



**POLITECHNIKA  
GDAŃSKA**

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

24.05.2024

## OPINIA TECHNICZNA

dotycząca oceny wyników przemieszczeń przyczółków Mostu Siennickiego nad Martwą Wisłą  
w Gdańsku wraz z określeniem możliwości i warunków jego dalszej eksploatacji.  
Umowa Nr NZ/A/2024 z 29.02.2024

ZLECENIODAWCA: **Gmina Miasto Gdańsk**, Gdański Zarząd Dróg i Zieleni  
ul. Partyzantów 36, 80-254 Gdańsk

JEDNOSTKA WYKONUJĄCA: **Politechnika Gdańska**  
**Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska**  
**Katedra Konstrukcji Inżynierskich**  
ul. Narutowicz 11/12, 80-233 Gdańsk

ZESPÓŁ AUTORSKI:

Dr hab. inż. Marcin Cudny, prof. Uczelni

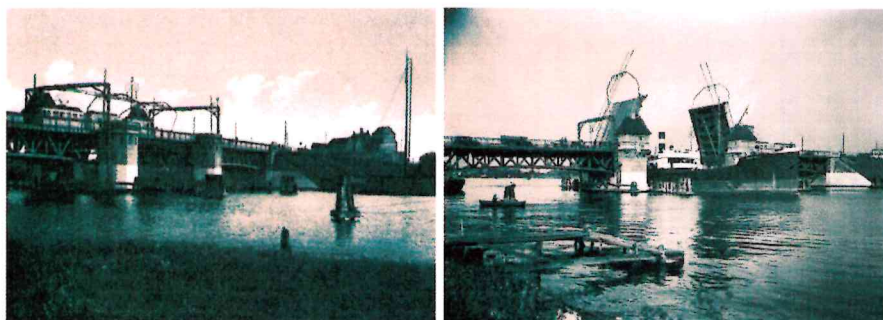
Prof. dr hab. inż. Kazimierz Gwizdała

Dr hab. inż. Adam Krasieński, prof. uczelni

Dr hab. inż. Krzysztof Żółtowski, prof. uczelni – prowadzący zadanie

## 1. HISTORIA

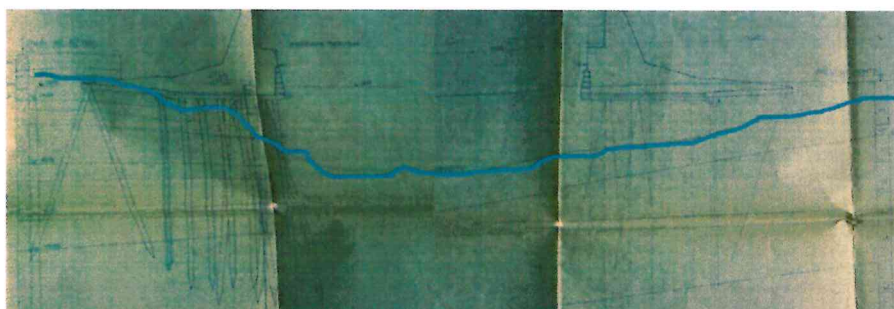
Most Siennicki został zbudowany w 1912 roku. Przeprawa składała się z kratownicowych przęseł skrajnych i zwodzonego przęsła nawigacyjnego (rys. 1). Na moście odbywał się ruch kołowy i tramwajowy. Historycznie przedmiotowa przeprawa składała się z dwóch części. Część brzegową wykonano jako klasyczne przęsła o konstrukcji kratownicowej z jazdą górą. Część środkową stanowiło stalowe przęsło zwodzone składające się z dwóch symetrycznych konstrukcji kłapowych z przeciwwagą (rys. 1). Cała przeprawa liczyła około 95 m. Istotne dla oceny przyczółków jest ich umiejscowienie w planie. Niefortunnie postanowiono skrócić most zawężając rzekę w miejscu przeprawy (rys. 2). W rezultacie zbudowano przyczółki w sposób podobny do konstrukcji nabrzeża (rys. 3). Konstrukcja posadowienia znajduje się w obrębie koryta rzeki i przewiduje przejście obciążenia z nasypu i przyczółka przez ruszt palowy (rys. 3).



Rys. 1. Historyczne zdjęcie Mostu Siennickiego. Widok na stronę zachodnią i poniżej na wschodnią [Domena Publiczna/Gedanopedia]

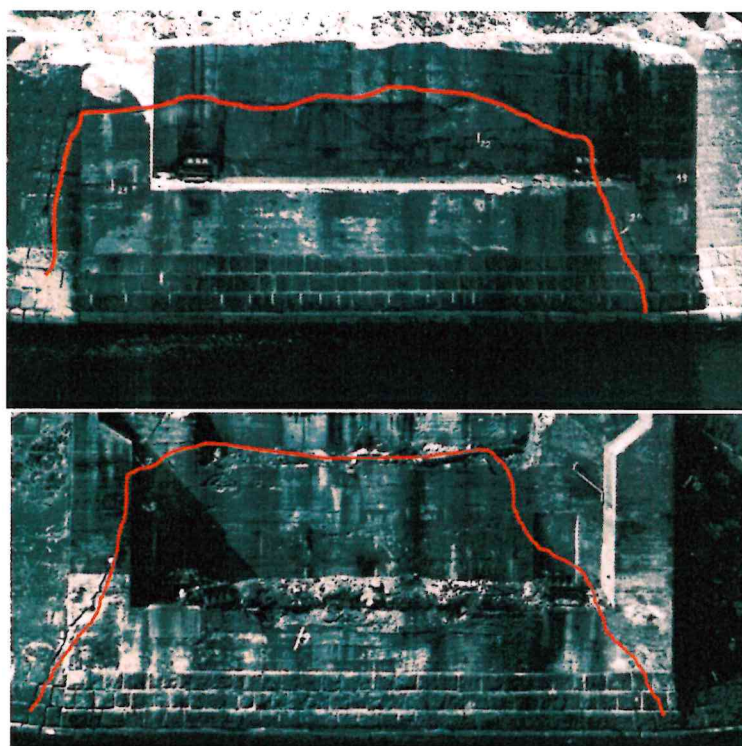


Rys. 2. Most Siennicki w planie z zaznaczoną linią brzegową rzeki (mapa google, szkic z archiwum państwowego w Gdańsku)



Rys. 3. Przyczołki Mostu Siennickiego z zaznaczoną linią dna rzeki Martwej Wisły (zasoby ZDiZ Gdańsk)

Nasyp nad częścią lądową posadowiono bezpośrednio. Część nadwodną nasypu oraz oddziaływanie poziome na przyczołek pochodzące od nasypu w części lądowej prawdopodobnie przejmowała ścianka szczelna zakotwiona do kozła palowego. Geotechniczne warunki posadowienia są złożone i niekorzystne, gdyż występują od góry namuły i ily plastyczne przewarstwione piaskami (warunki geotechniczne opisano szczegółowo w [1, 2])





Rys. 4. Historyczne zdjęcia przyczółków (zachodni i poniżej wschodni) z zaznaczoną linią głównego pęknięcia. (źródło ZDiZ Gdańsk)

Poziom swobodnego zwierciadła wody gruntowej jest zmienny i zależy od wahań poziomu wody w rzece. Należy wspomnieć, że przedstawiony na rys. 3 schemat palowania nie jest dokumentem oryginalnym i został technicznie potwierdzony jedynie w zakresie pierwszego rzędu pali od strony rzeki (ekspertyza nurkowa z 1984 roku). Nie natrafiono na materiały archiwalne dokumentujące rzeczywisty układ palowania.

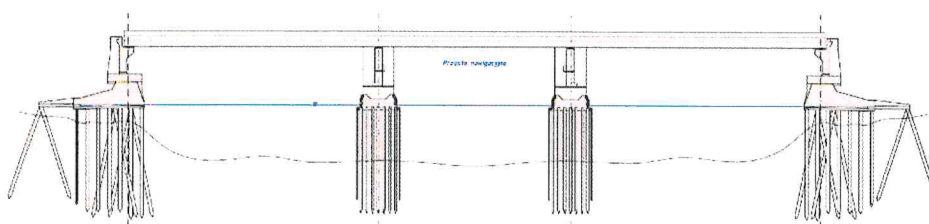
W marcu 1945 roku Niemcy próbowali wysadzić przęsła mostu i uszkodzili je na tyle skutecznie, że pomimo prób nigdy ich nie odbudowano. Wykonano wzmocnienie z wykorzystaniem tymczasowych podpór i mostu składanego Bayleya. Tak prowizorycznie wzmocnione przęsła funkcjonowały do 1986 roku. Bardzo prawdopodobne, że podczas wysadzania powstały pęknięcia na konstrukcjach przyczółków, pokazane na rys. 4 (istniejące do dzisiaj).

W roku 1984 podjęto prace nad budową nowych przęseł. Projekt wykonało BPBK w Gdańsku [1]. Założono w nim wykorzystanie istniejących przyczółków pomimo wątpliwości wskazywanych w [2]. Zastrzeżenia budziła stateczność przyczółków posadowionych na palach drewnianych. Ostatecznie zdemontowano stare przęsła i przystąpiono do oceny podpór pod kątem budowy nowych przęseł. Wyrażano zastrzeżenia co do stanu technicznego przyczółków biorąc pod uwagę fakt, iż pale w dużej części fundamentów przyczółków znajdują się w obszarze zmienności zwierciadła wody gruntowej i mogą podlegać erozji biologicznej. **Zakładano w tym czasie, że przebudowany most będzie mógł być użytkowany maksymalnie około 20 lat** i pomimo przytoczonych wątpliwości przystąpiono do budowy nowych przęseł z wykorzystaniem istniejących podpór. **Nie wykonano żadnych zabiegów wzmacniających posadowienie.** Przyczółki były mocno popękane. Charakter i przebieg pęknięć wskazywał jednoznacznie na nierównomierne osiadanie korpusów przyczółków w stosunku do ich skrzydeł (rys. 4).

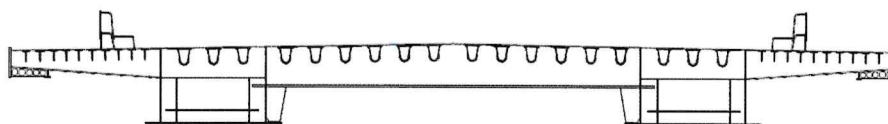
## 2. MOST SIENNICKI DZISIAJ

W związku z przebudową ul. Siennickiej podwyższono niweletę na przeprawie. Skutkowało to dodaniem około 2 m nasypu (w obudowie z murów oporowych) i tym samym poważnym dociążeniem podstawy konstrukcji ziemnej posadowionej pośrednio na drewnianym ruszcie palowym (rys. 5). Wykorzystano istniejące przyczółki i filary przebudowując jedynie ich głowice. Nie wykonano żadnych prac wzmacniających podłoże gruntowe obciążone podwyższonym nasy-

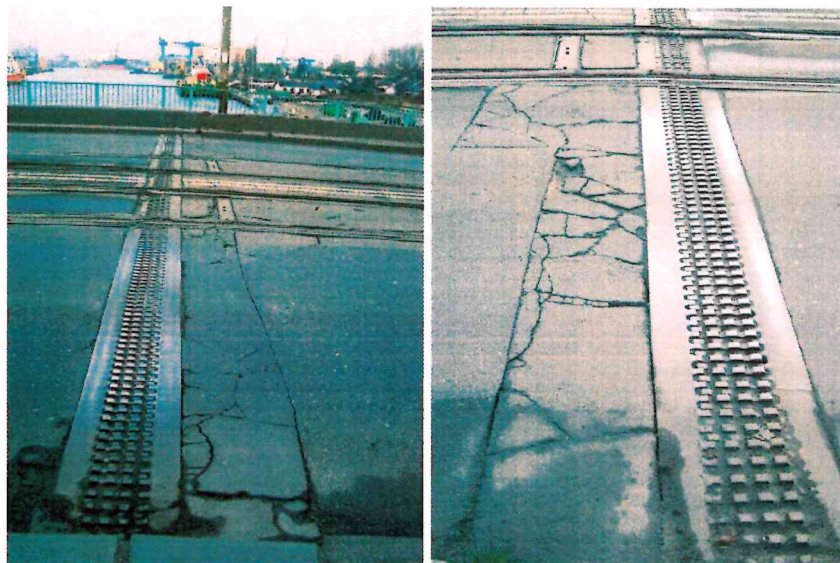
pem. Nowe przęsła mostu charakteryzują się jednakowym przekrojem poprzecznym na całej ich długości (rys. 6). Pomost stanowi stalowa płyta ortotropowa o grubości 18 mm wraz z żebrami zamkniętymi pod jezdnią i otwartymi pod chodnikami. Dźwigary główne wykonano w postaci skrzynek stalowych o grubości półki dolnej 26 mm oraz grubości śródników 18 mm. Wysokość skrzynki wynosi ok. 1,4 m a szerokość ok. 2,1 m. Poprzecznice wykonano jako blachownicowe dwuteowniki o wysokości ok. 1,7 m. Dokładne wymiary poszczególnych blach i ich grubości są zawarte w projekcie przęseł [1, 3], który jest zachowany w dobrym stanie.



Rys. 5. Przekrój podłużny mostu Siennickiego z domniemanym układem pali drewnianych [1]



Rys. 6. Przekrój poprzeczny przęsła mostu Siennickiego [1]



Rys. 7. Pierwotna dylatacja na moście (materiały archiwalne ZDiZ Gdańsk). Widoczne całkowite zakleszczenie przy temperaturze powietrza poniżej 10°C (12.11.2004)

W roku 1989 oddano przebudowany Most Siennicki do użytkowania. Już wtedy przyczółki zaczęły się przemieszczać w kierunku rzeki. Świadczą o tym zdjęcia zakleszczonych dylatacji (rys. 7). Można przypuszczać, że przyczółki utrzymały stateczność dzięki zaparciu się górą o przęsło mostu. Nie dotyczy to jednak dolnej części fundamentów przyczółków, które cały czas przemieszczają się w kierunku rzeki zwiększając zginanie rusztu palowego, który nie był pierwotnie projektowany na tego rodzaju obciążenie.

W roku 2015 wykonano remont nawierzchni na moście [3]. Elementem prac była wymiana nawierzchni. Nie przeprowadzono wówczas krytycznej oceny sytuacji i rozebrano zakleszczone dylatacje wraz ze ściankami żwirowymi, umożliwiając tym samym dalszy ruch przyczółków w kierunku rzeki. Cztery lata po wykonaniu nowych dylatacji zlecono ocenę sytuacji z uwagi na ich zły stan [4]. W ocenie tej ujawniono i opisano przyczyny nieprawidłowości. W tym czasie stwierdzono na podstawie pomiarów, że sumaryczne przemieszczenia przyczółków od 1988 roku wynoszą ok. 160 do 180 mm w kierunku rzeki i sytuacja nie wygląda na ustabilizowaną. Przebieg deformacji w czasie można ująć w chronologiczny ciąg wydarzeń:

1. 1912 – budowa mostu,
2. 1912 – 1945 brak informacji o kłopotach z przyczółkami,
3. 1945 – uszkodzenie przęsła przez saperów niemieckich,

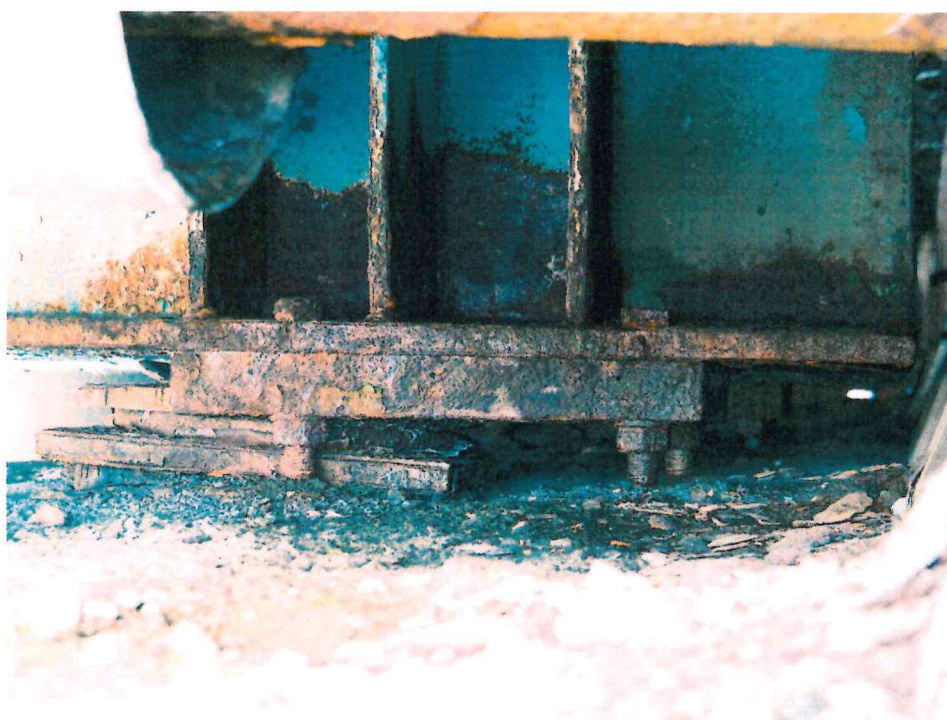


4. 1947 – 1986 funkcjonowanie tymczasowej przeprawy. Brak informacji o ruchach przyczółków,
5. 1989 – oddanie do użytku nowego mostu. Dociążenie stref przyczółkowych przez dodanie 2 m dodatkowego nasypu (naziomu),
6. 2004 – dylatacje na moście są zakleszczone. Można oszacować przemieszczenie przyczółków na ~50 mm w kierunku rzeki. Nie wiadomo, kiedy nastąpiło zakleszczenie dylatacji,
7. 2015 – remont nawierzchni i uwolnienie zakleszczonych przyczółków. Można oszacować, że w tym czasie przyczółki po uwolnieniu przesunęły się w kierunku rzeki o ~80 mm (wg informacji z budowy wystąpiło gwałtowne uwolnienie naprężeń, potwierdzone hukem).
8. 2015 – Montaż nowej dylatacji.
9. 2019 – Stwierdzono zakleszczenie nowych dylatacji (rys. 8). Można oszacować, że w tym czasie przyczółki przesunęły się w kierunku rzeki o dodatkowe ~40 mm.



Rys. 8. Pęknięcia po remoncie w 2015 roku. Po lewej przyczółek zachodni. Po prawej przyczółek wschodni. Poniżej zakleszczone urządzenie dylatacyjne przy temperaturze 11,9°C

Sumaryczne przemieszczenie przyczółków w kierunku rzeki określono na podstawie pomiarów przesunięć punktów podparcia łożysk (rys. 9). Wynosiły one ok. 180 mm w kierunku rzeki na dzień 28.10.2019. Od tego czasu prowadzony jest monitoring geodezyjny położenia przyczółków, który wykazuje dalsze przemieszczanie się.



Rys. 9. Łożysko na przyczółku od strony Gdańska – górna woda. Przesunięcie przyczółka w stronę wody na łożysku wynosi ~182 mm (wstawiłem swoje zdjęcie z powiększeniem sprawy – może będzie dodatkowe albo zamiast)

### 3. ANALIZA NOŚNOŚCI

W celu oceny nośności przeprowadzono obliczenia numeryczne współpracy konstrukcji przęseł i przyczółków oraz podłoża gruntowego. Nośność przęseł

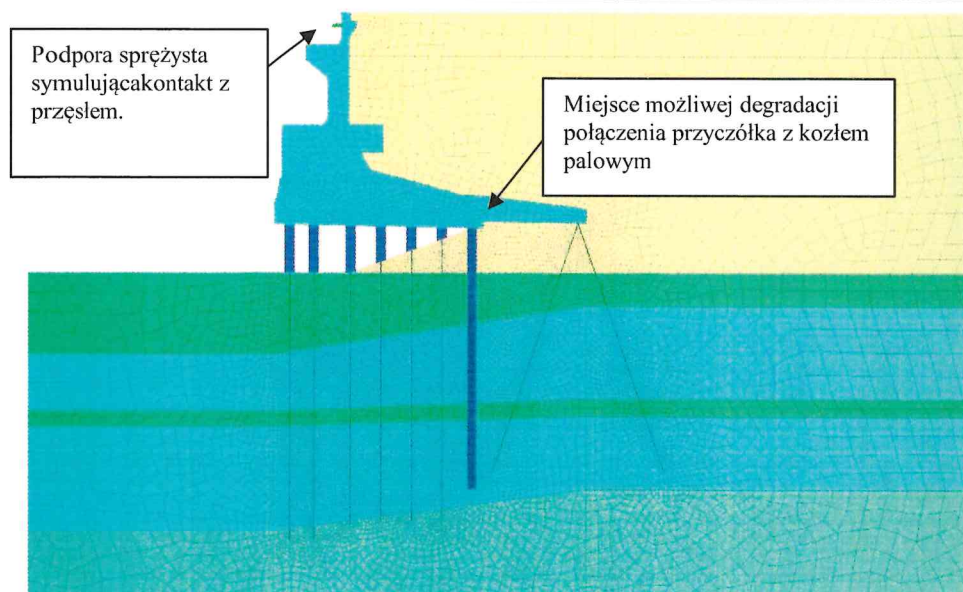


określono obiektywnie, ponieważ dysponowano aktualną dokumentacją. Nie było też problemu z inwentaryzacją wątpliwych elementów. Przesła na podstawie obliczeń posiadają nośność odpowiadającą klasie obciążeń A wg. PN-85/S-10030.

W celu analizy nośności przyczółka zaplanowano następujące postępowanie:

- Budowa modelu numerycznego przyczółka na podstawie dostępnej dokumentacji archiwalnej.
- Odtworzenie scenariusza zmian geometrycznych, obciążania i odciążania przyczółka na podstawie dostępnej dokumentacji archiwalnej.
- Analiza numeryczna obiektu w celu zbadania zachowania się przyczółka wg założonego scenariusza.
- Porównanie rezultatów numerycznych z rzeczywistym zachowaniem się przyczółka.

Zbudowano model numeryczny przyczółka wraz z otaczającym go gruntem. Wykorzystano środowisko MES SOFiSTiK. Model numeryczny zagadnienia równowagi statycznej zdefiniowano w płaskim w płaskim stanie odkształcenia. Zgodnie z ogólnie przyjętą praktyką, obciążenia oraz charakterystyki geometryczne układu sprowadzono do 1 m bieżącego konstrukcji. Wizualizację modelu w stanie docelowym przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Wizualizacja modelu przyczółka wraz z otaczającym gruntem w stanie docelowym (wykadrowana część modelu z przyczółkiem)

Do budowy modelu MES korpusu przyczółka oraz warstw gruntu użyto elementy czterowęzłowe. Pale oraz ściankę szczelną zamodelowano z jednowymiarowych elementów belkowych. Pomiedzy elementami belkowymi, a gruntem zastosowano elementy kontaktowe pozwalające na zamodelowanie interakcji pomiedzy palami i gruntem w poszczególnych warstwach. Wokół przyczółka wymodelowano grunt o zasięgu: poziomo –  $2x$  szerokość przyczółka, pionowo –  $2x$  długość pali. Dodatkowo dodano element sprężysty typu „spring” w miejscu potencjalnego oparcia ścianki żwirowej przyczółka o przęsło. Jest to element nieliniowy o bardzo dużej sztywności aktywowany dopiero w przypadku skrócenia/wydłużenia o 18 cm. W analizach wykorzystano nieliniowość materiałową. W przypadku gruntów rodzimych zastosowano model konstytutywny *Hardening Soil*, natomiast do opisu zachowania się gruntów nasypowych model konstytutywny Mohra-Coulomba.

W trakcie tworzenia modelu zidentyfikowano następujące niepewności:

- Brak rzeczywistych parametrów geotechnicznych gruntów w obrębie przyczółka. Do oszacowania warunków wykorzystano przekroje geotechniczne dostępne w dokumentacji archiwalnej [1, 2, 3]
- Brak informacji na temat liczby i rzeczywistego rozkładu pali. Ekspertyza [2] potwierdza, że już w trakcie jej sporządzania (rok 1988) te dane nie były dostępne.

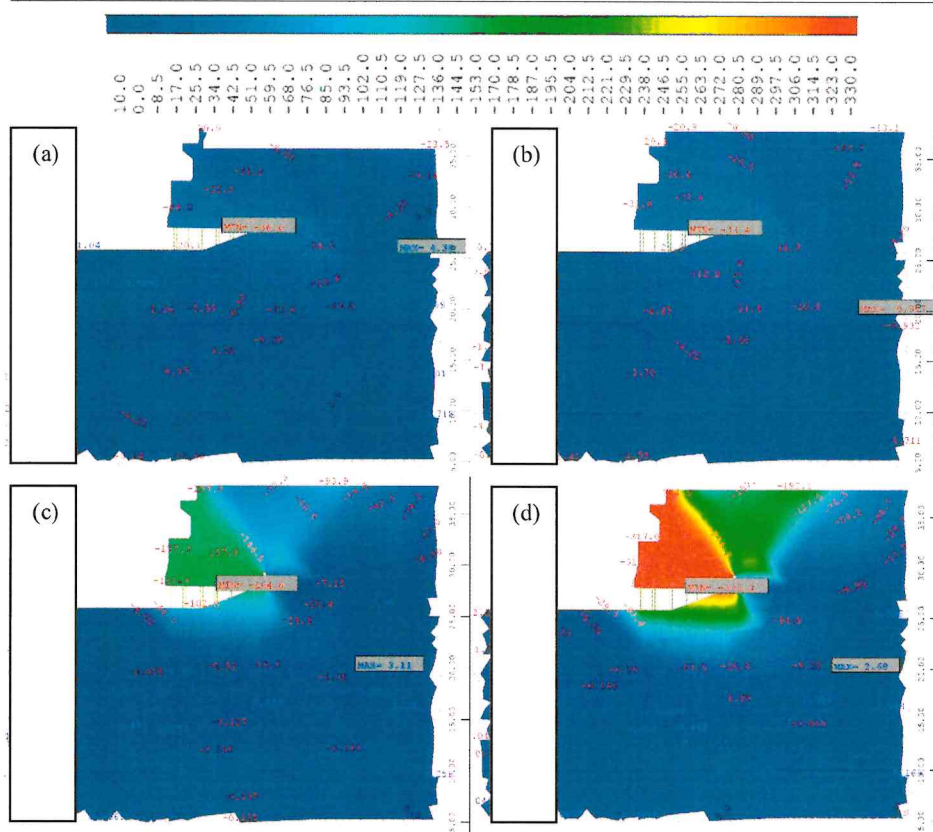
- Nieznajomość stanu i kondycji pali drewnianych.
- Nieznajomość stanu i kondycji betonu korpusu przyczółka oraz tylnej części zabezpieczającej przed przesunięciem (drewnianego połączenia z kozłem palowym).

Podsumowując dostępne dane i niepewności przyjęto następujący scenariusz przebiegu wydarzeń odtworzony w obliczeniach:

1. Inicjalizacja początkowego stanu naprężenia in situ w gruncie w miejscu przeznaczonym na budowę przyczółka.
2. Budowa przyczółka na palach drewnianych. Dla uproszczenia przyjęto od razu aktualną geometrię przyczółka, a nie z roku 1912. Ciężar przyczółka nie wpływa istotnie na deformację całego układu.
3. Wykonanie zasypki gruntowej za przyczółkiem do poziomu 2 m poniżej obecnej wysokości przyczółka (stan w 1989 r. przed budową przęsła).
4. Obciążenie przyczółka siłą reakcji od obciążeń stałych z przęsła mostu w aktualnej geometrii.
5. Wykonanie zasypki do aktualnego poziomu.
6. Dociążenie zasypki symulujące wykonanie wzmocnienia nasypu w technologii jet-grouting (stan w 1989 r. po budowie przęsła). Spowodowało to dociążenie nasypu i zwiększenie parcia.
7. Przerwanie betonowego (lub drewnianego?), tylnego fragmentu przyczółka połączonego z kozłem palowym. Istnieje możliwość oparcia się poziomo przyczółka na przęsle (rys. 10).
8. Usunięcie przęsła (podpory sprężystej) z układu po uszkodzeniu konstrukcji przyczółka.

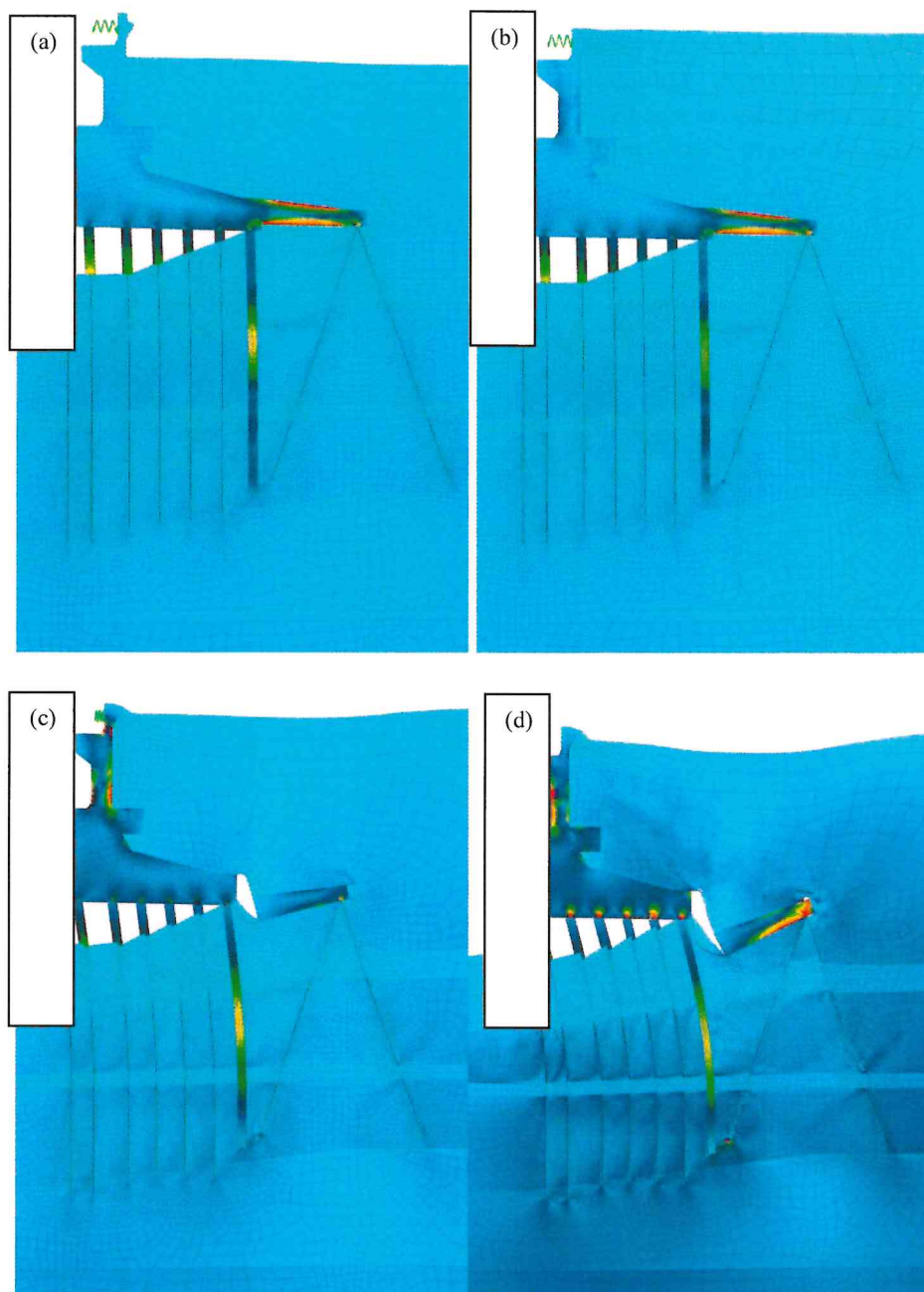
Na rysunku 11 przedstawiono rezultaty obliczeń w postaci map przemieszczeń dla 4 z wyżej wymienionych faz: 3, 6, 7 i 8.





Rys. 11. Przemieszczenia przyczółka kolejno w fazach: (a) faza 3, (b) faza 6, (c) faza 7, (d) faza 8

Z uwagi na szereg niewiadomych związanych z nieznaną rzeczywistością posadowienia (nie natrafiono na oryginalną dokumentację, a późniejsze rysunki przedstawiające posadowienie różnią się w istotnych detalach) wykonane obliczenia stateczności przyczółka należy oceniać w kategoriach jakościowych, a nie ilościowych. Niemniej rezultaty obliczeń pokazują zbieżność założonego scenariusza z obserwacjami przedstawionymi w punkcie 2. Poniżej na rysunku 12 pokazano wizualizację modelu z deformacją w skali 5:1 w fazach 3, 6, 7 i 8.



Rys. 12. Przyrost przemieszczeń – deformacja przyczółka w skali 5:1 przedstawiająca fazy: (a) 3, (b) 6, (c) 7 – hipotetycznie stan dzisiejszy, (d) 8

#### 4. OGLĘDZINY 26.04.2024

W dniu 26.04.2024 zespół konsultantów przeprowadził oględziny konstrukcji mostu. Zauważono szereg objawów wcześniej już udokumentowanych, ale także odnotowano nowe.



*Rys. 14 Ślady przesunięć przyczółka od stron Stogów 26.04.2024 (oderwany grzyms poprzeczny od gzy*

Szczególnie zwrócono uwagę na przyczółek od strony Stogów (monitoring geodezyjny wykazuje tam większe przyrosty przemieszczenia niż po stronie miasta Gdańska). Na fotografii (rys. 14) widać efekty przemieszczenia dolnej części przyczółka. Na kolejnej fotografii zestawiono postęp uszkodzenia w obrębie jezdni (rys. 15 - strona Stogi, most podwieszony). Na dalszych fotografiach zilustrowano uszkodzenia jezdni i ścianki żwirowej po stronie „stoczniowej”. Uszkodzeń tych nie zarejestrowano w czasie poprzednich oględzin.

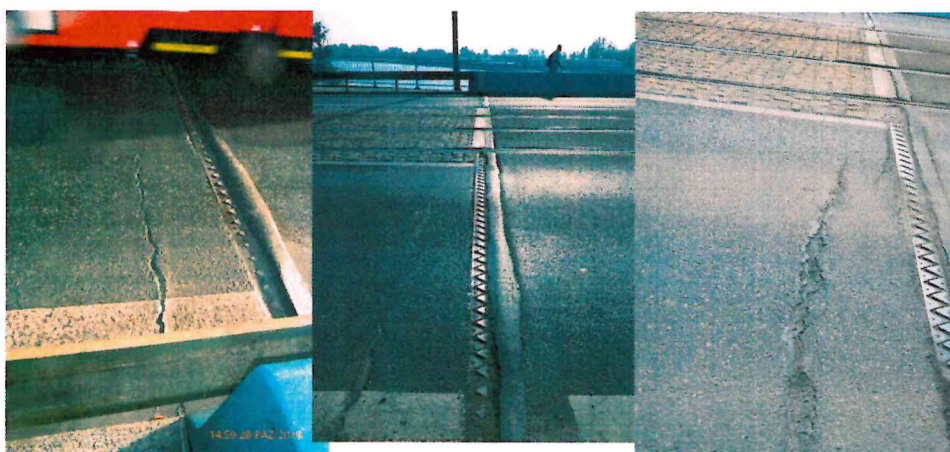
W stanie znacznego wyteżenia znajdują się również ścianki żwirowe obu przyczółków. Jest ono wynikiem sukcesywnego wzrostu siły rozporowej w przęśle.



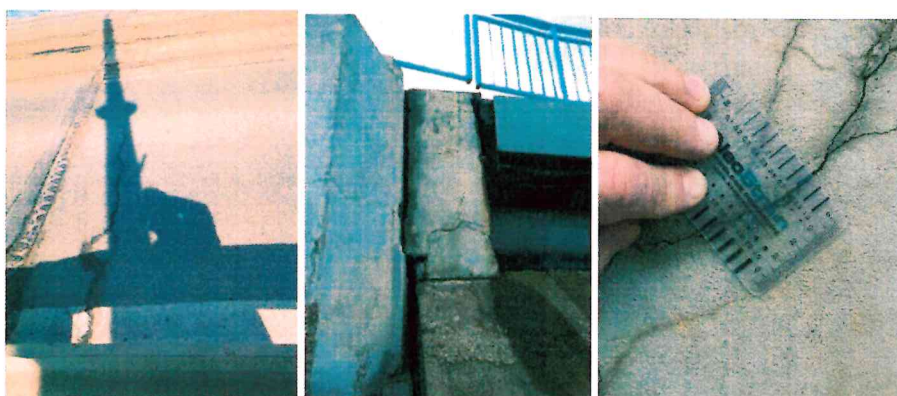
Świadczy o tym widoczne odchylenie od pionu i zarysowanie ścianki pokazane na rys. 16b. W pewnym momencie może dojść do gwałtownego pęknięcia ścianek żwirowych, a w konsekwencji dalszego (dodatkowo dużego i niekontrolowanego) przyrostu przemieszczeń poziomych przyczółków.

Wszystko to świadczy o stałej kontynuacji przemieszczania się przyczółków w stronę rzeki. Na podstawie zaobserwowanego stanu można zakwalifikować przyczółek wschodni (Stogi) jako bardziej naruszony.

*msu podłużnego)*



*Rys. 15 Pęknięcie w nawierzchni. Od lewej stany: w 2019r, 2020 r, 2024 r.*



*Rys. 16 Nowe pęknięcie w nawierzchni i w ścianie żwirowej. Przyczółek wschodni od strony stoczni (stan obecny).*

## PODSUMOWANIE

Stan techniczny przyczółków Mostu Siennickiego należy uznać za awaryjny i nieakceptowalny. Objawy widoczne gołym okiem, pomiary i symulacje obliczeniowe wskazują, że konstrukcje przyczółków (szczególnie przyczółek wschodni) znacznie się przemieściły w kierunku rzeki. Niestety, wyłączenie obiektu z eksploatacji nie zatrzyma procesu przemieszczania się konstrukcji w stronę rzeki.

Biorąc pod uwagę zagrożenia wynikające z utraty stateczności należy natychmiast przedsięwziąć czynności zabezpieczające potencjalnych użytkowników przed skutkami awarii lub katastrofy budowlanej.

Z uwagi na ważną funkcję użytkową przeprawy dopuszcza się możliwość dalszej eksploatacji przy spełnieniu następujących warunków:

1. Należy zainstalować ciągły (pomiar min. co 60 s) monitoring przemieszczeń przyczółków wyposażony w moduł sygnalizacji prędkości przemieszczeń z powiadomieniem przez internet. System powinien umożliwiać obserwację przemieszczeń i obrotów przyczółków. W przypadku układu dalmierzy laserowych zaleca się instalację 4 dalmierzy stacjonarnych na filarze w kierunku każdego przyczółka (razem 8 sztuk). Dokładność pomiaru min 1 mm.  
Należy określić min. dwa progi alarmowe. Ostrzegawczy (ogłędziny) i interwencyjny (zamknięcie przeprawy).

Dodatkowo należy prowadzić oględziny konstrukcji przynajmniej 2 razy w tygodniu i każdorazowo w przypadku przekroczenia progu alarmowego określonego w procedurze monitoringu.

Należy utrzymywać kontakt z zarządcą konstrukcji i sporządzać miesięczne raporty z pomiarów.

Wyniki monitoringu powinny być interpretowane przez specjalistów z dziedziny mostownictwa i geotechniki.

2. Należy opracować procedurę zamknięcia mostu.
3. Należy zorganizować zespół uprawniony do podjęcia szybkiej decyzji o zamknięciu przeprawy.
4. Należy opracować procedury awaryjne związane z wyłączeniem sieci instalacji miejskich znajdujących się w konstrukcji przęsła i przyczółków oraz w nasypach za przyczółkami.
5. Należy określić procedurę przeglądów konstrukcji całego mostu.

- 
6. Należy w trybie pilnym podjąć procedury związane z opracowaniem projektu remontu mostu i rozpocząć remont nie później niż w ciągu najbliższych dwóch lat.

**Należy się liczyć z wyłączeniem mostu z eksploatacji w każdej chwili. Decydujące o tym będą wskazania systemu monitorującego i objawy zewnętrzne.**

Alternatywą dla powyższych wniosków i zaleceń może być tylko podjęcie interwencyjnych prac budowlanych w celu zatrzymania ruchu przyczółków w kierunku rzeki.



---

## MATERIAŁY

1. Remont kapitalny mostu Siennickiego w Gdańsku – Projekt ustroju niosącego mostu, opracowanie technologiczne i rysunki warsztatowe, Biuro Projektów Budownictwa Komunalnego w Gdańsku, 1984,
2. Przebudowa infrastruktury tramwajowej w ul. Siennickiej i ul. Lenartowicza od ul. Elbląskiej do ul. Sucharskiego – 6.3. Most w ciągu ul. Siennickiej nad Martwą Wisłą, PROGREG Sp. z o.o., 2013
3. Ekspertyza techniczna i wytyczne projektowania remontu kapitalnego przyczółków Mostu Siennickiego w Gdańsku. Dr inż. Kazimierz Abramski z zespołem. Ośrodek Postępu Technicznego „Wdrożenie” S.A., Gdańsk 1988.
4. Materiały archiwalne ZDiZ Gdańsk
5. Geodezyjne pomiary Mostu Siennickiego w Gdańsku. Geobor Sp z o.o. Gdańsk ul. Pileckiego 8. W okresie 28.11.19 do 15.05.2020
6. Opinia techniczna dotycząca uszkodzonych dylatacji Mostu Siennickiego w Gdańsku. Politechnika Gdańska, 2019.
7. Żółtowski K z zespołem, Ekspertyza techniczna dotycząca aktualnej nośności mostu nad Martwą Wisłą w ciągu ul. Siennickiej w Gdańsku wraz z koncepcją przebudowy. 2020.