

## PRZEBUDOWA ZWODZONYCH KŁADEK PIESZO-ROWEROWYCH – WYBRANE ZAGADNIENIA <sup>1</sup>

Katarzyna MOSSOR<sup>\*</sup>, Bartosz TOMCZAK<sup>\*\*</sup>, Wojciech WAWRZYŃIAK<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>) Politechnika Poznańska

<sup>\*\*</sup>) TRASA Sp. z o.o. Poznań; Axial Project, Międzyrzecz

<sup>\*\*\*</sup>) TRASA Sp. z o.o. PROPLAN, Poznań

Projektowanie mostów ruchomych, w tym kładek pieszo – rowerowych, wymaga analizy i rozwiązania wielu złożonych, specyficznych problemów. Dotyczy to m.in. takich zagadnień jak posadowienie, mechanizm podnoszenia, trwałość obiektu. Ponadto w celu zapewnienia właściwego mechanizmu uruchamiania kładki konieczna jest współpraca ze specjalistami z dziedziny mechaniki. Istotnym czynnikiem jest też zapewnienie trwałości poszczególnych elementów konstrukcji, zwłaszcza elementów związanych z napędem i ryglowaniem, które zużywają się o wiele szybciej niż inne elementy „klasycznego” mostu. W referacie przedstawiono szczegółowe dane na temat trwałości poszczególnych elementów. W przypadku przebudowy pojawia się również często problem istniejących fundamentów, które mogą kolidować z nowym posadowieniem. Dodatkowe trudności mogą wynikać z dostosowania obiektu do otoczenia, jeśli obiekt znajduje się na terenach objętych opieką konserwatorską.

W zależności od lokalizacji, uwarunkowań terenowych i możliwości realizacyjnych stosowane są różne systemy konstrukcyjne. Mosty zwodzone w ogólności mogą być projektowane jako obracające się wokół osi poziomej, pionowej lub podnoszone. W artykule zostały opisane jedynie kładki, w których część ruchoma pomostu otwiera się obracając się wokół osi poziomej.

W celu ilustracji praktycznego wykorzystania omówionych wymagań związanych z prawidłowym projektowaniem mostów zwodzonych, w referacie przedstawiono trzy przykłady projektów przebudowy i budowy zwodzonych kładek dla pieszych.

Słowa kluczowe: mosty zwodzone, kładki dla pieszych.

### 1. WPROWADZENIE

Projektowanie mostów ruchomych, w tym kładek pieszo – rowerowych, wymaga analizy i rozwiązania wielu złożonych problemów. Dotyczy to m.in. takich zagadnień jak posadowienie, mechanizm podnoszenia, czy trwałość

---

<sup>1</sup> DOI 10.21008/j.1897-4007.2018.26.10

obiekty. Jednym z bardziej istotnych są zagadnienia związane z fundamentowaniem. Brać pod uwagę należy nie tylko nośność i koszt fundamentowania, ale także wpływ konstrukcji fundamentu na stabilność całego obiektu, ponieważ mechanizm zwodzenia jest bardzo wrażliwy np. na nierównomierne osiadanie podpór. Ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniej stabilności precyzyjnych urządzeń napędu i ryglowania nie wystarczy spełnienie warunków stanu granicznego nośności, ale równie ważne jest spełnienie wymagań stanu granicznego użytkowości. Zgodnie z wytycznymi normy [3] niezbędne jest sprawdzenie wielkości odkształceń, które mogłyby spowodować zablokowanie mechanizmu. Ponadto w celu zapewnienia właściwego mechanizmu uruchamiania kładki konieczna jest współpraca ze specjalistami z dziedziny mechaniki. Istotnym czynnikiem jest też zapewnienie trwałości poszczególnych elementów konstrukcji, zwłaszcza elementów związanych z napędem i ryglowaniem, które zużywają się o wiele szybciej niż inne elementy „klasycznego” mostu. W przypadku przebudowy pojawia się również często problem istniejących fundamentów, które mogą kolidować z nowym posadowieniem. Dodatkowe trudności mogą wynikać z dostosowania obiektu do otoczenia, jeśli obiekt znajduje się na terenach objętych opieką konserwatorską.

## 2. TRWAŁOŚĆ OBIEKTU

Trwałość zwodzonych kładek zależy nie tylko do trwałości podstawowych elementów konstrukcyjnych, ale w znacznym stopniu także od trwałości elementów wyposażenia. Przyjmuje się, że elementy mechaniczne i napędowe muszą przeciętnie służyć maksymalnie około 35 lat. Natomiast wyposażenie związane ze sterowaniem, zabezpieczeniem ruchu oraz oświetleniem ma krótszy wymagany okres trwałości – średnio około 10÷20 lat. Szczegółowe dane na temat wymaganej trwałości poszczególnych elementów przedstawiono w tablicy 1.

Tab. 1. Przeciętna wymagana trwałość wyposażenia technicznego kładek zwodzonych [4]

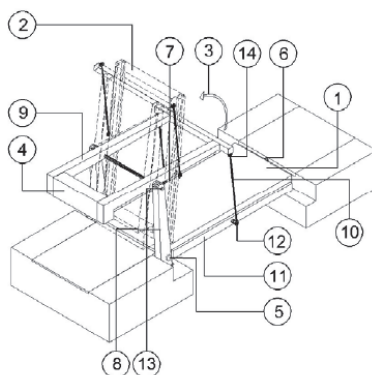
Wyposażenie 1	Trwałość w latach 2
<b><i>Elementy mechaniczne</i></b>	
Łożysko obrotowe	35
Bufor	20
Elementy centrujące	35
Blokady	20
Elementy podtrzymujące	20
<b><i>Technika napędowa</i></b>	
Silnik	35
Pompa	20
Napęd hydrauliczny	35
Napęd elektromechaniczny	35

Cd. tablicy 1.

1	2
<b>Elektrotechnika i sterowanie</b>	
Zasilanie	35
Zasilanie awaryjne	10
Okablowanie	20
Urządzenia sterownicze	10
Czujniki	10
<b>Urządzenia zabezpieczające ruch</b>	
Znaki świetlne	10
Oznakowanie zmienne	10
Urządzenia wygradzające dostęp	20
Kamery	10
Domofony	10
<b>Oświetlenie</b>	
Lampy	20
Stateczniki	10

### 3. SYSTEM PODNOSZENIA, SZCZEGÓŁY KONSTRUKCYJNE

W zależności od lokalizacji, uwarunkowań terenowych i możliwości realizacyjnych stosowane są różne systemy konstrukcyjne. Znajomość możliwych rozwiązań konstrukcji mostów zwodzonych pozwala na wybór rozwiązania, które będzie najlepiej wypełniało wymienione na wstępie uwarunkowania.



Rys. 1 Elementy składowe mostu zwodzonego z obrotem wokół osi poziomej [4]:

- 1 – pomost zamknięty, 2 – pomost otwarty, 3 – kierunek otwierania, 4 – przeciwwaga,
- 5 – łożysko obrotowe, 6 – blokada oparcia, 7 – blokada przęsła otwartego,
- 8 – portal, 9 – belka przeciwwagi, 10 – podwieszenie, 11 – belka amortyzująca (opcjonalnie),
- 12 – mocowanie podwieszenia, 13 – łożysko przeciwwagi,
- 14 – belka przeciwwagi, do której mocowana jest lina

Mosty zwodzone w ogólności mogą być projektowane jako obracające się wokół osi poziomej, pionowej lub podnoszone. W artykule zostały opisane kładki, w których część ruchoma pomostu otwiera się obracając się wokół osi poziomej. Na rysunku 1 przedstawiono typowe elementy takiej konstrukcji, a na rysunku 2 fotografię ilustrującą opisane elementy.



Rys. 2. Przykładowy most zwodzony z obrotem wokół osi poziomej – Stralsund, Niemcy [5]

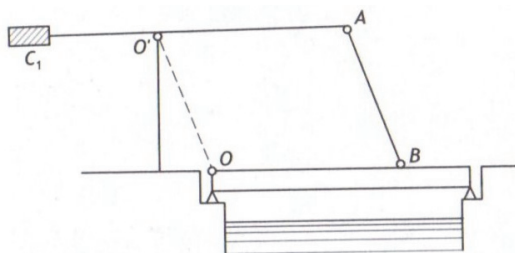
W mostach o przęsłach obracających się wokół osi poziomej można stosować żurawiowy system podnoszenia (rys. 3, 4 [1, 2]) - grawitacyjny, ale doposażony w wyciągarkę. Zwodzenie możliwe jest dzięki współdziałaniu siły grawitacji i siły wyciągarki.

System żurawiowy może być stosowany do mostów pieszych, kolejowych i drogowych. Nadaje się on do mostów o rozpiętości nieprzekraczającej 30m. Może być wykonywany jako jednoskrzydłowy lub dwuskrzydłowy (drugi rodzaj nadaje się tylko do mostów drogowych i kładek dla pieszych). W konstrukcji można wydzielić geometrycznie zmienny równoległobok. Wadą rozwiązania są drgania, na które narażona jest konstrukcja żurawia podczas przejazdu obciążenia. Zaletami natomiast są mały ciężar własny oraz szybkie otwieranie i zamykanie.

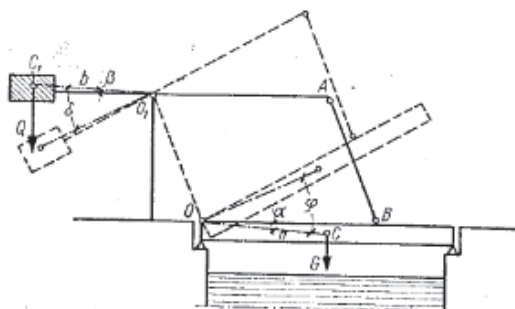
Dźwigar główny, podparty w dwóch punktach, wprawia się w ruch wokół osi  $O$  za pomocą "żurawia". Jego konstrukcja składa się z dźwigara poziomego wyposażonego w przeciwwagę i podpartego przegubowo na słupie pionowym, usztywnionym za pomocą pręta ukośnego.

Warunki równowagi konstrukcji mostowej tego typu wynikają z konieczności spełnienia następujących wymagań:

- moment ciężaru przeciwwagi względem osi obrotu  $O'$  musi być równy momentowi ciężaru pozostałej części konstrukcji względem osi obrotu  $O$ ,
- czworokąt  $OO' \parallel AB$  musi być równoległobokiem,
- odcinek łączący oś obrotu  $O'$  ze środkiem ciężkości przeciwwagi  $C_1$  musi być równoległy do odcinka łączącego oś obrotu ze środkiem ciężkości pozostałej części konstrukcji mostowej  $C$ .



Rys. 3. Schemat mostu obrotowego wokół stałej osi poziomej typu żurawinowego – forma zamknięta [1, 2]



Rys. 4. Schemat mostu obrotowego wokół stałej osi poziomej typu żurawinowego – zaznaczona forma otwarta [1, 2]

Skuteczność i niezawodność takiego systemu wymaga zaprojektowania odpowiednich dylatacji między przęsłem zwodzonym a częścią stałą. Zalecane wielkości podano w tab. 2 wg [4].

Tab. 2. Wielkości dylatacji między przęsłem zwodzonym a częścią stałą w zależności od zakończenia konstrukcji oraz rodzaju ruchu na moście [4]

Widok z góry	Zakończenie proste		Zakończenie palczaste	
	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$
Jezdnia			$\leq 70\text{mm}$	
Chodnik, ścieżka rowerowa	$\leq 10\text{mm}$	$\leq 20\text{mm}$	$\leq 40\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$

#### 4. PRZYKŁADOWE KONSTRUKCJE

W celu ilustracji praktycznego wykorzystania omówionych wymagań związanych z prawidłowym projektowaniem mostów zwodzonych, przedstawiono trzy przykłady przebudowy i budowy zwodzonych kładek dla pieszych. Zlokalizowane są one w ciągu pieszo-rowerowym wzdłuż rzeki Netty w centrum Augustowa w rejonie ul. Zarzecze, w ciągu Bulwarów Narodów Unii Europejskiej oraz Bulwaru Związku Nauczycielstwa Polskiego. Jednym z czynników wymuszających ich przebudowę było ich nieprzystosowanie do potrzeb osób z niepełnosprawnością ruchową [6] oraz rowerzystów. Podstawową trudnością przy realizacji projektu była konieczność zaprojektowania obiektów w spełniając wymagania wszystkich użytkowników, przy jednoczesnym utrzymaniu żeglugi na cieku oraz biorąc pod uwagę dodatkowe wymagania wynikające z tego, że kładki znajdują się na Obszarze Chronionego Krajobrazu - Puszcza i Jeziora Augustowskie oraz na obszarze wpisanym do rejestru zabytków nieruchomych "Kanał Augustowski".

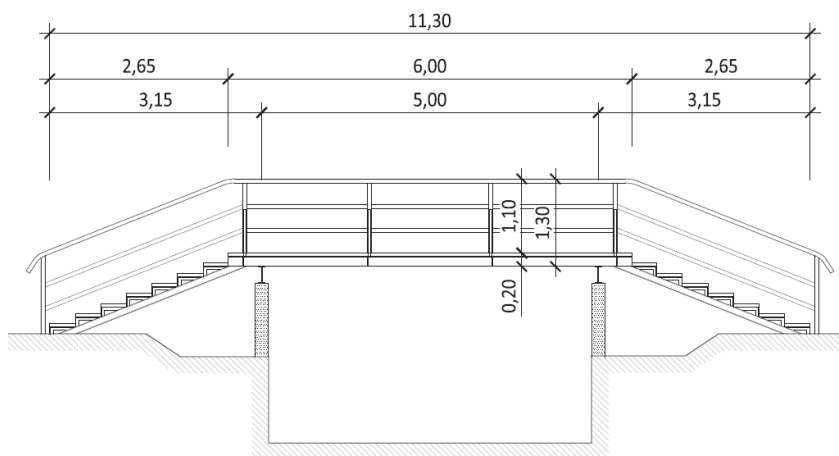
Istniejące kładki to stalowe obiekty jednoprzęsłowe, o schemacie statycznym belki (kładka KP-1 oraz KP-2, rys. 5÷8) oraz łuku (kładka KP-3, rys. 9, 10). Historyczne obiekty miały możliwość zwodzenia (unoszenie, obrót), poza kładką KP-1. Szczegółowe dane dotyczące kładek przedstawiono w tab. 3.

Tab. 3. Parametry kładek istniejących KP-1, KP-2 oraz KP-3

<b>KP-1</b>	<i>dlugość:</i> 10,15 m <i>szerokość całkowita:</i> 2,2m <i>kąt skosu:</i> 90° <i>oś obiektu w planie:</i> prosta <i>schemat statyczny:</i> belka wolnopodparta, bez możliwości ruchu
<b>KP-2</b>	<i>dlugość:</i> 8,0m <i>szerokość całkowita:</i> 1,2m <i>kąt skosu:</i> 90° <i>oś obiektu w planie:</i> prosta <i>schemat statyczny:</i> belka wolnopodparta, obracana wokół osi pionowej
<b>KP-3</b>	<i>dlugość:</i> 11,4m <i>szerokość całkowita:</i> 2,0m <i>kąt skosu:</i> 90° <i>oś obiektu w planie:</i> prosta <i>schemat statyczny:</i> łuk, z funkcją podnoszenia do góry (siłowniki hydrauliczne)



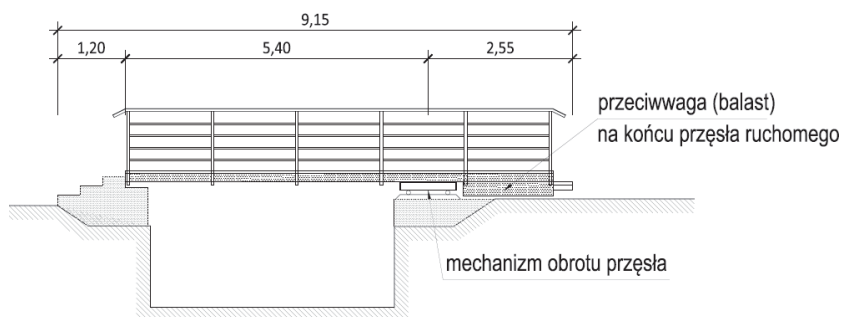
Rys. 5. Istniejąca kładka KP-1



Rys. 6. Widok z boku – kładka KP-1, stan istniejący



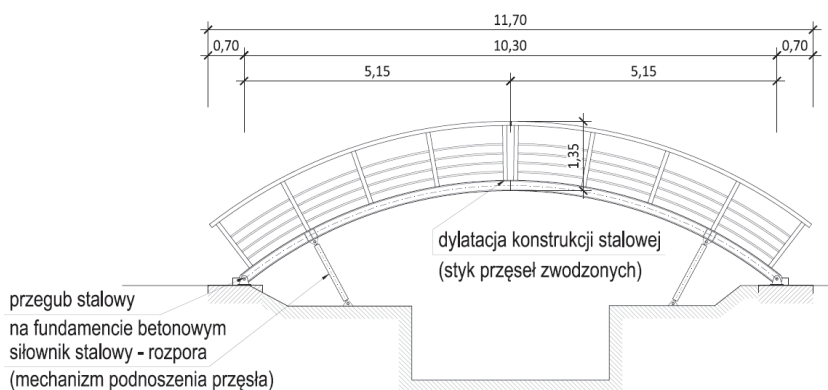
Rys. 7. Istniejąca kładka KP-2



Rys. 8. Widok z boku – kładka KP-2, stan istniejący



Rys. 9. Istniejąca kładka KP-3



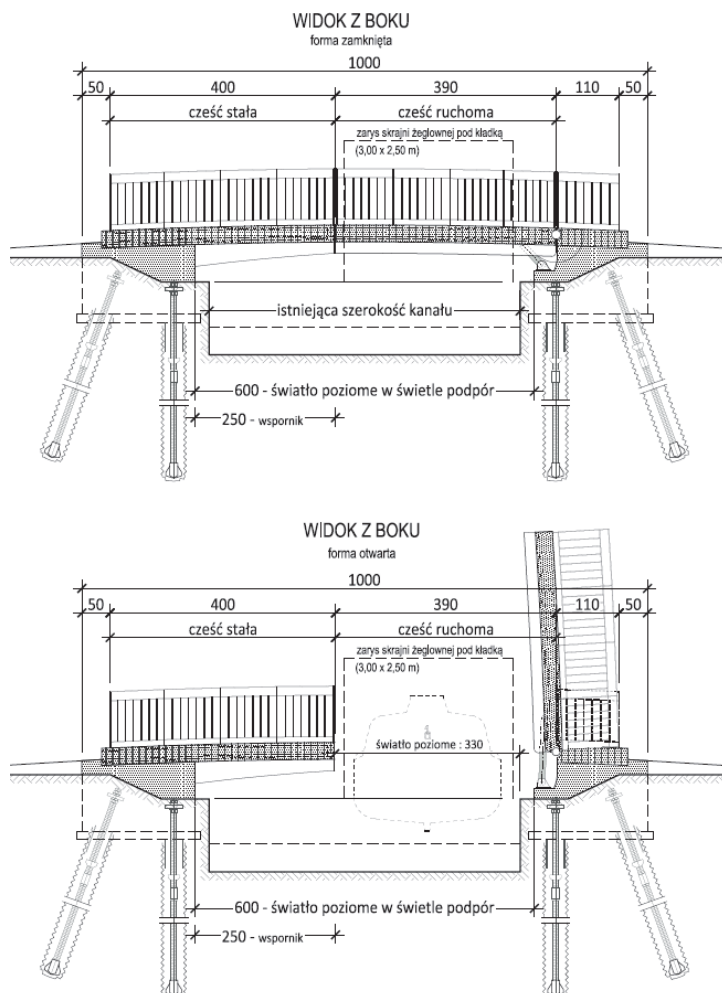
Rys. 10. Widok z boku – kładka KP-3, stan istniejący

Trzy nowe obiekty będą charakteryzowały się jednolitymi rozwiązaniami konstrukcyjno – materiałowymi. Kładki będą umożliwiały swobodny przejazd rowerem i wózkiem dziecięcym bez konieczności pokonywania schodów (po-



chylenie chodnika przy dojściu do obiektów maksymalnie 6%), przy jednoczesnym utrzymaniu możliwości żeglugi na cieku (żaglówki, łodzie wiosłowe, rowery wodne, motorówki policji wodnej).

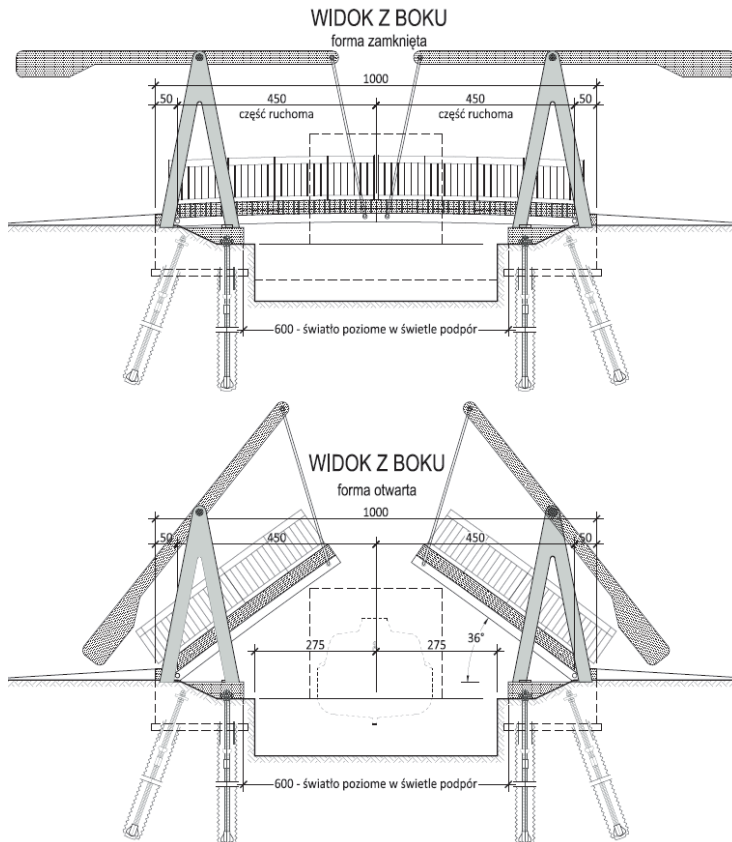
Zaproponowano 3 warianty (A, B, C) możliwych rozwiązań, które opisano poniżej. We wszystkich wariantach ustroje nośne są stalowe, z możliwością zwodzenia (podnoszenia), z pomostem i wyposażeniem z drewna egzotycznego, posadowione w technologii mikropalowania. Nośność kładek odpowiadać będzie wymaganiom normy PN-85/S-10030 (tłum pieszy), jak również umożliwiać będzie przejazd pojazdów odśnieżających i sprzątających ciągi komunikacyjne (zgodnie z udzielonymi warunkami).



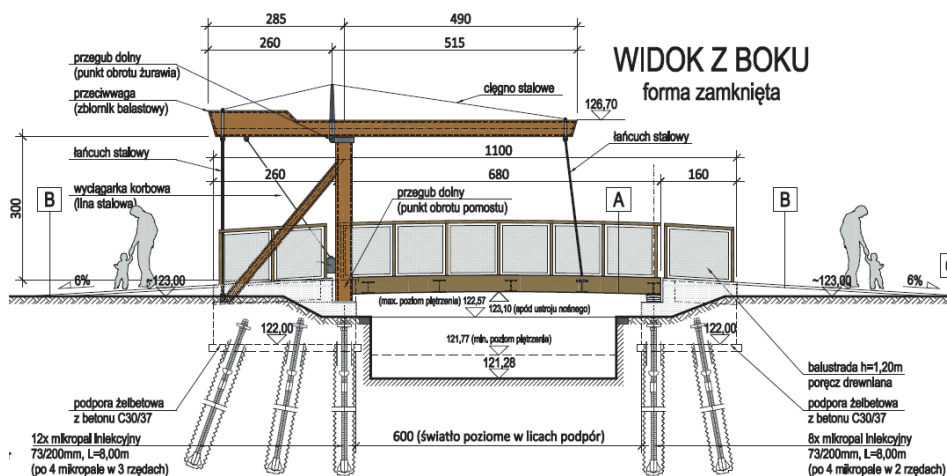
Rys. 11. widok z boku – wariant A

Zaproponowano następujące warianty rozwiązań:

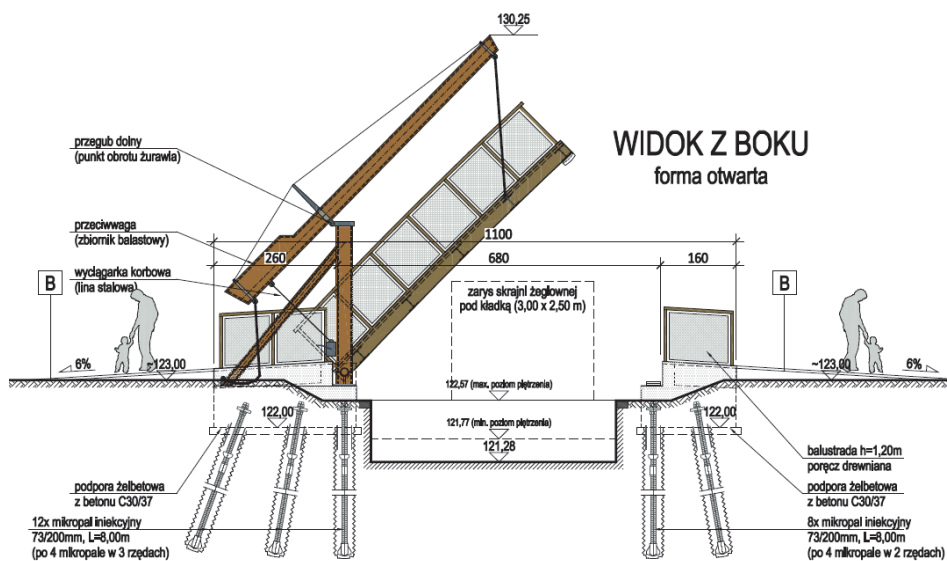
- a) wariant A (rys. 11): konstrukcja zwodzona (podnoszona) za pomocą kompaktowego systemu mechanicznego korbowego ręcznego lub elektrycznego (12/24V) oraz zestawu hydraulicznego zasilanego pompą ręczną lub elektryczną (12/24V); obiekt obsługiwany przez jedną osobę (podnoszenie jednostronne).
- b) wariant „B” (rys. 12): konstrukcja żurawiowa zwodzona (podnoszona) za pomocą ręcznego mechanizmu wyposażonego w przeciwwagę (żuraw) oraz systemu mechanicznego korbowego ręcznego lub elektrycznego (12/24V); obiekt obsługiwany przez dwie osoby (podnoszenie z obu stron).
- c) wariant „C” (rys. 13÷15): system podnoszenia zaprojektowany jako żurawiuwy – grawitacyjny z przeciwwagą obsługiwany korbowo, umożliwi spełnienie wymagań dla wszystkich użytkowników.



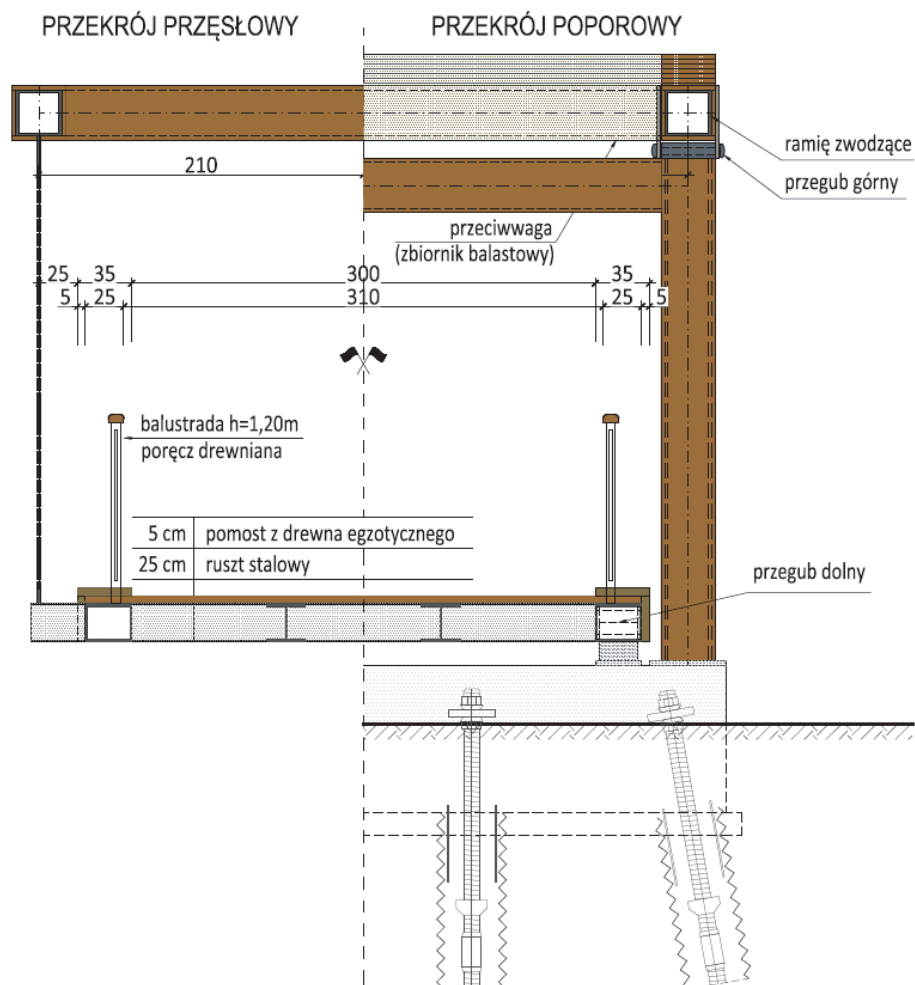
Rys. 12. Widok z boku – wariant B



Rys. 13. Projektowane kładki – widok z boku (pomost zamknięty)



Rys. 14. Projektowane kładki – widok z boku (pomost otwarty)



Rys. 15. Przekrój poprzeczny projektowanych kładek

Ostatecznie wybrano rozwiązanie wg wariantu „C”. Inwestor uzasadnił swój wybór następującymi argumentami:

- preferowany system podnoszenia jako mechanizm żurawiowy,
- podnoszenie jednostronne (niezbędna tylko jedna osoba do obsługi),
- podnoszone całe przęsło, a nie tylko jego część,
- spełnienie wymagań Konserwatora Zabytków dotyczące wyglądu kładek.

Podstawowe parametry nowego obiektu są następujące:

- długość kładki: 11,0 m,
- światło poziome: 6,0 m,
- szerokość użytkowa: min. 3,0 m.

Zastosowanie posadowienia pośredniego na mikropalach rozwiązało problem istniejących fundamentów, ponieważ ułatwia to uniknięcie kolizji z istniejącymi fundamentami. Ponadto osiadania fundamentów pośrednich są z reguły nieduże, co jest bardzo ważne dla prawidłowego funkcjonowania mechanizmu podnoszenia. Wybór napędu korbowego spowodował eliminację wyposażenia elektrycznego, co jest korzystne pod względem trwałości (patrz pkt. 2).

## 5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono jakie są możliwości realizacji podobnego zadania, przy jednoczesnym spełnieniu wymagań konstrukcyjnych, funkcjonalnych i architektonicznych. Przedstawione przykłady pokazują ponadto, jak w dobry sposób zostały pogodzone aspekty funkcjonalne z walorami architektonicznymi. Kładki po przebudowie pod względem konstrukcyjnym będą spełniały wszystkie wymagania związane z komunikacją na i pod obiektami, a ich wygląd będzie odpowiadał warunkom postawionym przez Konserwatora Zabytków. Podany przykład wskazuje, że w projektując wszelkiego rodzaju obiekty, należy poszukiwać wariantowych rozwiązań.

## LITERATURA

1. F. Szelański, *Mosty metalowe cz.2*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1972.
2. T. Al.-Khafajj, H. Zobel, *Mosty ruchome*, Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa 2015.
3. PN-EN 1997-1: Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne
4. ZTV-ING Teil 9: Bauwerke, Abschnitt 2 Bewegliche Brücken.
5. <https://kl-ing.de/projekte/projekt/detail/ziegelgrabenbruecke-ueberbau-iaa-stralsund/>
6. I. Jankowiak, A. Madaj, K. Mossor, *Adaptacja dla osób niepełnosprawnych ruchowo istniejących przejść podziemnych*, Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej 21/2016, str. 125–132.

## RECONSTRUCTION OF MOVEABLE FOOTBRIDGES – SELECTED PROBLEMS

### Summary

The design of moveable bridges for pedestrians and bikes requires an analysis and solution of many complex problems. Important factors are geotechnical issues – laying foundations on weak grounds. It is necessary to fulfill the requirements not only of the ultimate limit state, but also the serviceability limit state for a moveable bridge to function correctly. Moreover, to design the piston mechanism it is vital to cooperate with a mechanical engineer. Another important factor described in the paper is the durability of particular elements of the whole structure, what influences the durability of the bridge.

Moveable bridges can be generally divided into three groups: bascule bridges, swing bridges and vertical-lift bridges. In the paper the Authors discussed only a bascule type of bridge, including a detailed description of the lift mechanism.

As an example of the discussed problems, the Authors presented a reconstruction design process of three footbridges into pedestrian and bike moveable bridges.