

Zamawiający:



MIASTO STOŁECZNE WARSZAWA  
ZARZĄD DRÓG MIEJSKICH  
ul. Chmielna 120  
00-801 Warszawa

Wykonawca (konsorcjum firm w składzie):

**DIAGNOSTYKA I NAPRAWY KONSTRUKCJI**  
**mgr inż. Tomasz Kordjak**

00-877 Warszawa  
Al. Solidarności 161/130

Biuro Techniczne:  
Ratuszowa 11 lok. 83, 03-450 Warszawa,  
tel./fax (22) 619 82 26  
e-mail: biuro@dink-mosty.pl  
www.dink-mosty.pl

Siedziba:  
50-353 Wrocław  
Ul. Ładna 19/19



Pracownia projektowa:  
50 – 319 Wrocław, ul. B. Prusa 9, pok. 303-305  
Tel: (71) 328-28-45; (71) 328-01-31 (32)  
Fax.: (71) 328-28-45  
e-mail: biuro@promost.wroc.pl  
www.promost.wroc.pl

Stadium:	Zamierzenie budowlane:		
	<b>Opracowanie dokumentacji projektowej na wykonanie robót remontowych mostu i wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie</b>		
Nr tomu:	Zadanie:		
	<b>Odnowa powłok antykorozyjnych konstrukcji stalowej Wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie</b>		
Branża:	Tytuł opracowania:		
Mostowa	EKSPERTYZA		
Stanowisko	Imię i Nazwisko	Uprawnienia	Podpis
Projektant branża mostowa:	mgr inż. Tomasz Kordjak	MAZ/0183/POOM/04	
Projektant zabezpieczeń antykorozyjnych:	dr inż. Jacek Bordziłowski		
Sprawdzający branża mostowa:	mgr inż. Jadwiga Wrzesińska	MAZ/0368/POOM/08	
Zespół opracowujący:	mgr inż. Paweł Szczypek		
Nr umowy:	Data:	Nr egzemplarza:	
DZP/77/PN/64/10	Listopad 2010 r.	<b>1</b>	

<b>Spis treści</b>	<b>Str.</b>
<i>1. Podstawa opracowania ekspertyzy</i>	<i>2</i>
<i>2. Przedmiot, zakres i cel opracowania</i>	<i>16</i>
<i>3. Metodyka prac</i>	<i>17</i>
<i>4. Wyniki wstępnej oceny wzrokowej stanu powłok</i>	<i>19</i>
<i>5. Wyniki szczegółowej oceny powłok</i>	<i>21</i>
<i>6. Wstępna kwalifikacja elementów wiaduktu do wymiany</i>	<i>34</i>
<i>7. Ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji.</i>	<i>37</i>
<i>8. Podsumowanie</i>	<i>38</i>
<i>9. Wnioski</i>	<i>40</i>

## 1. PODSTAWA OPRACOWANIA EKSPERTYZY

Podstawą formalną opracowania jest umowa nr DZP/77/PN/64/10 zawarta w dniu 27/09/2010 r. pomiędzy Miastem Stołecznym Warszawa – Zarząd Dróg Miejskich a firmą Diagnostyka i Naprawy Konstrukcji Tomasz Kordjak (liderem konsorcjum).

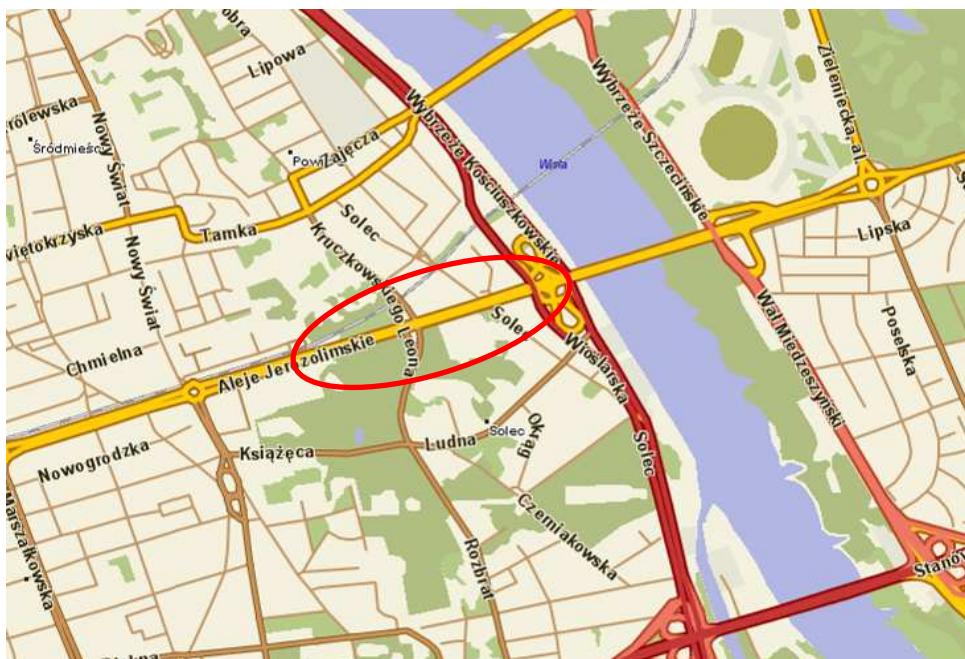
Przy opracowaniu niniejszej oceny korzystano z następujących pozycji piśmiennictwa, norm oraz materiałów archiwalnych:

Przy opracowaniu niniejszej oceny korzystano z następujących pozycji piśmiennictwa, norm oraz materiałów archiwalnych:

- Oględziny i badania stanu powłok i konstrukcji Wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie wykonane w warunkach terenowych w październiku 2010.
- Informacje uzyskane od Zleceniodawcy.
- Zalecenia do wykonywania i odbioru antykorozyjnych zabezpieczeń konstrukcji stalowych drogowych obiektów mostowych, opracowana przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2006.
- Materiały kursów Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie „Projektowanie i nadzór nad wykonaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach mostowych”.
- Polskie Normy i Aprobaty Techniczne.

Przedmiotem opracowania jest wiadukt im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie.

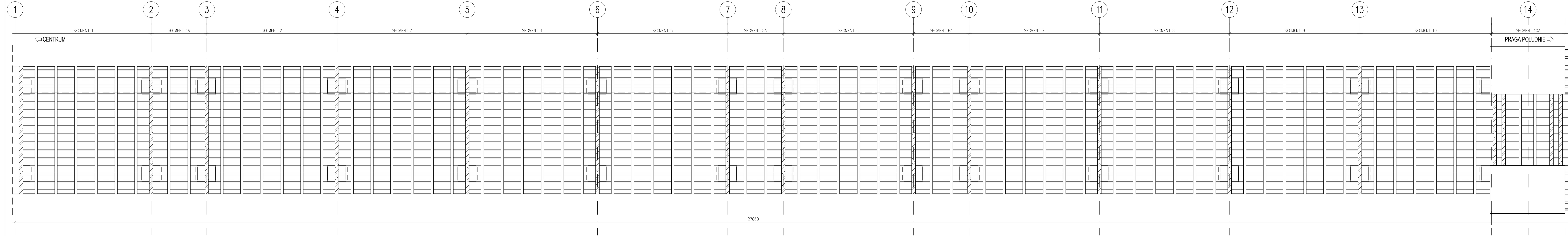
Lokalizację obiektu pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Lokalizacja obiektu

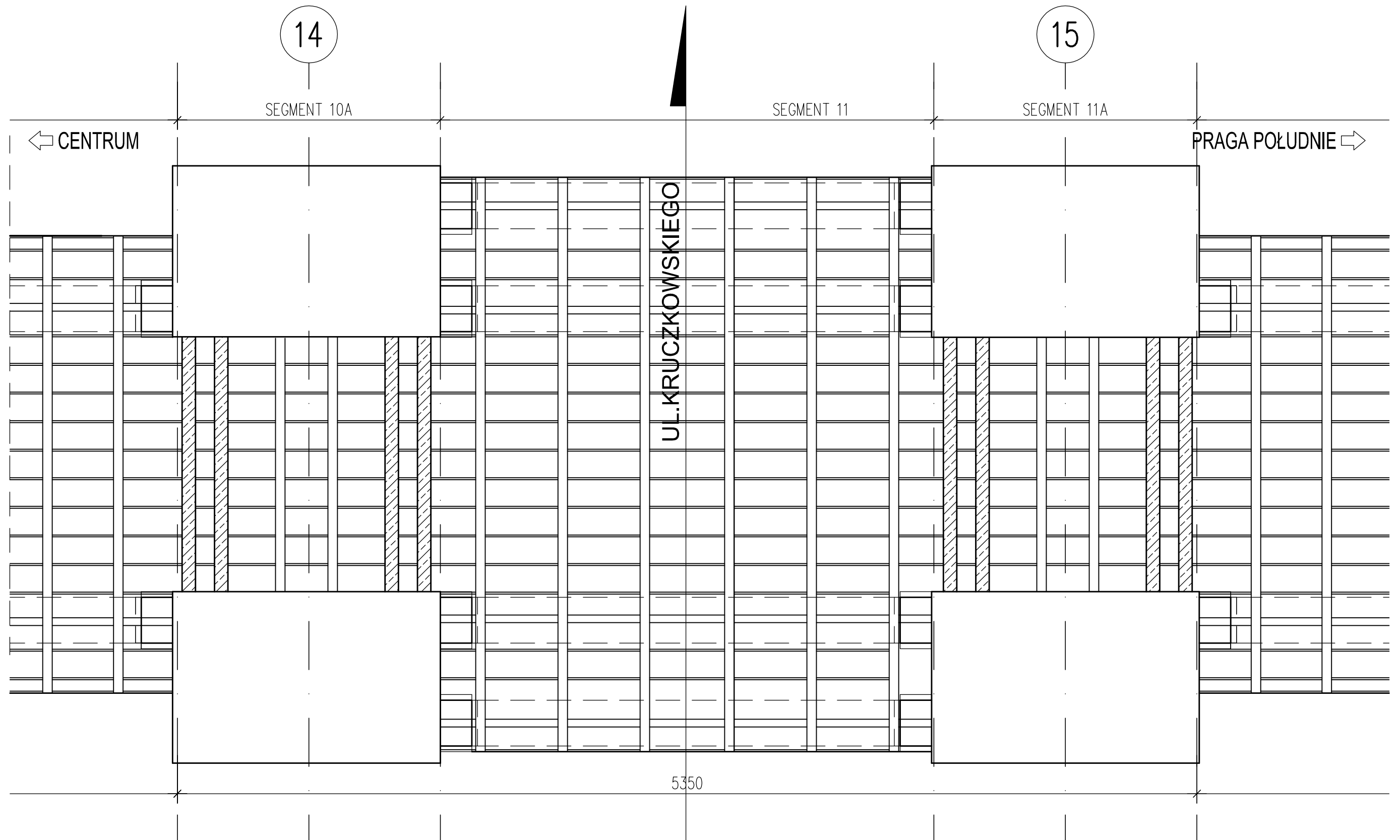
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK SPODU WIADUKTU SEGMENTY 1-10

Rys. nr 1.1



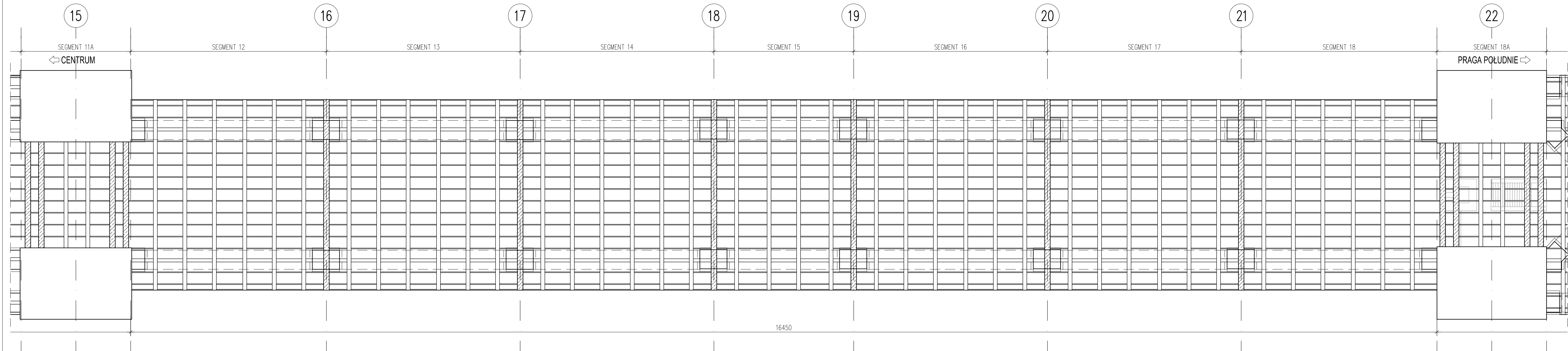
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK SPODU WIADUKTU SEGMENT 11

Rys. nr 1.2



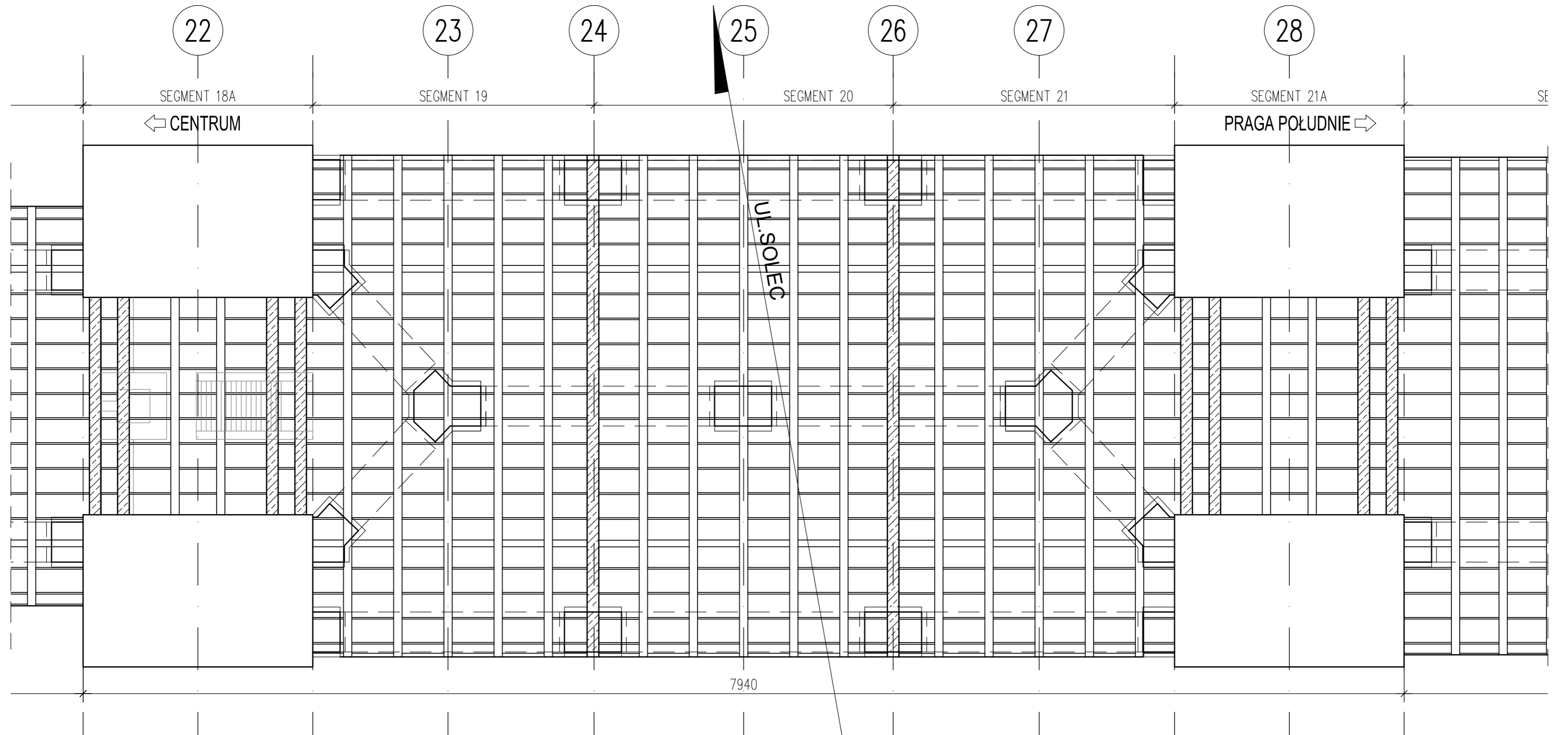
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK SPODU WIADUKTU SEGMENTY 12-18

Rys. nr 1.3



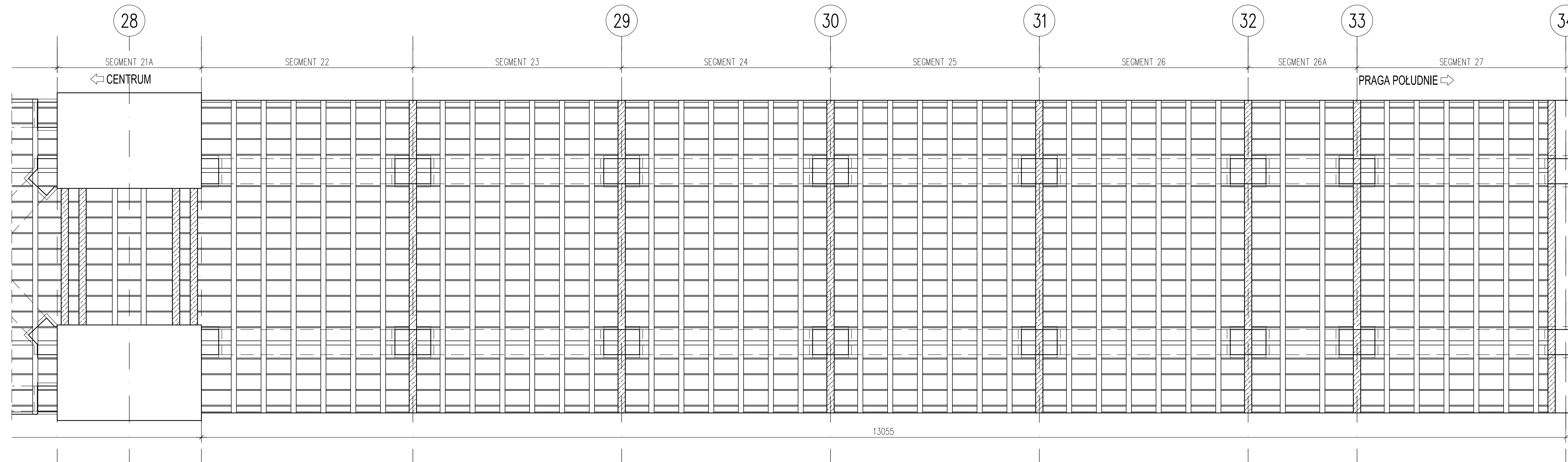
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK SPODU WIADUKTU SEGMENTY 19-21

Rys. nr 1.4



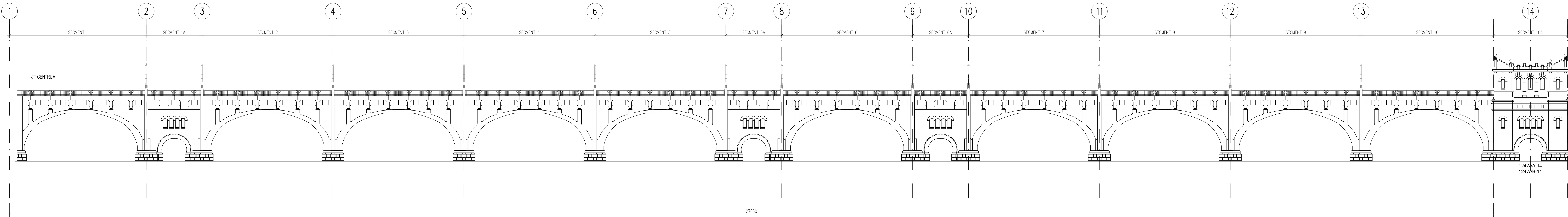
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK SPODU WIADUKTU SEGMENTY 22-27

Rys. nr 1.5



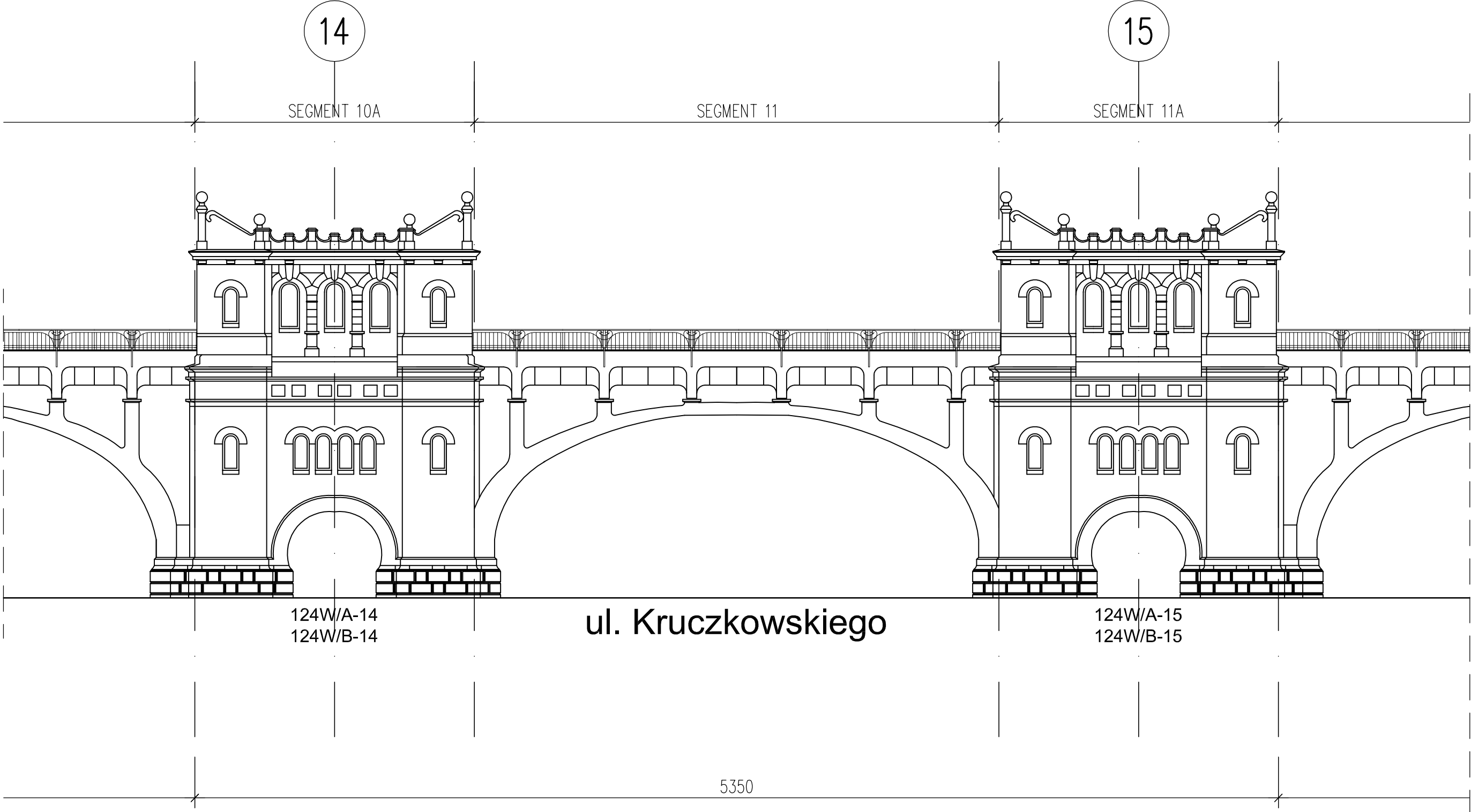


<b>INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA</b> <b>WIDOK Z BOKU SEGMENTY 1-10</b>	<b>Rys. nr 2.1</b>
---	--------------------



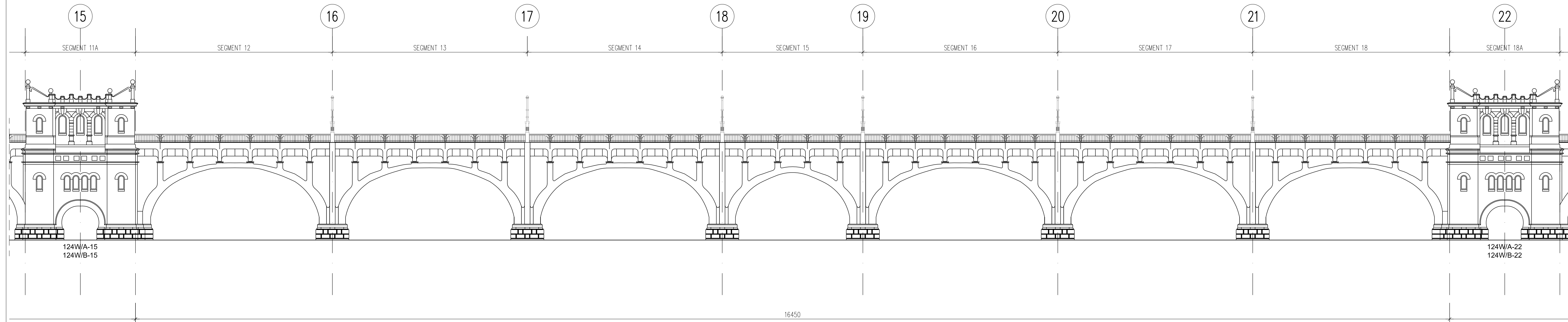
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK Z BOKU SEGMENT 11

Rys. nr 2.2



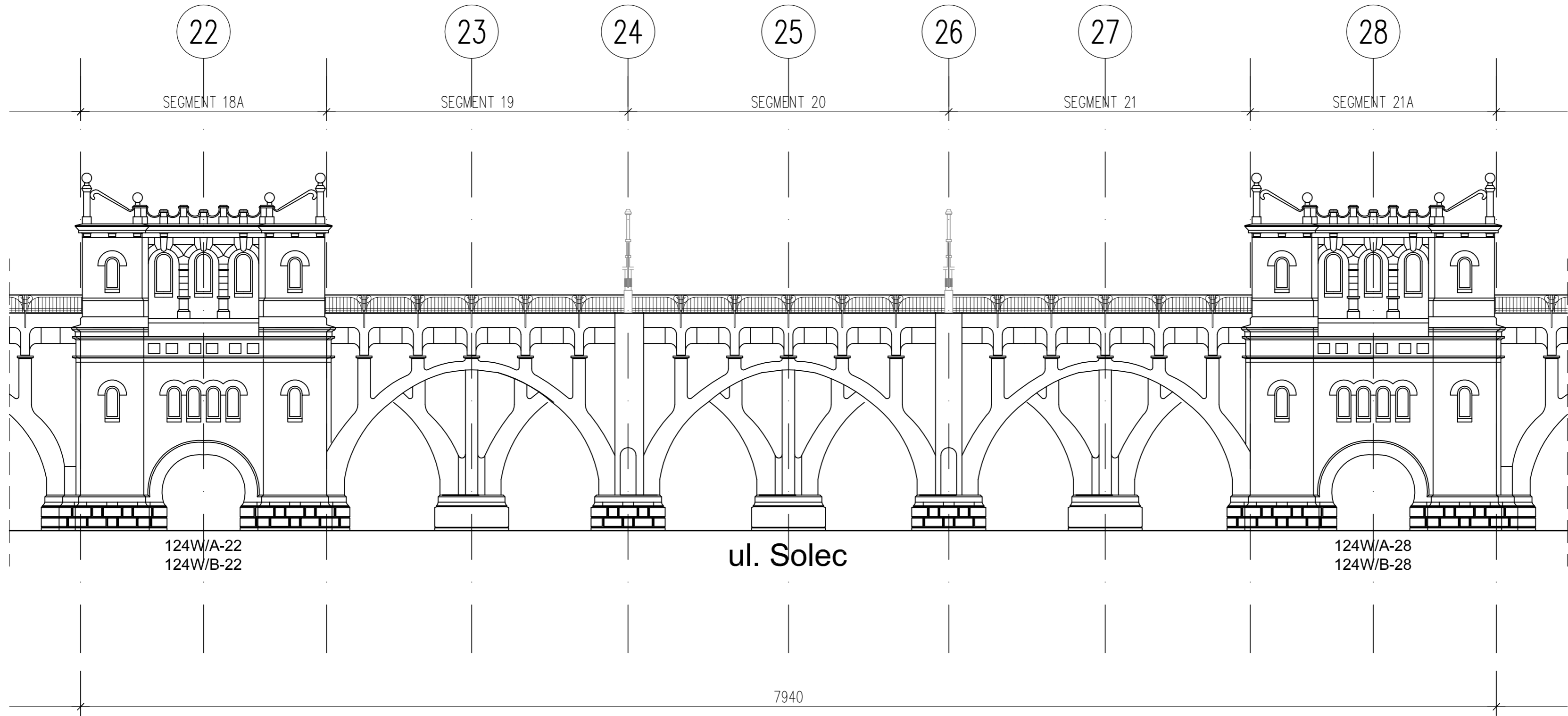
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK Z BOKU SEGMENTY 12-18

Rys. nr 2.3



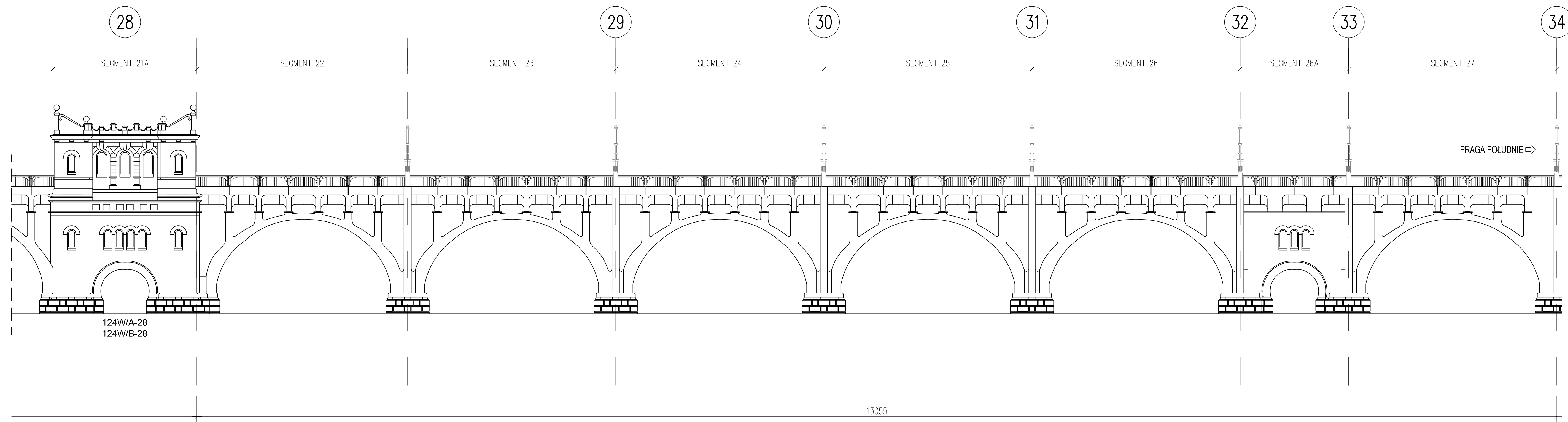
INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK Z BOKU SEGMENTY 19-21

Rys. nr 2.4



INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
WIDOK Z BOKU SEGMENTY 22-27

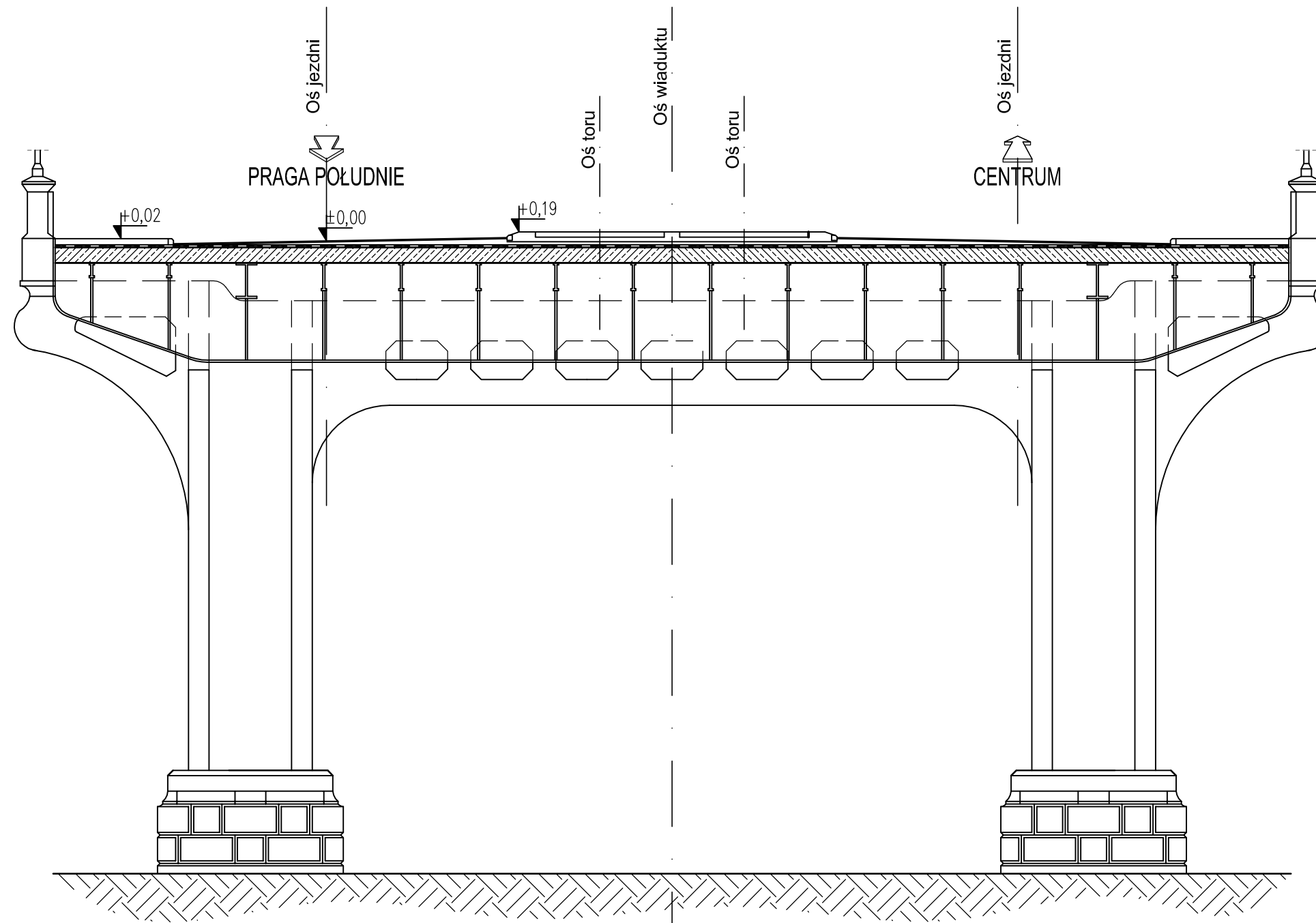
Rys. nr 2.5



13055

INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
PRZEKRÓJ WIADUKTU DLA SEGMENTÓW 1-10

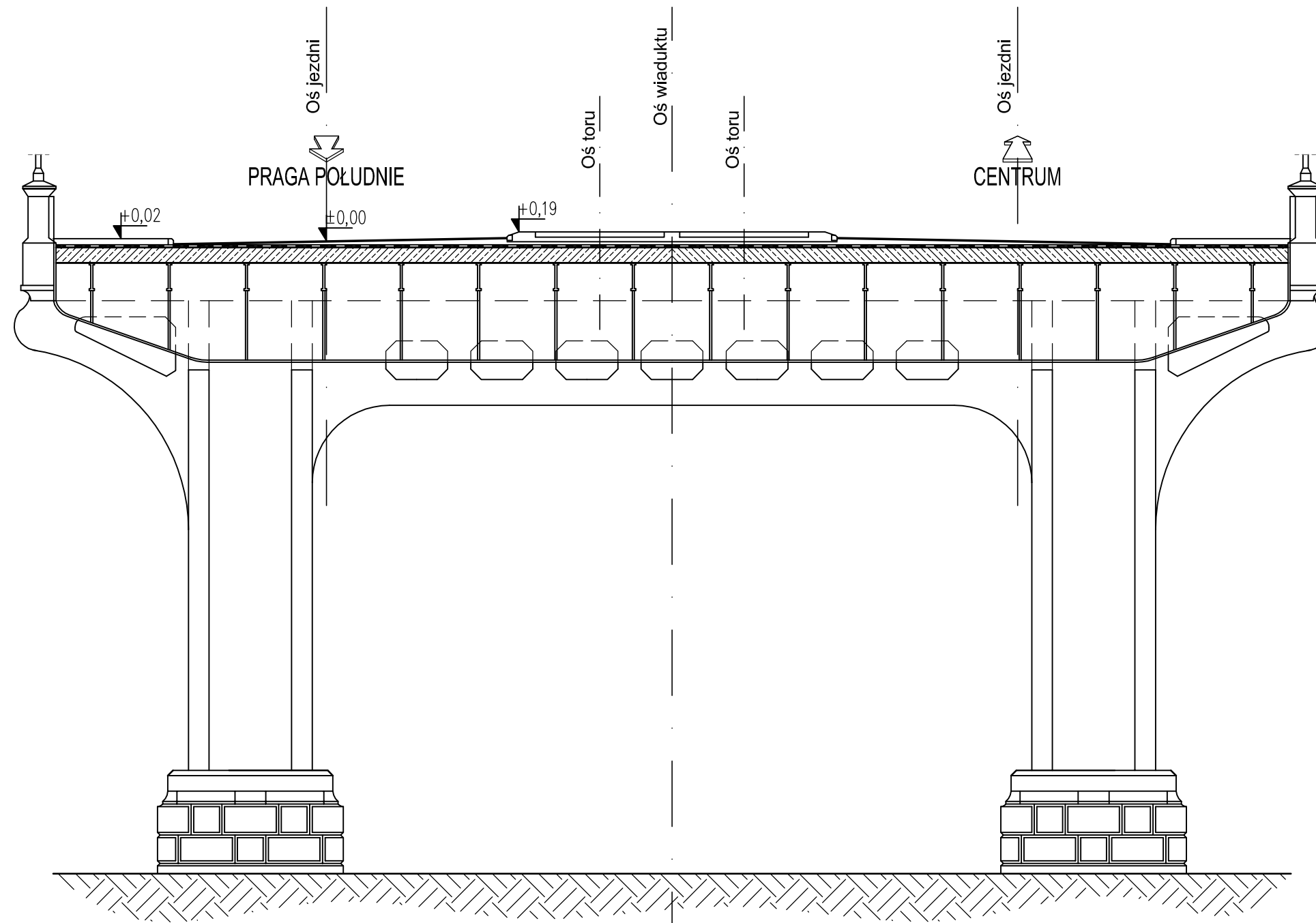
Rys. nr 3



PRZEKRÓJ DLA SEGMENTÓW 1-10  
SKALA 1:100

INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
PRZEKRÓJ WIADUKTU DLA SEGMENTÓW 12-18

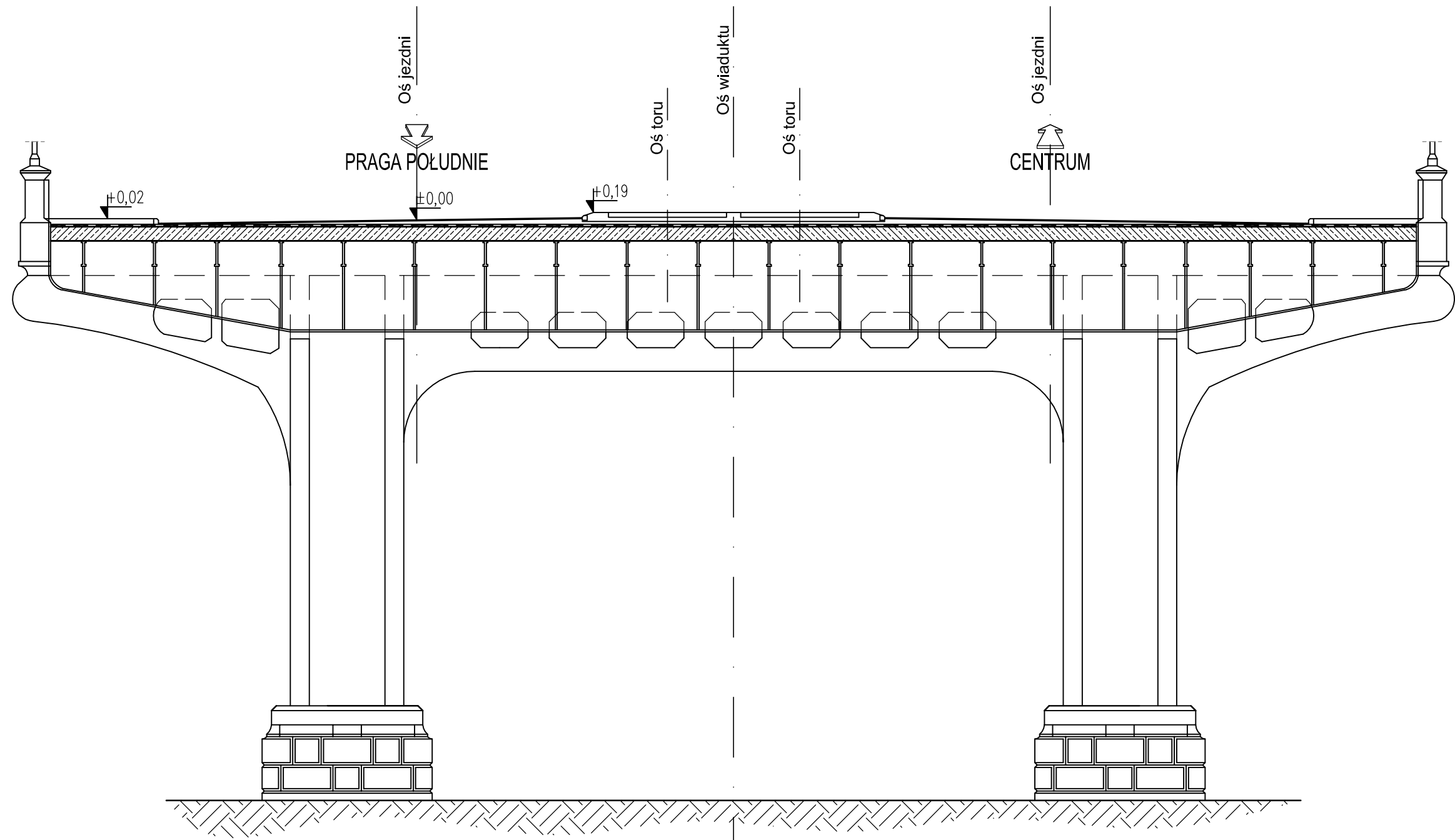
Rys. nr 4



PRZEKRÓJ DLA SEGMENTÓW 12-18  
SKALA 1:100

INWENTARYZACJA GEOMETRYCZNA  
PRZEKRÓJ WIADUKTU DLA SEGMENTÓW 22-27

Rys. nr 5



PRZEKRÓJ DLA SEGMENTÓW 22-27  
SKALA 1:100



## **2. PRZEDMIOT, ZAKRES I CEL OPRACOWANIA**

### 2.1. Przedmiot opracowania.

Niniejsze opracowanie dotyczy oceny stanu powłok antykorozyjnych konstrukcji stalowej Wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie zgodnie z wymaganiami Specyfikacji Technicznej Wykonania Projektu opracowanej przez Zarząd Dróg Miejskich, Wydział Mostów, Warszawa, maj 2010.

### 2.2. W zakres pracy wchodzi:

- a) identyfikacja rodzaju powłok;
- b) identyfikacja czynników szkodliwych w powłokach (ołów, chrom na szóstym stopniu utlenienia);
- c) ocena wad i stopnia zniszczenia istniejących powłok według określeń normowych;
- d) ocena wad powierzchni stalowych;
- e) ocena grubości systemu powłokowego w rozbiciu na poszczególne powłoki;
- f) ocena przyczepności powłok do podłoża i przyczepności międzywarstwowej;
- g) ocena twardości powłok w powiązaniu z elastycznością;
- h) zbadania barierowości powłok ocenianą metodą impedancyjną i potencjometryczną;
- i) ocena stanu podłoża pod istniejącymi powłokami;
- j) wstępna ocenę elementów konstrukcji do wymiany;
- k) ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji.

### 2.3. Cel ekspertyzy

Celem ekspertyzy jest zebranie danych do opracowania projektu na odnowę powłok antykorozyjnych konstrukcji stalowej Wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego w Warszawie.

### **3. METODYKA PRAC**

3.1. Identyfikację rodzaju powłok lakierowych wykonano metodą spektrofotometryczną i fizyko-chemiczną z pobranych próbek powłok. Badania prowadzono na Politechnice Gdańskiej oraz w laboratorium CES.

3.2. Identyfikację czynników szkodliwych w powłokach (ołów, chrom na szóstym stopniu utlenienia) wykonano metodą analizy chemicznej z pobranych próbek powłok. Badania wykonano na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej.

3.3. Ocenę stopnia zniszczenia istniejących powłok wykonano według określeń normy PN-EN ISO 4628, ze szczególnym uwzględnieniem:

- Stanu powłok wg PN-ISO 4628, w tym:
  - Stopnia spęcherzenia wg PN-ISO 4628/2
  - Stopnia skorodowania wg PN-ISO 4628/3
  - Stopnia spękania wg PN-ISO 4628/4
  - Stopnia złuszczenia wg PN-ISO 4628/5
  - Stopnia skredowania wg PN-ISO 4628/6
- Stanu powłok w złączach konstrukcji, a szczególnie spękania powłok i korozji podpowłokowej
- Stanu powłok na krawędziach, złączach i narożach konstrukcji

Wady powłok oceniano wzrokowo wg „Zaleceń do wykonywania i odbioru antykorozyjnych zabezpieczeń konstrukcji stalowych drogowych obiektów mostowych”, opracowanych przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2006. Ocenę powłok wykonano na całej długości wiaduktu z użyciem podnośnika samochodowego. Wady powłok dokumentowano fotograficznie (patrz załącznik).

3.4. Wady powierzchni stalowych z punktu widzenia zabezpieczeń antykorozyjnych oceniano wzrokowo w porównaniu z wymaganiami norm PN-EN ISO 12944 oraz PN-ISO 8501-3 oraz wykorodowań powstałych w procesach korozyjnych).

3.5. Grubość systemu powłokowego oceniano metodą elektromagnetyczną według PN-EN ISO 2808 przy pomocy warstwomierza elektromagnetycznego ElektroPhysik Mini Test 730, sensor FN5, nr 104203. Grubość poszczególnych powłok mierzono metodami optycznymi: na obiekcie w nacięciu przy użyciu aparatu Elcometer PIG Universal model 121 oraz w laboratorium z pobranych próbek metodą mikroskopową mikroskopem cyfrowym MATTEL MODEL APB-24221-99A.

3.6. Ocenę przyczepności powłok do podłoża oraz przyczepności międzywarstwowej adhezji/kohezji dokonywano (wytrzymałość na odrywanie) wg PN-ISO 16276-1 i 2:2008. Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich. Część 1. Badanie przyczepności metoda odrywową i Część 2: Badanie metodą siatki nacięć i nacięcia w kształcie X. Pomiarów pull-off dokonywano przy użyciu zrywarki hydraulicznej DeFelsko PosiTest Pull-Off Adhesion Tester ze stemplami pomiarowymi o średnicy 20 mm.

Badanie metodą nacięcia X realizowano przy użyciu normowego noża jednoostrzowego i płytki wzorcowej.

3.7. Ocenę twardości powłok w powiązaniu z elastycznością zrealizowano zgodnie z PN-EN 13523-4 (ocena twardości powłok metoda ołówkowa) w powiązaniu z PN-ISO 16276-2 (badanie przyczepności metodą nacięcia X oceniając spękania i odpryski wzdłuż nacięcia).

3.8. Badania barierowości powłok ocenianą metodą impedancyjną i potencjometryczną realizowano przy użyciu zminiaturyzowanego, przenośnego cyfrowego analizatora impedancji ATLAS 0441 HIA sterowanego komputerem typu Netbook oraz cyfrowego miernika potencjału UNI-T M890G wobec elektrody chlorosrebrnej. Wyniki pomiarowe analizowano z użyciem programu AtlasLab 2010. Badania wykonywano przy użyciu naczyń pomiarowych o średnicy 78 mm wypełnionych 3% wodnym roztworem chlorku sodu (po 17 godzinach od napełnienia). Badania wykonywano dla na elementach, gdzie powłoki nie wykazywały widocznych objawów uszkodzeń. Właściwości barierowe oceniano na podstawie przebiegu widm impedancyjnych w zakresie częstotliwości pomiarowych od  $10^5$  do  $10^{-1}$  Hz, przy czym zasadniczym wskaźnikiem była wartość modułu impedancji przy częstotliwości pomiarowej 0,1 Hz.

3.9. Ocenę stanu podłoża pod istniejącymi powłokami dokonywano podczas pobierania próbek powłok do badań laboratoryjnych oraz podczas prób oceny przyczepności i badania grubości powłok metodą optyczną przy użyciu aparatu Elcometer PIG Universal.

3.10. Wstępną ocenę elementów konstrukcji do wymiany realizowano w oparciu o obserwacje wzrokowe oraz pomiary ubytków korozyjnych i grubości produktów korozji na poszczególnych elementach konstrukcji.

3.11. Zagrożenie korozyjne konstrukcji oceniano na podstawie uszkodzeń korozyjnych oraz stanu powłok w połączeniu z lokalizacją poszczególnych elementów konstrukcyjnych oraz całej konstrukcji.

Wyniki ocen i badań zestawiono w postaci tabelarycznej dla poszczególnych fragmentów wiaduktu. W załączonej dokumentacji fotograficznej przedstawiono stan powłok i elementów konstrukcyjnych na danym fragmencie obiektu.

Pracę podzielono na 4 etapy:

Etap 1. Wstępna ocena wzrokowa stany powłok i konstrukcji z poziomu gruntu przy użyciu lornetki i aparatu fotograficznego oraz wytypowanie rejonów do przeprowadzenia oceny i badań szczegółowych

Etap 2. Ocena dokumentacji fotograficznej i szczegółowe badania właściwości powłok w rejonach wytypowanych podczas oceny wstępnej.

Etap 3. Badania laboratoryjne próbek pobranych w etapie 2.

Etap 4. Analiza wyników badań i wnioskowanie.

#### 4. WYNIKI WSTĘPNEJ OCENY WZROKOWEJ STANU POWŁOK

Stan powłok analizowano na 27 przęsłach wiaduktu. Oceniano wzrokowo wady powłok i ich uszkodzenia oraz stopień skorodowania konstrukcji stalowej. Wyniki przedstawiono w Tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki wzrokowej, wstępnej oceny stanu powłok i stopnia skorodowania konstrukcji wg PN-EN ISO 4628.

Nr przęsła	Zniszczenie na % powierzchni powłok			
	Skorodowanie Ri	Spękanie	Złuszczenie	Spęcherzenie
1	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	< 1%	Ok. 1%	Brak
2	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	<1%	Ok. 1%	Brak
3	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	Ok. 1%	Brak
4	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	Ok. 1%	Brak
5	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	<1%	Ok. 1%	Brak
6	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
7	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
8	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	>1%	<1%	Brak
9	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
10	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
11	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
12	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
13	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	<1%	<1%	Brak
14	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	<1%	<1%	Brak
15	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	<1%	<1%	Brak
16	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
17	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
18	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
19	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
20	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
21	Ri0-Ri2 - 60%; Ri3-Ri5 - 40%	<1%	<1%	Brak
22	Ri0-Ri2 - 50%; Ri3-Ri5 - 50%	<1%	<1%	Brak
23	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
24	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
25	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
26	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak
27	Ri0-Ri2 - 40%; Ri3-Ri5 - 60%	<1%	<1%	Brak

Ogłędziny wzrokowe wykazały, że powłoki lakierowe na stalowej konstrukcji wiaduktu uległy na znacznej (ok. 50% powierzchni) uszkodzeniu korozyjnemu w stopniu od Ri3, co kwalifikuje je do renowacji. Uszkodzenia korozyjne mają głównie formę punktów i plam korozyjnych, którym sporadycznie towarzyszy łuszczenie powłoki nawierzchniowej. Sporadycznie występuje spękanie i odpadanie powłok. W rejonach odwodnień i przecieków przez płytę pomostu występuje silna korozja konstrukcji.

## 5. WYNIKI SZCZEGÓŁOWEJ OCENY POWŁOK

### 5.1. Ocena normowych właściwości powłok

Szczegółową ocenę powłok wykonywano na przesłach wytypowanych podczas oględzin wstępnych. Bezpośredni dostęp do powłok uzyskiwano z kosza wysięgnika samochodowego lub z dachu budynków sytuowanych pod wiaduktem. Podczas badań pobierano próbki powłok do badań laboratoryjnych.

Wyniki badań zestawiono w Tabeli 2.

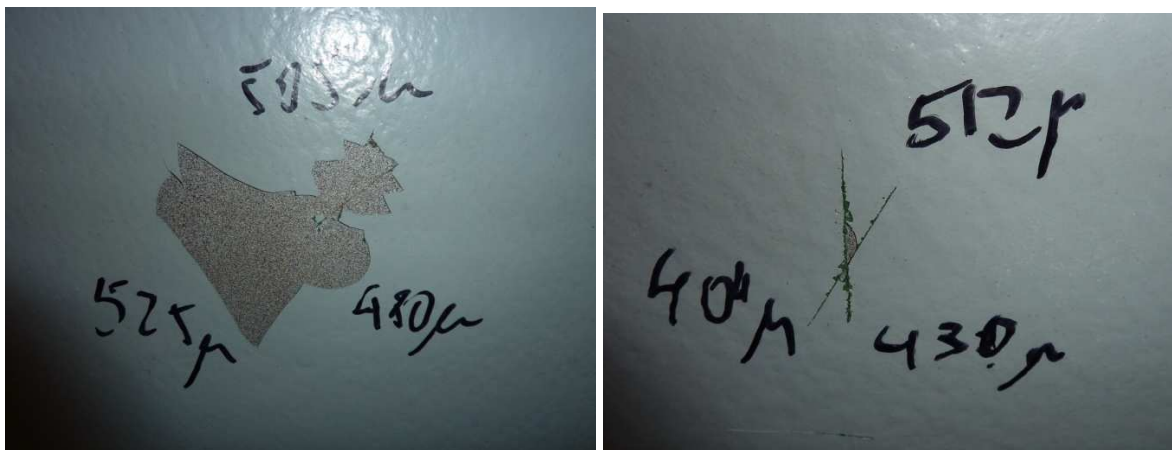
Tabela 2. Wyniki szczegółowej normowej oceny powłok na wytypowanych przesłach

Numer przesła	Sumaryczna grubość powłok [μm]	Grubość poszczególnych warstw			Przyczepność		Skredowanie [Stopień]
		Grunt [μm]	Miedzywarstwa [μm]	Nawierzchniowa [μm]	Nacięcie X [Stopień]	Odrywo wo [MPa]	
4	219-587 Śr 348	ok 50	120-350	50-150	2-4 Sr. 3	2,14-9,21	1 pod płytą 5 na bokach wiaduktu
8	127-689 Śr 334	ok 50	50-450	30-150	2-5 Śr. 3	1,28-2,75	1-2 pod płytą 5 na bokach wiaduktu
11	166-402 Śr 268	ok 50	60-300	40-50	2-4 Śr.3	Nie badano	1-2 pod płytą 5 na bokach wiaduktu
17	125-454 Śr. 248	ok.50	50-300	30-100	2-4 Śr. 3	Nie badano	1-2 pod płytą 5 na bokach wiaduktu
25	117-423 Śr. 239	ok 50	50-300	30-100	2-4 Śr. 3	Nie badano	1-2 pod płytą 5 na bokach wiaduktu

Powłoki lakierowe na całej długości wiaduktu składają się z systemu 3-4 warstwowego (grunt + 1-2 x podkład + powłoka nawierzchniowa) o silnie zróżnicowanych grubościach. W rejonach o grubościach poniżej 200 μm, które bardzo często są spotykane na dolnych powierzchniach konstrukcji (np. dolna powierzchnia półek dźwigarów) powszechnie występują punkty korozyjne.

Na powierzchniach, gdzie grubość powłok przekracza 350 μm spotykane są liczne wady powłok (porowatość, zacieki, kratery, spękania) z uwagi na nałożenie zbyt grubej warstwy powłoki nawierzchniowej.

Badania przyczepności powłok na powierzchniach nie uszkodzonych korozyjne powłok na środnikach dźwigarów, wykonane metodą nacięcia X wykazały, że w przypadku powłok o grubości do 200  $\mu\text{m}$  (przy braku uszkodzeń korozyjnych) przyczepność wynosi 2 (wysoka przyczepność), a w przypadku powłok o grubości powyżej 350  $\mu\text{m}$  następuje pękanie powłok w warstwie gruntu powodujące odpadanie powłoki nawierzchniowej i międzywarstwowej wzdłuż nacięć i z powierzchni pomiędzy nacięciami pozostawiając na powierzchni cienką warstewkę gruntu (4-5 stopień przyczepności między warstwową, fot. 1, 2). W przypadku powłok o grubości 200-350  $\mu\text{m}$  stwierdzano 2-3 stopień przyczepności charakteryzujący się strzępami odpadającej powłoki nawierzchniowej i międzywarstwowej wzdłuż nacięć (fot. 3), z wyjątkiem powierzchni skredowanych, gdzie przyczepność między warstwową była obniżona (fot. 4). Na powierzchni pozostaje cienka warstewka gruntu..



Fot. 1, 2. Obniżona przyczepność grubych powłok



Fot. 3. Dostyć wysoka przyczepność powłok o średniej grubości.

Fot. 4. Obniżona przyczepność między warstwową powłok skredowanych.

Nie stosowano oceny przyczepności metodą siatki nacięć, gdyż metoda ta nie może być stosowana do oceny powłok o grubości powyżej 250  $\mu\text{m}$ , a przy grubościach powyżej 120  $\mu\text{m}$  należy stosować wyłącznie bardzo trudną do prawidłowego wykonania metodą nacięć nożem jednostrzowym).

Badania przyczepności metodą odrywową w miejscach, gdzie powłoki nie wykazywały objawów uszkodzeń korozyjnych wykazały bardzo zróżnicowane wyniki spowodowane lokalną obecnością pod powłoką miejsc nie doczyszczonych (pozostałości rdzy, zgorzeliny i

starych powłok) lub korozji podpowłokowej lub też w przypadku powłok o wysokiej grubości (powyżej 400  $\mu\text{m}$ ). Przykłady stanu powierzchni pod powłokami przedstawiono na fot. 5-6.



Fot. 5. Powierzchnia źle oczyszczona przed nałożeniem powłok. Pozostałość zgorzeliny, rdzy i resztek starych powłok pod powłoką.

Fot. 6. Powierzchnia lepiej oczyszczona. Powłoka odpada pozostawiając cienką warstwę gruntu. W nacięciach warstwy gruntu widoczne są jednak ślady zgorzeliny.

Pomiary skredowania wykonane metodą taśmy samoprzylepnej wykazały nieznaczne skredowanie powłok pod płytą wiaduktu (1 stopień skredowania) oraz silne skredowanie powłok na bokach wiaduktu (5 stopień skredowania), które były poddane działaniu promieni słonecznych.

Oceniano również twardość powłok w połączeniu z ich elastycznością.

Stwierdzono wysoką twardość powłok w stopniu 5H oraz obniżoną elastyczność, które powodują pękanie powłok przy nacięciu (fot. 1-4) oraz obniżoną kohezję powłoki gruntu. Powyższe właściwości spowodowane są długim okresem eksploatacji powłok.

Stwierdzono liczne wady powłok jak: porowatość, kraterki, liczne zacieki kończące się kroplami, liczne wmalowane zanieczyszczenia. Na krawędziach stwierdzono brak wyprawek, przecienienia i korozję podłoża.

## 5.2. Ocena barierowości powłok metodą spektroskopii impedancyjnej i potencjometryczną.

### 5.2.1. Podstawy metody pomiarowej

W okresie ostatnich kilku lat z szeregu metod badań korozyjnych, najszerze zastosowanie zyskały pomiary impedancyjne. Możliwe to było ze względu na zmniejszenie gabarytów aparatury pomiarowej oraz stworzenie programów umożliwiających szybką analizę otrzymywanych wyników. Jednocześnie pomiary impedancyjne dostarczają więcej informacji o procesach zachodzących na granicy faz - metal / powłoka / elektrolit od innych metod. Na podstawie analizy otrzymanych widm impedancyjnych można stwierdzić obecność adsorpcji inhibitorów korozji, wnioskować o właściwościach ochronnych różnego rodzaju powłok, określać kontrolę dyfuzyjną procesu korozyjnego itd. Ze względu na możliwość zachowania stałego środowiska korozyjnego metoda spektroskopii impedancyjnej daje wyniki najrzetelniejsze w badaniu własności materiałów powłokowych, a w szczególności ich zmianie w funkcji czasu. Wielką zaletą metody jest możliwość badania właściwości barierowych powłok i ich struktur oraz stopnia i mechanizmu degradacji. Metodyka



impedancyjna polega na pomiarze impedancji układu metal / powłoka /elektrolit w zakresie częstotliwości od 1 MHz do 0.001 Hz. Zakres częstotliwości powyżej 1 Hz umożliwia ocenę własności powłok, zakres poniżej 1 Hz ocenę układu metal / elektrolit oraz zjawisk dyfuzyjnych. Pomiar realizuje się poprzez sekwencyjne pobudzenie układu pomiarowego sinusoidalnym sygnałem napięciowym, a następnie badaniu prądowego sygnału odpowiedzi ( pierwszej harmonicznej). Ponieważ układy elektrochemiczne są układami nieliniowymi, amplituda sygnału pobudzającego powinna być na tyle niska, aby układ pomiarowy można było traktować jako liniowy. Amplituda sygnału nie powinna być również zbyt niska, gdyż zakłócenia mogłyby wpływać na otrzymywanie niedokładnych, lub fałszywych wyników. Stosowany jest tu najczęściej zakres 10 - 100 mV.

Układ metal / powłoka /elektrolit można opisać za pomocą schematów zastępczych złożonych z połączeń R, L, C

opornik	$X_R = R$
kondensator	$X_C = (j \times \omega \times C)^{-1}$
cewka	$X_L = j \times \omega \times L$

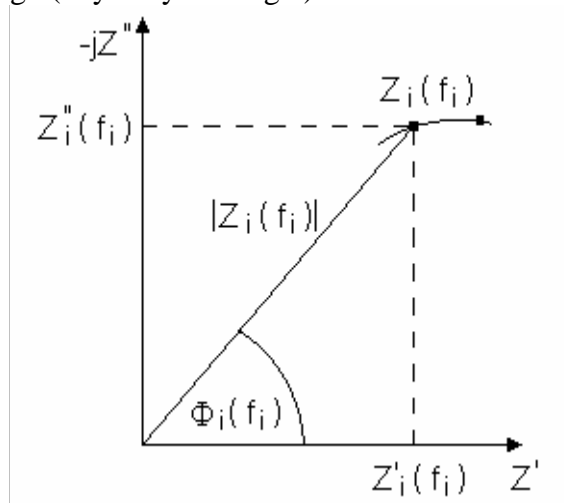
gdzie:

L - reaktancja impedancyjna	$j = \sqrt{-1}$
R - oporność rzeczywista	$\omega = 2 \times \pi \times f$
C - reaktancja pojemnościowa	

Gdzie całkowita impedancja układu będzie sumą wektorową impedancji :

rzeczywistej  $Z'_i(f_i) = X_R$  i urojonej  $Z''_i(f_i) = X_C + X_L$

Punkty pomiarowe przedstawiane są w układzie kartezjańskim na zmiennej zespolonej płaszczyźnie impedancji ( wykres Nyquista ), lub jako częstotliwościową zależność modułu impedancji i kąta fazowego ( wykresy Bode'go )



Moduł impedancji

$$|Z_i(f_i)| = \{ [Z'_i(f_i)]^2 + [Z''_i(f_i)]^2 \}^{1/2}$$

Kąt fazowy

$$\Phi_i(f_i) = \arctg [ Z''_i(f_i) ; Z'_i(f_i) ]$$

### Ocena powłok na podstawie analizy danych impedancyjnych

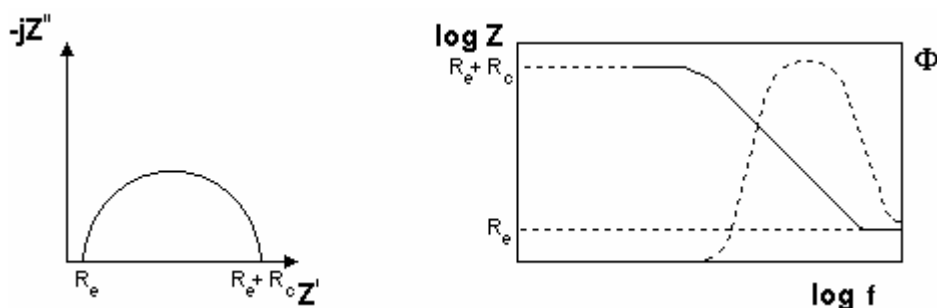
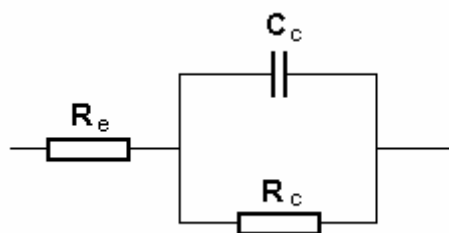
Dane pomiarowe poddawane są analizie komputerowej, a otrzymane wyniki przedstawiane są w postaci wykresów Nyquista i Bode'go.

Wykres Nyquista umożliwia dobrą charakterystykę zakresu nisko i średnio częstotliwościowego pomiaru poprzez proste graficzne wyznaczenie parametrów rezystancyjnych badanego układu. Wykres Bodego umożliwia rozdzielenie badanych procesów i orientacyjne wyznaczenie tzw. częstotliwości przegięcia.

Układ metal\ powłoka\ elektrolit można przedstawić jako układ elektryczny RLC.

Praktyka wykazała iż do zinterpretowania większości widm można zastosować układy zbudowane tylko z dwóch elementów biernych - kondensatora i opornika.

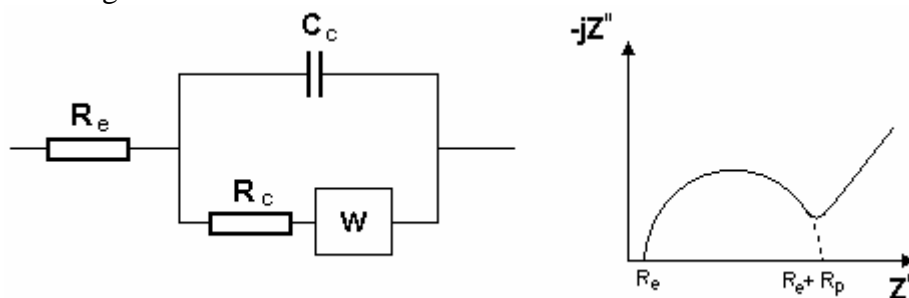
Najprostszym schematem opisującym rzeczywiste układy korozyjne jest układ Randlesa, zakładający zachodzenie tylko jednej reakcji elektrodowej.



Wykres Nyquista przedstawia półokrąg, natomiast wykresy w układach Bode'go uwidaczniają linię prostą o nachyleniu  $-45^{\circ}$ , oraz ekstremum - maksimum kąta fazowego.

Wykresy takie otrzymywane są dla metalu pokrytego powłoką nie spenetrowaną do podłoża (mechanizm barierowy).

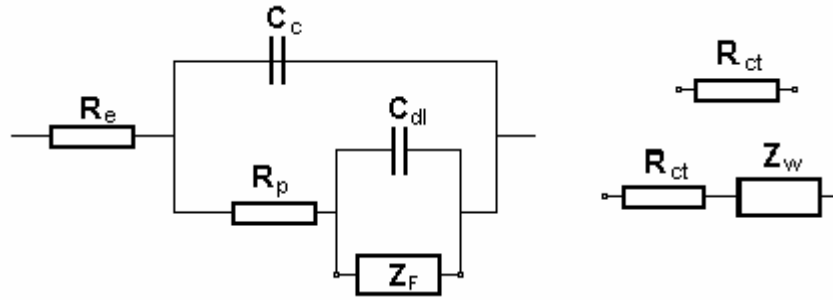
Większości zachodzących procesów wymaga zastosowania bardziej złożonych modeli np. dla procesu kontrolowanego dyfuzyjnie w obwód dodaje się element zwany impedancją Warburga.



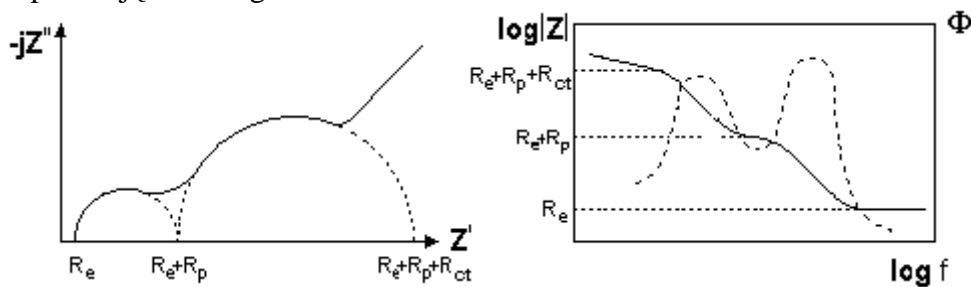
Na wykresie Nyquista proces dyfuzji uwidacznia się jako linia prosta biegnąca pod nachyleniem  $45^{\circ}$ .

W przypadku dostępu elektrolitu do podłoża chroniona jest tylko część podłoża nie stykająca się z elektrolitem ( tzw. mechanizm częściowej bariery ). Jeżeli powłoka zawiera aktywne wypełnienie lub pigmenty, mechanizm korozyjny jest modyfikowany ( występuje tu mechanizm barierowo - kinetyczny ).

Układy spenetrowane do podłoża można opisać poniższym schematem zastępczym .



Dodatkowy element  $Z_f$  opisuje impedancje roztwarzania metalowego podłoża w miejscach powłoki spenetrowanych przez elektrolit. Impedancja ta ma postać rezystancji przeniesienia ładunku. W przypadku powłok spenetrowanych, gdy zachodząca reakcja przebiega z kontrolą dyfuzyjną element  $Z_f$  opisuje połączone szeregowo rezystancję przeniesienia ładunku z impedancją Warburga.



Na wykresie Nyquista penetracja elektrolitu do podłoża objawia się w postaci dodatkowego półokręgu natomiast na wykresach Bode'go pojawia się drugie maksimum kąta fazowego i drugi odcinek prostej o nachyleniu  $-45^{\circ}$ . Problemy z interpretacją uzyskanych widm pojawiają się gdy stosunek stałych czasowych  $\tau_d/\tau_c > 20$

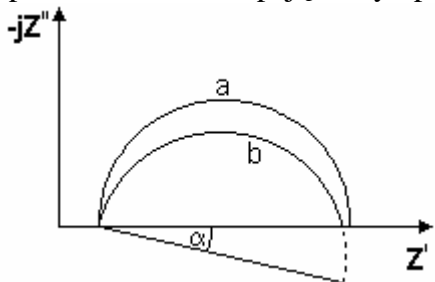
gdzie:

$$\tau_d = R_c \times C_c$$

$$\tau_c = R_t \times C_{dl}$$

oraz gdy stosunek rezystancji  $R_{ct}/R_p$  nie należy do przedziału  $(0.2 ; 5)$ . W takim przypadku półokręgi w układzie Nyquista zlewają się w jeden, a w układach Bode'go nie są zauważalne - drugie maksimum kąta fazowego i drugi odcinek prostej o nachyleniu  $-45^{\circ}$ .

Dla realnych układów powłokowych często obserwuje się na wykresach w układzie Nyquista półokręgi o środkach leżących poniżej osi rzeczywistej  $z'$ , zaś w układzie Bode'go nachylenie odcinka pojemnościowego staje się większe niż  $-45^{\circ}$ . Spłaszczenie to jest równoważne obrotowi wykresu względem punktu przecięcia części wysoko częstotliwościowej z osią rzeczywistą o kąt  $\alpha$ . Przyczyną jest niejednorodność materiału powłoki spowodowana absorpcją wody i pojawieniem się w porach powłoki produktów korozji



Dla opisanego zjawiska należy zdefiniować dodatkowy element elektryczny, cechujący się stałością kąta przesunięcia fazowego w całym zakresie częstotliwości. Nosi on nazwę elementu stałofazowego (z ang. Constant Phase Element) [11].

Impedancję nowego elementu opisuje równanie

$$Z = \frac{1}{Y_0} (j \times \omega)^{h-1}$$

Gdzie dla układów rzeczywistych  $h$  jest elementem stałym o wartości z zakresu  $< 0 ; 1 >$

$h = 1 \Rightarrow Y_0 = 1/R$  dla idealnego opornika  
 $h = 0.5 \Rightarrow Y_0 = W$  przy kontroli dyfuzyjnej (Warburg)  
 $h = 0 \Rightarrow Y_0 = C$  dla idealnego kondensatora

Dla powłok nieuszkodzonych wartość  $h$  należy do zakresu  $< 0.01 ; 0.3 >$ , w miarę penetracji powłoki wartość  $h$  rośnie, osiągając  $h > 0.5$  dla powłok spenetrowanych.

Zależność między  $h$  i  $\alpha$  opisać można następującym wzorem.:

$$h = \frac{\alpha \times \pi}{2}$$

W literaturze bardziej popularny jest współczynnik „ $n$ ”, którego wartość wynosi:  $n = 1-h$ .

W trakcie analizy widm wyznaczone są wartości poszczególnych elementów schematu zastępczego. Badanie zmian tych wielkości w czasie trwania ekspozycji umożliwia śledzenie procesów zachodzących na granicy metal \ powłoka oraz w materiale powłokowym.

- Rezystancja jonowa powłoki  $R_C$  lub rezystancja elektrolitu  $R_P$  w porach powłoki są miarą szczelności bariery

$R_C$  - miarą spenetrowania powłoki przez elektrolit

$R_P$  - miarą porowatości powłoki

Szczelność powłoki jest wprost proporcjonalna do ich wartości.

- Pojemność elektryczna powłoki  $C_C$  - jest miarą absorpcji wody przez materiał powłokowy. Stopień spenetrowania jest wprost proporcjonalny do wartości pojemności.

- Współczynnik spłaszczenia  $h$  jest wprost proporcjonalny do niejednorodności materiału powłokowego, spowodowanej jego degradacją.

Wyznaczanie zmiany w czasie tzw. Częstotliwościowego punktu przemiany (z ang. breakpoint frequency). Jest to częstotliwość przy której na wykresie Bode'go  $\phi(f) = f [\log(f)]$  kąt fazowy przyjmuje wartość  $45^\circ$ . Częstotliwość punktu przemiany zależy od wielkości powierzchni spenetrowanej w próbce,

$$f_n = K_t \times \frac{A_t}{A}$$

gdzie:

$A$  - powierzchnia próbki

$A_t$  - powierzchnia próbki spenetrowana do podłoża

$f_n$  - częstotliwość punktu przemiany

$K_t$  - stała materiałowa  
nie zależy zaś od grubości powłoki. Wartość częstotliwości punktu przemiany rośnie wraz z zwiększającą się degradacją powłoki.

### 5. 2. 2. Metodyka badań

Do badań laboratoryjnych wykorzystano nowej generacji zminiaturyzowaną, przenośny analizator impedancji ATLAS ATLAS 0441 HIA sterowany komputerem typu Notebook. Pomiar przeprowadzono w układzie dwu - elektrodowym, w którym elektrodą pomocniczą była płyta srebrna pokryta chlorkiem srebra. Pomiar wykonano po 2 godzinach od zalania wodnym 3% roztworem NaCl. Pomiar realizowano przez pobudzenie układu sygnałem sinusoidalnym w zakresie częstotliwości 100 kHz - 0.1 Hz przy amplitudzie 100 mV. Powierzchnia sond pomiarowych wynosiła 80 cm<sup>2</sup>.

Wyniki interpretowano w postaci zależności logarytmu modułu impedancji oraz kąta fazowego w funkcji logarytmu częstotliwości sygnału pomiarowego.

Wartość logarytmu modułu impedancji ( $\Omega \text{ cm}^2$ ) uzyskanego dla minimalnej częstotliwości pomiarowej (0,1 Hz) wskazuje na sumę właściwości ochronnych systemu malarskiego. **Wartości poniżej 6 świadczą o niskich właściwościach barierowych. O wysokich właściwościach barierowych powłok świadczy wartość logarytmu modułu impedancji powyżej 8. Natomiast wartości w granicach 11-12 przy częstotliwości 0,1 Hz oraz prostoliniowy, pojemnościowy przebieg widma impedancyjnego wskazują na pełną barierowość powłok.**

Przebieg zmian wartości kąta fazowego podawanego w stopniach w funkcji częstotliwości sygnału pomiarowego wskazuje na stan równowagi pomiędzy przewodzeniem pojemnościowym (świadczącym o braku elektrolitu w fazie powłoki) w stosunku do przewodzenia rezystancyjnego (stałoprądowego), wskazującego elektrolityczne przewodzenie prądu stałego przez powłokę, co świadczy o porowatości powłoki. **W przypadku powłoki o pełnych właściwościach barierowych obserwuje się płaski przebieg zmian kąta fazowego w funkcji częstotliwości pomiarowej, a dla częstotliwości 0,1 Hz wartość kąta fazowego nie spada poniżej 80 stopni (nie obserwuje się częstotliwości punktu przemiany).**

### 5.2.3. Wyniki pomiarów impedancyjnych

Sondy pomiarowe usytuowano na dźwigarach poprzecznych przęseł 4 i 8 (na środku oraz na dolnej półce dźwigarów). Miejsca pomiarów oraz aparaturę pomiarową przedstawiono na fot. 7, 8.

Właściwości powłok w miejscach sond pomiarowych przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Właściwości powłok w miejscach pomiarowych

Pomiar	Przęsło 4. Środek Sonda 1	Przęsło 4. Dolny pas. Sonda 2	Przęsło 8. Środek Sonda 3	Przęsło 8. Dolny pas. Sonda 4
Grubość powłok	358-381 $\mu\text{m}$	425-432 $\mu\text{m}$	369-382 $\mu\text{m}$	214-242 $\mu\text{m}$
Przyczepność	9,44 MPa	1,15 MPa	8,34 MPa	1,27 MPa



Fot. 7, 8. Stanowisko pomiarów impedancyjnych, przęsło 8.

Wyniki dla przęsła 4 przedstawiono w postaci wykresów częstotliwościowych zależności logarytmu modułu impedancji i kąta fazowego na rys. 1-2.

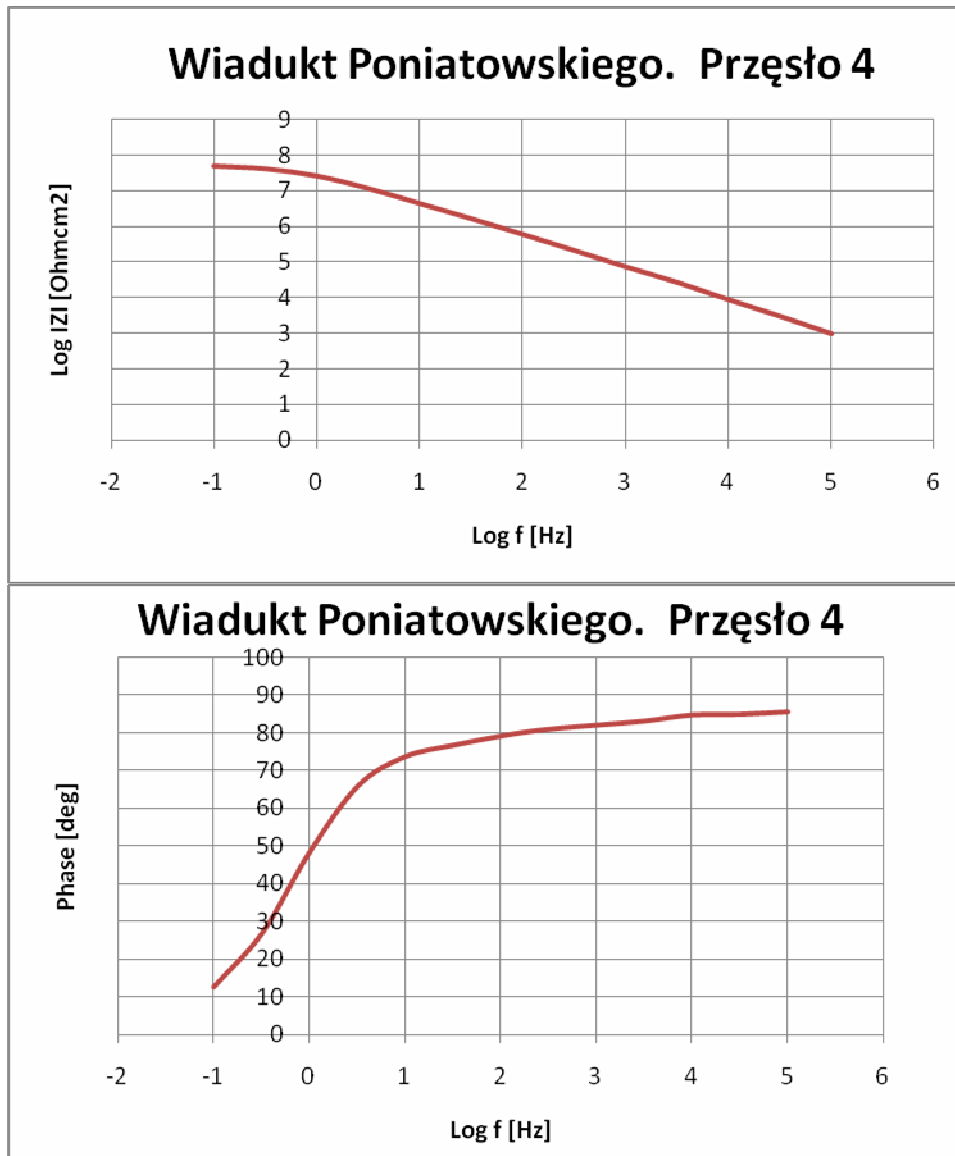
Sondy umieszczone na powierzchni dolnego pasa dźwigarów uległy uszkodzeniom wskutek niskiej przyczepności i nierówności powłok.

Wyniki analizy wyników polegającej na ocenie wielkości modułu impedancji oraz częstotliwościowego punktu przemiany i względnego % powierzchni próbki spenetrowanej do podłoża przedstawiono w Tabeli 4.

Tabela 4. Wyniki analizy spektrów impedancyjnych.

Lp.	Rejon pomiaru	Log modułu impedancji dla $f = 0,1$ Hz [ $\Omega\text{cm}^2$ ]	Częstotliwość punktu przemiany, [Hz]	Powierzchnia spenetrowana *
1.	Przęsło 4	7,67	0,92	0,01%
2.	Przęsło 8	5,42	112,36	1,12 %

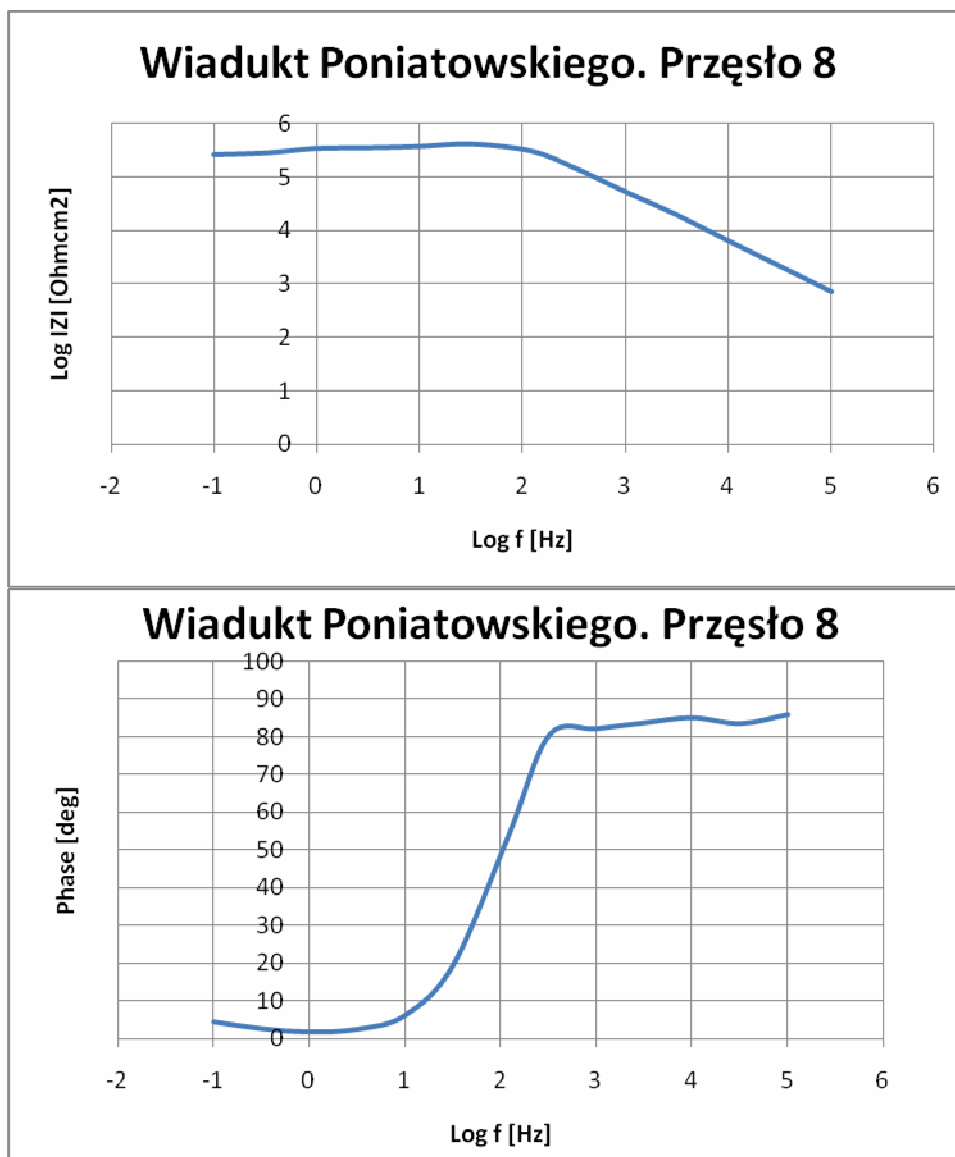
\*Przy wyliczeniu przyjęto założenie, że przy częstotliwości punktu przemiany 0,0001 Hz powierzchnia nie jest spenetrowana.



Rys. 1-2. Spektra impedancyjne sondy 1 (powłoka dobrze przyczepna bez uszkodzeń).

Wyniki dla przęsła 8 przedstawiono w postaci wykresów częstotliwościowych zależności logarytmu modułu impedancji i kąta fazowego na rys. 3-4.

Pomiary impedancyjne wykazały, że nawet grube powłoki usytuowane na powierzchniach pionowych (o grubości rzędu 350-400  $\mu\text{m}$ ) nie charakteryzują się wymaganymi właściwościami barierowymi (logarytmem modułu impedancji powyżej 8) nawet w przypadkach wysokiej przyczepności (rzędu 9 MPa). Zjawisko to jest prawdopodobnie związane z mikrospekaniem i porowatością zestarzałych powłok w wysokiej twardości i kruchości).



Rys. 3-4. Spektrogramy impedancyjne sondy 3 (powłoka dobrze przyczepna bez uszkodzeń).

#### 5.2.4. Pomiary potencjału

Pomiar potencjału polega na zmierzeniu siły elektromotorycznej ogniwa elektrochemicznego złożonego z elektrody odwracalnej o stałej wartości potencjału i badanej elektrody. Pomiar realizuje się przy użyciu miernika napięcia prądu stałego o wysokiej rezystancji wewnętrznej. W przypadku powierzchni pokrytych powłokami nieprzewodzącymi pomiar potencjału daje wynik negatywny (brak pomiaru). W przypadku powłok uszkodzonych pomiar potencjału jest możliwy, chociaż wyniki obciążone są błędem, którego wielkość zależy od rezystancji w uszkodzeniach (porach) powłoki. W takim przypadku pod powłokami występują warunki do korozji podpowłokowej.

Do badań wykorzystano cyfrowy miernik potencjału UNI-T M890G wobec elektrody chlorosrebrnej. Pomiary realizowano w celach pomiarowych stosowanych do badań impedancyjnych.

Wyniki przedstawiono w Tabeli 5.



Tabela 5. Wyniki pomiarów potencjometrycznych

Pomiar	Przęsło 4. Środek Sonda 1	Przęsło 4. Dolny pas. Sonda 2	Przęsło 8. Środek Sonda 3	Przęsło 8. Dolny pas. Sonda 4
Grubość powłok	358-381 $\mu\text{m}$	425-432 $\mu\text{m}$	369-382 $\mu\text{m}$	214-242 $\mu\text{m}$
Potencjał	Brak pomiaru	Brak pomiaru	Brak pomiaru	0,48 mV

Wyniki pomiaru potencjału wykazały, że w przypadku powłok o niższej grubości występuje duża porowatość i rozwijająca się korozja podpowłokowa.

### 5.3. Ocena rodzaju spoiwa powłok oraz obecności toksycznych pigmentów (ołowiu i chromu na 6 stopniu wartościowości).

Badania próbek pobranych podczas badań terenowych realizowano na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej oraz w laboratorium CES. termoodporność, zawartość chloru po rozkładzie termicznym metoda fotometrii płomieniowej oraz zawartość związków ołowiu i chromu na szóstym stopniu wartościowości (metodą chromatograficzną).

Wyniki przedstawiono w Tabeli 6.

Wyniki badań wskazują, że cała konstrukcja wiaduktu pokryta jest tym samym systemem powłokowym składającym się z powłok jednoskładnikowych farb termoplastycznych, (poliwinylowych lub chlorokauczukowych) zawierających znaczne ilości chloru, nie zawierających toksycznych pigmentów zawierających ołów i chrom na 6 stopniu wartościowości.

Tabela 6. Wyniki badań próbek powłok

Miejsce pobrania	Termoodporność	Obecność chloru	Obecność ołowiu	Obecność chromu +6
Przęsło 4	Brak	Obecny	Brak	Brak
Przęsło 8	Brak	Obecny	Brak	Brak
Przęsło 11	Brak	Obecny	Brak	Brak
Przęsło 17	Brak	Obecny	Brak	Brak
Przęsło 25	Brak	Obecny	Brak	Brak
Balustrada	Brak	Obecny	Obecny	Brak

### 5.4. Ocena stanu powłok na balustradzie wiaduktu

Balustrady wiaduktu pokryte są bardzo silnie zniszczonymi powłokami lakierowymi w kolorze czarnym, pod którymi występuje gruba warstwa produktów korozji (miejscami o grubości do 4 mm). Analiz powłok wykazała, że są to wielokrotnie nakładane powłoki farb termoplastycznych oraz alkidowych zawierające związki ołowiu. Silnej korozji uległy również wsporniki i miejsca ich mocowania do bocznych powierzchni wiaduktu.

Przykłady stanu balustrad przedstawiono na fot. 9-11.



Fot. 9,10. Widok balustrady wiaduktu.



Fot. 11. Uszkodzenia korozyjne balustrady wiaduktu.

## 6. WSTĘPNA KWALIFIKACJA ELEMENTÓW WIADUKTU DO WYMIANY.

Do wymiany kwalifikują się elementy konstrukcji rur odwodnień oraz niektórych elementów w bezpośrednim sąsiedztwie odwodnień lub wycieków z dylatacji, gdzie grubość jednostronna rdzy dochodzi do 5 mm (fot. 12-16)..

Należy również wzmocnić miejsca mocowania balustrad (wsporniki i listwy przychodnikowe) (fot. 17-19).



Fot. 12-15. Silnie skorodowane elementy rejonu odwodnień do wymiany lub napraw.



Fot. 16. Skorodowane łożysko



Fot 17-19. Silnie skorodowane elementy balustrady.

## **7. OCENA ZAGROŻENIA KOROZYJNEGO KONSTRUKCJI.**

Oceny dokonano zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 12944-2 oraz opracowania „Zalecenia do wykonywania i odbioru antykorozyjnych zabezpieczeń konstrukcji stalowych drogowych obiektów mostowych”, opracowana przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa, 2006, jak również w oparciu o stwierdzone uszkodzenia korozyjne wiaduktu.

Wiadukt znajduje się w obszarze zawilgocenia spowodowanego bliskością rzeki oraz jest narażony na działanie spalin samochodowych, a w okresie zimowym na działanie aerosoli oraz bezpośredniego działania środków odładzających zawierających silnie agresywne wodne roztwory chlorków. W związku z w/w warunkami eksploatacji należy, że konstrukcja wiaduktu jest silnie zagrożona korozyjnie i pracuje w środowisku o kategorii korozyjności C4-C5I/C5M.

Szczególnie zagrożone (kategoria korozyjności C5I/C5M) są następujące obszary i elementy konstrukcji:

- Balustrady i ich wsporniki
- Rejony zawilgocenia związanego z przeciekami wody z pomostu (odwodnienia i dylatacje)
- Elementy położone poziomo (dolne i górne półki dźwigarów oraz ich złącza)
- Boczne elementy konstrukcji narażone na działanie promieniowania słonecznego i aerosole)

Mniej zagrożone (kategoria korozyjności C4) są elementy pionowe (środniki dźwigarów oddalone od odwodnień), gdzie nie ma warunków do utrzymywania się kondensatu i innych zanieczyszczeń. W tych rejonach istniejące powłoki antykorozyjne są uszkodzone w mniejszym stopniu.

## **8. PODSUMOWANIE**

- 8.1. Istniejące zabezpieczenia antykorozyjne Wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego składają się na całej długości z powłok termoplastycznych zawierających chlor (powłoki poliwinylowe lub chlorokauczukowe).
- 8.2. W części poniżej pomostu powłoki nie zawierają toksycznych związków ołowiu i chromu na szóstym stopniu wartościowości.
- 8.3. Powłoki balustrad zawierają toksyczne związki ołowiu (grunt miniowy), lecz ze względu na duży stopień ich zniszczenia oraz rozwiniętą korozję podpowłokową ilość ołowiu jest niewielka.
- 8.4. Istniejące powłoki są uszkodzone w zróżnicowanym stopniu. Największe uszkodzenia korozyjne (stopień Ri4-Ri5) występują na balustradzie, przy odwodnieniach, na powierzchniach nasłonecznionych oraz na powierzchniach poziomych, czyli półkach dźwigarów i ich złączach. Powierzchnie pionowe są uszkodzone w mniejszym stopniu (Ri0-Ri2), z wyjątkiem miejsc, gdzie powłoki mają grubość poniżej 200  $\mu\text{m}$  i występują liczne punkty korozyjne (stopień Ri3-Ri4).  
Ogólnie można ocenić, że na ok.50% powierzchni powłoki są uszkodzone w niewielkim stopniu (stopień Ri0-Ri2), a na pozostałej powierzchni w znacznym stopniu (stopień Ri3-Ri5).
- 8.5. Powierzchnie stalowe są silnie wykorodowane (produkty korozji o grubości 1-5 mm, ubytki metalu do 2 mm) w rejonach odwodnień, dylatacji i balustrad. Pod zachowanymi powłokami zaobserwowano pozostałości zgorzeli i rdzy oraz resztki starych powłok.
- 8.6. Sumaryczna grubość systemu powłokowego wynosi średnio od ok. 250-350  $\mu\text{m}$ , przy czym lokalnie zanotowano minimalne grubości powłok rzędu 120  $\mu\text{m}$ , a maksymalnie powyżej 600  $\mu\text{m}$  (szczegółowe dane podano w punkcie 5.1, Tabela 2, str. 7). System powłokowy składa się z warstwy srebrzystego gruntu o grubości ok. 50  $\mu\text{m}$ , międzywarstwy o grubości ok. 50-450  $\mu\text{m}$  i powłoki nawierzchniowej o grubości 30-150  $\mu\text{m}$ . Występują liczne wady powłok jak: zacieknięcia, kratery, porowatość, wmalowane zanieczyszczenia, zwłaszcza w rejonach grubszych powłok.
- 8.7. Przyczepność powłok do podłoża i międzywarstwowa jest silnie zróżnicowana i wynosi od stopnia 2-5 metodą nacięcia X (średnio stopień 3) oraz od 1,28 do 9,28 MPa metodą odrywową. Stwierdzono, że zerwanie dobrze przyczepnych powłok występuje głównie w warstwie gruntu z pozostawieniem cienkiej (o grubości 20-30  $\mu\text{m}$ ) pozostałości gruntu na podłożu. Przy nacięciu widoczne są strzępy dopadającej powłoki wzdłuż nacięcia świadczące o jej kruchości.
- 8.8. Powłoki charakteryzują się znaczną twardością (5H) i niską elastycznością (odpryski powłoki nawierzchniowej przy przecięciu i pęknięcie kohezyjne w warstwie gruntu).
- 8.9. Nie uszkodzone powłoki o grubości 250-350  $\mu\text{m}$  charakteryzują się obniżonymi właściwościami barierowymi (log IZI 5,42-7,47 badanymi metodą impedancyjną) wynikającymi z ich mikroporowatości. Metodą potencjometryczną ustalono, że przy grubościach ok. 200  $\mu\text{m}$  na powierzchniach poziomych (dolna półka dźwigara poprzecznego) występuje znaczna porowatość i korozja podpowłokowa.

- 8.10. Podłoże stalowe pod nie uszkodzonymi powłokami (średniki dźwigarów) nie wykazuje korozji podpowłokowej, jednak w nacięciach stwierdzono niecałkowicie usuniętą zgorzelinę. Stwierdzono również niewielkie pozostałości starych powłok.
- 8.11. Do wymiany wstępnie zakwalifikowano elementy odwodnień i fragmenty konstrukcji w ich okolicy oraz fragmenty balustrad.
- 8.12. Zagrożenie korozyjne konstrukcji oceniono na wysokie (kategoria korozyjności C4/C5). Najbardziej zagrożone są rejony zawilgocone i narażone na działanie roztworów środków odładzających, jak również miejsca nasłonecznione. Najmniej zagrożone są powierzchnie pionowe (średniki dźwigarów).



## 9. WNIOSKI

- 9.1. Powłoki antykorozyjne Wiaduktu im. Ks. Józefa Poniatowskiego są poważnie uszkodzone i wymagają renowacji.
- 9.2. Konstrukcja stalowa wiaduktu jest silnie skorodowana w miejscach zawilgocenia i działania środków odladzających, gdzie wymaga napraw i wymiany niektórych elementów.
- 9.3. Większość konstrukcji jest dobrym stanie technicznym, a wymagana jest jedynie renowacja powłok antykorozyjnych.
- 9.4. Powłoki antykorozyjne na ok. 50% konstrukcji są uszkodzone korozyjne w niewielkim stopniu (stopień Ri0-Ri2) i mogą być rozważane do częściowego pozostawienia na konstrukcji.
- 9.5. Rodzaj powłok na konstrukcji wiaduktu (powłoki termoplastyczne poliwinylowe lub chlorokauczukowe) ogranicza dobór systemów renowacyjnych (przy pozostawieniu części starych powłok na konstrukcji) do farb akrylowych grubowarstwowych (system R6 wg „Zaleceń...” GDDKiA opracowanych przez IBDiM). System taki, o bardzo wysokiej grubości (400-600  $\mu\text{m}$ ) nie jest jednak zalecany dla kategorii korozyjności C5 przez normę PN-EN ISO 12944-5 dla trwałości powyżej 15 lat oraz wymaga trudnego do prawidłowego wykonania przygotowania powierzchni starych powłok do nakładania nowego systemu (konieczność oczyszczenia i uszostnienia kruchych powłok o znacznej grubości, wystąpienie licznych uszkodzeń wskutek czyszczenia sąsiadujących zniszczonych powłok, które nie mają odniesienia do wymagań normowych i są trudne do jednoznacznej oceny przez nadzór prac). Zagadnienia te mogą w przyszłości stanowić źródło problemów w ustaleniu winnych ewentualnych przedwczesnych uszkodzeń zabezpieczeń antykorozyjnych. Należy również zaznaczyć, że w przypadku zastosowania tego systemu łączna grubość powłok przekroczy 1 mm, co może powodować problemy związane z adhezją i powstawaniem wad powłok oraz ich uszkodzenia, zwłaszcza po długim czasie eksploatacji.
- 9.6. Bardzo zróżnicowana grubość i przyczepność, kruchość istniejących powłok, ich niskie właściwości barierowe, liczne wady pokrycia oraz pozostałość zgorzeli i części starych powłok pod powłokami wskazują na **celowość całkowitego usunięcia istniejących powłok, normowego przygotowania podłoża i nałożenia na całej powierzchni nowoczesnego systemu powłokowego zalecanego przez „Zalecenia...” GDDKiA, PN-EN ISO 12944-5 oraz posiadającego aprobatę IBDiM**. Takie założenia technologiczne umożliwiają jednoznaczną ocenę wykonywanych prac, prawidłowy nadzór robót i łatwiejsze ustalenie winnych ewentualnych przedwczesnych uszkodzeń zabezpieczeń antykorozyjnych.