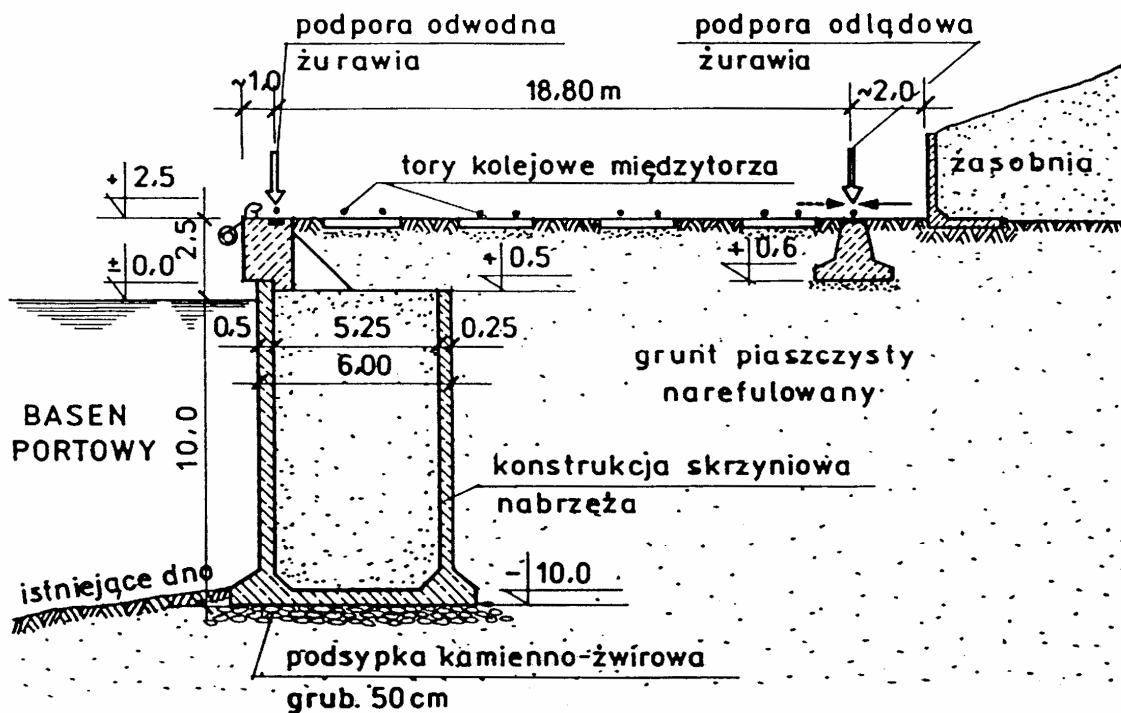




**XII SYMPOZJUM**  
na temat  
**BADANIE PRZYCZYN I ZAPOBIEGANIE AWARIOM**  
**KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH**

Mgr inż. Krzysztof Kowalski

**ZAINSTALOWANIE NA ISTNIEJĄCYM**  
**NABRZEŻU PORTOWYM CIĘŻSZYCH ŻURAWI O**  
**ZWIĘKSZONYM UDŹWIGU**



## 1. Wstęp

Coraz częściej w eksploatacji istniejących obiektów hydrotechnicznych zachodzi potrzeba zwiększenia obciążeń użytkowych. W przypadku udźwigowionych nabrzeży, pirsów, czy pomostów występuje często potrzeba zainstalowania żurawi o zwiększonym udźwigu. Niezbędna w takim przypadku szczegółowa opinia techniczna powinna określać warunki zainstalowania i bezpiecznej pracy nowych żurawi.

Najczęściej zachodzi wówczas potrzeba modernizacji istniejących torów poddźwignicowych przy spełnieniu warunków wytrzymałości i stateczności całej budowli hydrotechnicznej. Jednakże przebudowa torów poddźwignicowych wiąże się ze znacznymi kosztami, pracochłonnym wykonawstwem i długotrwałym wyłączeniem nabrzeża z eksploatacji.

W niniejszym referacie przedstawiono przykład rozwiązania problemu zainstalowania nowych, cięższych żurawi na nabrzeżu portowym, intensywnie eksploatowanym od 50-ciu lat, którego podtorze nie spełniało nowych, warunków technicznych.

## 2. Charakterystyka nabrzeża

Nabrzeże Holenderskie w Porcie Gdynia wybudowane zostało w latach trzydziestych XX wieku dla przeładunku węgla, rudy i innych masowych.

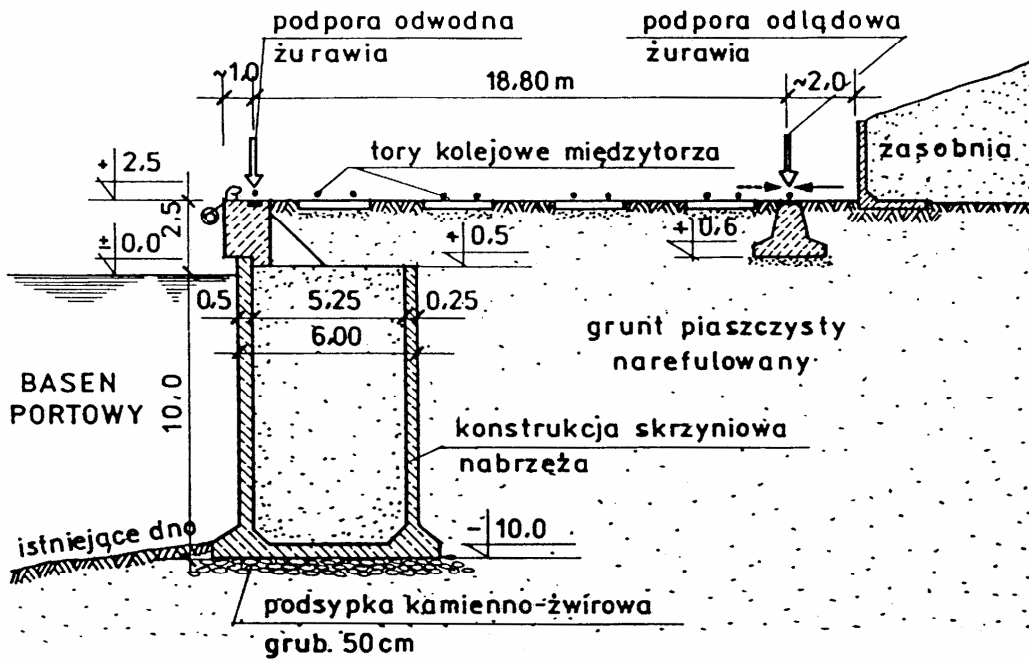
Konstrukcję nabrzeża (rys. 1) stanowi ciąg prefabrykowanych, żelbetowych skrzyń wypełnionych narefulowanym piaskiem, z nadbudową w postaci betonowego muru nadwodnego. Długość nabrzeża wynosi 398 m, poziom nadbudowy sięga rzędnej + 2,5 m npm, posadowienie skrzyń na rzędnej – 10,0 m npm. Gabaryty skrzyń wynoszą: długość 18,4 m, wysokość 10,5 m, szerokość 6,0 m, u podstawy (przy odsadzkach) 8,0 m.

Nabrzeże wyposażone zostało w urządzenia cumowniczo-odbojowe. Na murze nadwodnym znajduje się 14 pachołów typu gdyńskiego (w tym 12 typu średniego i 2 typu ciężkiego) oraz wałki odbojowe typu Wolbrom. Na nabrzeżu zainstalowano żurawie przeładunkowe szynowe o rozstawie torów jezdnych 18,8 m pomiędzy którymi przebiegają 4 tory kolejowe. Odwodna szyna poddźwignicowa spoczywa na murze nadwodnym, szyna odlądowa na belce posadowionej bezpośrednio w gruncie.

Betonowy mur nadwodny o prostokątnym przekroju poprzecznym ma 2,0 m wysokości i 1,2 m szerokości. Na pewnych odcinkach szerokość jest większa co wynika z tendencji wyprostowania krzywoliniowego przebiegu niektórych skrzyń. Betonowa belka odlądowa o przekroju zbliżonym do teowego ma 1,9 m wysokości, szerokość górą 0,6 m zaś u podstawy 2,6 m.

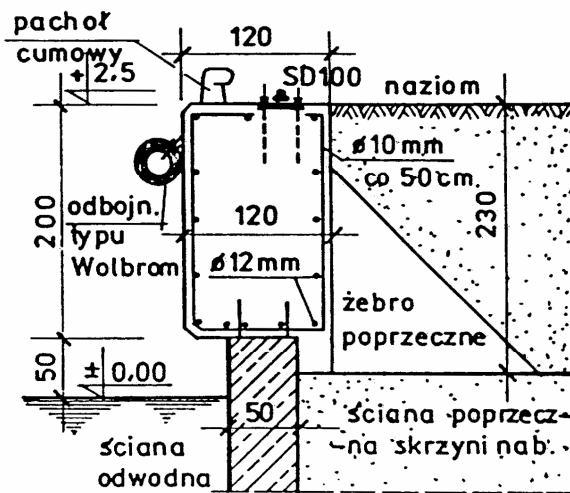
Warunki gruntowe w rejonie omawianego nabrzeża przedstawiają się następująco. Od poziomu terenu +2,5 m do rzędnej –3,50 ÷ –4,0 m zalegają narefulowane grunty piaszczyste średnio i drobnoziarniste, średnio zagęszczone, poniżej do rzędnej –10 ÷ –11 m występują piaski drobnoziarniste, średniozagęszczone na pewnych odcinkach zamulone. Poniżej zalega podłoże rodzime, które stanowią grunty piaszczysto-żwirowe, średnio zagęszczone przechodzące w głąb w zagęszczone.

## PRZEKRÓJ POPRZECZNY NABRZEŻA

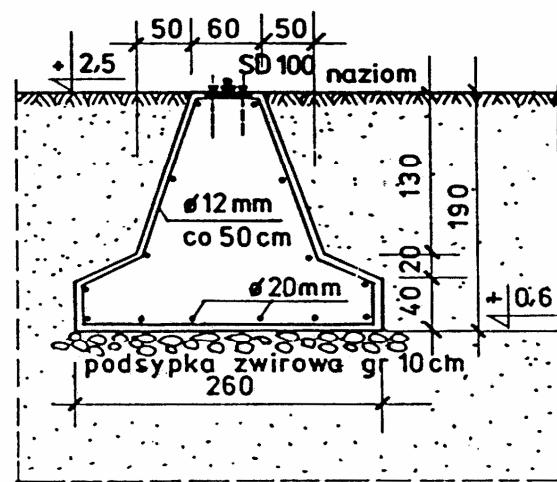


## PRZEKROJE POPRZECZNE BELEK PODDŹWIGOWYCH

### BELKA ODWODNA



### BELKA ODLĄDOWA



Rys. 1. Przekrój poprzeczny nabrzeża i przekroje poprzeczne belek poddźwignicowych.

Pierwsze zainstalowane żurawie o udźwigu  $Q=5T$  pracowały od 1937 roku. W wyniku działań wojennych w 1945 roku nabrzeże uległo licznym uszkodzeniom. W wyniku eksplozji założonych ładunków wybuchowych ściany skrzyń zarysowały się lub nawet popękały, a niektóre uległy zniszczeniu w górnej części. Nabrzeże odbudowano w latach 1945 ÷ 1946, poczym rozpoczęto jego normalną eksploatację. Zainstalowano wówczas żurawie o nośności udźwigu  $Q=7T$ , a następnie (po remoncie w latach 60-tych) żurawie  $Q=8T$ , które dawały obciążenie pasmowe rzędu 14,7 T/mb toru odlądowego i 18,8 T/mb toru odwodnego. Żurawie te w ilości 9 sztuk na całym nabrzeżu pracowały nieprzerwanie do 1986 roku w stopniu intensywnym.

### 3. Analiza możliwości zainstalowania cięższych żurawi nabrzeżowych

Z uwagi na planowane dalsze zwiększenie możliwości przeładunkowych na omawianym nabrzeżu Inwestor zlecił w 1984 roku do BPBM w Gdańsku opracowanie „Orzeczenia o możliwości zainstalowania nowych, cięższych, żurawi o udźwigu  $Q=10T$  oraz  $Q=16T$  produkcji firmy GANZ”.

#### 3.1. I część orzeczenia – analiza materiałów

Zapoznano się i przeanalizowano następujące materiały i dane:

- a) Typ i wielkość statków cumujących przy nabrzeżu
- b) Plan batymetryczny dna w pasie przy nabrzeżu
- c) Rysunki inwentaryzacyjne aktualnego stanu technicznego skrzyń nabrzeżowych i muru nadwodnego
- d) Rodzaj i wielkość urządzeń cumowniczo-odbojowych
- e) Projekty archiwalne omawianego nabrzeża w tym toru poddźwignicowego, wyniki oględzin belek, badań wytrzymałości betonu tych belek, pomiary geodezyjne niwelety ułożenia szyn poddźwignicowych
- f) Wielkość i stan techniczny istniejących odbojów na krańcach torów poddźwignicowych
- g) Obciążenia użytkowe od kół jezdnych nowych żurawi
- h) Obciążenia użytkowe od torów kolejowych pomiędzy torami poddźwignicowymi oraz od zasobni w pobliżu odlądowego toru poddźwignicowego.

Przeprowadzona analiza materiałów i dokonane oględziny wykazały:

- Głębokość dna w linii cumowniczej nabrzeża przebiega na rzędnej  $-8,0 \div -9,2$  m, w odległości 5 m od linii cumowniczej wynosi  $-10,3 \div -11,0$  m, zaś w odległości 10 m  $-11,3 \div -11,5$  m. Dno jest nieumocnione, w warstwie przydennej zalegają resztki węgla i rudy.

Bezpośrednio przy linii cumowniczej cumują statki o zanurzeniu 9,0 m. Statki większe o zanurzeniu 10 m cumuje się przy użyciu pontonów dystansowych, o szerokości 5 m. Statki o zanurzeniu 11 m cumuje się przy użyciu pontonów o szerokości 10 m.

- Każda skrzynia nabrzeżowa wykazuje drobne, lokalne ubytki sięgające na głębokość  $2 \div 3$  cm. Jednakże na kilku skrzyniach zinwentaryzowano także stosunkowo głębokie i długie bruzdy o głębokości  $10 \div 20$  cm i przeciętnej długości

80 ÷ 300 cm w ilości od 2 do 4. Jedna ze skrzyń (nr 14) posiada również 2 rozległe ubytki na powierzchni ok. 2 x 2,2 oraz 2 x 3 m sięgające na głębokość do 30 cm.

- Mur nadwodny nie wykazuje istotnych uszkodzeń czy rys, poza wykruszeniami dolnej odwodnej krawędzi sięgającymi na głębokość do 20 cm. Mur ten spoczywa na odwodnej ścianie skrzyni o grubości 50 cm.
- W belce odlądowej po dokonaniu kilku odkrywek na jej długości nie stwierdzono rys czy spękań jej korpusu. Stwierdzono natomiast w kilku miejscach, przy dylatacjach wykruszenia podlewki pod blachą mocującą.

Na obu belkach poddźwignicowych ułożona jest szyna typu SD 100 w sposób sztywny (nieprzesuwany). Jest ona przyspawana na całej długości do ciągłej blachy stalowej 16 x 380 mm, która jest z kolei przytwierdzona śrubami kotwiącymi M 20 co 50 cm do korpusu belki. Znamienne jest, że nie stwierdzono żadnych wykruszeń w otoczeniu blachy ani obłuzowań śrub mocujących.

- Wykonane przez Politechnikę Gdańską badania jakości betonu dla obu belek poddźwignicowych przeprowadzono metodą sklerometryczną (młotek Schmidta typu „N”) oraz metodą nieniszczącą ultradźwiękową (betonoskop). Przeprowadzono również badania niszczące na próbkach wyciętych z korpusu belek przy użyciu prasy wytrzymałościowej. Uzyskane wyniki wykazały znaczne zróżnicowanie wytrzymałości betonu na długości toru. Średnie wytrzymałości betonu podlewki wahają się w granicach  $R = 110 \div 310 \text{ KG/cm}^2$  dla belki odwodnej oraz  $110 \div 230 \text{ KG/cm}^2$  dla belki odlądowej. Natomiast dla korpusu belek  $R = 250 \div 300 \text{ KG/cm}^2$  dla belki odwodnej oraz  $140 \div 240 \text{ KG/cm}^2$  dla belki odlądowej.
- Wykonane pomiary geodezyjne przebiegu niwelety szyn poddźwignicowych wykazują na znaczne przekroczenie tolerancji normowych wg BN-68/2163-02 (Dźwignice portowe, tory poddźwignicowe proste. Wymagania) oraz tolerancji podanych, przez producenta nowych żurawi.

Wartości liczbowe wymaganych tolerancji wynoszą:

- tolerancja rozstawu obu szyn  $\Delta L = \pm 10 \text{ mm}$  ( $\pm 8 \text{ mm}$ )
- tolerancja na wysokości obu szyn  $\Delta H = \pm 28 \text{ mm}$  (15 mm)
- tolerancja boczna każdej szyny  $\Delta l = - (4 \text{ mm/L})$
- tolerancja pionowa każdej szyny  $\Delta W = 12 \text{ mm}$  (10 mm/L)

Wartości w nawiasach dotyczą wymagań polskiej normy.

Należy stwierdzić przekroczenie wymaganych tolerancji poziomych na niemal połowie długości toru poddźwignicowego. Maksymalne wartości  $\Delta L$  wynoszą: -29 mm, -43 mm, -34 mm, -28 mm. Maksymalne wartości  $\Delta l$  na szynie odwodnej wynoszą: 16 mm, 21 mm, 26 mm, 42 mm, na szynie odlądowej wartości  $\Delta l$  mieszczą się w granicach tolerancji. Nie stwierdzono natomiast przekroczenia tolerancji pionowych: maksymalne wartości  $\Delta H$  wynoszą: 20 mm, 24 mm, maksymalne wartości  $\Delta W$ : 11 mm, 9 mm – również tylko na szynie odwodnej. Styki poszczególnych odcinków szyn są ukosowane pod kątem 45° z pozostawieniem 2 ÷ 3 mm luzu.

### 3.2. II część orzeczenia – obliczenia statyczne

Obliczenia te obejmują:

- a) Sprawdzenie stateczności całej budowli tj. nabrzeża skrzyniowego pod zwiększonym obciążeniem od nowych żurawi o udźwigu  $Q=10 \text{ T}$  i  $Q=16 \text{ T}$ .

- b) Sprawdzenie wytrzymałości i osiadań belek istniejącego toru poddźwignicowego pod obciążeniami jw.

Z uwagi na intensywną blisko 50 letnią eksploatację omawianego podtorza, dysponowanie ogólnymi parametrami gruntowymi i uśrednionymi wytrzymałościami betonowych belek podtorza oraz niezbyt dokładnie określonymi obciążeniami od nowych żurawi (były one wówczas na etapie projektowania) zastosowano metodę ogólnych współczynników bezpieczeństwa odnośnie sprawdzenia stateczności nabrzeża oraz metodą obciążeń krytycznych odnośnie wytrzymałości betonowych belek poddźwignicowych.

W zakresie obliczeń stateczności nabrzeża otrzymano:

- współczynnik stateczności na ewentualność wywrócenia  $n = 2,43$
- współczynnik stateczności na ewentualność przesunięcia  $n = 1,39$
- współczynnik stateczności na ewentualność poślizgu  $n = 1,28$
- wartość maksymalnych nacisków na podłoże gruntowe  $\sigma = 3,4 \text{ KG/cm}^2$

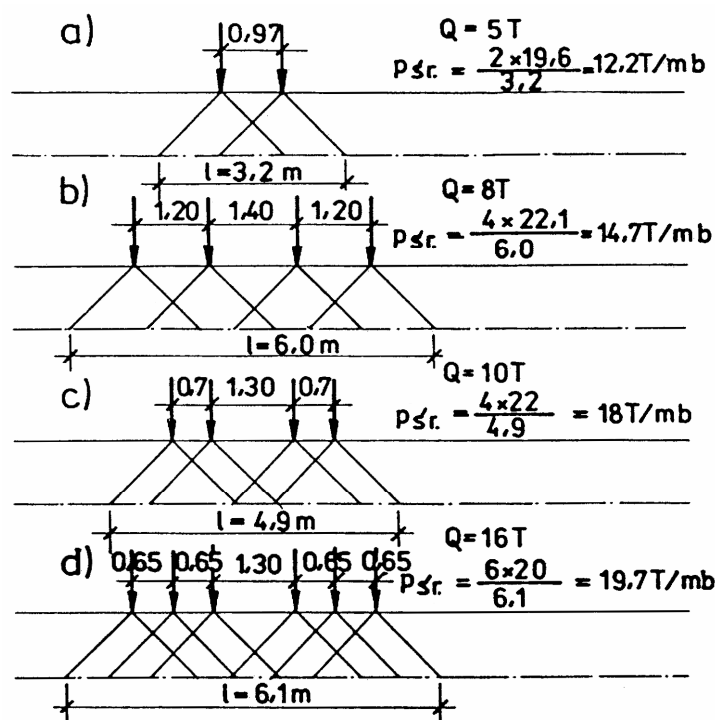
Uznano, że zgodnie z kryterium Hueckela powyższe wartości zapewniają zachowanie stateczności omawianego nabrzeża.

Następnie sprawdzono wytrzymałość istniejących belek poddźwignicowych pod nowym zwiększonym obciążeniem. Już wstępne porównanie wartości obciążeń pasmowych otrzymanych z rozkładu obciążeń od kół jezdnych (sprowadzonych do osi obojętnej belki) dla żurawi nowych i obecnie pracujących (rys.2) wykazuje przekroczenie dotychczasowych obciążeń o blisko 22% dla żurawi  $Q=10T$  oraz blisko 34% dla  $Q=16T$ . Wytrzymałość podtorza limitowana jest przez belkę odładową posadowioną w gruncie (belka odwodna spoczywa na odwodnej ścianie skrzyni). Belkę tę przeliczono jako belkę na podłożu sprężystym, korzystając z linii wpływowych: momentów zginających, sił tnących i naprężeń gruntu. W obliczeniach sprawdzających przyjęto markę betonu w korpusie belki równą (umownie)  $170 \text{ KG/cm}^2$ . Otrzymano znaczne, gdyż 37% przekroczenie naprężeń dopuszczalnych na rozciąganie ( $\sigma_{\max} = 7,22 \text{ KG/cm}^2$ ) przy nieznacznym naprężeniu głównych sił tnących ( $\tau_{\max} = 2,78 \text{ KG/cm}^2$ ).

Otrzymano również nieznaczące wartości naprężeń wywieranych na grunt ( $\sigma_{\max} = 1,2 \text{ KG/cm}^2$ ), a stąd osiadania nieprzekraczające 2 mm na dylatacji i 1 mm na długości belki. Wobec powyższego określono maksymalne dopuszczalne naciski od kół jezdnych przy ich zadanym rozstawie, oraz alternatywnie minimalne rozstawy kół dla zadanych nacisków. Otrzymano:

- a) dla żurawia  $Q = 10T$ ,  $P_{\max} = 13,5T/\text{koło}$  dla  $r = 0,7\text{m}$  lub  $r_{\min} = 1,5\text{m}$  dla  $P_{\max} = 22T/\text{koło}$ , oraz  
b) dla żurawia  $Q = 16T$ ,  $P_{\max} = 13,0T/\text{koło}$  dla  $r = 0,65 \text{ m}$  lub  $r_{\min} = 1,4\text{m}$  dla  $P_{\max} = 20T/\text{koło}$ .

W wyniku propozycji projektanta producent nowych żurawi zmodyfikował wyjściowy układ wózków jezdnych, dodając po dwa koła w każdej podporze, co wyraźnie zmniejszyło obciążenia od kół jezdnych do wartości uznanych za bezpieczne.



Rys. 2. Uśrednione obciążenia pasmowe od kół jezdnych żurawi na omawianym nabrzeżu

#### 4. Remontowe prace adaptacyjne na omawianym podtorzu

W krótkim czasie BPBM Gdańsk wykonało projekt remontu omawianego podtorza. Na wniosek Inwestora zminimalizowano prace budowlane, które po ostatecznych decyzjach obejmowały:

- Wymiana nieprostoliniowych odcinków szyn na tych odcinkach, na których tolerancje producenta żurawi były przekroczone. Powyższe prace wykonano jedynie na szynie odwodnej, o zdecydowanie gorszej niwelecie. Założenie takie narzucało szczególną dokładność przy wykonywaniu tych prac, gdyż istniejące deniwelacje szyny odlądowej plus nieuniknione drobne odchyłki montażowe musiały mieścić się w wymaganych tolerancjach producenta nowych żurawi. Godnym podkreślenia jest fakt, że wymianę poszczególnych odcinków szyn wykonawca zrealizował w niekonwencjonalny sposób, bez rozkuwania warstwy podlewki, a jedynie przez odspojenie (oszlifowanie) szyny od blachy podstawy. Po dokładnym zeszlifowaniu z resztek spoiny nowe odcinki szyn ponownie przyspawano do blachy podstawy mieszcząc się w wymaganych tolerancjach.
- Wymiana podlewki w miejscach przy dylatacjach. W dwóch miejscach przy dylatacji belki miało miejsce wyraźne osiadanie końców szyn (rzędu  $4 \div 5$  mm) podczas przejazdu żurawia. Przyczyną tego było wykruszenie się podlewki w tych miejscach. Wobec powyższego wykonano nowy fragment podlewki z betonu drobnoziarnistego o konsystencji gęstoplastycznej z ubijaniem porcjami pod stalową blachą.
- Na obu krańcach toru poddźwignicowego zainstalowano nowe odboje wyposażone w zderzaki sprężynowe S-75. Obliczone one zostały na uderzenie od nowych żurawi. Istniejące odboje zamocowane na śrubach kotwiących zdemontowano. Nowe odboje ustawiono z góry i dospawano do stopki szyny spoiną ciągłą. Zachowano przy tym

dużą dokładność usytuowania zderzaków nie tylko na wysokości lecz również parami, na obu krańcach torów.

Dodać należy, że we wszystkich przeprowadzonych pracach budowlanych używano betonu hydrotechnicznego W-6, M-150.

Wykonawcą omawianych robót był Zakład Usług Hydrotechnicznych inżyniera Kulińskiego.

Równoległe z pracami na podtorzu przeprowadzono remont części podwodnej skrzyń nabrzeżowych. Wszystkie zinwentaryzowane wyrwy odtworzono ze wzmocnieniem siatką zbrojenia, mniejsze ubytki wypełniono zaprawą naprawczą.

## **5. Eksploatacja nabrzeża po zainstalowaniu nowych żurawi**

Dla montażu i prób nowych żurawi wydzielono odcinek 106 mb toru poddźwignicowego. Przeprowadzone tam próby przeciążeniowe wykazały poprawną pracę żurawi i samego podtorza. Sukcesywnie montowano kolejne żurawie.

Obecnie po zainstalowaniu 4 żurawi Q=16T i 5 żurawi Q=10T Użytkownik ocenia ich pracę za w pełni prawidłową. Ocena samego podtorza również nie budzi zastrzeżeń.

## **6. Podsumowanie**

- 6.1. Jest sprawą oczywistą, że dopuszczenie do zwiększonego obciążenia nabrzeży udźwigowionych musi zapewnić jego bezpieczną eksploatację, co powinno być przedmiotem dokładnej analizy i jednoznacznej opinii technicznej.
- 6.2. W przypadku przekroczenia stateczności istniejącego nabrzeża czy wytrzymałości torów poddźwignicowych, nierzadko przystępuje się do ich przebudowy. Poza znacznymi kosztami wiąże się to z pracochłonnym wykonawstwem i długoterminowym wyłączeniem nabrzeża z eksploatacji. Inne podejście do tego zagadnienia polega na takim dostosowaniu układu jezdnych nowych żurawi aby przekazywane obciążenia nie przekraczały wartości uznanych za dopuszczalne.
- 6.3. Wymiana szyn poddźwignicowych w przypadku niespełnienia tolerancji ich ułożenia nawet w przypadku zamocowania ich na stałe, niekoniecznie wymaga wymiany szyny wraz z jej zakotwieniem.
- 6.4. Projektując nowe budowle udźwigowione zaleca się uwzględniać dodatkowy współczynnik zwiększający obciążenia od kół jezdnych żurawi – wg propozycji prof. B. Mazurkiewicza współczynnik równy 1,2. Pozwoli to dysponować pewną rezerwą, niezależniącą w przyszłości od konieczności przebudowy podtorza lub układu jezdnych cięższych żurawi.

## **Literatura:**

- [1] Hueckel S.: Budowle morskie, Wydawnictwa Morskie Gdańsk 1974.
- [2] Inwentaryzacja skrzyń Nabrzeża Holenderskiego. Stan z 1984r. Materiały przekazane przez Inwestora.
- [3] Kowalski K., Mazurkiewicz B.: Tory poddźwignicowe. Studia i materiały Katedry Budownictwa Morskiego Politechniki Gdańskiej. Zeszyt 14, 1990.



- [4] Mazurkiewicz B.: Zalecenia do projektowania morskich konstrukcji hydrotechnicznych. Zeszyt 3, Z 21, 1986.
- [5] Norma BN-68/2163-02 Dźwignice portowe. Tory podźwignicowe proste. Wymagania.
- [6] Orzeczenie DT/51/84 o wytrzymałości betonu w konstrukcji belek podtorza na Nabrzeżu Holenderskim. Opracowanie laboratorium Politechniki Gdańskiej - X.1984r.
- [7] Pomiary geodezyjne ułożenia szyn podźwignicowych na Nabrzeżu Holenderskim wykonane przez OPGK Gdynia VI. 1984r. oraz po adaptacji nabrzeża - XII. 1986r.
- [8] Projekty archiwalne BPBM Gdańsk dotyczące omawianego nabrzeża.
- [9] Zestawienie nacisków od kół jezdnych żurawi Q=10T, Q=16T firmy GANZ oraz wymagane tolerancje ułożenia szyn podźwignicowych. Materiały przekazane przez Inwestora.