

Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską – rozwiązanie projektowe – według opracowania konsorcjum Mosty Gdańsk – Projmors (część 4 B)

**Mgr inż. Jerzy Drażkiewicz², mgr inż. Martyna Golan², inż. Adam Hińcza¹,
dr inż. Andrzej Kasprzak¹, inż. Daniel Klasa¹, mgr inż. Marek Kowalski²,
mgr inż. Tomasz Michnowicz¹, mgr inż. Adam Nadolny¹, mgr inż. Piotr Pauś²**

¹Mosty Gdańsk Sp. z o.o.

²PROJMORS Sp. z o.o. Biuro Projektów Budownictwa Morskiego w Gdańsku

KANAŁ ŻEGLUGOWY

W ramach kanału żeglugowego przedstawiono konstrukcję oczepu nabrzeża ze względu na zastosowanie prefabrykatów osłonowych. Dodatkowo, w związku z zastosowaniem w projekcie ściany śluzy w postaci ścianki szczelnej szczelinowej [3 i 4], przedstawiono sposób przejścia przez śluzę kabli zasilania z jednego brzegu na drugi.

Konstrukcja oczepu

Oczep stanowi element wieńczący „koronę” nabrzeża podtrzymującego naziom od strony lądu oraz osłaniający stalową ściankę szczelną od strony wody, zwłaszcza w strefie zmiennych poziomów wody. Oczep stanowi wzmocnienie konstrukcji nabrzeża w jego górnej strefie ze względu na cumowanie statków, w tym przez zainstalowane urządzenia odbojowe.

W przypadku stalowej ścianki szczelnej oczep z obniżoną dolną krawędzią poniżej średniego poziomu wody (jak w tym przypadku) zapobiega skutecznie korozji metalu ścianki szczelnej, zwłaszcza w strefie zmiennych poziomów zwierciadła wody, które okresowo odsłaniając metalową ścianę, przyczyniają się do jej korozji. Im niżej jest spód oczepu, tym skuteczniejsza będzie ochrona stalowej ścianki szczelnej.

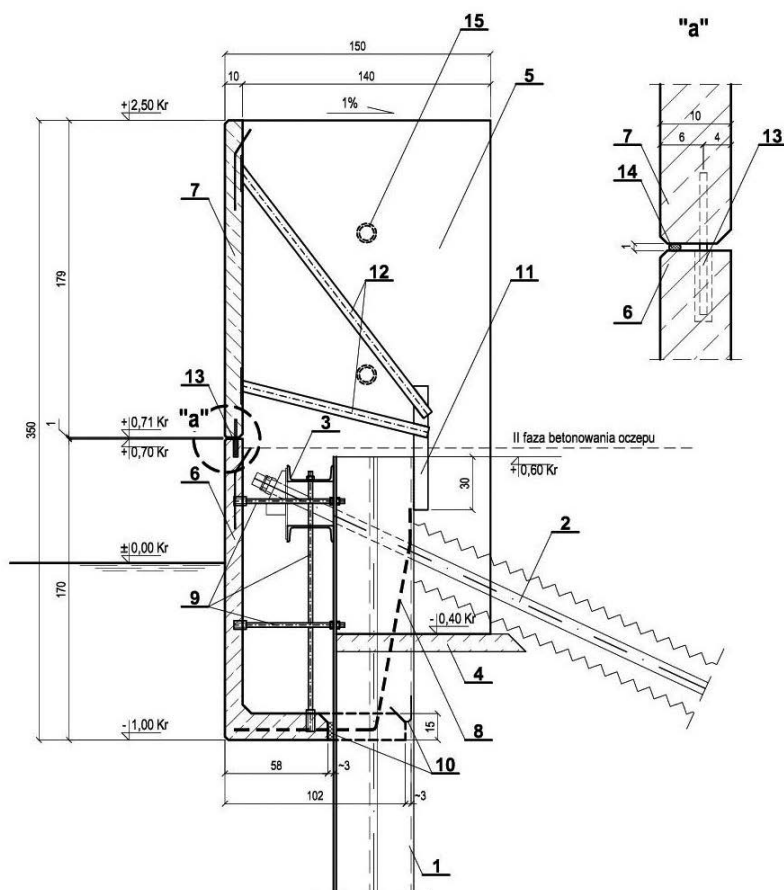
Powyższe nie dotyczy ścianki szczelnej szczelinowej, którą zastosowano w konstrukcji śluzy. W przypadku nabrzeży kanału żeglugowego, w tym śluzy (ściany boczne), zastosowanie takiego samego oczepu umożliwia ujednolicenie konstrukcji oczepu oraz jego estetykę i zapewnia dobrą eksploatację budowli.

W konstrukcji oczepu zastosowano, od strony wody, żelbetowe prefabrykaty osłonowe (rys. 1), które można nazwać także szalunkowymi. Płyty osłonowe są wykonywane poza placem budowy. Zaletą tego rozwiązania jest doskonała jakość ich wykonania. To wymaga jednak szczególnej kontroli inspektora nadzoru. Powinien on dopilnować wytwarzania prefabrykatów osłonowych bardzo dobrej jakości w każdym szczególe. Prefabrykowane płyty osłonowe nadają oczepowi odpowiedniego estetycznego wyglądu, a jednocześnie, dzięki dobrej jakości betonu, uniemożliwiają penetrację wody i mrozu, czyniąc je prawdziwą tarczą ochronną masy betonowej oczepu. Oczywiście, jak to często bywa w hydrotechnice, coś za coś. Elementy prefabrykowane muszą być jakościowo znakomite, jednak po ich wytworzeniu muszą być ustawione na koronie ścianki szczelnej za pomocą dźwigu. Ponadto, prawidłowe ustawienie prefabrykatów osłonowych powinno zapewnić jednolitą pionową płaszczyznę ściany odwodnej oczepu, z odpowiednim uszczelnieniem styków między płytami (w pionie i w poziomie) oraz między dolnymi płytami a ścianką szczelną stalową lub szczelinową.

Konieczne jest także, aby oczepy sąsiadujących ze sobą sekcji były połączone konstrukcyjnie dyblami w dwóch miejscach (podobnie jak sekcje płyty dna śluzy). Taka konstrukcja umożliwia przekazywanie części obciążeń i włączenie do współpracy sąsiednich sekcji nabrzeża.

Po ułożeniu masy betonowej w oczepie i osiągnięciu założonej wytrzymałości betonu zewnętrzne powierzchnie (także płyt osłonowych) należy pokryć substancją hydrofobową.

W prefabrykacjach osłonowych często należy przewidzieć przejście wylotów instalacji odwodnienia terenu (w miejscu



Rys. 1. Przekrój oczępu nabrzeża w kanale żeglugowym

1 – stalowa ścianka szczelna korytkowa; 2 – mikropal kotwiący; 3 – kleszcz stalowy $2 \times C260$; 4 – warstwa betonu wyrównawczego; 5 – oczęp nabrzeża; 6 – dolny żelbetowy prefabrykat osłonowy $2,4 \times 1,7 \times 0,1$ m; 7 – górny żelbetowy prefabrykat osłonowy $2,4 \times 1,79 \times 0,1$ m; 8 – pręt montażowy #16 spawany do brzośców ścianki szczelnej; 9 – śruby M24 do zamocowania i wyrównania dolnego prefabrykatu osłonowego; 10 – uszczelnienie drewnem lub blachą ekspansywną; 11 – kształtownik spawany do brzośców ścianki szczelnej; 12 – zamontowanie górnego prefabrykatu przy pomocy stalowych kształtowników; 13 – trzpień stalowy; 14 – uszczelnienie



Rys. 2. Widok oczępu nabrzeża portowego z zastosowaniem w oczępie płyt osłonowych

wskazany na planie wyposażenia) przez wcześniejsze określenie położenia otworu lub przez nawiercenie w prefabrykacji otworów określonych z natury. Zatem wymagane jest wcześniejsze osadzenie rur osłonowych wylotów instalacji odwodnienia terenu (z uszczelnieniem przejścia rury przewodowej w rurze osłonowej).

Wykonywanie robót hydrotechnicznych budowli morskich z zastosowaniem prefabrykatów osłonowych (rys. 2) wymaga jednak pewnych zabiegów technicznych i może być uciążliwe, ale ostatecznie jest opłacalne. Ponadto (jak w tym przypadku) można wykształcić spód oczepu, tak zwaną podłogę, dzięki czemu nie jest konieczne prowadzenie prac bezpośrednio pod wodą przy formowaniu oczepu.

Przy wysokich oczepach (jak w tym przypadku) stosuje się dwie płyty ustawiane jedna nad drugą w kolejności faz betonowania oczepu. W zamian otrzymuje się bardzo dobrej jakości i estetyczną ścianę odwodną zapewniającą utrzymanie oczepu w bardzo dobrym stanie podczas eksploatacji nabrzeża.

Pewien kłopot sprawia instalacja różnych elementów w oczepie, na przykład urządzeń odbojowych. Ten problem rozwiązuje się przez nawiercenie otworów w gotowym oczepie i mocowaniu elementów odbojnicy przez zastosowanie kotew wklejanych. W przypadku drabinki wyjściowej stosuje się rozsuniecie prefabrykowanych płyt lub płyty o odpowiednio mniejszej długości i wykonaniu „na mokro” wnętrza na drabinę.

Ewentualne przejście różnych instalacji przez płytę, prostopadle do jej powierzchni, wykonuje się albo po osadzeniu płyty, wycinając w płycie otwór, lub też przy większych średnicach wykonuje się prefabrykat z odpowiednio dużym otworem do przejścia rury.

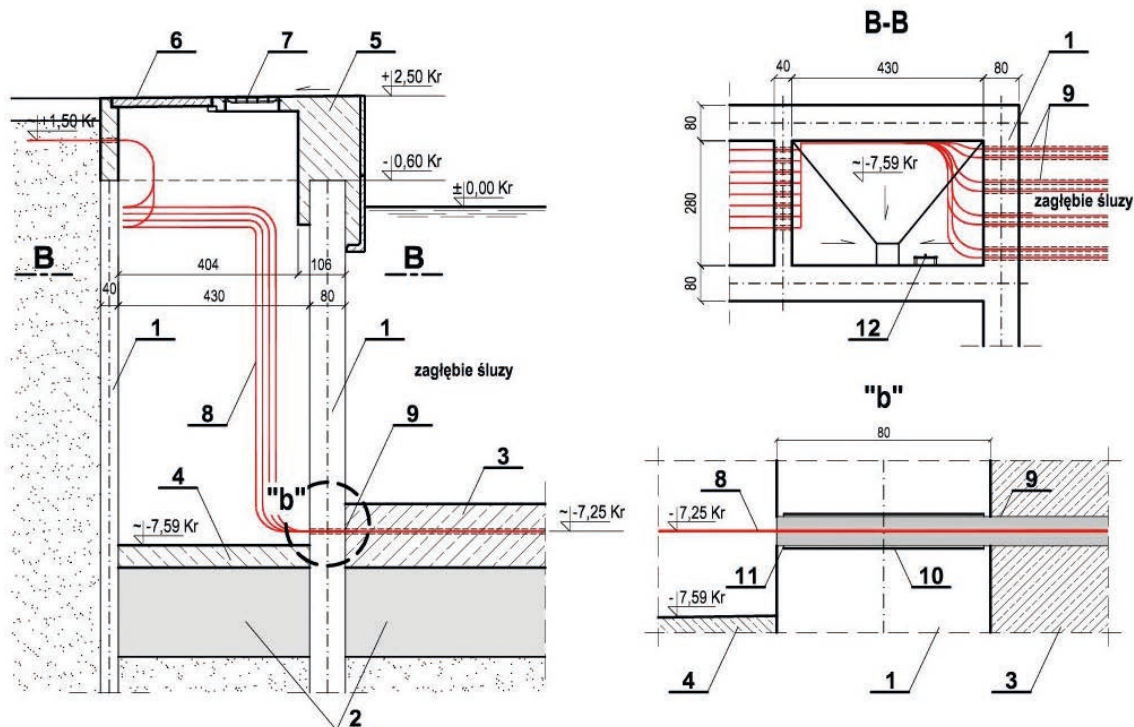
Do takich prac firma realizująca budowlę musi mieć jednak pewnego rodzaju kulturę techniczną i organizacyjną wynikającą z realizacji szeregu podobnych robót.

Komory kablowe

Ze względu na fakt, że kanał żeglugowy dzieli teren mierzei na całej jej szerokości, zdecydowano, aby na potrzeby zasilania obiektów kanału żeglugowego wykonać przejście na kable zasilania. W tym celu przewidziano przejście rur ochronnych do kabli w dnie śluzy (wykonywanym w dwóch etapach betonowania). W celu umożliwienia przejścia kabli przewidziano dwie komory (wykształcone w ścianie szczelinowej na obu brzegach śluzy) usytuowane tuż przy północnej wnęcie na bramy śluzy. W związku z powyższym w segmencie zbrojenia ściany szczelinowej (w miejscu komory kablowej) przewidziano zamontowanie rur stalowych zabezpieczających, które umożliwią przejście rur osłonowych do kabli. Na czas wykonywania ściany szczelinowej rury stalowe zabezpieczające, osadzone w koszu zbrojeniowym, powinny być wypełnione styropianem, który po zbudowaniu ściany szczelinowej komory kablowej będzie usunięty.

Ściana szczelinowa wykonywana jest do poziomu +0,6 m. Stąd też konieczna jest do wykonania nadbudowa komory (z uwzględnieniem oczepu nabrzeża) do rzędnej +2,5 m (rys. 3). W każdej komorze przewidziano drabinę z prowadnicą na zacisk zaczepu ubezpieczającego oraz odpowiednio wykształcono powierzchnię dna w celu usunięcia wody, która może zbierać się wskutek nieszczelności w nadbudowie komory.

Kable zasilania energetycznego będą „wchodzić” do studni kablowej (do czołowej komórki w filarze z przejściem przez



Rys. 3. Studnia kablowa w konstrukcji ściany bocznej śluzy

1 – obudowa studni kablowej ze ściany szczelinowej; 2 – „korek betonowy”; 3 – betonowe dno śluzy; 4 – betonowe dno komory kablowej; 5 – oczep nabrzeża śluzy; 6 – prefabrykowana płyta przekrycia; 7 – właz żeliwny; 8 – kable elektryczne; 9 – rury osłonowe PCV przejścia kabli w dnie śluzy; 10 – stalowa rura osłonowa zainstalowana w koszu zbrojeniowym ściany szczelinowej; 11 – uszczelnienie żywicą przestrzeni pomiędzy rurą stalową, a PCV; 12 – drabinka obsługowa studni kablowej; 13 – kosz zbrojeniowy ściany szczelinowej; 14 – styropian osłonowy

ścianę szczelinową) z odpowiednim uszczelnieniem przejścia rur osłonowych (rys. 3) ułożonych w płycie dna (betonowanym w drugim etapie) i następnie z wejściem przez ścianę szczelinową do studni kablowej na drugim brzegu.

Przejście innych instalacji, na przykład gazu, wody itp., pod kanałem żeglugowym jest oddzielnym zagadnieniem. Przewidziano jednak, że przejścia te wykonają gestorzy sieci przewiertem sterowanym (na rzędnej około – 20 m) pod elementami konstrukcji wyznaczającymi kanał żeglugowy.

Konstrukcja ściany szczelinowej

W rozwiązaniu śluzy przyjęto ścianę szczelinową o grubości 80 cm i zmiennej długości [4] w zależności od warunków gruntowych, zakotwioną w gruncie za pomocą mikropali. Częściowo, to znaczy wzdłuż wnek na bramy śluzy, zadysponowano podwójną ścianę szczelinową ze stężeniami tworzącymi „sztywny” filar. Taka konstrukcja to kompromisowe rozwiązanie, bowiem w przypadku pojedynczej ściany jej zakotwienie, w postaci mikropali, nakładałoby się w sposób kolizyjny na zakotwienie nabrzeża.

Zwraca się uwagę, że w jednej z sekcji płyty dna śluzy (realizowanej w drugim etapie betonowania) przebiegają rury osłonowe do kabli zasilania. Rury do kabli przebiegają poprzecznie do osi śluzy między komorami kablowymi rozmieszczonymi w obu ścianach bocznych śluzy, tuż przy północnej kieszeni na bramy śluzy.

Przejście kabli przewidziano przez skrajną komórkę filara (od strony komory śluzy) obudowy wneki bram, z przejściem

kabli przez ścianę szczelinową w rurach osłonowych (rys. 4) i dalej przez dno śluzy w górnej strefie dna śluzy powyżej tak zwanego „korka”. Wyjście kabli poprzez ścianę szczelinową (po stronie wschodniej) następuje wprost do studni kablowej utworzonej z segmentów ściany szczelinowej. Aby studnie (komory kablowe) po obu stronach śluzy mogły być użytkowane, należy wydobyć grunt z ich wnętrza, podobnie jak w śluzie, zainstalować pionowe mikropale kotwiące i wykonać (w dwóch etapach) betonowe dno, podobnie jak dno w komorze śluzy. Przejście dla kabli przez ścianę szczelinową przewidziano z odpowiednim uszczelnieniem rury osłonowej.

W celu ułatwienia wykonania zbrojenia ścian szczelinowych ograniczono liczbę rodzajów tak zwanych koszy zbrojeniowych, przy czym wszystkie przewidziano o szerokości 2,8 m. Po wykonaniu ścian szczelinowych i oczepów nabrzeży powierzchnię ściany szczelinowej, od strony komory śluzy, należy wyrównać, stosując odpowiedni zaczyn. Po usunięciu gruntu z powierzchni ściany i nadmiernych zgrubień powierzchnię ściany należy wyrównać na gładko.

Dno śluzy

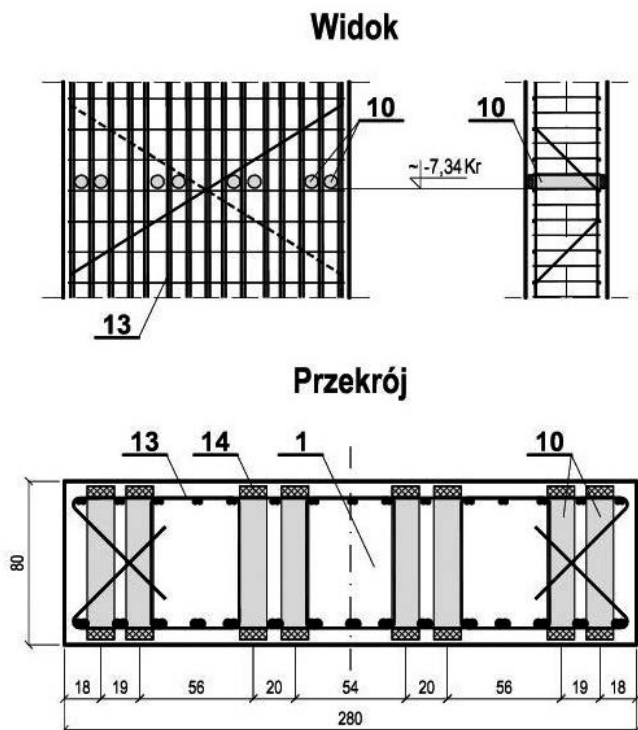
Dno śluzy przewidziano do wykonania przy wykorzystaniu obu nabrzeży śluzy oraz obu wnek (kieszeni) przeznaczonych na bramy.

Aby wykonanie dna śluzy było możliwe, niezbędna jest wcześniejsza realizacja nabrzeży tworzących komorę oraz głowy śluzy wraz z kieszeniami na bramy, a także obie robocze grodze ze stalowej ścianki szczelnej. Oczywiście konstrukcje nabrzeży muszą być zakotwione mikropalami, a grodze robocze w obu końcach śluzy rozparte przed realizacją dna śluzy. W projekcie dno śluzy przewidziano w postaci betonowej płyty (wykonywanej w dwóch fazach) kotwionej pionowymi mikropalami przenoszącymi działanie sił wyporu wody.

W celu realizacji zakotwienia dna śluzy zalecono wydobyć grunt ze śluzy do rzędnej – 9,59 m. Umożliwi to swobodną realizację (jako jedną z możliwości) zakotwienia z wody przy użyciu pontonu pływającego. Żerdź kotew mikropalowych powinna pozostać powyżej naturalnego dna w celu jej „osadzenia” (zakotwienia) w obu częściach płyty dna śluzy.

Betonowanie dna śluzy

Wykonanie dna śluzy przewidziano w dwóch etapach (fazach). W pierwszym etapie beton układany byłby pod wodą na wysokość dwóch metrów na całej powierzchni po wydobyć gruntu z komory śluzy i po sprawdzeniu wystających żerdzi mikropali, na których należy osadzić na odpowiednim poziomie płytki kotwiące. Biorąc pod uwagę brak zapewnienia całkowitej szczelności „korka” oraz struktury betonu zbrojonego siatkami stalowymi w innych realizacjach, przekrój „korka” w śluzie Mierzei Wiślanej przewidziano „zbroić” betonem podwodnym z zastosowaniem minimum 2,5 kg/m³ konstrukcyjnego włókna polimerowego zmieniającego charakter zniszczenia elementów z kruchego (beton) na pseudoplastyczny (fibrobeton).



Rys. 4. Przejście kabli przez ścianę szczelinową
Oznaczenia jak na rys. 3

W drugiej fazie robót, przy wykonywaniu dna śluzy, ważne jest odpowiednie ukształtowanie dna ze względów eksploatacyjnych, przy czym betonowanie odbywać się będzie bez obecności wody w zagłębieniu. Dno śluzy w komorze podzielono na sekcje, które należy wykonywać co drugą ze względu na skurcz betonu. Podział na sekcje, jak i ukształtowanie dna, wynika z odpowiedniego przystosowania powierzchni dna zapewniającej grawitacyjny spływ wody w przypadku konieczności opróżnienia komory śluzy z wody, np. ze względu na konieczny remont. Przewiduje się spływ powierzchniowy wody po dnie w kierunku ścian śluzy do wzdłużnego kanalika o zmiennym nachyleniu dna i dalej w kierunku do studzienki zbiorczej umożliwiającej wypompowanie pozostałej na dnie wody.

Ze względów konstrukcyjnych przewidziano w dylatacjach płyty (wykonywanej w drugiej fazie betonowania) zastosowanie dybli z elementów stalowych w rozstawie (poprzecznie do osi śluzy) co 1 metr, które zapewnią stabilność płyty dennej śluzy.

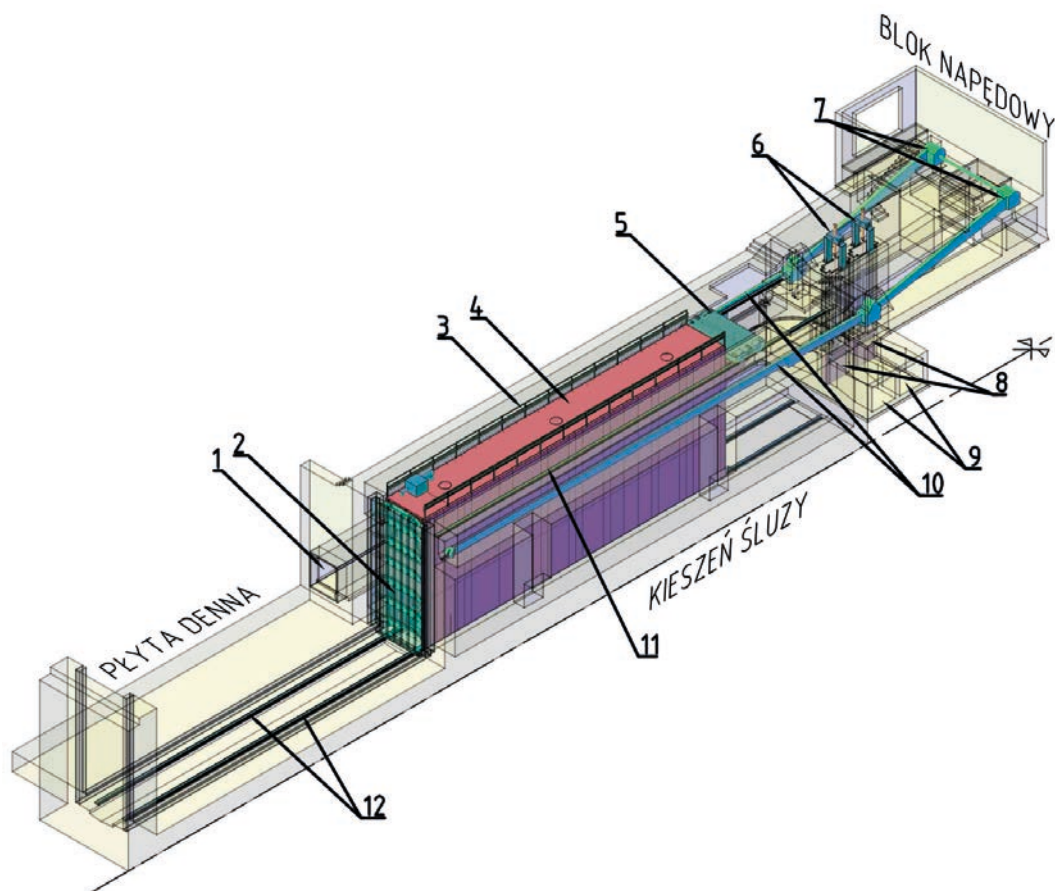
Bramy śluzy

Bramy śluzy stanowią urządzenia wygradzające komorę śluzy, zlokalizowane w jej głowach. Na układ zamknięcia jednej głowy śluzy składają się dwie stalowe konstrukcje bram (rys. 5), żelbetowa wnęka (kieszeń podzielona na dwie części) oraz budynek bloku napędowego. Ze względu na znaczną szerokość

śluzy oraz zróżnicowany poziom wód (po obu stronach śluzy) przyjęto system podwójnych wrót przesuwnych (tocznych) wsuwanych do wnęki. Dodatkowe wrota umieszczone są w suchym doku zabezpieczonym lekką przestawną szandorą, którą zaprojektowano w postaci stalowej płyty ortotropowej (płyty uźebrowanej podłużnie i poprzecznie) z uszczelnieniem gumowym umieszczonym na jej obwodzie. Po zamknięciu serwisowym i wypompowaniu z kieszeni wody można dokonać ewentualnych drobnych napraw bram. Zapewnia to ciągłość pracy śluzy, eliminując przestoje związane z przeglądami oraz remontami wrót. Śluzowanie jednostek odbywa się każdorazowo za pomocą pojedynczych wrót. Praca śluzy zakłada cykliczne wykorzystanie każdego z wrót, co przekłada się na wydłużenie trwałości systemu.

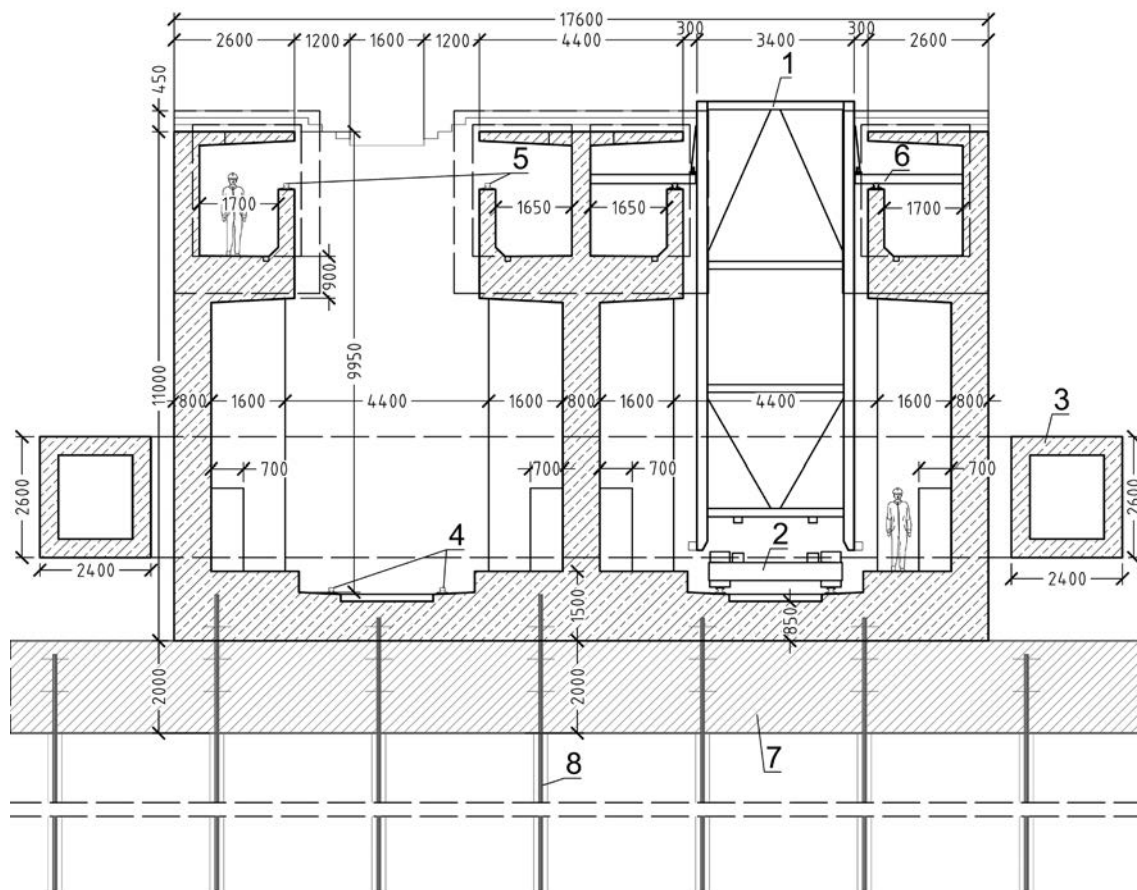
Bramy śluzy zaprojektowano jako konstrukcje stalowe, wypornościowe, z wydzieloną szczelną komorą balastową w środkowej części bramy. Całkowite wymiary jednej bramy to 26,05 m długości (bez wspornika dziobowego), 3,40 m szerokości oraz 9,70 m wysokości. Masa konstrukcji stalowej bramy to prawie 155 ton.

Zaprojektowano dwie kieszenie przy głowach śluzy. Każda kieszeń ma wnęki na dwie bramy (rys. 6). W górnej części wnęki, powyżej wysokiego poziomu wód zaprojektowano suche, zadaszone pasy technologiczne. W przestrzeni tej poprowadzone będą liny systemu wysuwającego bramę oraz urządzenia podporowe dla fazy serwisowej bramy. Kieszeń śluzy będzie



Rys. 5. Schemat zespołu elementów zamknięcia śluzy

1 – kanał obiegowy; 2 – zamknięcie szandorowe; 3 – balustrada; 4 – brama śluzy; 5 – wózek górny; 6 – siłowniki zastaw; 7 – napęd bramy; 8 – zastawy; 9 – kanał obiegowy; 10 – liny trakcyjne; 11 – torowisko wózka górnego; 12 – torowisko wózka dolnego



Rys. 6. Przekrój przez „kieszę” śluzy z bramą w fazie serwisowej

1 – brama śluzy; 2 – wózek dolny; 3 – kanał obiegowy; 4 – tor wózka dolnego; 5 – tor wózka górnego; 6 – podparcie serwisowe bramy; 7 – korek betonowy; 8 – mikropale

posadowiona na korku betonowym, zakotwionym w gruncie mikropalami.

Wrota w fazie użytkowej są ułożone na dwóch wózkach stalowych. Górny wózek jest połączony z dziobem bramy za pomocą dwóch siłowników regulujących położenie bramy po wysokości. Wysuwanie konstrukcji odbywa się za pomocą układu lin trakcyjnych, z napędem w budynku bloku napędowego. Brama jest wypychana za pomocą wózka górnego, który porusza się po torach umieszczonych na ścianie wnętrza. Wózek dolny umieszczony jest po przeciwległej stronie bramy i porusza się po torach znajdujących się na dnie kanału.

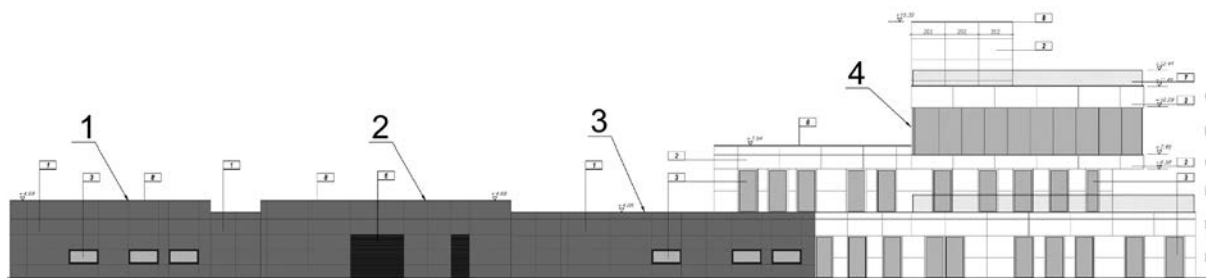
System regulacji poziomu zwierciadła wody w śluzie do poziomu zwierciadła wody w zatoce lub w zalewie zaprojektowano w postaci prostokątnych, żelbetowych, monolitycznych kanałów obiegowych. Kanały zlokalizowano na zewnątrz wnętrza śluzy, po jednym przy głowie śluzy. Każdy z kanałów jest wyposażony w cztery stalowe zastawy wewnątrz kanału i kraty zabezpieczające przy ścianie komory śluzy. W części środkowej kanał zmienia przekrój na dwukomorowy, dzięki czemu możliwe jest zachowanie właściwej pracy w przypadku awarii zastawy na jednej z komór. Dodatkowo na obu komorach kanału zastosowano podwójny system zastaw, który umożliwia prawidłową pracę kanałów obiegowych w przypadku konieczności wymiany jednej z zastaw. Zastawy będą podnoszone oraz opuszczane za pomocą siłowników hydraulicznych umieszczonych nad powierzchnią terenu.

Budynek kapitanatu

W ramach przedsięwzięcia [1] przewidziano budynek kapitanatu. Znajdują się w nim pomieszczenia biurowe, magazynowe, socjalne oraz garaż. Budynek składa się z kilku segmentów, spełniających różne funkcje (rys. 7). W pierwszych dwóch parterowych częściach znajdują się garaż oraz magazyn. W kolejnej znajduje się część socjalna, w której przewidziano między innymi szatnie dla pracowników fizycznych. Dominująca część biurowa ma trzy kondygnacje oraz taras do obserwacji śluzy. W części biurowej znajdują się między innymi:

- na parterze: pomieszczenia służb celnych i granicznych, kasa, pomieszczenia cumowników i ekip sezonowych, toalety z natryskami, pomieszczenia porządkowe i gospodarcze, a także pomieszczenia techniczne serwerowni, rozdzielni elektrycznej oraz wentylatorni;
- na I piętrze: zespół pomieszczeń biurowych kapitanatu: sekretariat, pomieszczenia kierownika, pracowników administracyjnych, specjalisty technicznego oraz służb przeciwpowodziowych z salą konferencyjną (narad) wraz z toaletami z natryskami;
- na II piętrze: pomieszczenie operatora śluzy oraz VTS (ang. *Vessel Traffic Service*, pol. *służba kontroli ruchu*), pomieszczenie socjalne oraz toaleta.

Suma powierzchni użytkowej kapitanatu wynosi 1 237 m² przy powierzchni zabudowy 1 090 m² i kubaturze 6 380 m³.



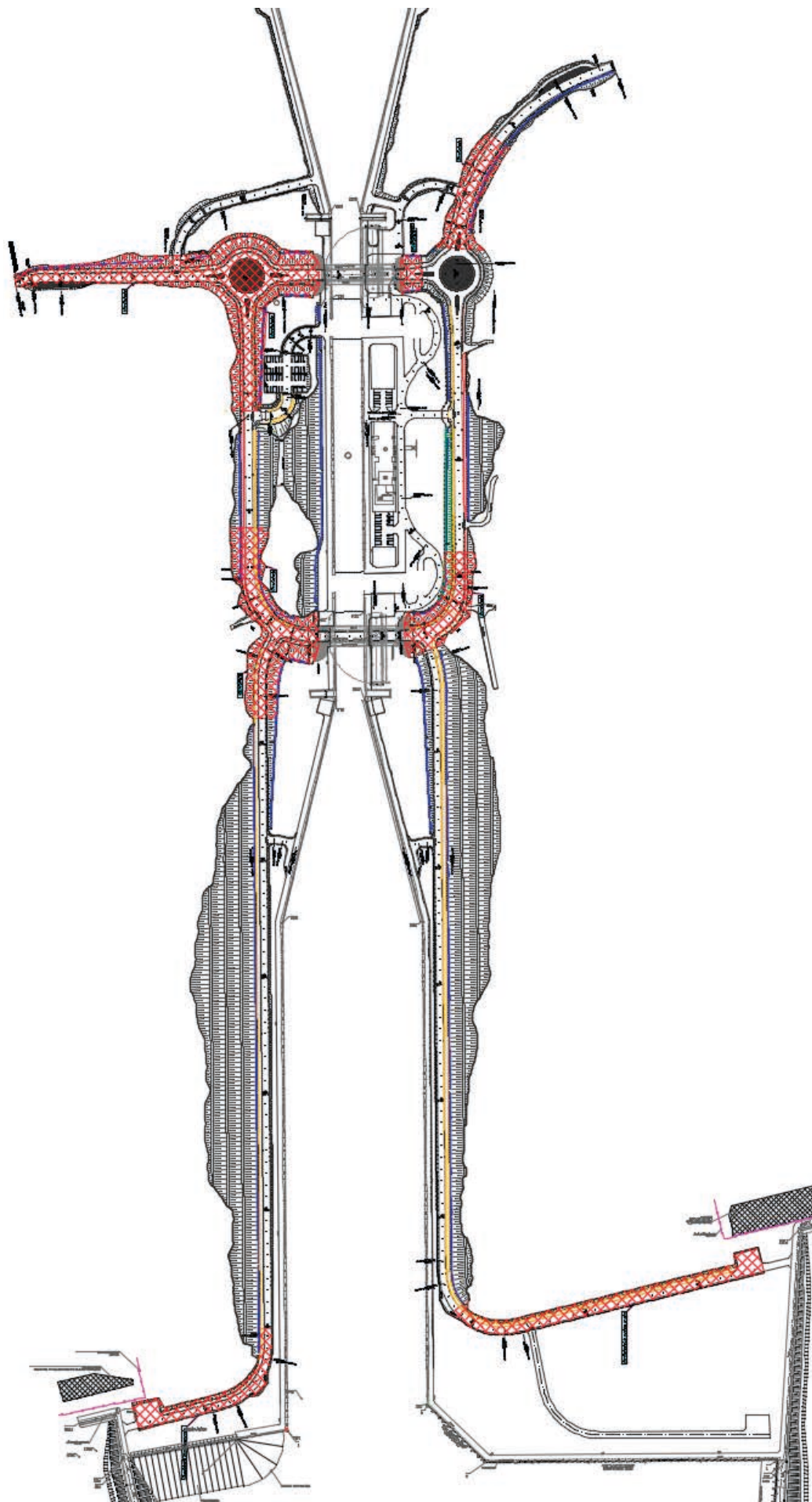
Rys. 7. Elewacja frontowa budynku kapitanatu
1 – garaż, 2 – magazyn, 3 – część socjalna, 4 – część biurowa



Rys. 8. Wizualizacja budynku kapitanatu (widok kanału żeglugowego z mostem południowym w kierunku Zalewu Wiślanego)



Rys. 9. Wizualizacja kanału żeglugowego wraz z układem drogowym (w głębi widok falochronów Portu osłonnego)



Rys. 10. Plan sytuacyjny z oznaczeniem zakresu wibroflotacji (kreskowanie kolorem czerwonym)

Forma architektoniczna projektowanego budynku jest nowoczesna, prosta i koresponduje z budowlami inżynierskimi, które są istotą całej inwestycji (rys. 8). Wybrana lokalizacja drogi wodnej sprawia, że obiekt otoczony jest lasami i nie ma istniejącej zabudowy, do której można byłoby go dostosować. Z tego powodu wybrano prostotę i neutralność, wpisujące się w okoliczny pejzaż oraz w całość przedsięwzięcia.

Drogi

W poprzednich artykułach omówiono szczegółowo konieczny zakres przebudowy drogi wojewódzkiej nr 501 oraz budowy dróg wewnętrznych, służących obsłudze i eksploatacji budynku kapitanatu, nabrzeży kanału żeglugowego, śluzu oraz bram i maszynowni. Ostatecznie przyjęto układ komunikacyjny składający się z dwóch przebiegów drogi wojewódzkiej nad kanałem żeglugowym, czterech skrzyżowań (dwóch skanalizowanych, trójwłotowych typu małe rondo z wyspą przejezdną i dwóch trójwłotowych zwykłych typu „T”) oraz dwóch dróg dojazdowych do portu osłonowego na Zatoce Gdańskiej (rys. 9). Dodatkowo przewidziano układ dróg wewnętrznych oraz parkingi po obu stronach kanału żeglugowego.

Budowa kanału żeglugowego wymaga obniżenia istniejącego terenu do poziomu umożliwiającego przeprowadzenie drogi wodnej przez przeszkodę lądową. Konsekwentnie, układ drogowy obsługujący budowlę hydrotechniczną również musi być zaprojektowany na zbliżonej wysokości. Zatem, pomimo liniowego i horyzontalnego charakteru budowli kanału, prace ziemne obejmują utworzenie stosunkowo wysokich skarp w istniejącej rzeźbie terenu. W tej części artykułu zwrócono uwagę na wpływ warunków gruntowych w obrębie inwestycji na kształtowanie skarp wykopu o głębokości nawet ponad 20 m oraz posadowienie nasypów drogowych.

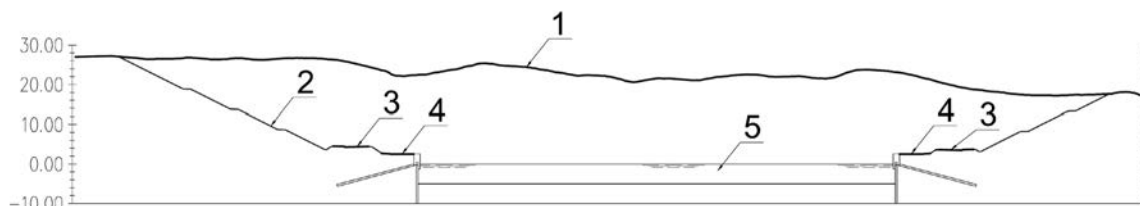
Szczegółowy opis warunków geologicznych zawarto w artykule część 2 IMiG nr 5/2019. W obszarze inwestycji podłoże gruntowe zbudowane jest niemal wyłącznie z mineralnych gruntów niespoistych – piasków drobnych i średnich, podrzędnie grubych i pylastych. Miejscami mogą występować grunty spoiste oraz grunty organiczne w postaci torfów i namulów, które podczas prac przygotowawczych, ze względu na bardzo ograniczone występowanie głównie w warstwach przypowierzchniowych, będą wymienione na grunty nośne. Główny problem stanowią jednak grunty niespoiste w stanie luźnym, które, szczególnie przy niskich nasypach (do około 3 m), mogą zagęszczać się od drgań wywoływanych przez przejeżdżające pojazdy. Występujące wówczas osiadania mogą przekroczyć wartości dopuszczalne dla budowli ziemnych. Problemem jest

również dojazd do obiektów mostowych, gdzie posadowienie nasypu i obiektu należy tak zaprojektować, aby różnica osiadań nie przekroczyła 2 cm.

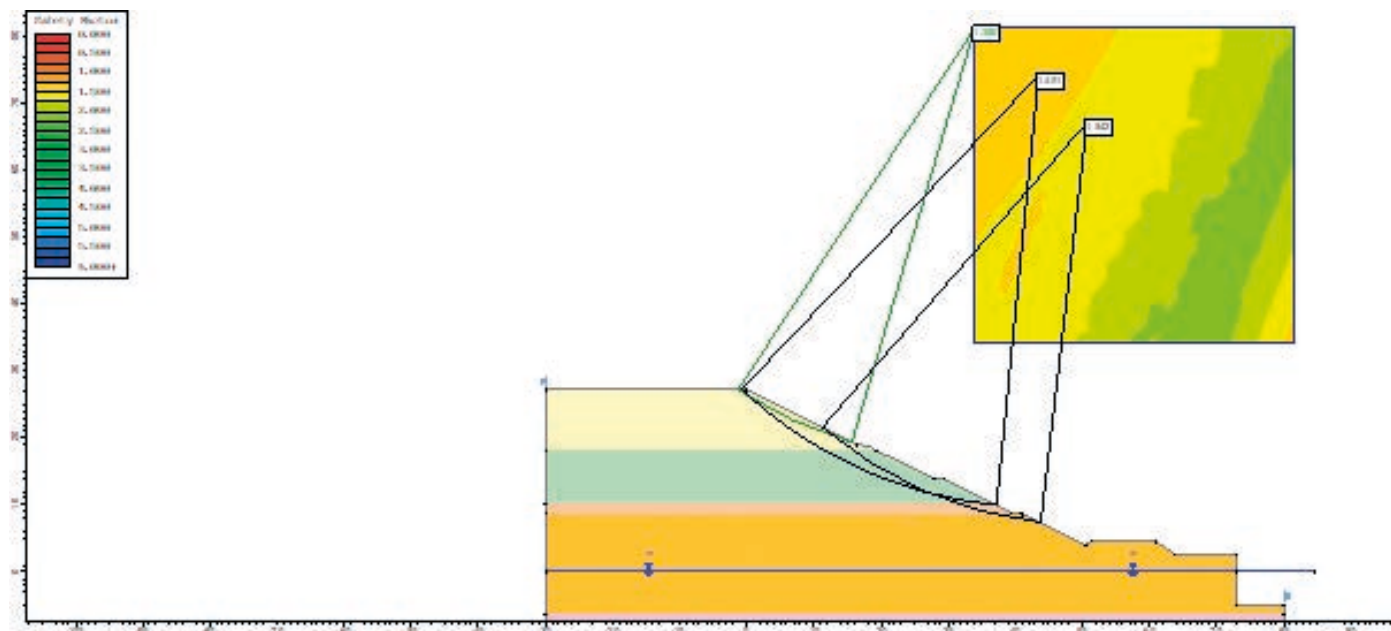
W projekcie wykonawczym przewidziano wykonanie zagęszczenia warstw luźnych gruntów metodą wibroflotacji. Metoda ta polega na wywołaniu zmiany układu ziaren pod wpływem drgań cyklicznych. Efektem jest uzyskanie gęstszego ułożenia cząstek gruntowych i zmniejszenia objętości porów. Podstawowym sprzętem są ciężkie wibratory wgłębne zwane wibroflotami o cylindrycznym kształcie o średnicy od 30 do 50 cm. W dolnej części wibroflota znajduje się jednostka napędowa. Stosuje się silniki elektryczne albo hydrauliczne. Silnik napędza wał z umieszczonymi mimośrodowo ciężarkami. W efekcie wywoływane są obrotowe drgania poprzeczne do osi wibroflota o amplitudzie mieszczącej się w zakresie od 5 do 20 mm. Przy zagęszczaniu luźnego podłoża powierzchnia terenu ulega obniżeniu. Wielkość obniżenia zależy od grubości warstwy zagęszczanej i od stopnia rozluźnienia wzmacnianego gruntu.

Punkty zagęszczania – wprowadzenia wibroflota w grunt są rozmieszczane w siatce trójkątnej lub kwadratowej o boku $1,5 \div 3$ m. Głębokość zagęszczania wynosi najczęściej od 3 do 6 m, ale może też osiągać nawet 40 m. Pomiędzy punktami wibrowania uzyskiwany jest stopień zagęszczenia $I_d = 0,5 \div 0,9$. W każdym przypadku konieczne jest dogęszczenie warstwy powierzchniowej od 1,0 do 1,5 m, rozluźnionej w wyniku technologii wibroflotacji. W tym celu stosuje się sprzęt konwencjonalny, na przykład ciężkie walce wibracyjne. Zakres zagęszczenia w obrębie inwestycji przedstawiono na rys. 10.

Grunty niespoiste w stanie luźnym stanowią wyzwanie także przy projektowaniu skarp wykopu, szczególnie gdy głębokości wykopów przekraczają 8 m. W omawianym przypadku skarpy wykopu niwelują różnice wysokości przekraczającą nawet 20 m (rys. 11). Na podstawie obliczeń stateczności (rys. 12) przyjęto skarpy wykopu o pochyleniu 1:2 oraz schodkowanie co 4 ÷ 5 m. W obliczeniach uzyskano minimalny współczynnik stateczności $F = 1,36$. Jest to współczynnik stateczności lokalnej, mniejszy niż wartość graniczna wynosząca 1,5, zatem skarpy należy zabezpieczyć przeciwoerozyjnie przed spływem powierzchniowym. W projekcie zaproponowano zabezpieczenie skarp o wysokości powyżej 4,0 m w postaci maty przeciwoerozyjnej wykonanej z włókien ceramicznych. Włókna tworzące strukturę przestrzenną mają umożliwić utrzymanie się humusu oraz ochronę przed erozją wiatrową i wodną. Po wykiełkowaniu traw struktura ma umożliwiać swobodną penetrację korzeni oraz wzmacniać system korzeniowy murawy. Wszelkie ruchy masowe związane z głęboką powierzchnią poślizgu mają współczynnik stateczności większy niż 1,5, zatem nie wymagają dodatkowych zabiegów wpływających na zwiększenie stateczności skarpy.

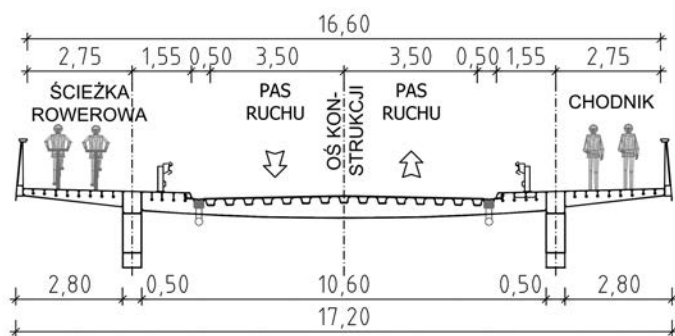


Rys. 11. Przekrój przez kanał żeglugowy wraz z terenem przyległym
1 – istniejący teren; 2 – skarpy przyległego terenu; 3 – droga dojazdowa;
4 – pas drogi technicznej wzdłuż nabrzeża wyznaczających kanał żeglugowy; 5 – kanał żeglugowy



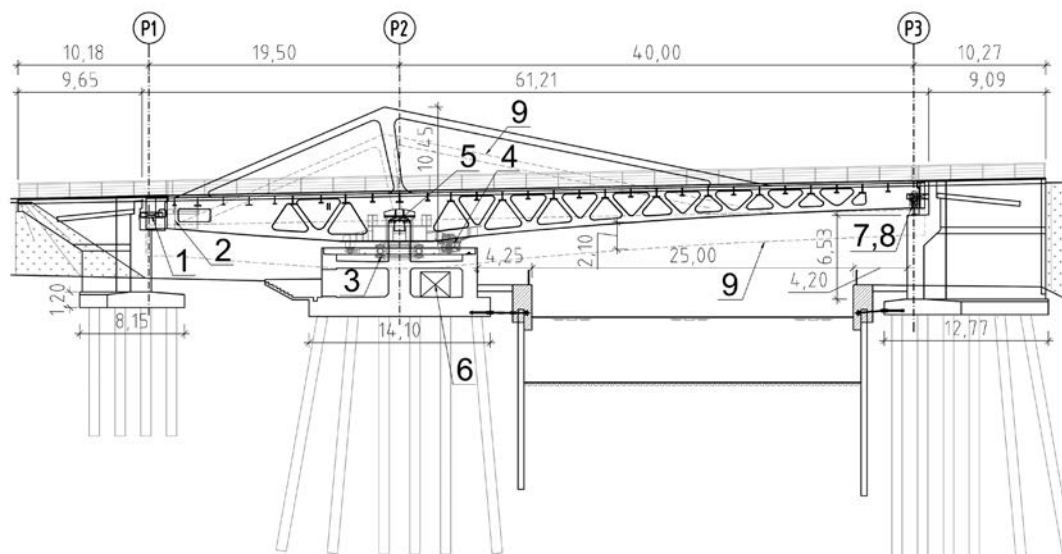
Rys. 12. Schemat obliczeniowy stateczności skarp terenu przyległego do kanału żeglugowego

Mosty



Rys. 13. Przekrój poprzeczny mostu

W realizacji, w ramach inwestycji, zaprojektowano dwa stalowe mosty ruchome służące przeprowadzeniu drogi wojewódzkiej nr 501 wraz z ciągami pieszym i rowerowym przez kanał żeglugowy (rys. 13). Mosty o identycznej konstrukcji mają rozpiętości teoretyczne przęseł wynoszące 19,50 m i 40,00 m, gdzie przęsła dłuższe znajdują się bezpośrednio nad kanałem (rys. 14), przy czym konstrukcja przęseł mostu południowego znajduje się niżej niż północnego. W części 3 A artykułu w IMiG 1/2020 przedstawiono studium wyboru rozwiązania konstrukcyjnego mostów ruchomych (zwodzony – obrotowy) oraz ich podsta-



Rys. 14. Most północny – widok z boku

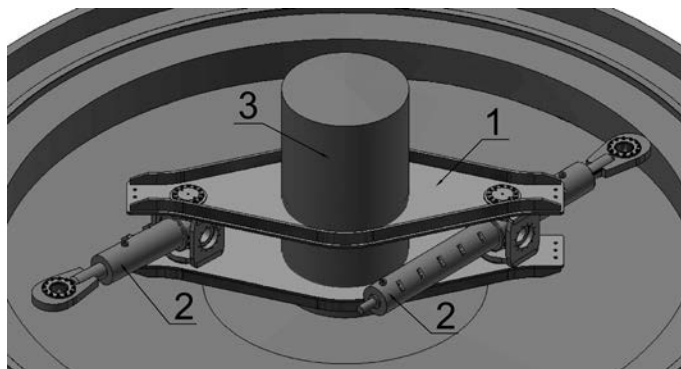
1 – elementy ryglujące przy podporze P1; 2 – przeciwwaga; 3 – mechanizm obrotowy; 4 – wózek obrotowy; 5 – łożysko obrotowe; 6 – główny agregat pompowy (HPU); 7 – podnośniki; 8 – elementy ryglujące przy podporze P3; 9 – zarys położenia konstrukcji mostu południowego

wowe parametry techniczne i użytkowe. W niniejszej części natomiast przedstawiono charakterystyczne dla omawianych obiektów rozwiązania mechaniczne zapewniające obrót obiektów oraz zaprezentowano proces otwierania mostu dla ruchu wodnego.

Hydrauliczny układ obrotowy mostu

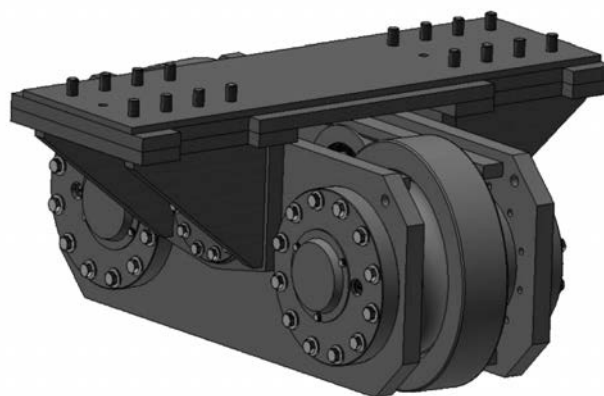
W celu zobrazowania całego procesu sekwencji obrotu konstrukcji wskazane jest przedstawienie i scharakteryzowanie głównych elementów mechanicznych wchodzących w skład hydraulicznego układu obrotowego. Są to:

- **Mechanizm obrotu** – znajduje się na podporze środkowej (P2). Oparty jest o dwa siłowniki obrotu zamocowane z jednej strony na dwóch przegubach kardana do ostojnicy (rys. 15), która stanowi integralny element podpory i z drugiej strony do konstrukcji pomostu. Podczas fazy obrotu w jednym siłowniku tłoczyisko jest wysuwane, a w drugim wsuwane, co w konsekwencji generuje moment obrotowy przekazywany z podpory na konstrukcję.
- **Łożysko obrotowe** (o nośności około 12 MN) – również zlokalizowane jest na podporze P2. Zapewnia ono ruch obrotowy nie tylko w płaszczyźnie poziomej, ale również w niewielkim zakresie w płaszczyźnie pionowej. Oparcie mostu zrealizowane jest przez nakładaną na łożysko konstrukcję, która następnie przykręcona jest do konstrukcji przęsła. Takie rozwiązanie umożliwia prostą wymianę łożyska, bez konieczności zdejmowania całego ustroju na bok.
- **Wózki obrotu mostu** – most podczas obrotu podparty jest w trzech punktach – w osi obrotu na łożysku głównym oraz na dwóch wózkach (rys. 16) poruszających się po szynie będącej integralną częścią podpory P2.
- **Podnośniki** – przęsło mostu wyposażone jest dodatkowo w dwa podnośniki zlokalizowane ma końcu dłuższego wspornika (przy podporze P3), po wewnętrznej stronie dźwigarów. Umożliwiają one kontrolowane opuszczanie przęsła z pozycji zaryglowanej do pozycji – „gotowy do obrotu”. Ze względu na niezawodność pracy mostu, każdy podnośnik wyposażono w dwa siłowniki. Wymiary siłowników dobrano tak, aby można było pracować podnośnikiem tylko z pojedynczym siłownikiem, bez utraty funkcjonalności układu.
- **Rygle** – w przeciwieństwie do wyżej wymienionych mechanizmów – nie pracują w fazie obrotu mostu, lecz w fazie użytkowej (otwartej dla ruchu kołowego). Mają za zadanie przenoszenie reakcji od obciążeń stałych i użytkowych na podpory skrajne (P1 oraz P3). Most na każdym końcu wyposażony jest w 3 elementy ryglujące (rys. 17). Dwa z nich (zlokalizowane w dźwigarach głównych) przenoszą na przyczółek reakcje pionowe oraz jeden (zlokalizowany na środku przekroju poprzecznego) przenoszący reakcje poziome i zapobiegający obrotowi konstrukcji w fazie użytkowej.
- **HPU** (ang. *Hydraulic Power Unit*) – sercem całego układu hydraulicznego jest główny agregat pompowy zlo-

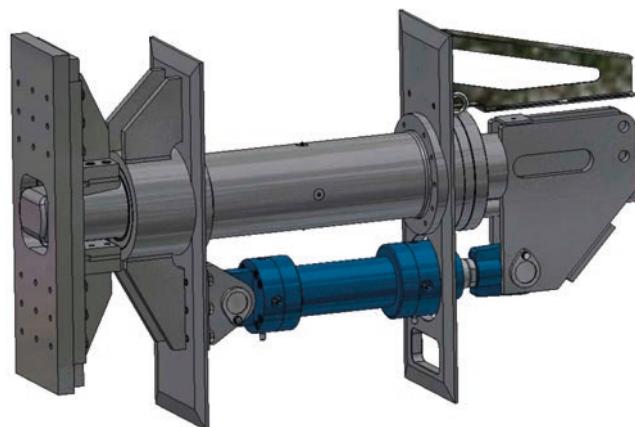


Rys. 15. Mechanizm obrotu

1 – ostojnica; 2 – siłowniki mechanizmu obrotowego; 3 – filar podpory P2



Rys. 16. Wózek obrotu



Rys. 17. Konstrukcja rygla

kalizowany w pomieszczeniu technicznym podpory P2. Układ zaprojektowano w ten sposób, aby zapewniał stałość pobieranej mocy, bez względu na obciążenie siłowników masą konstrukcji i wiatrem oraz dopasowywał poziom ciśnień roboczych do aktualnych warunków. HPU jest wyposażony w dwa identyczne zespoły silnik – pompa (każdy o mocy 22 kW). Takie rozwiązanie zapewnia dodatkowe bezpieczeństwo i możliwość odłączenia jednej pompy w celu dokonania okresowego przeglądu, bez konieczności wyłączania mostu z eksploatacji.

Podczas projektowania urządzeń mechanicznych mostów kierowano się zasadą tak zwanej redundancji, która znana jest chociażby z konstrukcji samolotów, gdzie większość układów jest co najmniej zdublowana. Tutaj również zastosowano podwójną liczbę elementów najbardziej podatnych na uszkodzenie (pompy, silniki, siłowniki). W przypadku awarii lub uszkodzenia jednego zespołu most może nadal być obracany, lecz kosztem około dwukrotnie dłuższego czasu tej operacji. Chociaż dobrano wyłącznie komponenty hydrauliczne cechujące się wysoką niezawodnością, konieczne było zapewnienie do nich dostępu w celu przeglądów, konserwacji, a w ostateczności naprawy lub wymiany.

Sekwencja otwierania mostu

1. Operacja obrotu mostu rozpoczyna się od załączenia agregatu głównego, w którym następuje ustawienie ciśnienia na poziomie roboczym.
2. Podnośniki, które znajdują się na „dziobie” obiektu, wysuwają swoje tłoczyska i delikatnie opierają się na konstrukcji podpory P3.
3. Rygle, zlokalizowane przy podporze P1 (w rejonie przeciwwagi), wycofują się, co powoduje zwolnienie blokad na tej podporze. Po tej operacji następuje również częściowe wycofanie rygli (przenoszących reakcje pionowe) na przodzie obiektu (przy podporze P3) w celu ich złuzowania.
4. Na podnośnikach wzrasta ciśnienie, co powoduje, że konstrukcja opiera się wyłącznie na nich (oraz na głównym łożysku obrotowym).
5. Po wsunięciu ostatniego rygla (przenoszącego reakcje poziome na podporze P3) następuje wsunięcie podnośników.

6. Cała konstrukcja obraca się w niewielkim zakresie w ten sposób, że koniec mostu przy podporze P3 opada, a przy podporze P1 podnosi się – przy projektowaniu konstrukcji założono, że środek ciężkości jest w niewielkim stopniu przesunięty w kierunku dłuższego przęsła, przez co cały ustrój jest w lekkiej nierównowadze i powoduje, że przy wyłączeniu wszystkich rygli znajdujących się na końcach obiektu ten pochyla się do przodu. Operacja ta trwa do momentu, aż wózki jezdne oprą się na szynach, a podnośniki wsuną się całkowicie. W tym momencie podparcie na podporze P3 znika, a ustrój oparty jest wyłącznie w 3 punktach (łożysko obrotowe oraz wózki). Jest to układ gotowy do obrotu.
7. Następuje obrót mostu o 90° .
8. Po najechaniu przodu konstrukcji nad podporę P3' (znajdującą się wzdłuż nabrzeża) następuje ponowne podniesienie konstrukcji na podnośnikach do pozycji „gotowy do ryglowania”.
9. Rygle wysuwają się i blokują „dziób” konstrukcji, a podnośniki się luzują.

LITERATURA

1. Dane zawarte w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia będących częścią materiałów przetargowych przekazanych przez Zamawiającego.
2. Koncepcja drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. Opracowanie Konsorcjum Mosty Gdańsk-PROJMORS, Gdańsk 2017.
3. Projekt budowlany drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. Opracowanie Konsorcjum Mosty Gdańsk-PROJMORS, Gdańsk 2018.
4. Projekt wykonawczy drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. Opracowanie Konsorcjum Mosty Gdańsk-PROJMORS, Gdańsk 2018.