

Na prawach rękopisu

Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Politechniki Wrocławskiej

**Ekspertyza wiaduktu WD-254  
nad autostradą A1  
(km 305+443, m. Natolin)**

**Raport serii SPR nr 59/2024**

Mieszko Kuźawa, Jan Bień,  
Aleksander Mróz, Jarosław Rybak

Słowa kluczowe:  
wiadukt drogowy,  
przęsło betonowe,  
kablobeton,  
uszkodzenia konstrukcji,  
ocena stanu

Wrocław, wrzesień – listopad 2024 r.

Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
tel.: 0-71 320 3582, tel./fax.:0-71 320 3545  
e-mail: [dziekanat\\_w2@pwr.edu.pl](mailto:dziekanat_w2@pwr.edu.pl)

Temat badawczy:

**Opracowanie ekspertyzy wiaduktu WD-254 nad autostradą A1 (km 305+443) w m. Natolin.**

Umowa nr 8/08/2024 z dnia 19.08.24 r.

Nr w repozytorium PWr: U/0180/332/2024

Zlecenie wewnętrzne nr 4001/0080/24 z dnia 19.08.24 r.

Zlecniodawca:

Oddział Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Łodzi, ul. Irysowa 2, 91-857 Łódź.

Zespół badawczy:

Podpisy

Dr. hab. inż. Mieszko Kużawa, prof. uczelni  
Katedra Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk



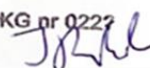
Prof. dr hab. inż. Jan Bień  
Katedra Dróg Mostów Kolei i Lotnisk

**Prof. dr hab. inż. Jan Bień**  
Rzecznik budowlany w zakresie  
projektowania i wykonawstwa mostów  
Decyzja Nr 18/2002/RZ Woj. Dolnośląskiego  
Centralny Rejestr Rzecz. Bud. poz. 212/02/R/C

Dr inż. Jarosław Rybak  
Katedra Geotechniki, Hydrotechniki, Budownictwa  
Podziemnego i Wodnego

**dr inż. Jarosław Rybak**

Certyfikat PKG nr 0222



Mgr inż. Aleksander Mróz  
Katedra Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk



Lista odbiorców:

Zlecniodawca	3 egz.
Autorzy	1 egz.
Archiwum W-2	1 egz.

---

Razem	5 egz.
-------	--------

## SPIS TREŚCI

<b>1. UWAGI FORMALNE .....</b>	<b>4</b>
1.1. Podstawa opracowania.....	4
1.2. Przedmiot i zakres prac .....	4
<b>2. KONSTRUKCJA WIADUKTU .....</b>	<b>5</b>
2.1. Dane ogólne.....	5
<b>3. KONTROLNY PRZEGLĄD ZARYSOWAŃ PRZESEŁ WIADUKTU .....</b>	<b>11</b>
3.1. Metodyka, zakres i cel przeglądu.....	11
3.2. Wyniki przeglądu .....	13
3.3. Podsumowanie wyników przeglądu .....	21
<b>4. TEORETYCZNA ANALIZA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA     KONSTRUKCJI PRZESEŁ .....</b>	<b>22</b>
4.1. Założenia, cel i zakres.....	22
4.2. Model numeryczny obiektu .....	22
4.3. Modele obciążeń.....	26
4.3.1. Obciążenia stałe ciężarem własnym konstrukcji i wyposażenia.....	26
4.3.2. Obciążenia wywołane sprężeniem przeseł .....	26
4.3.3. Obciążenia osiadaniem filara.....	26
4.3.4. Obciążenia wywołane pelzaniem betonu .....	26
4.3.5. Obciążenia wywołane zmianami temperatury.....	26
4.3.6. Obciążenia wywołane ruchem pojazdów ciężarowych.....	26
4.4. Wyniki analiz .....	27
4.5. Podsumowanie analiz .....	32
<b>5. OKREŚLENIE PRZYCZYN POWSTANIA USZKODZEŃ DŹWIGARÓW     GŁÓWNYCH.....</b>	<b>33</b>
5.1. Sformułowanie przyczyny zarysowań .....	33
5.2. Uwagi dotyczące posadowienia filara .....	33
<b>6. OCENA STANU TECHNICZNEGO I PRZYDATNOSCI DO UŻYTKOWANIA     OBIEKTU .....</b>	<b>36</b>
<b>7. PROGRAM NAPRAWCZY.....</b>	<b>37</b>
<b>8. PODSUMOWANIE.....</b>	<b>39</b>
8.1. Zakres wykonanych prac .....	39
8.2. Ogólna ocena kondycji obiektu i warunki bezpiecznej eksploatacji .....	39
8.3. Program działań naprawczych.....	39
<b>9. MATERIAŁY WYKORZYSTYWANE .....</b>	<b>40</b>
<b>ZAŁĄCZNIK NR 1 – SZACUNKOWE OKREŚLENIE KOSZTÓW NAPRAWY     DŹWIGARÓW GŁÓWNYCH .....</b>	<b>42</b>

## 1. UWAGI FORMALNE

### 1.1. Podstawa opracowania

Podstawą formalną niniejszego opracowania jest umowa nr: 8/08/2024 z dnia 19.08.24 r., zawarte pomiędzy Oddziałem Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Łodzi, a Politechniką Wrocławską.

Naukowo-techniczną i formalną podstawę niniejszego opracowania stanowią:

- 1) Normy i przepisy zestawione na końcu opracowania [1]-[14],
- 2) Wybrane elementy dokumentacji technicznej dotyczącej przedmiotowego obiektu udostępnione przez Zamawiającego [15]-[20].

### 1.2. Przedmiot i zakres prac

**Przedmiotem** opracowania jest obiekt mostowy WD-254 (km 305+443), zlokalizowany w pasie drogowym autostrady A1 w pobliżu miejscowości Natolin.

**Zakres** przeprowadzonych prac jest następujący:

- 1) Wykonanie szczegółowej inwentaryzacji uszkodzeń konstrukcji przęseł wiaduktu.
- 2) Określenie przyczyn powstania uszkodzeń dźwigarów głównych przęseł wiaduktu, wraz z analizą rozwiązań projektowych, ewentualnych błędów wykonawczych oraz wykonaniem obliczeń sprawdzających.
- 3) Ocena stanu technicznego konstrukcji przęseł wiaduktu w świetle występujących uszkodzeń i ich wpływu na bezpieczeństwo i trwałość eksploatacji obiektu.
- 4) Opracowanie programu naprawczego, wraz z szacunkowym określeniem kosztów naprawy.

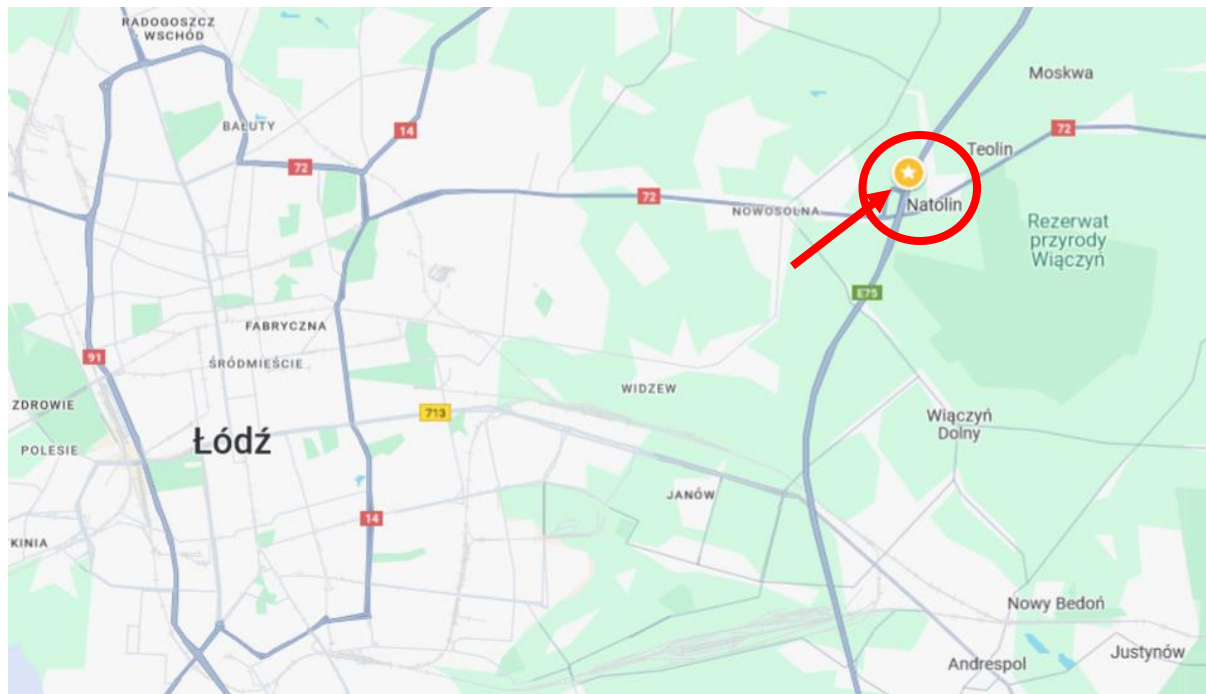
W niniejszym raporcie zaprezentowano reprezentatywne wyniki wszystkich zadań przewidzianych umową.

## 2. KONSTRUKCJA WIADUKTU

### 2.1. Dane ogólne

Analizowany wiadukt znajduje się pasie drogowym autostrady A1 (km 305+443) w Natolinie. Przeszkodę stanowi autostrada A1. Usytuowanie przedmiotowego obiektu pokazano na rys. 2.1.

Aktualny stan rozpatrywanej konstrukcji przedstawiono na fotografiach i rysunkach – rys. 2.2 do rys. 2.6.



Rys. 2.1. Lokalizacja wiaduku WD-254 nad autostradą A1 (*maps.google.com*)



Rys. 2.2. Widok wiaduku WD-254 od strony południowo-zachodniej – stan w czasie przeglądu przeprowadzonego w dniu 17 września 2024 r.





Rys. 2.3. Widok przęseł wiaduktu od spodu, od strony zachodniej (pokazano numerację dźwigarów zastosowaną w niniejszym opracowaniu) – stan w czasie przeglądu przeprowadzonego w dniu 17 września 2024 r.



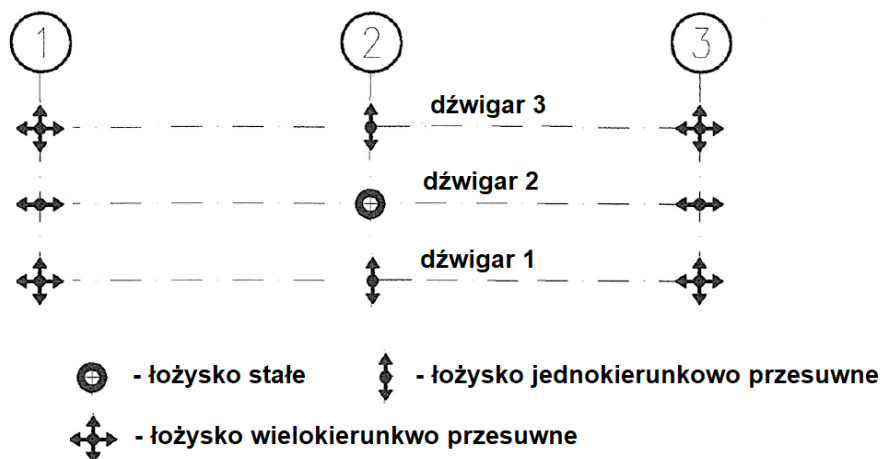
Rys. 2.4. Widok konstrukcji obiektu z poziomu jezdni od strony zachodniej – stan w czasie przeglądu przeprowadzonego w dniu 17 września 2024 r.







### Schemat łożyskowania



Rys. 2.7. Schemat łożyskowania przęseł wiaduktu [15]

Wiadukt zaprojektowano jako dwuprzęsłowy, 3-dźwigarowy kablobetonowy ustrój płytowo-belkowy podparty na żelbetowych przyczółkach oraz 3-słupowej podporze pośredniej.

Przęsła ukształtowano w układzie statycznym belki ciągłej dwuprzęsłowej o rozpiętościach przęseł 2 x 27,50 m i stałej wysokości konstrukcyjnej. Rozstaw osiowy dźwigarów w przekroju poprzecznym jest stały i wynosi 6,50m. Płytę pomostową zaprojektowano o zmiennej grubości (0,27m w przekroju przęsłowym i 0,35m w miejscu połączenia z dźwigarami). Przekrój poprzeczny płyty pomostowej dostosowano do spadków poprzecznych drogi na obiekcie. Konstrukcję przęseł zaprojektowano z poprzecznicami, umieszczonymi tylko w miejscu podparcia na przyczółkach. Przęsła mostu wybudowano metodą tradycyjną, tj. z wykorzystaniem systemowych rusztowań stacjonarnych.

Przyjęto realizację sprężenia dźwigarów kablami 19-linowymi o przekroju 150 mm<sup>2</sup> i wytrzymałości charakterystycznej 1860 MPa. Wszystkie kable zaprojektowano jako kable ciągłe o trasie krzywoliniowej na długości przęseł. Sprężanie kablami wykonano jako dwustronne, z zastosowaniem zakotwień czynnych umieszczonych na obu końcach dźwigarów.

Podporę pośrednią zaprojektowano w postaci trzech żelbetowych słupów posadowionych na wspólnej płycie fundamentowej. Przyjęto posadowienie płyt fundamentowych podpór na palach przemieszczeniowych typu Screwsol SCR 450/600.

Podstawowe dane techniczne obiektu WD-254 według projektów [15],[16]:

- rodzaj obiektu: wiadukt drogowy;
- lokalizacja: nad autostradą A1, km 305+443,
- przeszkoda: autostrada A1,
- liczba ciągów przęseł: 1,
- liczba przęseł: 2,
- układ statyczny: belkowy ciągły, 2-przęsłowy,
- rodzaj konstrukcji przęseł: płytowo-belkowy (3-dźwigarowy) z betonu sprężonego,
- rodzaj konstrukcji dźwigarów głównych: monolityczne dźwigary z betonu sprężonego (kablobeton) wysokości 1,45 m,
- rodzaj konstrukcji pomostu: płyta żelbetowa gr. 27 cm,
- materiał konstrukcji:

- beton: przęsła i filary (B45 wg [8]; C35/45 wg [13]) przyczółki i fundamenty (B35 wg [8]; C30/37 wg [13]),
- stal zbrojeniowa: klasy A-IIIN , gatunek BSt-500-S,
- stal sprężająca: liny 19 L 15,7 mm o przekroju 150 mm<sup>2</sup> i wytrzymałości charakterystycznej 1860 MPa,
- rozpiętości teoretyczne przęseł: 2 x 27,5 m;
- szerokości konstrukcji przęseł: 19,06 m (w tym m.in. dwie jezdnie szerokości ok. 6,3 m rozdzielone poboczem wyniesionym szer. ok. 2,5 m),
- ukształtowanie przęseł w planie: prostokątne,
- rodzaj konstrukcji łożysk: garnkowe,
- rodzaj konstrukcji urządzeń dylatacyjnych: 1-modułowe,
- liczba podpór: 3,
- rodzaj posadowienia podpór: pośrednie, na żelbetowych palach wierconych przemieszczeniowych,
- rodzaj konstrukcji podpór:
  - przyczółki: monolityczne, pełnościenne żelbetowe ze skrzydłami oraz płytami przejściowymi (gr. korpusu 120 cm, a skrzydeł 90 cm),
  - filary: słupowe żelbetowe o średnicy 80 cm.
- klasa obciążenia: A według systemu norm [6]-[8].

Według dziennika budowy [16] roboty budowlane związane z budową obiektu prowadzono w okresie od lipca 2013 r. do maja 2016 r. Pale fundamentowe wykonano w lipcu 2013 r., a następnie wstrzymano roboty budowlane na obiekcie na około 1,5 roku. Prace wznowiono w grudniu 2014 r.

W dokumentacji projektowej jest informacja o zaprojektowaniu posadowienia głębokiego na palach Screwsol, o zróżnicowanej długości, w zależności od podpory. Decyzja o posadowieniu głębokim, uwarunkowana prawdopodobnie lokalnym występowaniem w podłożu gruntów spoistych w stanie plastycznym i gruntów sypkich (niespoistych) w stanie luźnym, wobec wysokich wymagań odnośnie przyszłych osiadań, jakie stawia się podporom obiektów mostowych, wydaje się racjonalna. Pewną niepewność odnośnie do wykonalności zaprojektowanego rozwiązania mogą wносить pochylenia (racjonalne zresztą) części pali od przyczółkami. Z doświadczenia Autorów niniejszego opracowania wynika, że firmy wykonujące pale przemieszczeniowe (na mokro) niechętnie podejmują się wykonawstwa pali ukośnych ze względu na niekorzystne pochylenie masztu palownicy podczas pograżania świdra (w pochyleniu). Niniejsza uwaga nie ma oczywiście odniesienia do problemu związanego z filarem, gdzie takie pale pochyłone nie występują.

W przedstawionym powyżej opisie obiektu oraz w badaniach i analizach prezentowanych w niniejszym raporcie wykorzystano elementy dokumentacji technicznej obiektu udostępnione przez Zamawiającego [15]-[19].

### 3. KONTROLNY PRZEGLĄD ZARYSOWAŃ PRZESEŁ WIADUKTU

#### 3.1. Metodyka, zakres i cel przeglądu

Prace związane z kontrolnym przeglądem wiaduktu WD-254 zostały wykonane w dniu 17 września 2024 r.

Oględziny stanu konstrukcji przeseł prowadzono przy użyciu specjalistycznego pojazdu (zapewnionego przez Zamawiającego) wyposażonego w wysięgnik umożliwiający bezpośredni dostęp do zewnętrznych powierzchni przeseł.

Zasadniczym celem przeglądu była rejestracja i udokumentowanie bieżącego stanu zarysowań dźwigarów głównych przeseł.

Szczególne uwagę podczas przeglądu skoncentrowano na rejestracji stanu zarysowań dźwigarów głównych występujących nad filarem (na szerokości pasa dzielącego jezdnie autostrady). Uszkodzenia te bowiem świadczą o nieprawidłowej pracy konstrukcji i są niebezpieczne ze względu na ich ewentualny wpływ na obniżenie nośności konstrukcji oraz zagrożenia korozją prętów zbrojenia i cięgien sprężających.

Uwagę skoncentrowano również na identyfikacji uszkodzeń elementów konstrukcji i wyposażenia obiektu mogących świadczyć o ewentualnej nieprawidłowej pracy obiektu ograniczającej jego przydatność użytkową.

Przebieg wybranych prac diagnostycznych pokazano na rys. 3.1 do rys. 3.3. Zakres wykonanych prac obejmował:

- weryfikacyjne pomiary inwentaryzacyjne wybranych elementów obiektu,
- inwentaryzacją uszkodzeń,
- ocenę wizualną stanu technicznego konstrukcji przeseł.

Skalę ocen stanu technicznego elementów konstrukcyjnych i wyposażenia (tab. 3.1) przyjęto według instrukcji [3].



Rys. 3.1. Oględziny konstrukcji przeseł i podpór z wykorzystaniem podnośnika kosowego



Rys. 3.2. Przebieg prac polegających na inwentaryzacji uszkodzeń dźwigarów głównych przęseł wiaduktu



Rys. 3.3. Kontrolne badanie wytrzymałości betonu młotkiem Schmidta



Tab. 3.1. Skala i kryteria oceny elementów według instrukcji [3]

Ocena	Stan	Opis stanu elementu
5	odpowiedni	bez uszkodzeń i zanieczyszczeń możliwych do stwierdzenia podczas przeglądu
4	zadowalający	wykazuje zanieczyszczenia lub pierwsze objawy uszkodzeń pogarszających wygląd estetyczny
3	niepokojący	wykazuje uszkodzenia, których nienaprawienie spowoduje skrócenie okresu bezpiecznej eksploatacji
2	niedostateczny	wykazuje uszkodzenia obniżające przydatność użytkową, ale możliwe do naprawy
1	przedawaryjny	wykazuje nieodwracalne uszkodzenia dyskwalifikujące przydatność użytkową
0	awaryjny	uległ zniszczeniu lub przestał istnieć

### 3.2. Wyniki przeglądu

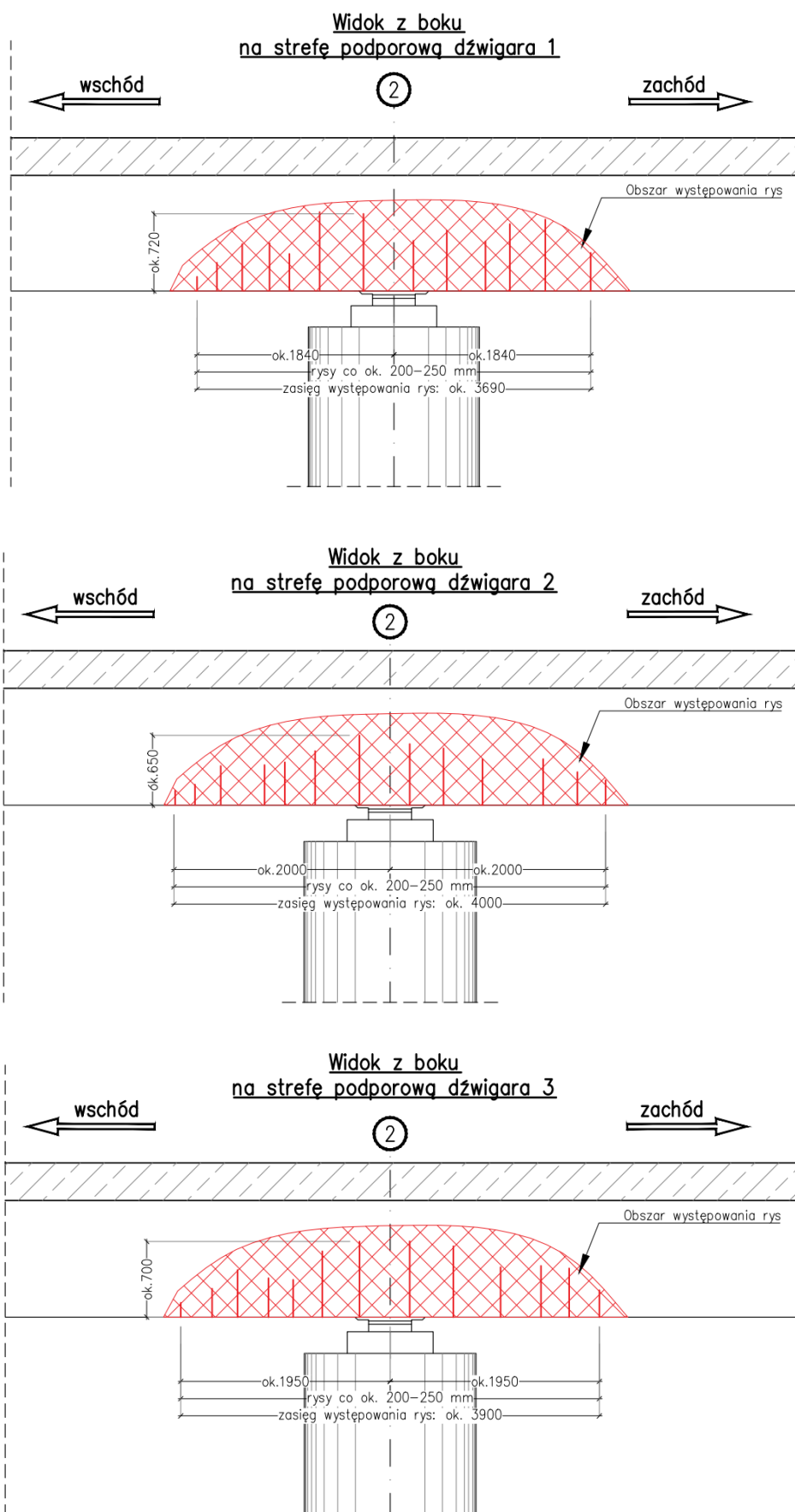
W pobliżu podpory pośredniej, na odcinku około 4,0 m (po około 2 m w obie strony od osi filara) stwierdzono znaczne zarysowania betonu wszystkich dźwigarów głównych. Rysy są wyraźnie widoczne na powierzchni elementów (również z poziomu terenu pod obiektem), zarówno na ścianach bocznych jak i spodzie dźwigarów.

Zarysowania widoczne na ścianach bocznych dźwigarów mają kierunek generalnie pionowy i sięgają do wysokości około 80 cm od dolnej powierzchni dźwigarów głównych. Natomiast zarysowania widoczne na spodzie dźwigarów są prostopadłe do ich osi podłużnej. Są to rysy o charakterze przeciążeniowym wywołane zginaniem. Maksymalna rozwartość zarysowań na powierzchni bocznej dźwigarów wynosi około 0,3-0,4 mm, a na spodzie dźwigarów około 0,5-0,6 mm.

Ogólny schemat zarysowań dźwigarów pokazano na rys. 3.4. Układ zarysowań pokazany na rys. 3.4 ma charakter poglądowy. Szczegółowy charakter uszkodzeń zobrazowano na fotografiach zamieszczonych w dalszej części niniejszego rozdziału:

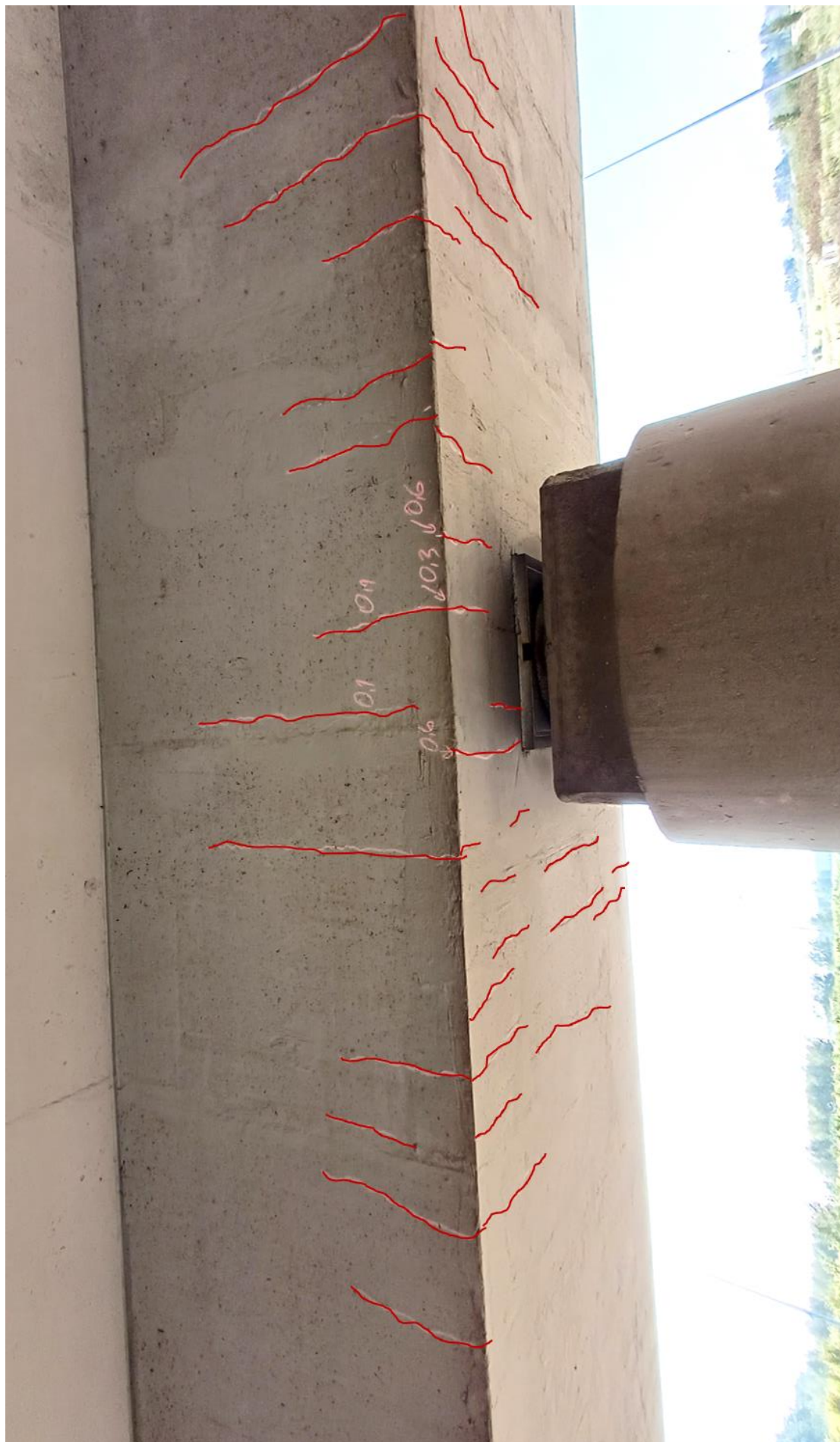
- Wybrane zarysowania dźwigara głównego nr 1 (zewnętrznego od strony południowej) przedstawiono na rys. 3.5, rys. 3.8, rys. 3.9.
- Wybrane zarysowania dźwigara głównego nr 2 (wewnętrznego) przedstawiono na rys. 3.6, rys. 3.10, rys. 3.11.
- Wybrane zarysowania dźwigara głównego nr 3 (zewnętrznego od strony północnej) przedstawiono na rys. 3.7, rys. 3.12, rys. 3.13.

Dokonano również oszacowania wytrzymałości betonu dźwigarów z wykorzystaniem cyfrowego młotka Schmidta firmy Proceq typu N. Oszacowanie przeprowadzono w strefie stwierdzonych uszkodzeń. Ustalono, że aktualna miejscowa wytrzymałość osiąga lub nieznacznie przekracza 50 MPa. W związku z tym należy przyjąć, że do wykonania przeseł zastosowano beton zgodnie z informacjami podanymi w dokumentacji powykonawczej obiektu (B45 wg [8]; C35/45 wg [13]). Stwierdzono ponadto, że beton dźwigarów – poza miejscami zarysowań – jest w bardzo dobrej kondycji.

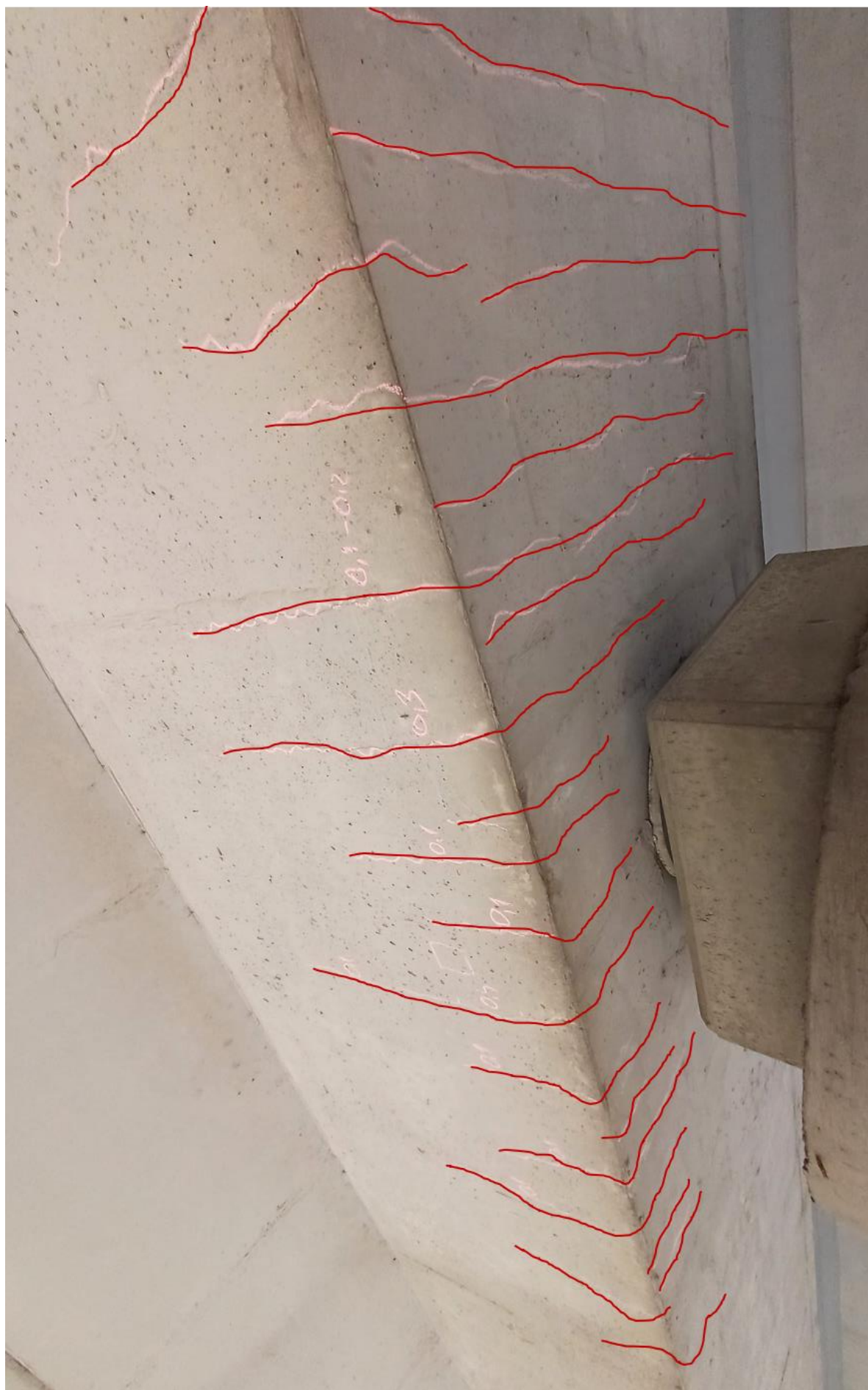


Rys. 3.4. Lokalizacja i układ zarysowań dźwigarów w strefie nad filarem (podporą nr 2)

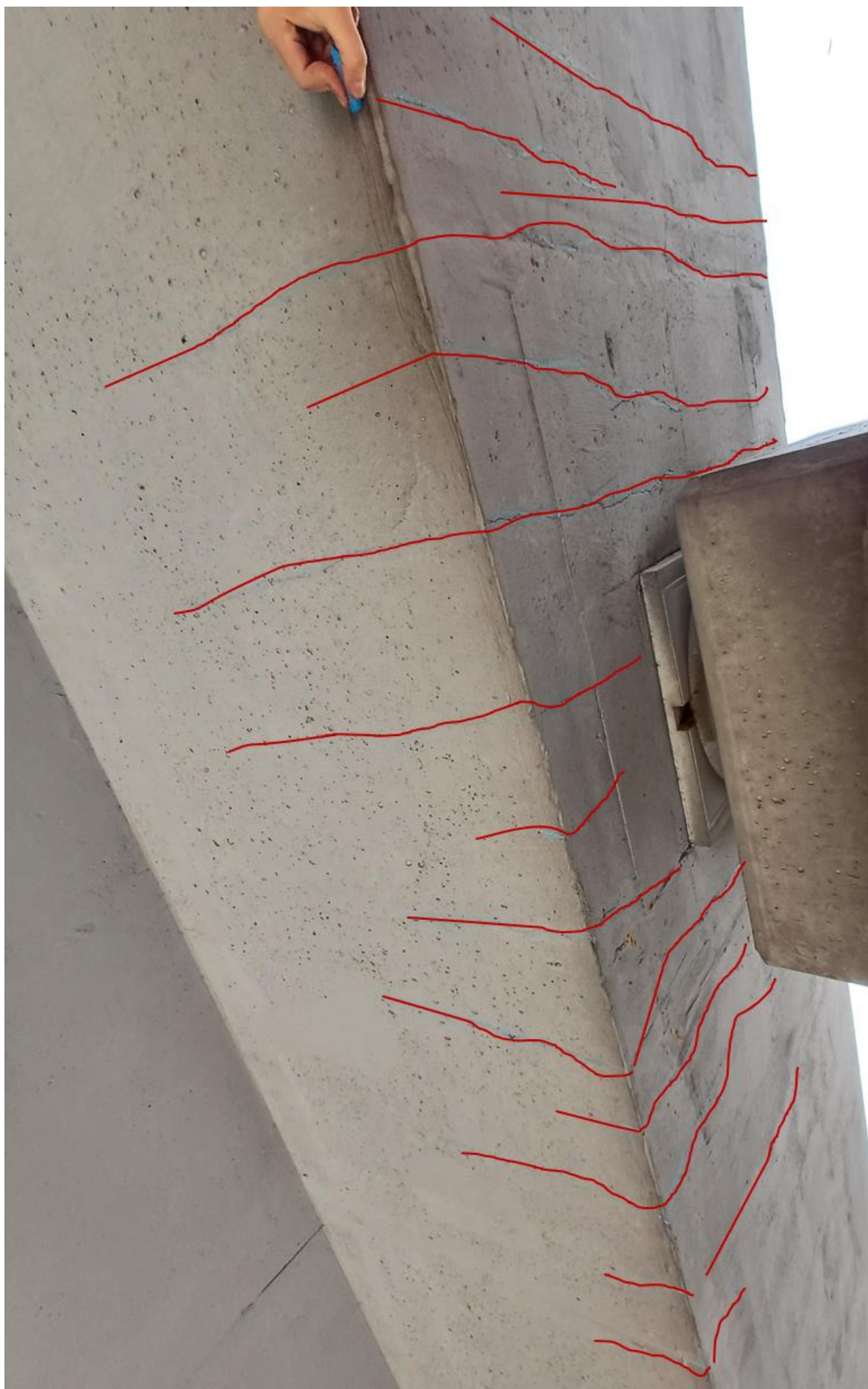




Rys. 3.5. Lokalizacja i przebieg zarysowań – **dźwigar nr 1** (południowy), widok od strony północnej







Rys. 3.7. Lokalizacja i przebieg zarysowań – **dźwigar nr 3** (północny), widok od strony południowej



Rys. 3.8. Dźwigar nr 1 (południowy) – zarysowania betonu w pobliżu filara, strona południowo-wschodnia



Rys. 3.9. Dźwigar **nr 1** (południowy) – zarysowania betonu w pobliżu filara, strona północno-zachodnia





Rys. 3.10. Dźwigar **nr 2** (wewnętrzny) – zarysowania betonu nad filarem, widok od strony południowej



Rys. 3.11. Dźwigar **nr 2** (wewnętrzny) – zarysowania betonu w pobliżu filara, strona południowo -wschodnia



Rys. 3.12. Dźwigar **nr 3** (północny) – zarysowania betonu w pobliżu filara, strona północno-zachodnia



Rys. 3.13. Dźwigar **nr 3** (północny) – zarysowania betonu w pobliżu filara, strona północno-wschodnia



### 3.3. Podsumowanie wyników przeglądu

Bezpośrednią przyczyną powstania zarysowań jest wystąpienie w konstrukcji przęseł sił wewnętrznych o wartościach przekraczających wytrzymałość betonu.

Parametry zarysowań, takie jak lokalizacja, kierunek, rozległość i intensywność świadczą jednoznacznie o przyczynach powstania zarysowań i wskazują, że są to rysy o charakterze przeciążeniowym, wywołane osiadaniem podpory pośredniej usytuowanej w pasie rozdziału autostrady.

Ogólnie **stan techniczny konstrukcji przęseł** należy ocenić jako **niedostateczny** (ocena '2'). Konstrukcja przęseł wykazuje uszkodzenia, obniżające przydatność użytkową, ale możliwe do naprawy. Nienaprawienie uszkodzeń będzie powodować systematyczne zwiększanie się stanu zarysowań i w efekcie znaczne zmniejszenie nośności i bezpieczeństwa eksploatacji obiektu.

Obecny stan uszkodzeń wymaga podjęcia działań remontowych w trybie relatywnie pilnym. Zakres rekomendowanych działań opisano w rozdziale 7.

W chwili wykonywania przeglądu stan zarysowań przęseł mostu oraz tempo ich rozwoju (w porównaniu do stanu uszkodzeń zaprezentowanych w protokole okresowej kontroli 5-letniej [20]) nie wskazywały na konieczność podjęcia natychmiastowych działań interwencyjnych lub ograniczenia ruchu na badanym obiekcie. Natomiast parametry stwierdzonych obecnie uszkodzeń oraz ich możliwy systematyczny wzrost wskazują na konieczność wzmocnienia dźwigarów głównych oraz dalszego monitorowania stanu konstrukcji oraz dokonywania okresowej oceny wpływu uszkodzeń na nośność konstrukcji.

Ponadto, w toku przeprowadzonych oględzin nie stwierdzono uszkodzeń przęseł, korpusów podpór i wyposażenia obiektu związanych bezpośrednio lub pośrednio z zarysowaniami dźwigarów głównych. Nie formułuje się zastrzeżeń do stanu technicznego podpór i wyposażenia wiaduktu.

Wszystkie elementy konstrukcyjne przęseł i podpór obiektu – z wyjątkiem dźwigarów głównych – są ogólnie w zadowalającym stanie technicznym – ocena ('4').

## 4. TEORETYCZNA ANALIZA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA KONSTRUKCJI PRZĘSŁ

### 4.1. Założenia, cel i zakres

Celem przeprowadzonych analiz teoretycznych było oszacowanie stanu naprężeń w dźwigarach głównych przęseł i wymaganego zakresu jego ewentualnego (w zależności od wyników przedmiotowych analiz) wzmocnienia. Ponadto analiza ta miała na celu potwierdzenie przyczyn zarysowań betonu, które zasygnalizowano w poprzednim rozdziale.

Należy podkreślić, że nie ma w naszym kraju norm czy zaleceń dotyczących oceny eksploatowanych, istotnie uszkodzonych obiektów mostowych. W tej sytuacji ocena eksploatowanych obiektów z uszkodzeniami wymaga każdorazowo indywidualnego podejścia z wykorzystaniem dostępnej wiedzy naukowo-technicznej.

Analiza prowadzona była z uwzględnieniem następujących czynników:

- technologii budowy przęseł wiaduktu,
- efektów sprężenia konstrukcji,
- efektów reologicznych zachodzących w betonie,
- efektów osiadania filara.

W trakcie tworzenia modelu obliczeniowego konstrukcji oraz przeprowadzania analiz statyczno-wytrzymałościowych wykorzystano dokumentację obiektu udostępnioną przez Zamawiającego [15]-[20].

Zastosowana metoda analizy nie jest bezpośrednio powiązana ze sprawdzeniem obliczeniowych stanów granicznych nośności czy stanów granicznych użytkowania, o których mowa w normach do projektowania nowych (nieuszkodzonych) obiektów mostowych. Obliczeniowe stany graniczne, o których mowa w normach projektowych (zarówno w dotychczasowych polskich normach, na które obiekt został zaprojektowany czy obecnie obowiązujących Eurokodach) to stany wirtualne rozpatrywane przy przyjęciu określonych założeń.

### 4.2. Model numeryczny obiektu

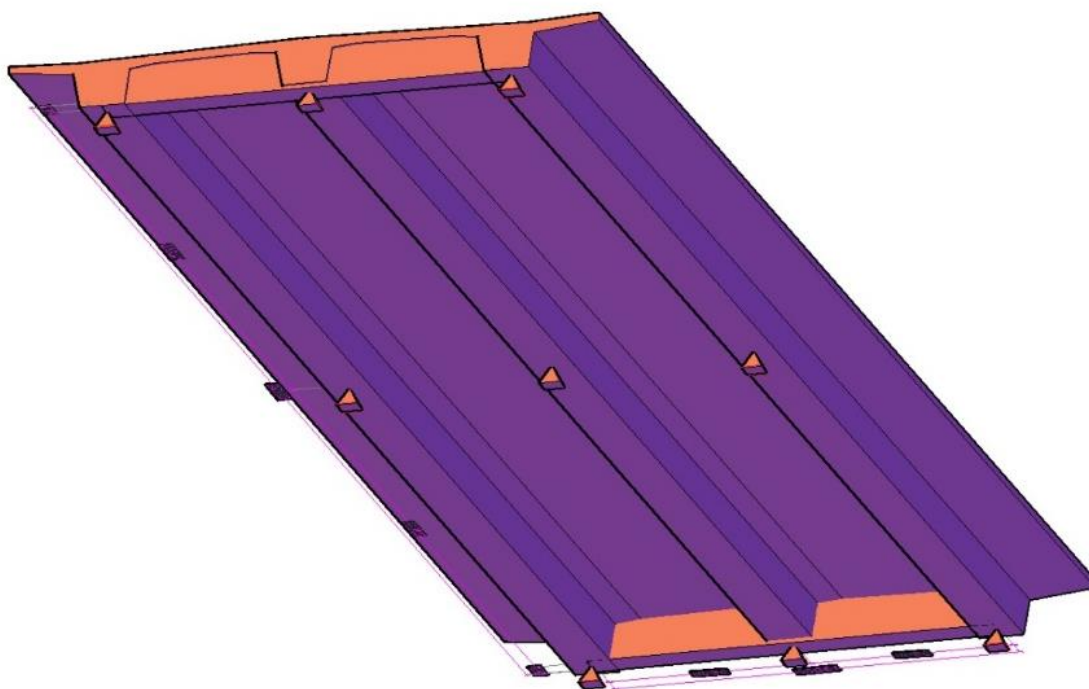
Na potrzeby analiz teoretycznych stworzono model MES (Metoda Elementów Skończonych) przęseł w postaci przestrzennego układu rusztowego klasy ( $e^1+e^2, p^3$ ), składającego się elementów 1- i 2-wymiarowych usytuowanych w przestrzeni 3-wymiarowej. Sposób dyskretyzacji modelu pokazano schematycznie na rys. 4.1.

Zastosowane w analizie wartości parametrów mechanicznych betonu i stali zbrojeniowej przęseł oraz filarów wiaduktu zestawiono w tab. 4.1.

Dane dotyczące zbrojenia dźwigarów głównych przejęto zgodnie z projektem wykonawczym [16]:

- zbrojenie dolne w przekroju podporowym dźwigara głównego stanowi 28 prętów #25, ułożone w 2 warstwach,
- zbrojenie dolne w przekroju przęsłowym dźwigara głównego stanowi 14 prętów #25, ułożone w 1 warstwie,
- zbrojenie na ścinanie dźwigara płytowego przy filarze:
  - strzemiona 8-cięte – pręty #16 w rozstawie co 10 cm,
  - podłużne pręty odgięte # 25.

Układ zbrojenia dźwigara głównego w przekroju podporowym pokazano na rys. 4.2. Układ sprężenia dźwigarów głównych kablami pokazano na rys. 4.3

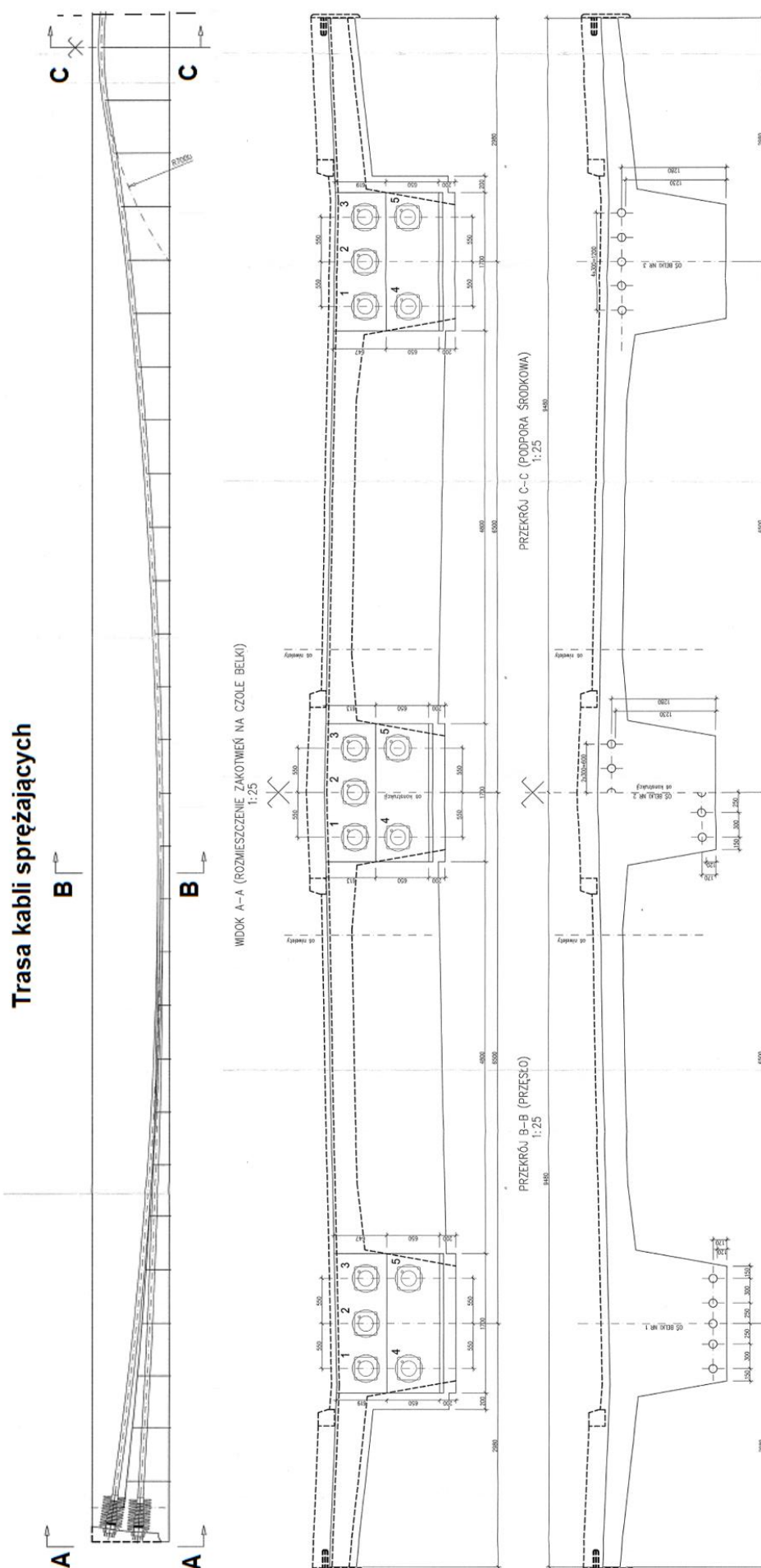


Rys. 4.1. Geometria modelu obliczeniowego MES (Metoda Elementów Skończonych) przęseł wiaduktu – widok od spodu konstrukcji (pokazano szkice przekrojów elementów skończonych)

Tab. 4.1. Parametry mechaniczne betonu, stali zbrojeniowej i sprężającej przyjęte w analizie przęseł wiaduktu WD-254

Materiał	Moduł sprężystości [GPa]	Parametr wytrzymałościowy [MPa]	
Beton C35/45	34	Wytrzymałość charakterystyczna przy ściskaniu, $f_{ck}$	35
		Średnia wytrzymałość na rozciąganie, $f_{ctm}$	3,2
		Charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie, $f_{ctk,0,05}$	2,7
Stal zbrojeniowa klasy A-IIIIN, gatunek BSt-500-S	200	Charakterystyczna granica plastyczności, $f_{yk}$	360
Stal sprężająca: liny 19 L 15,7 mm o przekroju 150 mm <sup>2</sup>	195	Charakterystyczna granica plastyczności, $f_{yk}$	1860





Rys. 4.3. Szkic trasy kabli sprężających w obrębie pojedynczego przęsła wiaduktu – zaprojektowano sprzężenie każdego dźwigara 5 kablami typu 19L 15,7 mm o trasie krzywoliniowej

### **4.3. Modele obciążeń**

#### **4.3.1. Obciążenia stałe ciężarem własnym konstrukcji i wyposażenia**

Obciążenia stałe ciężarem własnym konstrukcji i jej wyposażenia obliczono na podstawie dokumentacji technicznej obiektu. Obciążenia stałe – określone na podstawie wymiarów elementów i ciężarów objętościowych materiałów konstrukcyjnych – przykładano do modelu obiektu jako siły powierzchniowe w obrębie pomostu.

#### **4.3.2. Obciążenia wywołane sprężeniem przęseł**

Oddziaływania wywołane sprężeniem modelowano w postaci zastępczych sił działających na dźwigary główne. Zaprojektowana siła naciągu pojedynczego ciągu wynosiła  $P_0 = 3711$  kN, co stanowi 70 % wytrzymałości charakterystycznej splotów na zerwanie. Przyjęto, że jest to siła na początku kabla, przed wykonaniem zakotwienia.

#### **4.3.3. Obciążenia osiadaniem filara**

Rozpatrywano efekty osiadań filara względem przyczółków w zakresie od 10 mm (wartość uwzględniona w projektowaniu obiektu) do 50 mm.

#### **4.3.4. Obciążenia wywołane pełzaniem betonu**

Efekty reologii betonu działają korzystnie na uszkodzone sekcje dźwigarów głównych – sumarycznie wywołują ściskanie we włóknach dolnych dźwigara w przekroju nad filarem. Niemniej jednak uwzględniono efekty reologii betonu zgodnie z procedurą podaną w Eurokodzie 2 [13]-[14].

#### **4.3.5. Obciążenia wywołane zmianami temperatury**

W odniesieniu do oddziaływań termicznych rozpatrywano zmiany składowej pionowej liniowej różnicy temperatury w odniesieniu do dźwigarów przęseł. Uwzględniono składową liniową różnicę temperatur na wysokości dźwigarów równą  $\pm 5,0$  [°C].

#### **4.3.6. Obciążenia wywołane ruchem pojazdów ciężarowych**

Zarysowania dźwigarów głównych przęseł zostały wywołane głównie oddziaływaniami stałymi, a także przy udziale wpływów termicznych (czynniki dodatkowe).

Niemniej jednak długoterminowy ruch ciężkich pojazdów – na skutek zmęczenia materiału – może przyczynić się do systematycznego zwiększania się stanu zarysowań w pobliżu filarów, a także powstawania nowych zarysowań w przekrojach przęsłowych (bezpośrednio nad jezdniami autostrady).

W związku z tym, w celach poglądowych pokazano wpływ ruchu pojazdów ciężarowych na wartości naprężeń w dolnych włóknach dźwigarów. Jako obciążenie użytkowe przyjęto pojazd modelowy S42 (o masie całkowitej 42 ton) wg instrukcji [5].



#### 4.4. Wyniki analiz

Główną uwagę skoncentrowano na ocenie rozkładów i wartości skalonych sił wewnętrznych oraz naprężeń normalnych we włóknach dolnych dźwigarów.

Jak już wspomniano powyżej uszkodzenia dźwigarów głównych powstały w głównej mierze na skutek oddziaływań stałych, a także przy udziale wpływów termicznych (czynnik dodatkowy). W związku z tym poniżej przedstawiono głównie rozkłady wielkości statycznych wywołane następującymi grupami oddziaływań:

- obciążeniami stałymi (grawitacyjnymi) ciężarem własnym konstrukcji i wyposażenia,
- obciążeniami stałymi wywołanymi sprężeniem konstrukcji kablami,
- oddziaływaniami wywołanymi skurczem i pęczaniem betonu,
- oddziaływaniami wywołanymi osiadaniami filara (rozpatrywano osiadanie o wartościach 10 mm oraz 50 mm),
- oddziaływaniami wywołanymi nierównomiernym ogrzaniem/oziębieniem dźwigarów głównych.

Rozkład wartości charakterystycznych skalonych sił wewnętrznych (wywołanych ww. oddziaływaniami) na długości pojedynczego dźwigara zaprezentowano na rys. 4.4, rys. 4.5 i rys. 4.6.

Natomiast na rys. 4.7, rys. 4.8 i rys. 4.9 pokazano rozkłady naprężeń normalnych we włóknach dolnych pojedynczego dźwigara głównego:

- Na rys. 4.7 pokazano efekty wywołane poszczególnymi oddziaływaniami.
- Na rys. 4.8 przedstawiono łączne efekty rozpatrywanych oddziaływań, z uwzględnieniem osiadań filara o 10 mm oraz trzech poziomów sprężenia pręseł kablami,
- Na rys. 4.9 przedstawiono łączne efekty rozpatrywanych oddziaływań, z uwzględnieniem nadmiernych osiadań filara o 50 mm oraz trzech poziomów sprężenia pręseł kablami.

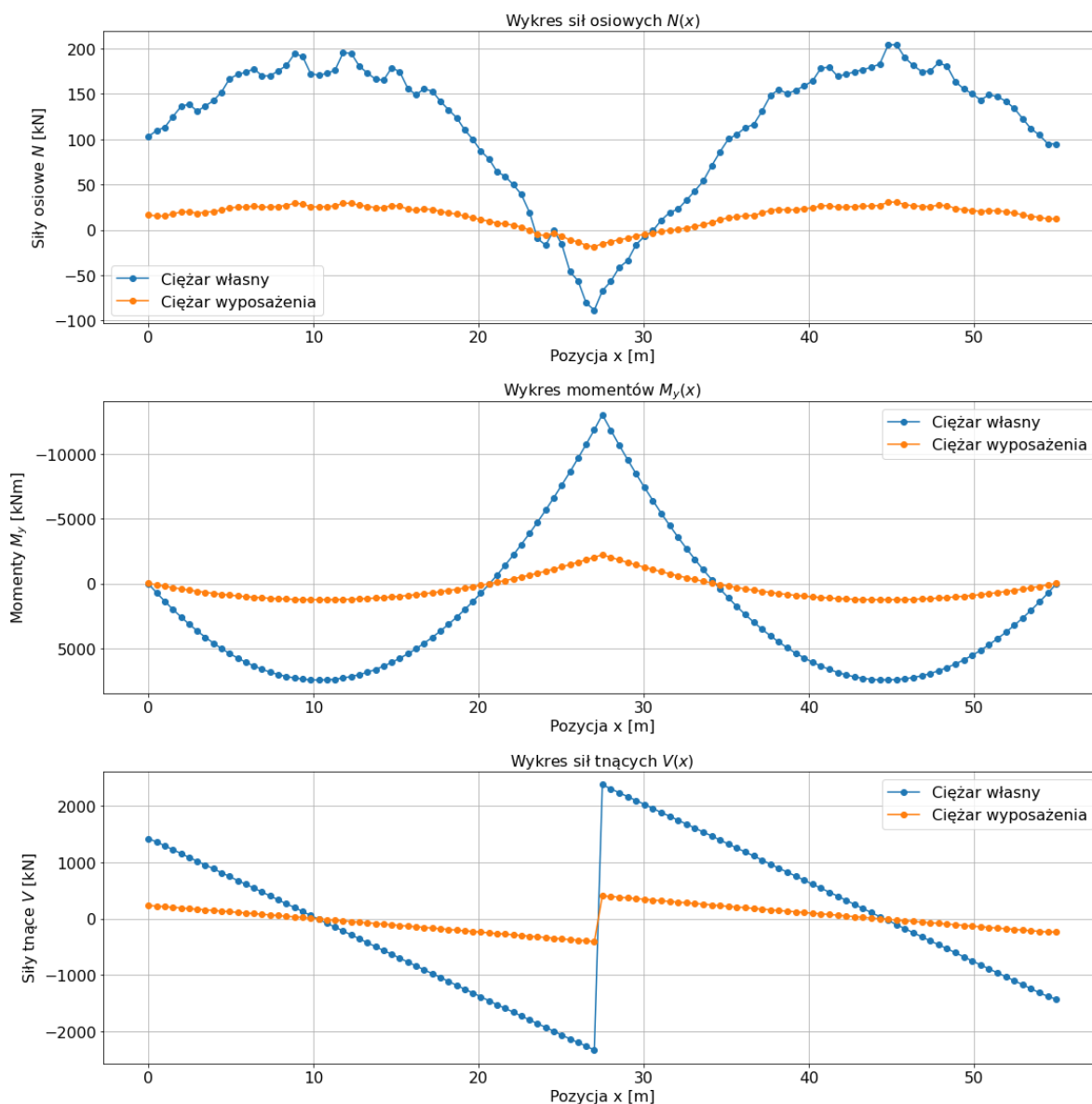
Wyniki analiz numerycznych potwierdzają, że przy osiadaniu podpory o około 50 mm w dolnych strefach dźwigarów głównych mogły powstać w betonie naprężenia normalne przekraczające wytrzymałość betonu na rozciąganie – na obszarach stwierdzonych zarysowań (średnia wytrzymałość betonu na rozciąganie  $f_{ctm} = 3,2$  MPa, a charakterystyczna  $f_{ctk,0,05} = 2,7$  MPa).

Dodatkowo w celach poglądowych na rys. 4.10 zaprezentowano wartości obwiedni naprężeń normalnych w włóknach dolnych zewnętrznego dźwigara, wywołanych przejazdem przez obiekt 5-osiowego pojazdu ciężarowego o masie 42 ton (pojazd S42 wg instrukcji [5]).

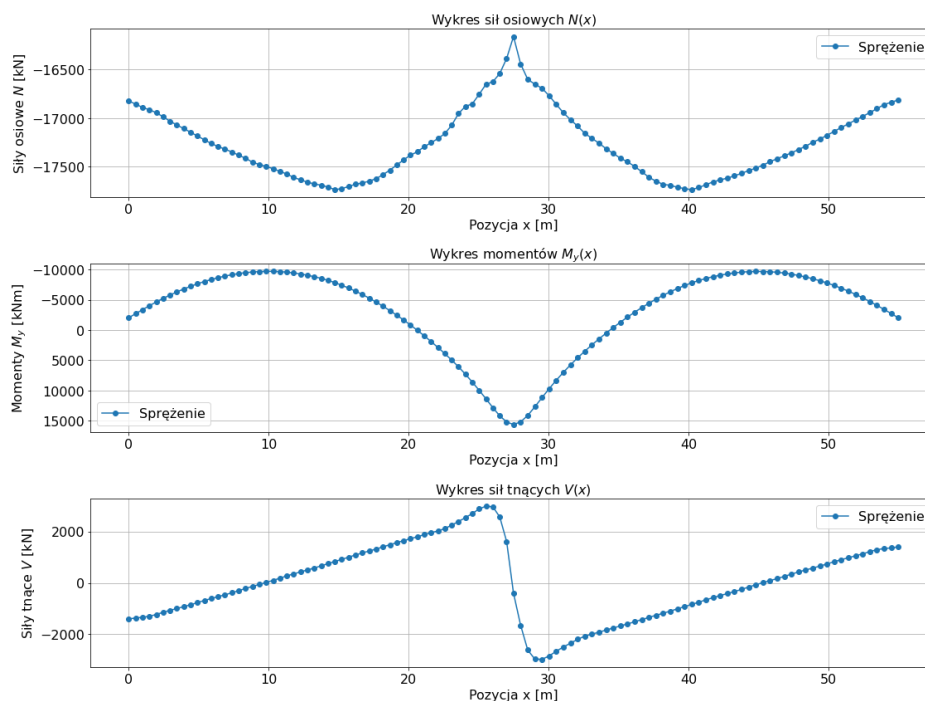
Wpływ ruchu pojazdów na kondycję uszkodzonej konstrukcji (stan uszkodzeń i bezpieczeństwo użytkowania) należy rozpatrywać dwutorowo.

Można stwierdzić, że wpływ ruchu pojazdów na wyężenie uszkodzonych obszarów dźwigarów w przekroju podporowym jest „doraźnie korzystny”, ale tylko w krótkim okresie. Ruch pojazdów wywołuje bowiem chwilowe zmniejszenie naprężeń rozciągających we włóknach dolnych nad filarem, czyli skutkuje chwilowym zmniejszeniem rozwarości zarysowań. Ten „doraźnie korzystny” wpływ jest tylko pozorny. W dłuższym okresie bowiem ruch pojazdów będzie powodował systematyczny przyrost rozległości i intensywności zarysowań betonu dźwigarów w wyniku zmęczenia materiału. Ruch ciężkich pojazdów w połączeniu z efektami innych oddziaływań będzie generował bowiem istotne, cykliczne zmiany (fluktuację) naprężeń. Przy czym sumaryczne naprężenia (wywołane oddziaływaniami stałymi i zmiennymi) zawsze będą

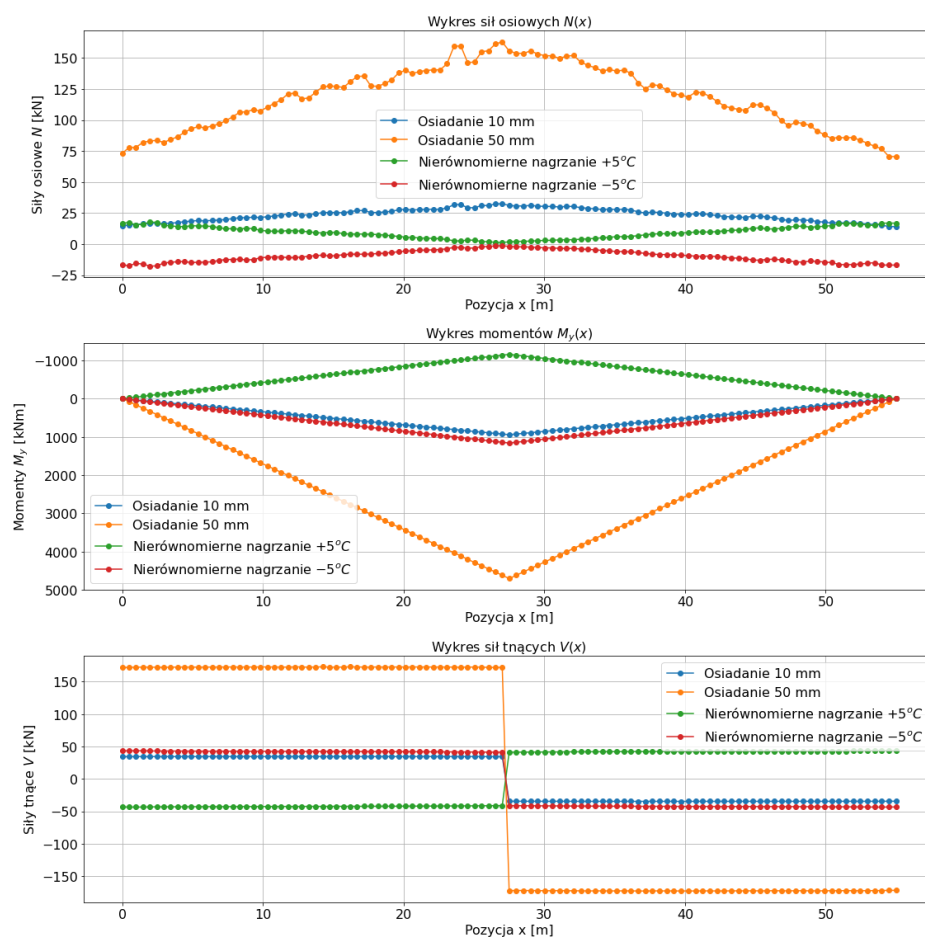
rozciągające, co w znacznym stopniu będzie się przyczyniać do zwiększania się intensywności i rozległości uszkodzeń.



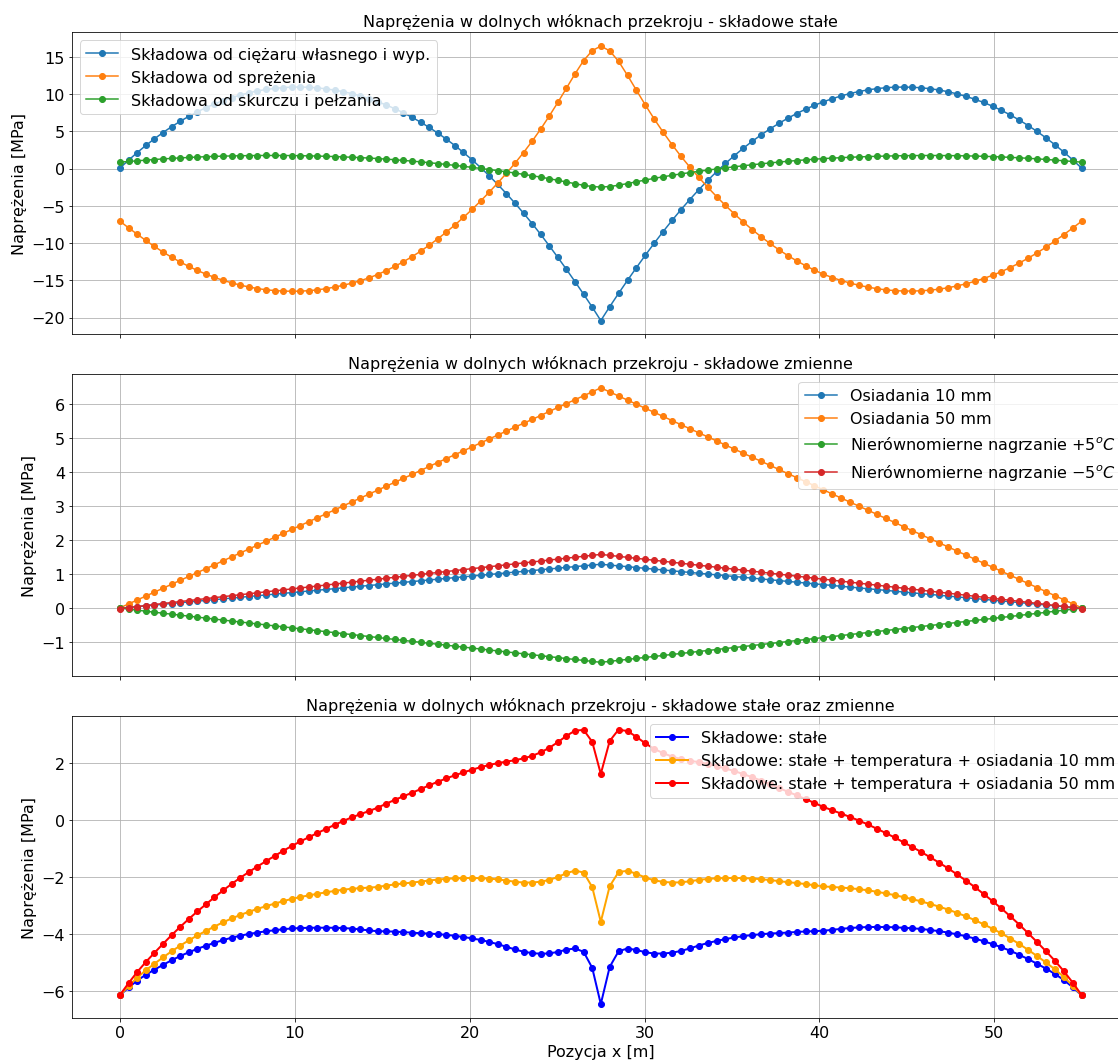
Rys. 4.4. Rozkład skalonych sił wewnętrznych w pojedynczym dźwigarze głównym – wartości charakterystyczne efektów obciążeń stałych ciężarem własnym przęsła i wyposażenia



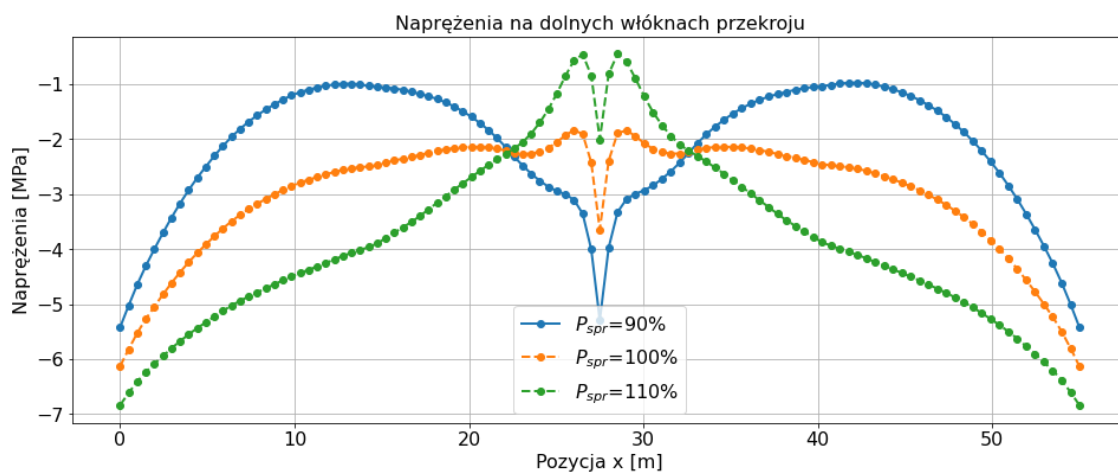
Rys. 4.5. Rozkład skalonych sił wewnętrznych w pojedynczym dźwigarze głównym – wartości charakterystyczne efektów sprężenia kablami



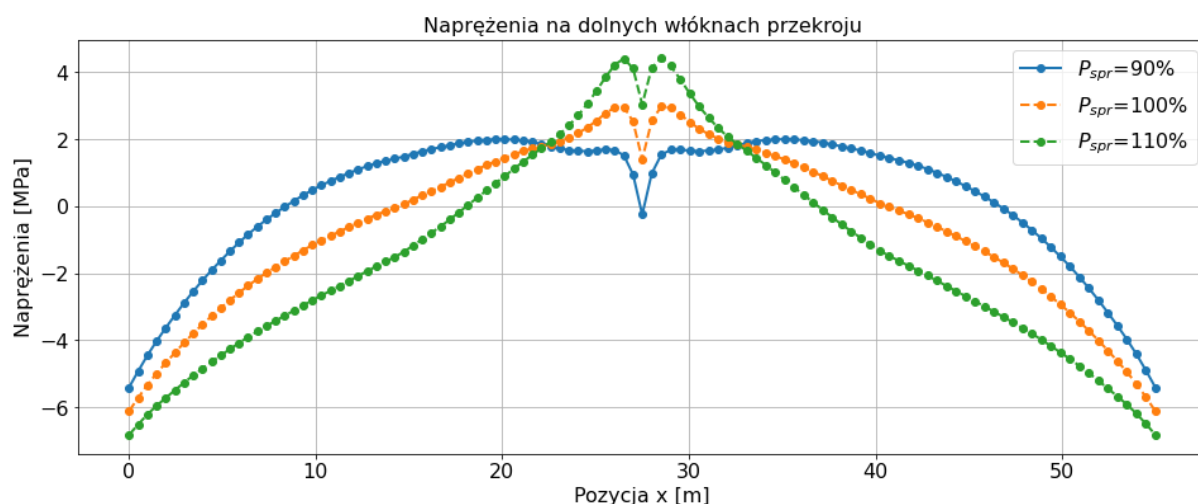
Rys. 4.6. Rozkład skalonych sił wewnętrznych w pojedynczym dźwigarze głównym – wartości charakterystyczne efektów oddziaływań niebezpośrednich wywołanych osiadaniami filara i zmianami składowej pionowej liniowej różnicy temperatury na wysokości dźwigarów



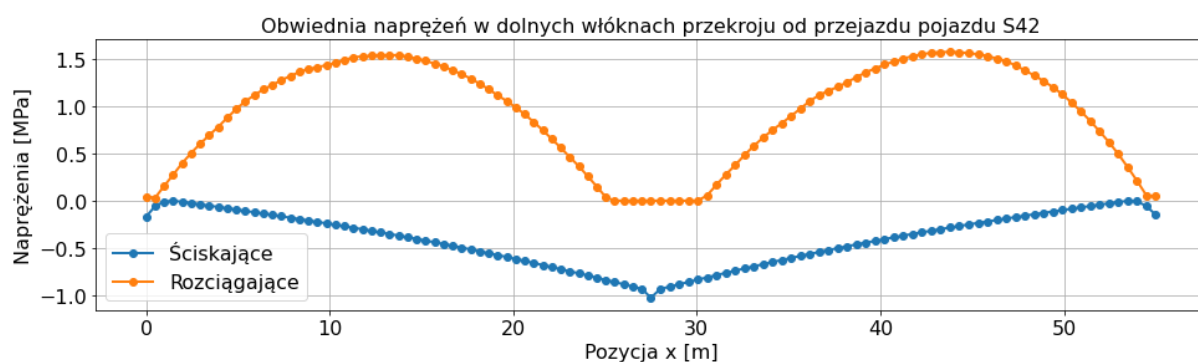
Rys. 4.7. Rozkład naprężeń normalnych we włóknach dolnych pojedynczego dźwigara głównego – wartości charakterystyczne efektów oddziaływań: stałych (górną), zmiennych (środek), stałych i zmiennych (dół; superpozycja efektów); znakowanie: „+” oznacza rozciąganie, „-” oznacza ściskanie



Rys. 4.8. Rozkład naprężeń normalnych we włóknach dolnych pojedynczego dźwigara głównego – sumaryczne wartości charakterystyczne efektów oddziaływań: ciężar własny przęsła i wyposażenia, **sprężenie w zakresie od 90-110 % wartości zaprojektowanych sił**, wpływy reologiczne, **osiadanie filara o 10 mm** oraz zmiany temperatury; znakowanie: „+” oznacza rozciąganie, „-” oznacza ściskanie



Rys. 4.9. Rozkład naprężeń normalnych we włóknach dolnych pojedynczego dźwigara głównego – sumaryczne wartości charakterystyczne efektów oddziaływań: ciężar własny przęsła i wyposażenia, **spężenie w zakresie od 90-110 % wartości zaprojektowanych sił**, wpływ reologiczne, **nadmierne osiadanie filara o 50 mm** oraz zmiany temperatury; znakowanie: „+” oznacza rozciąganie, „-” oznacza ściskanie



Rys. 4.10. Obwiednia naprężeń normalnych we włóknach dolnych pojedynczego dźwigara głównego wywołana przejazdem 5-osowego pojazdu ciężarowego o masie 42 ton (pojazd modelowy S42 wg instrukcji [5])

#### 4.5. Podsumowanie analiz

Wyniki analiz numerycznych potwierdzają, że przy osiadaniu filara do 50 mm w dolnych strefach dźwigarów głównych mogły powstać w betonie naprężenia normalne przekraczające wytrzymałość betonu na rozciąganie – na obszarach stwierdzonych zarysowań. Niewykluczone jednak, że zarysowania betonu powstały przy nieco mniejszych wartościach osiadań filara (np. 30-40 mm) – jako efekt jednoczesnych oddziaływań stałych, termicznych i oddziaływań pojazdów, generujących zmiany naprężeń skutkujące finalnie zmęczeniem materiału.

Ewentualne dalsze osiadanie filara w istotny sposób przyczyni się do zwiększania się istniejących zarysowań, ale także do powstawania nowych zarysowań – w tym również w przekrojach przęsłowych. Wyniki analiz wskazują bowiem, że na znaczącej długości dolnej powierzchni dźwigarów (biorąc pod uwagę choćby tylko oddziaływania stałe) występują naprężenia rozciągające.

Jak już wspomniano w dłuższym okresie użytkowania uszkodzonej konstrukcji również ruch pojazdów może przyczyniać się do zwiększania rozległości i intensywności zarysowań, a także może skutkować powstawaniem nowych zarysowań w przekrojach przęsłowych (bezpośrednio nad jezdniami autostrady). Efekt zwiększania się stanu zarysowań na skutek ruchu pojazdów w dłuższym okresie będzie stymulowany zjawiskiem zmęczenia materiału.

Na podstawie wyników przeprowadzonych analiz należy stwierdzić, że dźwigary główne przęsła wymagają wzmocnienia, w trybie relatywnie pilnym. W szczególności dotyczy to stref występowania zarysowań w pobliżu filara. Natomiast, z uwagi na prawdopodobne występowanie istotnych wartości naprężeń rozciągających na znacznej długości spodu dźwigarów, to, zdaniem autorów, wzmocnienia wymagają również pozostałe odcinki dźwigarów głównych. Rekomendacje w tym zakresie przedstawiono w rozdziale 7 opracowania.



## 5. OKREŚLENIE PRZYCZYN POWSTANIA USZKODZEŃ DŹWIGARÓW GŁÓWNYCH

### 5.1. Sformułowanie przyczyny zarysowań

Analiza wyników przeprowadzonych przeglądów, badań oraz analiz numerycznych upoważnia do przypuszczenia, że przyczyną stwierdzonych zarysowań dźwigarów głównych konstrukcji przesł byłoby nadmierne, niezgodne z projektem osiadanie filara (podpora nr 2) posadowionego na palach Screwsol SCR 450/600.

Przedstawiona przyczyna powstania uszkodzeń wynika z następujących faktów:

- a) zarysowania dźwigarów głównych są usytuowane w dolnej części dźwigarów, symetrycznie po obu stronach filara na odcinkach długości około 4 m,
- b) zarysowania o analogicznym układzie występują we wszystkich trzech dźwigarach głównych,
- c) rozwarości zarysowań są największe na dolnej powierzchni dźwigarów, gdzie osiągają wartości do 0,6 mm, a zmniejszają się do zera na poziomie osi bezwładności dźwigarów głównych,
- d) zarysowania o największej rozwarości i wysokości znajdują się w bezpośrednim sąsiedztwie filara, a w miarę oddalania się od jego osi – maksymalne rozwarości zarysowań oraz ich wysokości maleją,
- e) wyniki analiz numerycznych potwierdzają, że przy osiadaniu podpory o około 50 mm w dolnych strefach dźwigarów głównych mogły powstać w betonie naprężenia normalne przekraczające wytrzymałość betonu na rozciąganie – na obszarach stwierdzonych zarysowań.

Brak wyników systematycznych przeglądów oraz pomiarów ewentualnych zmian geometrii konstrukcji przedmiotowego obiektu w trakcie jego budowy oraz dotychczasowej eksploatacji uniemożliwia jednoznaczne określenie terminu (okresu) powstania stwierdzonych zarysowań dźwigarów głównych w rejonie filara.

Przeprowadzone analizy wskazują, że do powstania uszkodzeń najprawdopodobniej doszło w końcowej fazie budowy i/lub w początkowym okresie eksploatacji wiaduktu. Za takim domniemaniem przemawia zachowanie generalnie niezmienionego kształtu niwelety drogi na obiekcie, który ulegałby deformacjom w przypadku systematycznego osiadania filara w trakcie wieloletniej eksploatacji obiektu.

Należy jednak w trybie pilnym zastosować na obiekcie system wnikliwej kontroli geometrii konstrukcji, aby uzyskać informacje o ewentualnych zmianach położenia i/lub deformacjach podstawowych elementów nośnych.

### 5.2. Uwagi dotyczące posadowienia filara

Tu należy sformułować najpierw pewne zastrzeżenia odnośnie do możliwości szczegółowej analizy posadowienia filara wiaduktu.

- Autorzy niniejszego opracowania dysponują jedynie bardzo ogólnymi zapisami z projektu budowlanego i powykonawczego oraz wpisami do dziennika budowy, gdzie odnotowano rozpoczęcie i zakończenie robót palowych.
- Nie ma żadnej dokumentacji powykonawczej pali w postaci metryk wykonania pali.
- Nie ma również żadnej dokumentacji dotyczącej badaniach odbiorczych, ilościowych – próbnym obciążen pali ani jakościowych – badań ich ciągłości (integralności).

- Nie ma również żadnych informacji o przygotowaniu głowic pali do ich zabetonowania w oczepach fundamentowych.

Te braki w udostępnionej dokumentacji tylko częściowo mogą być usprawiedliwione opuszczeniem placu budowy przez Generalnego Wykonawcę robót i przejęciem tego kontraktu przez kolejnego Generalnego. Pale fundamentowe wykonano w lipcu 2013 r., a następnie wstrzymano roboty budowlane na obiekcie na około 1,5 roku. Prace wznowiono w grudniu 2014 r.

Ze strony geotechnicznej należy podnieść następujące zastrzeżenia odnośnie wybranej technologii i sposobu prowadzenia prac palowych, które mogły w konsekwencji doprowadzić do osiadania filara środkowego.

- W projekcie budowlanym przyjęto II kategorię geotechniczną ze względu na wysoki poziom wód gruntowych i konieczność posadowienia pośredniego (głębokiego) na palach fundamentowych. W PB wskazano na konieczność potwierdzenia zgodności warunków geotechnicznych z założonymi do projektowania (w domyśle dla wszystkich podpór palowych) i potwierdzenia tego wpisem do Dziennika Budowy. Takie wymagania stawia się zazwyczaj dla robót palowych wykonywanych w technologii pali wierconych. Wybór technologii Screwsol, czyli pali przemieszczeniowych, wykluczał możliwość bieżącej kontroli zgodności profilu geotechnicznego z dokumentacją geotechniczną dostępną na etapie projektowania. Pale przemieszczeniowe (w tym Screwsol) są bezurobkowe a ewentualną zgodność profilu geotechnicznego ustala się na podstawie informacji o oporach pogrążania świda w metrykach pali. Takich metryk nie ma w udostępnionej dokumentacji. Jest to o tyle dziwne, że w karcie produktu Screwsol na stronie firmy Soletanche znajduje się następujący zapis: *”W czasie wiercenia na bieżąco monitoruje się i gromadzi dane dotyczące długości pala, momentu obrotowego głowicy, prędkości pogrążania, a następnie ciśnienia i objętości podawania mieszanki betonowej. Monitorowanie parametrów wiercenia tzn. podatności podłoża na przemieszczenia, pozwala na weryfikację oraz ewentualną modyfikację założeń projektowych w stosunku do warunków gruntowych zaobserwowanych w trakcie realizacji”*.
- Sama technologia Screwsol, będąca wariantem powszechnie stosowanych pali przemieszczeniowych, nie jest powszechnie stosowana, a na wykazie przykładowych realizacji posadowień w tej technologii (na stronie Wykonawcy, tj. firmy Soletanche) nie ma obiektów mostowych.
- Wykonywanie pali przemieszczeniowych jest uwarunkowane mocą palownicy. W szczególnych przypadkach konieczności pogrążenia podstaw pali w grunty nośne w bardzo korzystnym stanie (zagęszczone lub zwarte) mogą wystąpić problemy z uzyskaniem głębokości wymaganej projektem. To nie musi być problemem, gdy dotyczy pojedynczego pala, lecz skrócenie długości większej liczby pali może skutkować zwiększonymi osiadaniami w fazie eksploatacji obiektu. W przedmiotowym przypadku stwierdza się w opisie podłoża gruntowego występowanie gruntów niespoistych zagęszczonych o  $I_D=0,70$ . W takiej sytuacji „niedogłębienie” pali jest prawdopodobne, zwłaszcza gdy brak metryk pali
- Cały zapis w projekcie budowlanym dotyczący robót palowych (punkt 6.5.) sprowadza się do jednego zdania: *„Na podstawie dokumentacji geologicznej i obliczeń statycznych przyjęto pośrednie posadowienie podpór na palach przemieszczonych Screwsol”*. Brak śladu po wytycznych odnośnie kontroli ich formowania (projektu technologicznego).
- W punkcie 10.3.1 dotyczącym wykopów fundamentowych nie podano żadnych dyspozycji odnośnie sposobu ich prowadzenia ograniczając się do ogólnego zapisu, że *„Metoda wykonania robót ziemnych powinna być dobrana w zależności od wielkości robót, głębokości wykopu, ukształtowania terenu, rodzaju gruntu oraz posiadanego sprzętu mechanicznego”*. Taki

zapis niesie ryzyko prowadzenia prac ziemnych w sposób zagrażający uszkodzeniem głowic wcześniej wykonanych pali. Ze względu na ograniczoną możliwość pograżania zbrojenia w uformowane wcześniej pale przemieszczeniowe (każde), zbrojenie tych pali jest często ograniczone tylko do części głowicowej. Pale przemieszczeniowe o średnicy 45 cm są zatem wrażliwe na uderzenia łyżek koparek wykorzystywanych do prowadzenia prac ziemnych. Również najechanie gąsienicą na głowicę pala może łatwo doprowadzić do jego złamania. Stąd powszechny na wielu kontraktach wymóg badania ciągłości pali i kolumn przemieszczeniowych przed ich przykryciem (zabetonowaniem głowic) w konstrukcjach oczepowych, w szczególności pod filarem.

- W punkcie 10.4 podano wymogi odnośnie kontroli osiadań obiektu ustalając maksymalną różnicę osiadań podpór na poziomie 10 mm. To jest racjonalne, ale w przedmiotowym przypadku doszło do sytuacji nietypowej, bowiem podejrzewa się osiadania filara a zazwyczaj zwiększone osiadania rejestruje się na przyczółkach obciążonych rozległym i dużym ciężarem korpusu gruntowego dojazdu do konstrukcji mostowej.

Podsumowując część opinii dotyczącą prac palowych i dalej robót ziemnych i fundamentowych należy podkreślić, że brak podstaw do „twardego” wnioskowania o niedostatecznej nośności posadowienia podpory środkowej. Przedstawiono szereg zastrzeżeń i hipotez odnośnie możliwych przyczyn osiadań filara, które mogły wystąpić pojedynczo lub w niekorzystnej konfiguracji wspólnie. Na obecnym etapie podejmowanie decyzji o konieczności wzmocnienia posadowienia przedmiotowego filara byłaby pochojna, zwłaszcza, że nie ma jednoznacznego potwierdzenia czasu w jakim te osiadania mogły nastąpić. Niezależnie od koniecznego monitoringu elementów konstrukcji mostowej należy jednak prowadzić okresowe obserwacje geodezyjne przemieszczeń podpór (w tym filara) w aspekcie możliwych dalszych osiadań.

Gdyby takie osiadania zostały potwierdzone pomiarami wysokościowymi, to należy wtedy rozważyć konieczność wzmocnienia posadowienia w technologiach iniekcji gruntu, które w minimalny sposób ingerują w konstrukcję wiaduktu. Możliwe do zastosowania są zarówno iniekcje niskociśnieniowe: impregnujące i rozpychające (dopreżające) podłoże jak i wysokociśnieniowa iniekcja strumieniowa jet-grouting pozwalająca na formowanie brył zeskalonego podłoża o znacznych wymiarach pod istniejącymi fundamentami. Ze względu na specyfikę technologiczną tych prac należy powierzać zarówno ich projektowanie jak i wykonawstwo renomowanym firmom specjalistycznym z dużym doświadczeniem w realizacji takich robót. Należy podkreślić, że wybór technologii wzmocnienia podłoża powinien uwzględniać takie aspekty jak wykonalność pod istniejącym filarem i ograniczenia tzw. osiadań technologicznych związanych z koniecznością naprężenia podłoża pod bryłą zeskalonego gruntu w technologii jet-grouting.

## 6. OCENA STANU TECHNICZNEGO I PRZYDATNOSCI DO UŻYTKOWANIA OBIEKTU

Ogólnie **stan techniczny konstrukcji przęseł** należy ocenić jako **niedostateczny** (ocena '2'). Konstrukcja przęseł wykazuje uszkodzenia, obniżające przydatność użytkową (nośność obiektu), ale możliwe do naprawy. Nienaprawienie uszkodzeń będzie powodować systematyczne zwiększanie się stanu zarysowań i w efekcie bardzo znaczące zmniejszenie nośności przęseł i bezpieczeństwa eksploatacji obiektu.

Obecny stan uszkodzeń wymaga podjęcia działań remontowych w trybie relatywnie pilnym. Zakres rekomendowanych działań opisano w 7.

W chwili wykonywania przeglądu stan zarysowań przęseł mostu oraz tempo ich rozwoju (w porównaniu do stanu uszkodzeń zaprezentowanych w protokole okresowej kontroli 5-letniej [20]) nie wskazywały na konieczność podjęcia natychmiastowych działań interwencyjnych lub ograniczenia ruchu na badanym obiekcie. Natomiast parametry stwierdzonych obecnie uszkodzeń oraz ich możliwy systematyczny powolny wzrost wskazują na konieczność wzmocnienia dźwigarów głównych oraz dalszego monitorowania stanu konstrukcji oraz dokonywania okresowej oceny wpływu uszkodzeń na nośność konstrukcji.

## 7. PROGRAM NAPRAWCZY

Biorąc pod uwagę przedstawione wcześniej wyniki przeprowadzonych badań i analiz, a także prawdopodobne przyczyny powstania zarysowań dźwigarów głównych, proponujemy rozważenie następującej sekwencji działań naprawczych:

- 1) Niezwłoczne podjęcie prac związanych z systematyczną obserwacją ewentualnych zmian stanu technicznego i przydatności obiektu do użytkowania. Minimalny zakres działań powinien obejmować:
  - a) geodezyjną kontrolę przemieszczeń podpór i przęseł z wykorzystaniem niwelacji precyzyjnej – co 3 miesiące lub częściej,
  - b) kontrolę zmian rozwartości i długości zarysowań dźwigarów głównych w rejonie filara (podpora nr 2) – co 3 miesiące lub częściej,
  - c) przeglądy ekspertyzowe (co 3 miesiące lub częściej), których zakres powinien obejmować stwierdzenie ewentualnych zmian stanu obiektu, szczególnie w zakresie:
    - osiadania filara i przyczółków,
    - deformacji konstrukcji przęseł,
    - zmian rozwartości i długości istniejących rys z uwzględnieniem wpływów środowiska (temperatura),
    - powstawania nowych zarysowań konstrukcji,
    - deformacji nawierzchni jezdni i chodników, a także elementów wyposażenia,
    - nieprawidłowej pracy łożysk i/lub urządzeń dylatacyjnych.

Wyniki tych prac prowadzonych w ciągu 12 miesięcy powinny umożliwić jednoznaczne stwierdzenie czy występujące zarysowania mają charakter postępujący czy stabilny (ewentualne niewielkie zmiany wynikające głównie ze zmian warunków termicznych). Wyjaśnienie tej kwestii będzie stanowiło racjonalną podstawę do ostatecznego określenia rodzaju i zakresu działań naprawczych.

- 2) Równoległe do opisanych powyżej działań diagnostycznych należy opracować projekt remontu przęseł wiaduktu, a następnie przystąpić do jego realizacji. W tym zakresie rekomenduje się:
  - a) wzmocnienie dźwigarów głównych taśmami węglowymi przyklejanymi na dolnych i bocznych powierzchniach dźwigarów (rekomenduje się zastosowanie taśm ze wstępnym naciągami, przykładowy układ taśm pokazano na rys. 7.1),
  - b) wypełnienie rys (np. iniekcja ciśnieniowa) zabezpieczające pręty zbrojenia oraz ciągną sprężającą przed wpływami atmosferycznymi.

Wykonane zabiegi powinny:

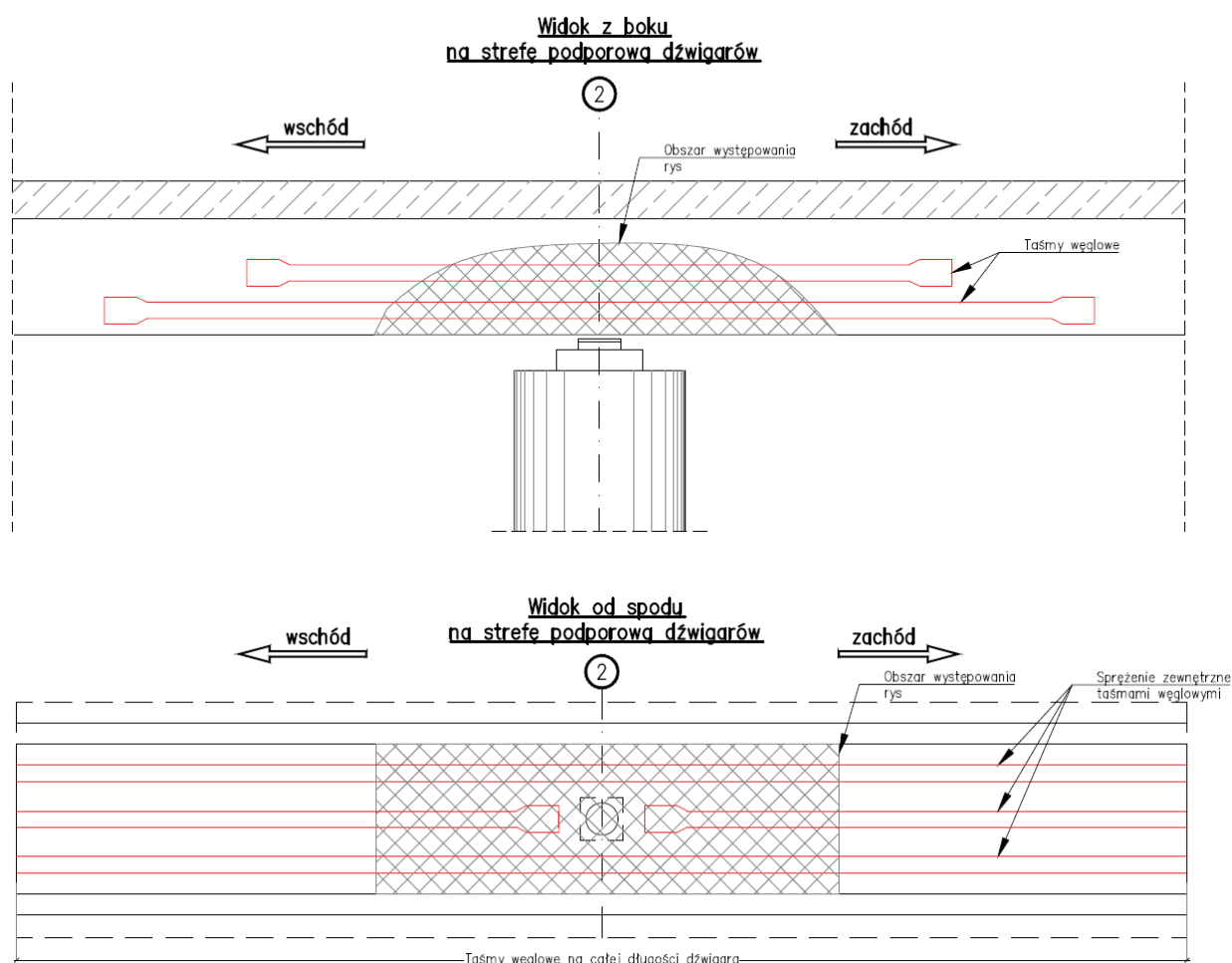
- zwiększyć odporność dźwigarów głównych na ewentualne wzrosty rozwartości i długości rys,
- zapewnić ochronę prętów zbrojenia oraz cięgien sprężających przed ewentualną korozją,
- zapewnić dalszą bezpieczną eksploatację obiektu w warunkach prowadzenia standardowych przeglądów (inspekcji) określonych przepisami.

Szacunkowe określenie kosztów naprawy dźwigarów zamieszczono w załączniku do niniejszego opracowania.

W trakcie opracowania projektu remontu można rozważyć dodatkowo podniesienie (wypiętrzenie) konstrukcji przęseł na podporze środkowej. Zabieg ten odciążałby uszkodzony obszar dźwigarów głównych i pozwoliłby na zmniejszenie rozwartości rys w dolnej części dźwigarów nad filarem. Przy czym realizacja tego wariantu wymagałaby również uprzedniego wzmocnienia posadowienia filara.

- 3) W sytuacji stwierdzenia postępujących przemieszczeń (osiadań) filara względem pozostałych podpór rekomenduje się pilne wzmocnienie podłoża gruntowego w rejonie filara w technologiach iniekcji gruntu, które w minimalny sposób ingerują w konstrukcję wiaduktu. Możliwe do zastosowania są zarówno iniekcje niskociśnieniowe: impregnujące i rozpychające podłoże jak i wysokociśnieniowa iniekcja strumieniowa jet-grouting, pozwalająca na formowanie brył zeskalonego podłoża o znacznych wymiarach pod istniejącymi fundamentami.

W rozpatrywanej sytuacji – po wykonaniu zabiegów naprawczych – niezbędne byłoby prowadzenie systematycznych obserwacji skuteczności wykonanych prac, a w szczególności wzmocnienia gruntu i stabilizacji położenia filara.



Rys. 7.1. Wstępna koncepcja wzmocnienia dźwigarów głównych za pomocą taśm węglowych ze wstępnym naciąganiem (wzmocnienie czynne)



## 8. PODSUMOWANIE

### 8.1. Zakres wykonanych prac

Zrealizowano cały zaplanowany **zakres prac diagnostycznych**, obejmujący:

- 1) Wykonanie szczegółowej inwentaryzacji uszkodzeń konstrukcji przęseł wiaduktu.
- 2) Określenie przyczyn powstania uszkodzeń dźwigarów głównych przęseł wiaduktu, wraz z analizą rozwiązań projektowych, ewentualnych błędów wykonawczych oraz wykonaniem obliczeń sprawdzających.
- 3) Ocena stanu technicznego konstrukcji przęseł wiaduktu w świetle występujących uszkodzeń i ich wpływu na bezpieczeństwo i trwałość eksploatacji obiektu.
- 4) Opracowanie programu naprawczego, wraz z szacunkowym określeniem kosztów naprawy.

### 8.2. Ogólna ocena kondycji obiektu i warunki bezpiecznej eksploatacji

Ogólnie **stan techniczny konstrukcji przęseł** należy ocenić jako **niedostateczny** (ocena '2'). Konstrukcja przęseł wykazuje uszkodzenia, obniżające przydatność użytkową (nośność obiektu), ale możliwe do naprawy. Nienaprawienie uszkodzeń będzie powodować systematyczne zwiększanie się stanu zarysowań i w efekcie bardzo znaczące zmniejszenie nośności przęseł i bezpieczeństwa eksploatacji obiektu.

Obecny stan uszkodzeń wymaga podjęcia działań remontowych w trybie relatywnie pilnym.

W chwili wykonywania przeglądu stan zarysowań przęseł mostu oraz tempo ich rozwoju (w porównaniu do stanu uszkodzeń zaprezentowanych w protokole okresowej kontroli 5-letniej [20]) nie wskazywały na konieczność ograniczenia ruchu na badanym obiekcie.

### 8.3. Program działań naprawczych

Rekomenduje rozważenie następującej sekwencji działań naprawczych:

- 1) Niezwłoczne podjęcie prac związanych z systematyczną obserwacją ewentualnych zmian stanu technicznego i przydatności obiektu do użytkowania
- 2) Równolegle do opisanych powyżej działań diagnostycznych należy opracować projekt remontu przęseł wiaduktu, a następnie przystąpić do jego realizacji.
- 3) W sytuacji stwierdzenia postępujących przemieszczeń (osiadań) filara względem pozostałych podpór rekomenduje się pilne wzmocnienie podłoża gruntowego w rejonie filara w technologiach iniekcji gruntu, które w minimalny sposób ingerują w konstrukcję wiaduktu.

## 9. MATERIAŁY WYKORZYSTYWANE

### PRZEPISY

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r.: Prawo budowlane, Dz. U Nr 89, poz. 414 z późn. zm.
- [2] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe budownictwo inżynierskie i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw nr 63/2000 poz. 735.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24 czerwca 2022 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących dróg publicznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 1518).
- [4] Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich, Załącznik do Zarządzenia nr 35 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 28 września 2020 roku, Warszawa 2020.
- [5] Zarządzenie Nr 17 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 1 czerwca 2004 r. w sprawie wprowadzenia do stosowania „Instrukcji do określania nośności użytkowej drogowych obiektów mostowych”. GDDKiA, Warszawa, 2004.
- [6] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Obciążenia.
- [7] PN-S-10040:1999 Obiekty mostowe -- Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone -- Wymagania i badania.
- [8] PN-91/S-10042 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.
- [9] PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.
- [10] PN-EN 1991-1-1:2004 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne.
- [11] PN-EN 1991-2:2007 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
- [12] PN-EN 1991-1-5:2005 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-5: Oddziaływania termiczne.
- [13] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [14] PN-EN 1992-2 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 2: Mosty z betonu. Obliczanie i reguły konstrukcyjne.

### DOKUMENTACJA TECHNICZNA WIADUKTU

- [15] Wybrane elementy Projektu Architektoniczno-Budowlanego: Budowa Autostrady A2 na odcinku Stryków – węzeł Tuszyn. Wiadukt WD-254 w km 305+443. Transprojekt Warszawa Sp. z o.o., Poznań, maj 2012 r
- [16] Wybrane elementy Projektu Wykonawczego: Budowa Autostrady A2 na odcinku Stryków – węzeł Tuszyn. Wiadukt WD-254 w km 305+443. Mosty Katowice Sp. z o.o., Katowice, październik 2014 r.
- [17] Wybrane elementy dokumentacji powykonawczej obiektu: Budowa Autostrady A2 na odcinku Stryków – węzeł Tuszyn. Dziennik budowy wiaduktu WD-254 w km 305+443. Nr 2/2013 z dnia 8.01.2013 r. (tom 27).

- [18] Wybrane elementy dokumentacji powykonawczej obiektu: Budowa Autostrady A2 na odcinku Stryków – węzeł Tuszyń. Program sprężania wiaduktu WD-254 w km 305+443. VSL Polska Sp. z o.o., Poznań, styczeń 2015 r
- [19] Wybrane elementy dokumentacji powykonawczej obiektu: Budowa Autostrady A2 na odcinku Stryków – węzeł Tuszyń. Dokumentacja powykonawcza sprężania wiaduktu WD-254 w km 305+443. VSL Polska Sp. z o.o., Poznań, lipiec 2015 r.
- [20] Protokół kontroli okresowej, 5-letniej (przegląd rozszerzony) wiaduktu WD-254 w km 305+443 autostrady A1. Data przeprowadzenia kontroli: 18.08.2021 r.

# ZAŁĄCZNIK NR 1 – SZACUNKOWE OKREŚLENIE KOSZTÓW NAPRAWY DŹWIGARÓW GŁÓWNYCH

Roboty remontowe w zakresie naprawy dźwigarów głównych wiaduktu WD-254 nad autostradą A1 (km 305+443, m. Natolin)					
Lp.	Wyszczególnienie elementów rozliczeniowych	Przedmiar		Cena jedn. [zł]	Wartość netto [zł]
		jedn.	Ilość		
<b>1</b>	<b>Przygotowanie podłoża</b>				
1.01	Mechaniczne oczyszczenie powierzchni dźwigara	m2	323.40	70.00	22 638.00
1.02	Wyrównanie nierówności zaprawa PC (20%)	m2	64.68	86.32	5 583.18
1.03	Miejscowa iniekcja zarysowań żelbetowych dźwigara	mb	125.00	850.00	106 250.00
1.04	Zabezpieczenie antykorozyjne powierzchni betonowych - powłokowe	m2	229.44	114.01	26 158.45
<b>2</b>	<b>Czynne wzmocnienie dźwigarów przęseł poprzez naklejenie taśm kompozytowych z włókien węglowych (CFRP)</b>				
2.01	Przygotowanie i montaż taśm kompozytowych z włókien węglowych (CFRP) Sika Carbo Dour M 1214	m	783.00	833.74	652 818.42
2.02	Przygotowanie i montaż kotwienia taśm kompozytowych z włókien węglowych (CFRP)	kpl.	48.00	1 800.00	86 400.00
<b>3</b>	<b>Roboty dodatkowe</b>				
3.01	Wprowadzenie i projekt czasowej organizacji ruchu na odcinku ok. 4 km autostrady A1 (zamknięcia jezdni na potrzeby prowadzonych prac)	kpl.	1.00	1 500 000.00	1 500 000.00
	<b>Razem roboty remontowe</b>				<b>2 399 848.05</b>