyzje.**

W miejscach odkrywek (w miejscach usuniętego betonu otulenia prętów) przeprowadzono badania stopnia karbonatyzacji betonu (patrz pkt. 3.1 opracowania). Okazało się, że beton otuliny jest całkowicie skarbonatyzowany. Również skarbonatyzowny jest beton na całej głębokości, w której osadzono pręty zbrojenia. Dopiero na głębokości ok. 5 – 6 cm od powierzchni podpór stwierdzono lekkie zaróżowienie fenoloftaleiny. Wynika z tego, że pręty zbrojenia w całości znajdują się w skarbonatyzowanym betonie, a tym samym nie są chronione sposób aktywny betonem przed korozją. Zwraca się jednak uwagę, że dopiero beton o pH wyraźnie większym od 9,0 chroni aktywnie zbrojenie przed korozją. Można więc jednoznacznie stwierdzić, że przyczyną zawansowanej korozji zbrojenia na całym obwodzie, jest całkowita karbonatyzacja betonu podpór. Również badania pH warstwy torkretu wskazują, że ma on pH zbliżone do obojętnego. A więc również warstwa torkretu nie chroni aktywnie zbrojenia przed korozją.

**Dokonana ocena makroskopowa wszystkich podpór wiaduktów drogowych wskazuje, że w około 80% wszystkich słupów podpór warstwa torkretu ma spękania (patrz dokumentację fotograficzną), a przy uderzeniu otulina wydaje „głuchy” dźwięk.**

Wskazuje to, że warstwa torkretu nie jest powiązana z podłożem. W oparciu o badania kilku słupów i stwierdzeniu, że pod warstwą odspojonego torkretu beton jest całkowicie skarbonatyzowany. można z niemal 100 % pewnością przyjąć, że we wszystkich wypadkach, w których stwierdzono brak powiązania torkretu z podłożem („głuchy” dźwięk otuliny) i występują spękania warstwy torkretu, że tam występuje zawansowana korozja zbrojenia.

Ponieważ nie stwierdzono przecieków wody przez izolację pomostu, a przestrzeń po wiaduktem nie była użytkowana, ze 100% pewnością można stwierdzić, że przyczyną tak zawansowanej korozji betonu była zła jakość betonu podpór (zbyt mała ilość cementu i/lub zastosowanie innego cementu niż cement typu CEMI tzn. cementu czysto klinkierowego). W efekcie beton szybko uległ całkowitej karbonatyzacji. Ponadto z dużym prawdopodobieństwem można stwierdzić, że już w czasie remontu wiaduktu w 2001 roku beton podpór był na głębokości zbrojenia skarbonatyzowany.

Badania sklerometryczne betonu znajdującego się pod warstwą torkretu wykazały jego bardzo niską wytrzymałość i bardzo dużą zmienność wytrzymałości betonu. Co prawda szacowanie betonu na podstawie badań sklerometrycznych jest obarczone dużym błędem, to na podstawie wykonanych badań sklerometrycznych i badaniach makroskopowych betonu, szacuje się, że w miejscach wykonanych odkrywek parametry wytrzymałościowe betonu odpowiadają klasie C12/15 – C16/20. W miejscach nie skorodowanych szacuje się, że wytrzymałość betonu jest większa i może odpowiadać klasie C16/20 – C20/25. Natomiast beton torkretu ma wyraźnie wyższą wytrzymałość od betonu rdzeni słupów. **Szacuje się, że wytrzymałość warstwy torkretu jest 1,5 do 2,0 razy wyższa od wytrzymałości betonu rdzeni podpór. Stwarza to bardzo niekorzystne warunki pracy słupów – występuje różnica w modułach sprężystości podłoża i warstwy naprawczej. Sprzyja to powstawaniu dużych naprężeń ścinających na styku podłoża i warstwy naprawczej, co prowadzi do odspajania się warstwy torkretu od podłoża.**

**Niemożliwy do oceny jest stan przyczółków**, jako że są one zatopione w nasypach i widoczne są jedynie głowice przyczółków (przednie części oczepów i ścianki maskujące łożyska). Ponieważ przyczółki wiaduktów drogowych były naprawiane w tej samej technologii co filary, należy z dużym prawdopodobieństwem przyjąć, że ich stan jest podobny do stanu filarów, tzn. że warstwa torkretu nie jest zespolona na całej powierzchni podłożem, a beton pod warstwą torkretu jest skarbonatyzowany i występuje korozja zbrojenia. Na taki stan warstwy torkretu na przyczółkach mogą wskazywać jego spękania na widocznych fragmentach. Natomiast w odniesieniu do stopnia skarbonatyzowania betonu to może okazać się on mniejszy niż filarów, ponieważ postęp karbonatyzacji jest mniejszy w wypadku

elementów nie narażonych na bezpośrednie działanie CO<sub>2</sub> oraz znajdujących się w wilgotnym środowisku (pory betonu wypełnione są wtedy wodą, co utrudnia penetrację CO<sub>2</sub>).

**Podpory wiaduktu tramwajowego**, ponieważ nie były remontowane w roku 2001, mają zdecydowanie gorszy wygląd w porównaniu z podporami wiaduktów drogowych. Dotyczy to zarówno filarów jak widocznych fragmentów przyczółków (oczepów). Stopień korozji podpór wiaduktu tramwajowego jest mocno zróżnicowany i mniejszy od korozji podpór wiaduktów drogowych. Szczególnie skorodowane są wsporniki oczepów podpór wiaduktu tramwajowego. Jest to wynikiem przecieków wody przez nieszczelne dylatacje oraz nieszczelny styk wiaduktów drogowych i wiaduktu tramwajowego. Zwraca się uwagę, że na niektórych słupach podpór wiaduktu tramwajowego stwierdzono pozostałości powłoki ochronnej, co mogło zmniejszyć tempo krzoji.

Ponieważ otulina zbrojenia nie jest uszkodzona w tak znacznym stopniu jak podpór wiaduktów drogowych, korozja zbrojenia wiaduktu tramwajowego jest mniejsza niż w przypadku wiaduktów drogowych. Potwierdzają to lokalne odkrytki, jakkolwiek w miejscach uszkodzonej otuliny stopień korozji poszczególnych prętów jest podobny jak w wiaduktach drogowych. Korozji zbrojenia podporach wiaduktu tramwajowego, podobnie jak w podporach wiaduktów drogowych, sprzyja również całkowita karbonatyzacja betonu, w którym osadzone są pręty zbrojenia.

Sklerometryczne badania betonu podpór wiaduktu tramwajowego wskazują, że ma on nieco większą wytrzymałość od skorodowanego betonu podpór wiaduktów drogowych (pomiar w miejscach, w których odpadła otulina zbrojenia). Jednak również w wiadukcie tramwajowym beton charakteryzuje się bardzo dużym rozrzutem wytrzymałości. Szacuje się, że aktualnie beton podpór wiaduktu betonowego odpowiada co najmniej klasie C16/20 – C20/25, podobnie jak podpor rdzenia wiaduktów drogowych.

#### **4. Nośność wiaduktu**

**Na podstawie stopnia uszkodzenia konstrukcji oceniam, że stan wiaduktu jest zaniżony w stosunku do stanu projektowego. Decyduje o tym stan podpór.**

**Stan dźwigarów głównych, a więc i stan przęseł jest dobry, a aktualna nośność przęseł tak wiaduktach drogowych jak i wiaduktu tramwajowego nie jest istotnie mniejsza od projektowanej.** Brak jest jakichkolwiek oznak ich przeciążenia, a uszkodzenia korozyjne nie mają praktycznie żadnego wpływu na ich aktualną nośność. Istnieje natomiast istotne zagrożenie trwałości dźwigarów głównych wiaduktu tramwajowego i w konsekwencji

spowodowanie w krótkim okresie obniżenie ich nośności, głównie ze względu na lokalne uszkodzenia korozyjne w strefach podporowych. Aktualny stan dźwigarów głównych wiaduktu tramwajowego, jeśli nie wykonany zostanie jego remont, może ulec obniżeniu poniżej projektowanej w ciągu kilku lat. Takiego zagrożenia brak jest na razie w wypadku przęseł wiaduktów drogowych, poza opisanymi uszkodzeniami dwóch dźwigarów głównych w siódmym przęśle (licząc od Ronda Starołęka) południowego wiaduktu drogowego, jednak stwierdzone uszkodzenia korozyjne dwóch dźwigarów południowego wiaduktu drogowego, nie powodują aktualnie obniżenia ich nośności poniżej projektowanej.

**Stan techniczny podpór, zarówno wiaduktów drogowych jak i tramwajowego, wskazuje na zaniżenie ich nośności. Na podstawie oceny stopnia skorodowania zbrojenia (poniżej 10% całkowitej powierzchni zbrojenia) uważam, że aktualnie zaniżenie nośności podpór jest na dopuszczalnym poziomie.**

**W podsumowaniu stwierdzam, że aktualna nośność wiaduktów jako całości umożliwiała jego eksploatację na dotychczasowych zasadach. Jednak w wypadku nie przeprowadzenia remontu podpór nośność ta ulegnie w okresie kilku lat obniżeniu poniżej dopuszczalnego poziomu.**

## **5. Zakres i technologia remontu podpór wiaduktów**

**Niezależnie od aktualnego uszkodzenia (wyglądu) wszystkie podpory należy poddać naprawie (zarówno słupy jak i oczepy) wiaduktów drogowych i tramwajowych.**

Takie zalecenie wynika ze stopnia skorodowania betonu i stopnia jego karbonatyzacji i rozpoczęcia procesów korozyjnych zbrojenia. Jeśli nie zastosuje się naprawy opisanej w dalszej części tego punktu, to z dużym prawdopodobieństwem należy liczyć się rozwojem korozji zbrojenia, podobnie jak to miało miejsce po remoncie wykonanym w roku 2001. W przypadku wiaduktu tramwajowego naprawa powinna być poprzedzona naprawą dylatacji (ich uszczelnieniem).

**Przed przystąpieniem do naprawy należy bezwzględnie konstrukcję przęseł oprzeć na tymczasowych podporach, o nośności pozwalającej na przeniesienie w całości ciężaru konstrukcji przęseł oraz reakcji od obciążenia zmiennego.**

Zaleca się naprawę podpór realizować przy ograniczonej eksploatacji wiaduktu drogowego (dopuszczony ruch pojazdów o całkowitej masie nie przekraczającej 3,5 t) i całkowitym wyłączeniu wiaduktu tramwajowego z eksploatacji lub przynajmniej ograniczeniem prędkości poruszających się tramwajów do 10 km/h. Ograniczona eksploatacja

wiaduktu drogowego i wyłączenie z eksploatacji wiaduktu tramwajowego ma na celu zmniejszeni wpływu oddziaływań dynamicznych na podpory w czasie wiązania betonu.

Odrębnym zagadnieniem jest remont przyczółków. Ponieważ są to przyczółki zatopione i poza zewnętrznymi powierzchniami skrzydełek i odkrytymi fragmentami oczepów, wszystkie elementy są zakryte (ukryte w nasypach), ich ewentualny remont będzie związany z całkowitym wyłączeniem wiaduktów z eksploatacji.

Ze względu na stopień karbonatyzacji betonu, który w obecnym stanie nie chroni aktywnie zbrojenia przed korozją, **konieczne jest całkowicie usunięcie skarbonatyzowanego betonu wokół zbrojenia. Pręty zbrojenia należy osłonic na głębokość minimum 2 cm (poniżej dolnej krawędzi pręta). Dotyczy to zarówno wiaduktów drogowych jak i wiaduktu tramwajowego.** Najlepiej wykonać to wodą pod dużym ciśnieniem tzw. techniką hydromonitoringu. Tą samą techniką należy oczyścić min. do stopnia Sa2 pręty zbrojenia z produktów korozji. Przed oczyszczeniem słupy odkopać aż do powierzchni stop fundamentowych. Przy okazji dokonać oceny jakości betonu wypełniającego kielichy, w których osadzono słupy.

Przed przystąpieniem do reprofilacji – uzupełniania ubytków betonu, pręty należy zabezpieczyć przed korozją. Następnie na powierzchni betonu wykonać warstwę szepną. Do tego celu stosować preparaty wchodzące w skład jednego systemu naprawczego. **Wykonanie warstwy szepnej jest kluczowym zabiegiem poprawiającym przyczepność warstwy naprawczej do podłoża.**

Naprawę należy wykonać w technologii betonu natryskowego. **Należy stosować beton natryskowy, o możliwie niskim module sprężystości, o zawartości w minimalnej ilości 300 kg/m<sup>3</sup> cementu (bezwzględnie cementu CEMI, bez dodatków). Beton natryskowy powinien mieć klasę nie wyższą od C25/30. Nie należy stosować jako dodatku do betonu mikrokrzemionki.** Odpowiednia ilość cementu i brak mikrokrzemionki daje gwarancję utrzymania wysokie pH betonu przez dłuższy okres. **Do betonu należy dodać inhibitory korozji.** W celu wyeliminowania skurczu spowodowanego wysychaniem betonu, należy rozważyć jako dodatek do betonu rozproszonego zbrojenia, w postaci włókien polipropylenowych.

Dolne części słupów, do wysokości obsypania gruntem należy zabezpieczyć powłoka bitumiczną.

## 6. Wnioski i zalecenia

W oparciu o przeprowadzone badania oraz ogólna wiedzę z zakresu korozji żelbetu (betonu i zbrojenia), poza złą jakością betonu, z których wykonano podpory, przyczyną nieskuteczności remontu wykonanego w 2001 roku, było nieprawidłowe przygotowanie podłoża (prawdopodobnie nie całkowite usunięcie skarbonatyzowanego betonu wokół prętów zbrojeniowych i prawdopodobnie nie pokrycie prętów zbrojeniowych warstwą antykorozyjną oraz nie zastosowanie inhibitorów korozji).

Drugim istotnym czynnikiem przyspieszonej korozji podpór i odspajania się warstwy torkretu od podłoża w wiaduktach drogowych było zastosowanie do wykonania torkretu betonu o zbyt wysokim module sprężystości (zbyt dużej wytrzymałości na ściskanie).

Z wymienionych powodów zwraca się uwagę na odpowiednie przygotowanie powierzchni podpór przed przystąpieniem obecnie do remontu (nałożeniem warstwy torkretu) i zastosowanie betonu o parametrach dostosowanych do aktualnych parametrów betonu podpór (powinny być zbliżone cechy mechaniczne materiału stosowanego do naprawy do betonu naprawianej konstrukcji). **Dlatego, ze względu na potencjalny duży zakres naprawy, przed przystąpieniem do remontu, powinien być opracowany projekt naprawy i powinien być dobrany rodzaju materiału naprawczego (parametry materiału zastosowanego do naprawy) w oparciu o badana cech betonu naprawianej konstrukcji.**

Poza wykonaniem naprawy filarów konieczny jest pilna naprawa dwóch uszkodzonych korozyjnie dźwigarów w siódmy prześle wiaduktu południowego.

Ponadto należy rozważyć remont przyczółków, szczególnie wiaduktu tramwajowego, które nie były remontowane od czasu ich wykonania, a biorąc pod uwagę stan pozostałych podpór, należy spodziewać, że mogą być one w zły stanie technicznym. Ewentualny remont przyczółków wiaduktu tramwajowego można by połączyć z naprawą dylatacji.

**Ponieważ istotną przyczyną uszkodzeń korozyjnych podpór wiaduktu tramwajowego są przecieki wody przez nieszczelne urządzenia dylatacyjne, należy rozważyć, czy remontu podpór wiaduktu tramwajowego nie połączyć remontem pomostu wiaduktu tramwajowego, a przede wszystkim z uszczelnieniem dylatacji.** Jest to tym bardziej uzasadnione, że zaleca się by remont podpór wiaduktu tramwajowego wykonać przy wyłączeniu ruchu tramwajów.

Staranne przygotowanie i wykonanie remontu podpór wiaduktów oraz uszczelnienie dylatacji w wiadukcie tramwajowym jest tym bardziej ważne, ponieważ aktualny stan dźwigarów głównych jest dobry i w mojej ocenie, po wykonaniu remontu podpór i



prawidłowym i starannym utrzymaniu, wiadukt będzie mógł być eksploatowany bezpiecznie przez minimum 20 -25 lat.

Opracował:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized initial 'A' followed by a long horizontal stroke that ends in a small loop.

Dr hab. inż. Arkadiusz Madaj  
(upr. nr 7131/133/P/2001)

# *Dokumentacja fotograficzna*

(numeracja podpór – od strony Ronda Starołęka)



Fot. 1 Widok ogólny wiaduktu od strony Pd



Fot. 2 Widok ogólny wiaduktu od strony Pn





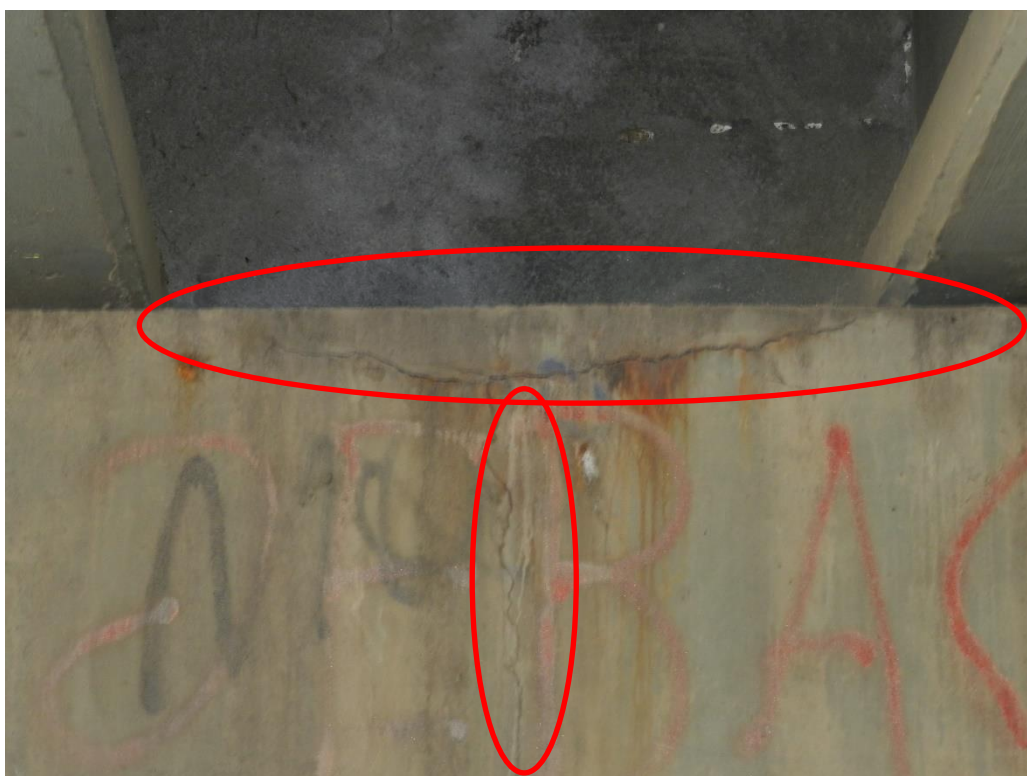
Fot. 3 Uszkodzona ścianka maskująca łożyska. Uszkodzony dźwigar główny. Przyczółek zachodni – strona Pd



Fot. 4 Uszkodzona ścianka maskująca łożyska. Uszkodzony dźwigar główny. Przyczółek zachodni – strona Pd



Fot. 5 Przyczółek zachodni. Spękania ławy podłożyskowej i ścianki żwirowej (jezdnia Pd)



Fot. 6 Przyczółek zachodni. Spękania ławy podłożyskowej (Wiadukt tramwajowy)





Fot. 7 Przyczółek zachodni. Widok na szerokości wiaduktu tramwajowego. Uszkodzenia korozyjne oczepu



Fot. 8 Spękania słupa – filar 1, wiadukt drogowy – strona Pd



Fot. 9 Spękania słupa - Filar 1, strona Pd



Fot. 10 Spękania słupa – filar 1, wiadukt drogowy – strona Pd





Fot. 11 Spękania słupa – filar 1, wiadukt tramwajowy – strona Pd



Fot.12 Uszkodzenia korozyjne – filar 1, wiadukt tramwajowy – strona Pn





Fot.13 Uszkodzenia korozyjne oczeput – filar 1, wiadukt tramwajowy – strona Pn



Fot. 14 Uszkodzenia korozyjne słupa - Filar 1 – strona Pn





Fot. 15 Uszkodzenia korozyjne słupa - Filar 1 – strona Pn



Fot. 16 Uszkodzenia korozyjne oczepek - Filar 1 – strona Pn





Fot. 17 – Uszkodzenia korozyjne oczeput – filar n2 – wiadukt tramwajowy



Fot. 18 Uszkodzenia korozyjne słupa - Filar 2 – strona Pn



Fot. 19 Spękania oczepu (korozja słupa) - Filar 2 – strona Pn



Fot. 20 Spękania słupa – filar 3, strona Pd





Fot. 21 Spękania oczezu – filar 3, strona Pd



Fot. 22 Głowica filara tramwajowego (podpora 3). Korozja dźwigarów głównych



Fot. 23 Korozja oczepu wiaduktu tramwajowego – filar 3

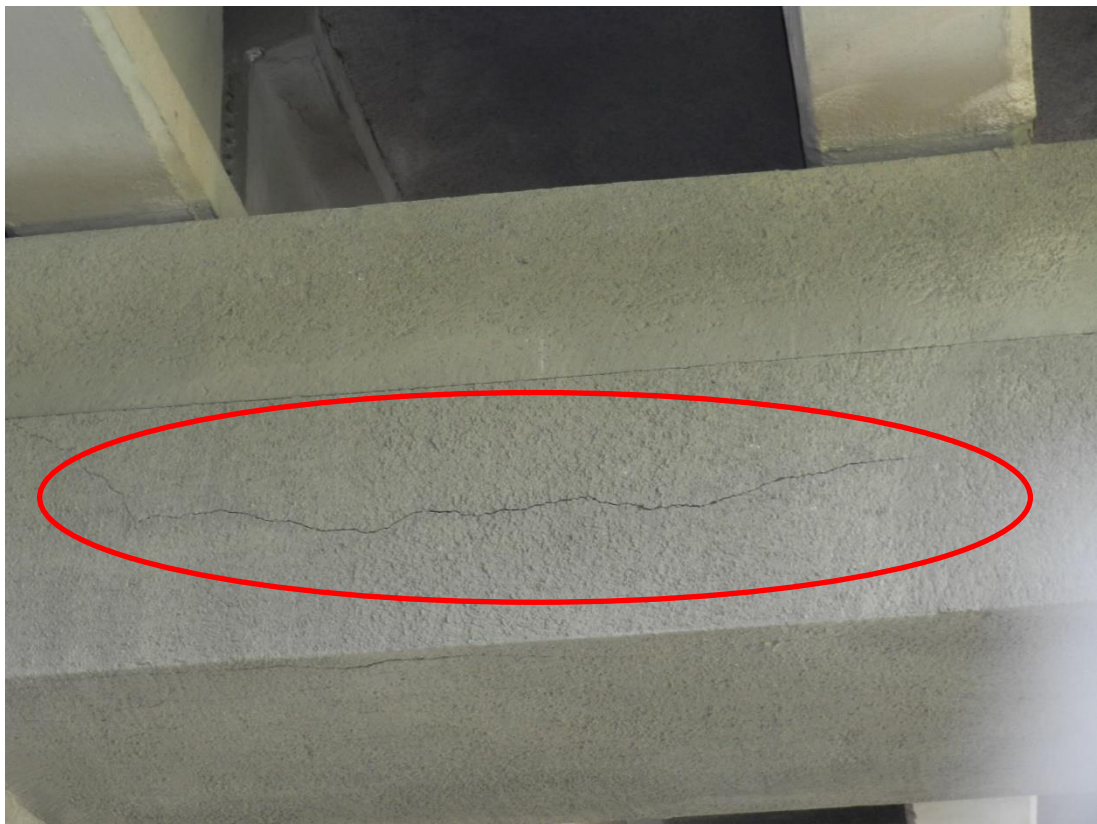


Fot. 24 Spękania słupa podpory wiaduktu tramwajowego – filar 3





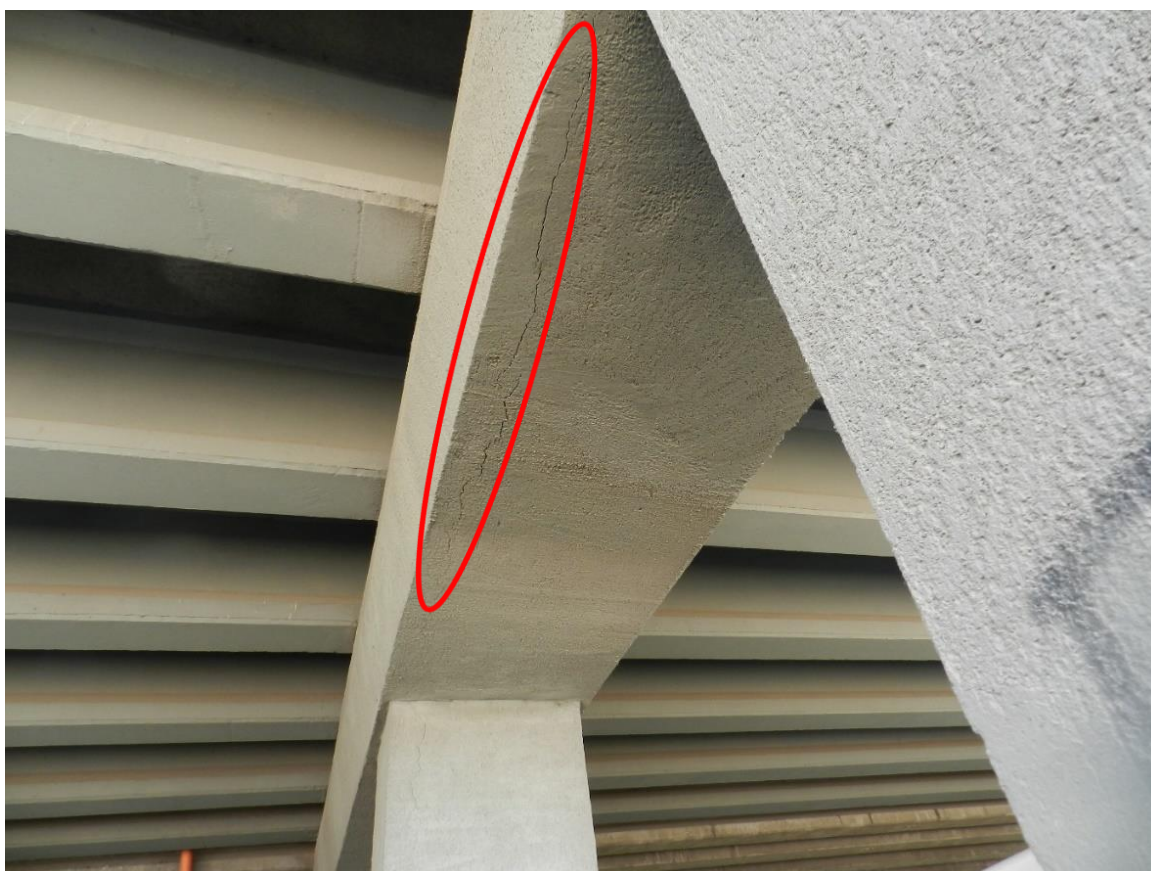
Fot. 25 Spękania słupa podpory 3 – strona Pn



Fot. 26 Spękania oczepu – podpora 3, strona Pn



Fot. 27 Uszkodzenia korozyjne dźwigara głównego wiaduktu tramwajowego nad filarem 4 – strona Pd.



Fot. 28 Spękania oczepek filara nr 4 – strona Pd.





Fot. 29 Spękania słupa filara nr 4 – strona Pd



Fot. 21 Uszkodzenia głowicy filara nr 4 – wiadukt tramwajowy



Fot. 31 Uszkodzenia głowicy filara nr 4 – wiadukt tramwajowy



Fot. 32 Spękania oczepu filara nr 4 – wiadukt Pn





Fot. 33 Spękania słupa filara nr 4 – strona Pn



Fot. 34 Spękania słupa filara nr 5 – strona Pd



Fot. 35 Spękania słupa filara nr 5 – strona Pd



Fot. 36 Spękania oczepu filara nr 5 – strona Pd





Fot. 37 Uszkodzenia głowicy filara tramwajowego – filar nr 5



Fot. 38 Spękania słupa filara nr 5 – strona Pn

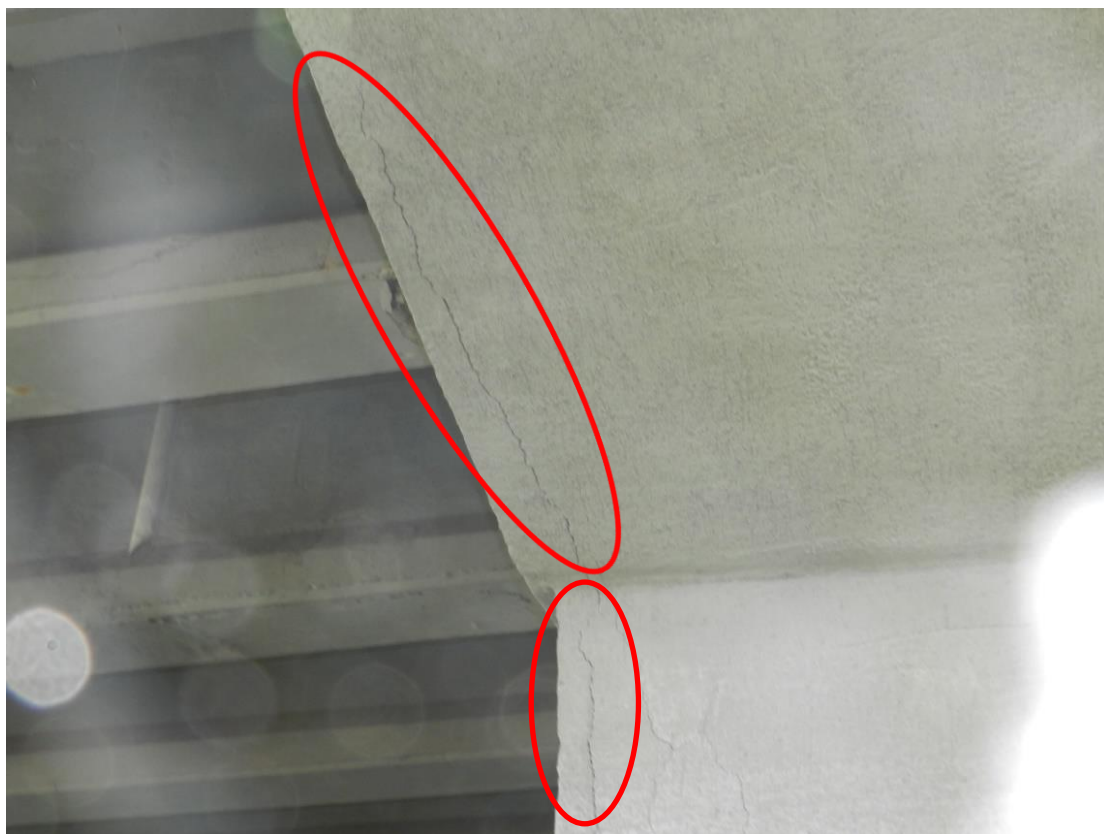


Fot. 39 Spękania słupa filara – filar 6 (strona Pd)



Fot. 40 Oczep wiaduktu tramwajowego – filar 6





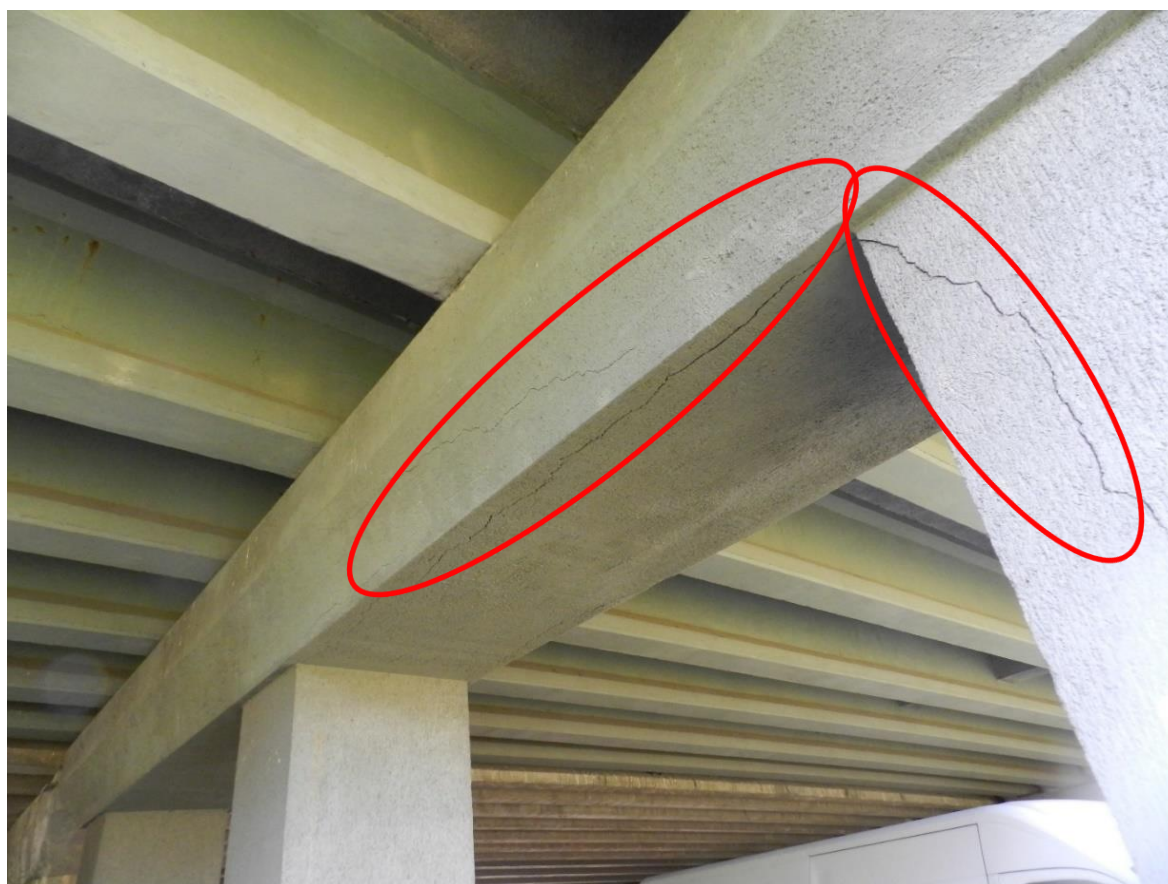
Fot. 41 Spękania słupa i oczepu – filar nr 6 (strona Pn)



Fot. 42 Oczep filara wiaduktu tramwajowego (filar nr 7)

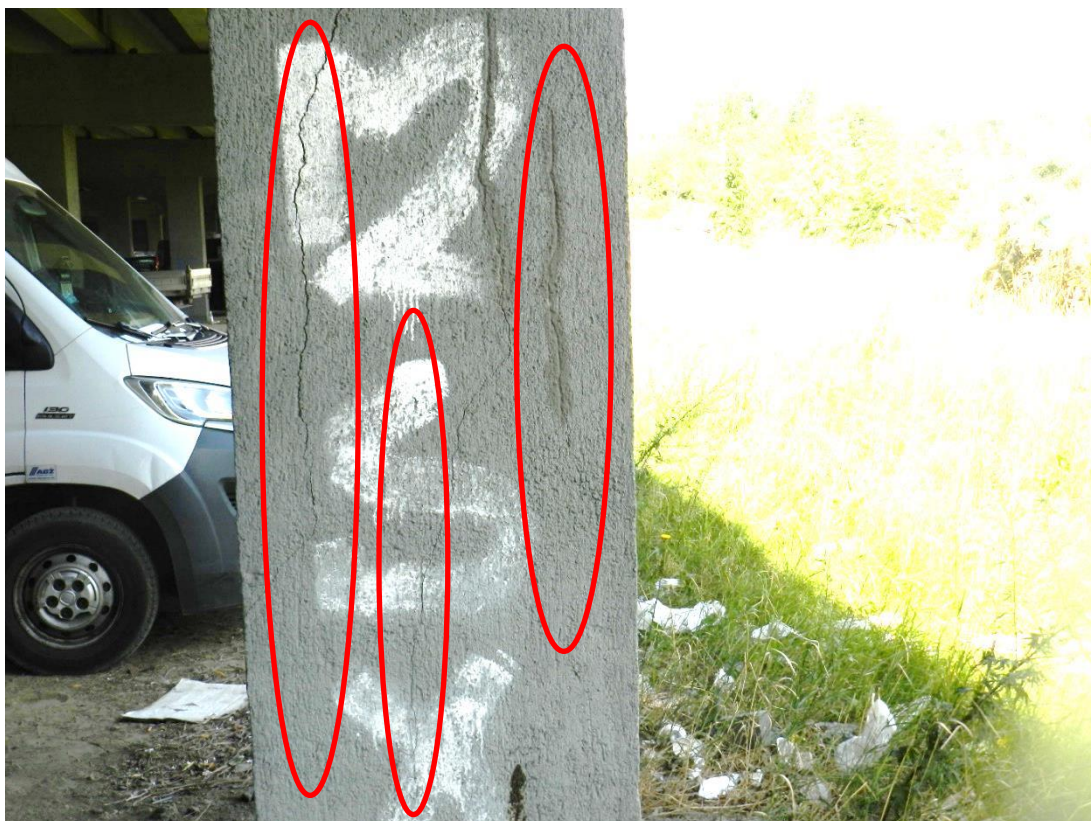


Fot. 43 Spękania oczepu filara nr 7 (strona Pn)



Fot. 44 Spękania oczepu i słupa filara nr 7 (strona Pn)





Fot. 45 Spękania słupa filara nr 7 (strona Pn)



Fot. 46 Spękania oczepu filara nr 8 (strona Pd)



Fot. 47 Oczep filara wiaduktu tramwajowego – filar nr 8



Fot. 48 Przecieki nad filarem nr 8 – wiaduktu tramwajowego





Fot. 49 Spękania oczepu filara nr 8 (strona Pn)



Fot. 50 Przykładowy stan skorodowanego zbrojenia filara. Ślady różowego zabarwienia betonu pod wpływem fenoloftaleiny na głębokości ok. 5 cm





Fot. 51 Ślady różowego zabarwienia betonu pod wpływem fenoloftaleiny na głębokości ok. 3 cm



Fot. 52 Przykładowy stan skorodowanego zbrojenia filara. Brak zabarwienia betonu pod wpływem fenoloftaleiny

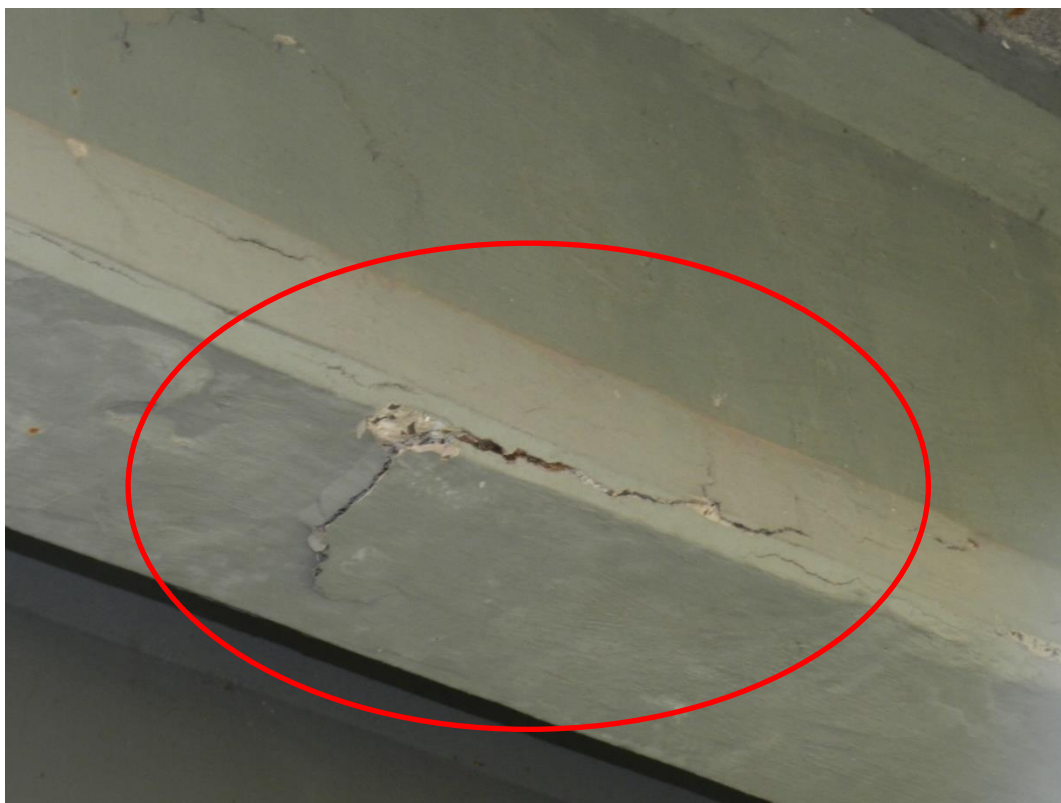


Fot. 53 Spękania powierzchni dźwigara głównego w przęśle (przęsło 7-me od strony ronda Starołęka, jezdnia Pd– dźwigar trzeci od strony Pd)



Fot. 54 Spękania powierzchni dźwigara głównego w przęśle (przęsło 7-me od strony ronda Starołęka, jezdnia Pd– dźwigar trzeci od strony Pd)





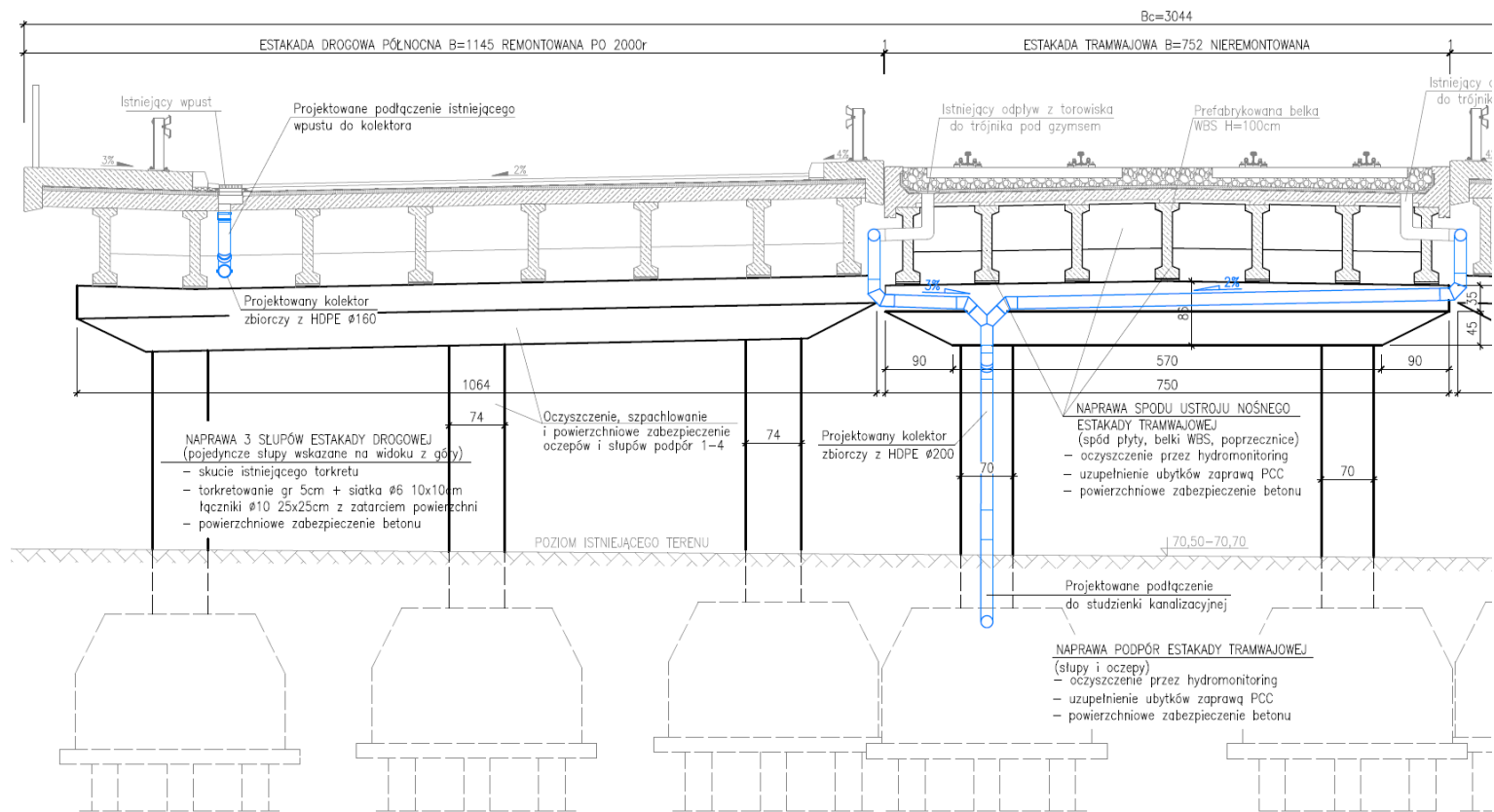
Fot. 55 Spękania powierzchni dźwigara głównego w przęśle (przęsło 7-me od strony ronda Starołęka, jezdnia Pd– dźwigar trzeci od strony Pd)



Fot. 56 Spękania powierzchni dźwigara głównego w przęśle (przęsło 7-me od strony ronda Starołęka, jezdnia Pd– dźwigar przedskrajny od strony Pd)



Fot. 57 Spękania powierzchni dźwigara głównego w przęśle (przęsło 7-me od strony ronda Starołęka, jezdnia Pd– dźwigar przedskrajny od strony Pd)



Rys. 2 Przekrój poprzeczny wiaduktu (wg. Projektu remontu z roku 2021)

Rys. 2





