

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

**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.

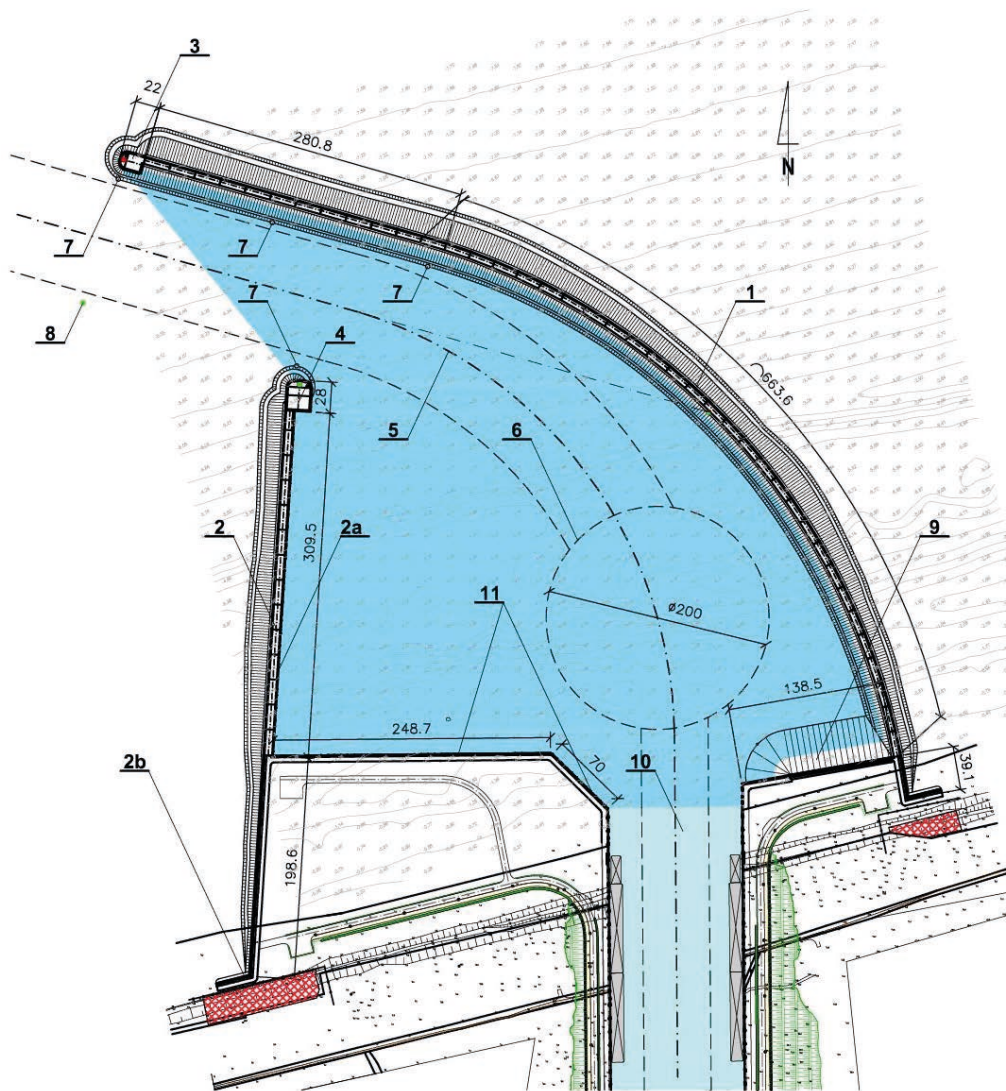
²PROJMORS Sp. z o.o. Biuro Projektów Budownictwa Morskiego w Gdańsku

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA PORTU OSŁONOWEGO

W projekcie zastosowano szereg różnych rozwiązań konstrukcyjnych wynikających z rzeczywistej potrzeby ich zastosowania. Dotyczą one zarówno budowli portu, kanału żeglugowego (w tym śluzy, która jest znaczącym fragmentem kanału żeglugowego), a także wyspy i toru żeglugowego w Zalewie Wiślanym z uwzględnieniem wytycznych Zamawiającego [2]. W poprzednich artykułach (część 3 A w IMiG nr 1/2020 i 3 B

w IMiG nr 2/2020) przedstawiono ogólne informacje o budowlach związanych z drogą wodną, a więc tworzących port osłonowy, kanał żeglugowy (w tym śluzę), mosty oraz tor wodny i wyspę. W niniejszym artykule przybliżono natomiast bardziej szczegółowe rozwiązania różnorodnych konstrukcji na podstawie opracowanego projektu budowlanego i wykonawczego. Przedstawiono również budowle, które uległy zmianie w stosunku do rozwiązań ujętych w koncepcji.

Niniejsza część artykułu dotyczy portu osłonowego zlokalizowanego w Zatoce Gdańskiej przy Mierzei Wiślanej w miej-



Rys. 1. Plan portu osłonowego

1 – falochron Wschodni; 2 – falochron Zachodni; 2a – nabrzeże Postojowe; 2b – nasada falochronu Zachodniego z opaską brzegową;
3 – głowica falochronu Wschodniego; 4 – głowica falochronu Zachodniego; 5 – tor wodny o głębokości 5,5 m; 6 – obrotnica o średnicy 200 m;
7 – boja ostrzegawcza; 8 – pławo światło zielone; 9 – wygaszcz fal; 10 – kanał żeglugowy; 11 – nabrzeże Południowe i Połączeniowe

sowości Nowy Świat. Port stanowi część drogi wodnej łączącej Zalew Wiślany z Zatoką Gdańską. W stosunku do rozwiązań koncepcyjnych [3] przedstawionych w poprzednim artykule (część 3 A w IMiG nr 1/2020) w projekcie budowlanym ogólny układ portu uległ optymalizacji w oparciu o analizę [1].

Projektowany port osłonowy (rys. 1) składa się z falochronu Wschodniego (głównego), falochronu Zachodniego (ostrogi), obudowy brzegu w formie wygaszacza fal oraz nabrzeży postojowych zlokalizowanych na odportowej stronie falochronu Zachodniego i po zachodniej stronie wejścia do kanału żeglugowego.

Falochron Wschodni

Podstawowe parametry falochronu Wschodniego:

- długość całkowita w osi falochronu 1014,1 m,

- głowica:
 - długość 22,0 m,
 - głębokość techniczna H_t 7,5 m,
 - rzędna nawierzchni +2,50 m / +3,50 m,
 - rzędna parapetu osłonowego +6,50 m,
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m²,
- odcinek zasadniczy:
 - długość 921,4 m,
 - głębokość techniczna 7,5 ÷ 5,0 m,
 - szerokość nadbudowy 6,5 m,
 - rzędna nawierzchni 2,50 m,
 - rzędna korony parapetu +4,50 m / +5,50 m / +6,50 m,
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m²,
 - szerokość drogi technologicznej 5,5 m,

- nasada i opaska brzegowa:
 - długość całkowita 70,7 m,
 - szerokość nadbudowy 3,0 m,
 - rzędna nawierzchni +2,5 m,
 - rzędna korony parapetu +4,5 m
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m²,
 - szerokość drogi technologicznej 5,5 m.

Konstrukcja falochronu Wschodniego

Konstrukcja falochronu składa się z nadbudowy żelbetowej posadowionej na konstrukcji narzutowej ułożonej na geowłókninie [4, 5]. Konstrukcję narzutową tworzy korpus wykonany z kamienia łamanego oraz z georur wypełnionych piaskiem pozyskanym z robót czerpalnych (rys. 3 – IMiG nr 1/2020). Na georurach przewidziano ułożyć dodatkowo warstwę geowłókniny ochronnej. Przy wykonywaniu georur konieczne jest ściśle przestrzeganie technologii realizacji określonej przez producenta. Warstwa filtracyjna oraz stopa falochronu będzie wykonana z kamienia łamanego. Natomiast warstwę ochronną przewiduje się wykonać z prefabrykowanych elementów betonowych, na przykład z gwiazdobloków lub innych bloków równorzędnych. Na koronie falochronu przewidziano żelbetową nadbudowę w formie płyty z tak zwanym „parapetem” ochronnym o zmiennej wysokości zależnej od falowania, na jakie narażony będzie określony odcinek budowli.

Na odcinku nasadowym nadbudowa falochronu będzie wykonana w formie żelbetowej ściany oporowej posadowionej bezpośrednio na narzucie. Zakończenie falochronu od strony lądu (opaska brzegowa) zostanie wykonane w formie analogicznej – z zastosowaniem narzutu kamiennego i ściany oporowej.

Od strony morza falochron będzie zakończony głowicą z żelbetową nadbudową posadowioną na stalowej palościance i stalowych palach rurowych. Przestrzeń między ściankami wypełniona będzie gruntem niespoistym pochodzącym z robót czerpalnych.

Nawierzchnia betonowa, na głowicy i na części lądowej falochronu, o konstrukcji rozbiegającej, będzie wykonana ze spadkiem w kierunku basenu portowego. Konstrukcja wsporczą ze światłem nawigacyjnym czerwonym. Na pozostałej części falochronu nawierzchnię stanowi płyta nadbudowy wykonana ze spadkiem w kierunku basenu portowego.

Falochron Zachodni

Podstawowe parametry falochronu Zachodniego:

- długość całkowita w osi falochronu 568,2 m,
- głowica:
 - długość głowicy 28,0 m,
 - głębokość techniczna H_t 5,5 m,
 - rzędna nawierzchni +2,50 m / +3,50 m,
 - rzędna parapetu osłonowego +6,50 m,
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m²,

- odcinek zasadniczy falochronu (zawierający nabrzeże Zachodnie):

- długość 309,5 m
(w tym 23,35 m – przystań niska),
- głębokość techniczna H_t 5,0 m,
- szerokość nadbudowy 6,5 m,
- rzędna nawierzchni 2,50 m
(0,70 m – przystań niska),
- rzędna korony parapetu +4,50 m / +5,50 m,
- obciążenie użytkowe 20 kN/m²,
- szerokość drogi technologicznej 5,5 m,
- nasada falochronu i opaska brzegowa:
 - długość całkowita 230,7 m,
 - szerokość nadbudowy 3,0 m,
 - rzędna nawierzchni +2,5 m,
 - rzędna korony parapetu +4,5 m,
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m².

Konstrukcja falochronu Zachodniego

Budowla według [4, 5] o konstrukcji mieszanej (rys. 4 – IMiG nr 1/2020). Od strony zachodniej narzut wykonany z kamienia naturalnego ułożonego na warstwie geowłókniny i prefabrykowanych elementów betonowych (na przykład: gwiazdobloki, tetrapody X-bloki lub inne prefabrykowane elementy) ułożonych na warstwie wierzchniej falochronu, analogicznie jak w przypadku falochronu Wschodniego. Ze względu na to, że większość prefabrykowanych elementów betonowych stosowanych na falochronach jest chroniona patentem, ostateczny wybór typu elementu należy do wykonawcy robót. Od strony wschodniej konstrukcję falochronu zaprojektowano w formie nabrzeża płytowego (nabrzeże Zachodnie) posadowionego na stalowych palach rurowych i palościance zakotwionej przy pomocy stalowych pali kotwiących. Żelbetowa płyta nabrzeża zwieńczona będzie parapetem od strony zachodniej. Dodatkowo w nabrzeżu, w sąsiedztwie głowicy falochronu, zaprojektowano przystań niską (rys. 2).

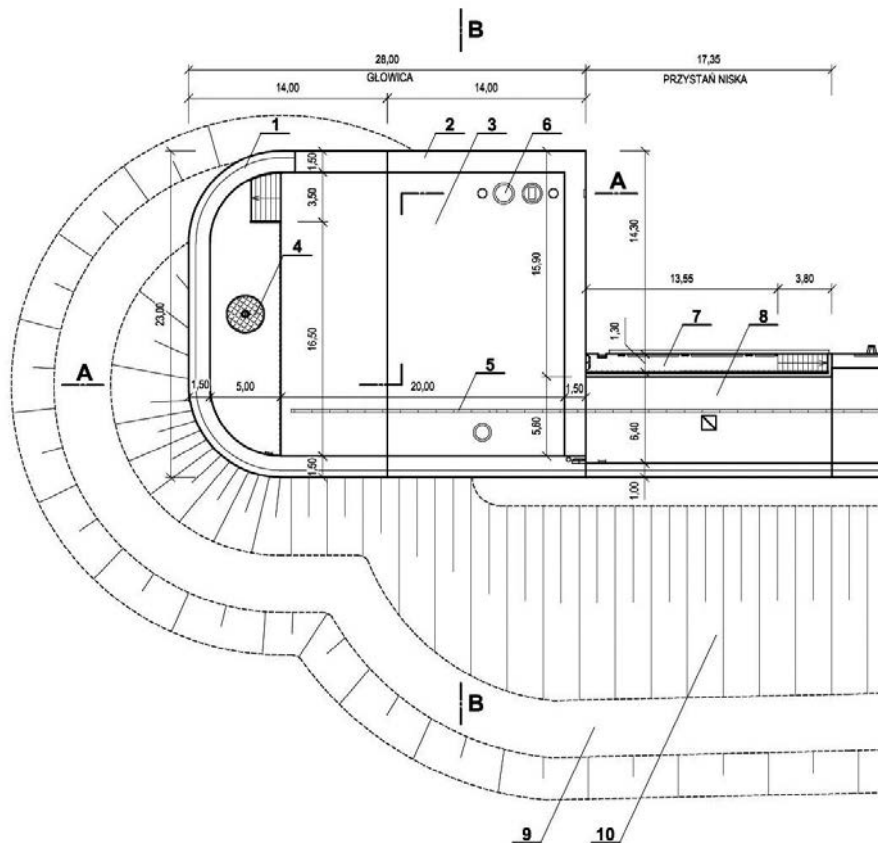
Na odcinku nasadowym nadbudowa falochronu będzie wykonana w formie żelbetowej ściany oporowej posadowionej bezpośrednio na narzucie. Zakończenie falochronu od strony lądu (opaska brzegowa) wykonana będzie analogicznie – z zastosowaniem narzutu i ściany oporowej.

Od strony morza falochron będzie zakończony głowicą (rys. 2) z żelbetową nadbudową posadowioną na stalowej palościance i stalowych palach rurowych (rys. 3 i 4), podobnie jak w przypadku falochronu Wschodniego.

Nawierzchnia falochronu, o konstrukcji rozbiegającej, będzie wykonana ze spadkiem w kierunku odwodnienia liniowego. Na głowicy falochronu będzie konstrukcja wsporczą ze światłem zielonym.

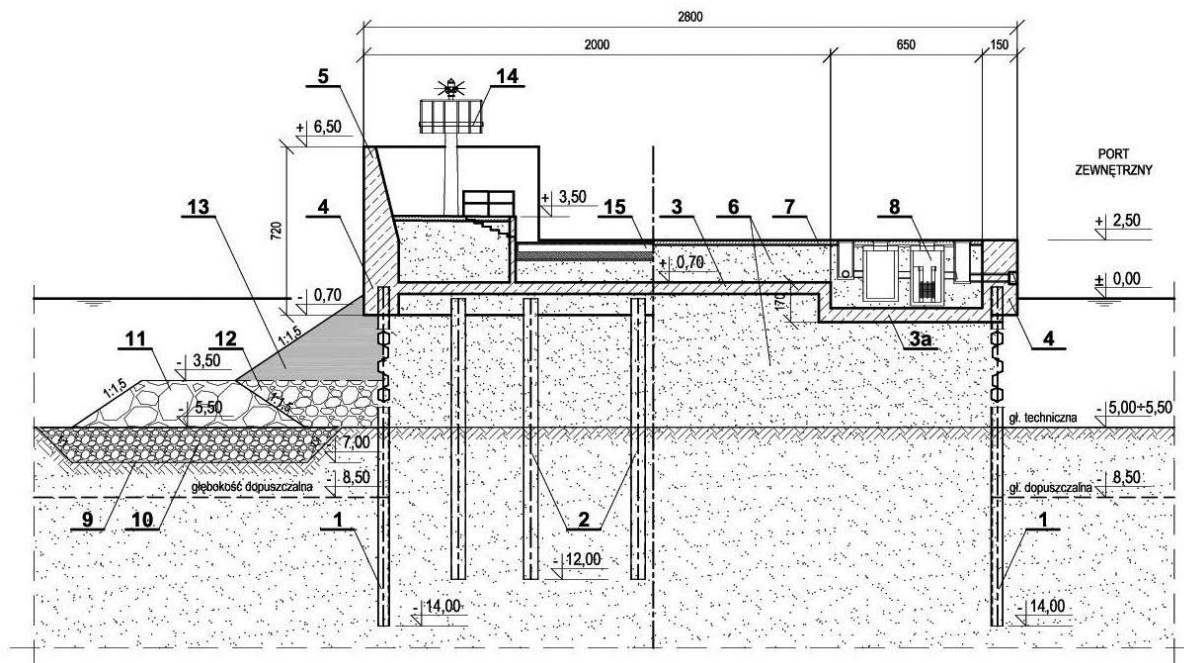
Konstrukcja głowicy falochronu Zachodniego

Część podwodną głowicy (rys. 5) będzie stanowić grodzia ze stalowej ścianki kombinowanej (palościanki) w układzie



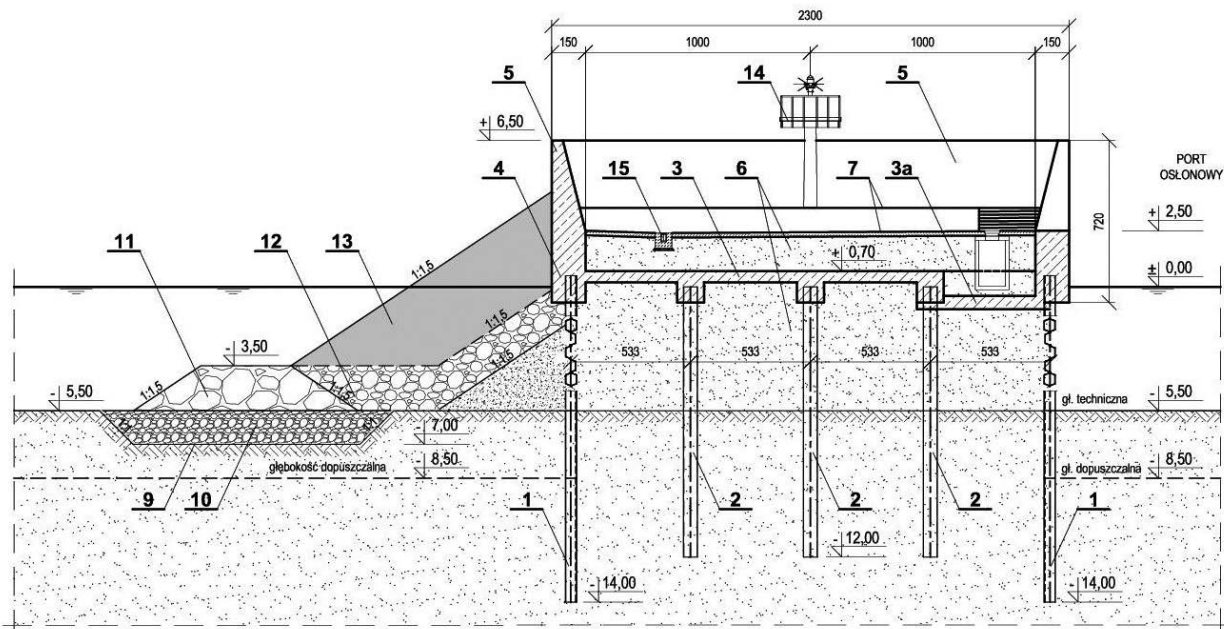
Rys. 2. Rzut części nadwodnej głowicy falochronu Zachodniego

1 – parapet żelbetowy; 2 – oczep żelbetowy; 3 – nawierzchnia betonowa; 4 – konstrukcja wsporcza światła nawigacyjnego; 5 – odwodnienie liniowe; 6 – instalacja separatora z wylotem; 7 – przystań niska; 8 – nabrzeże postojowe Zachodnie o głębokości 5 m; 9 – stopa narzutu kamiennego – masa kamienia $900 \div 1100$ kg; 10 – narzut z masywnych elementów prefabrykowanych o masie 5600 kg ułożonych w dwóch warstwach

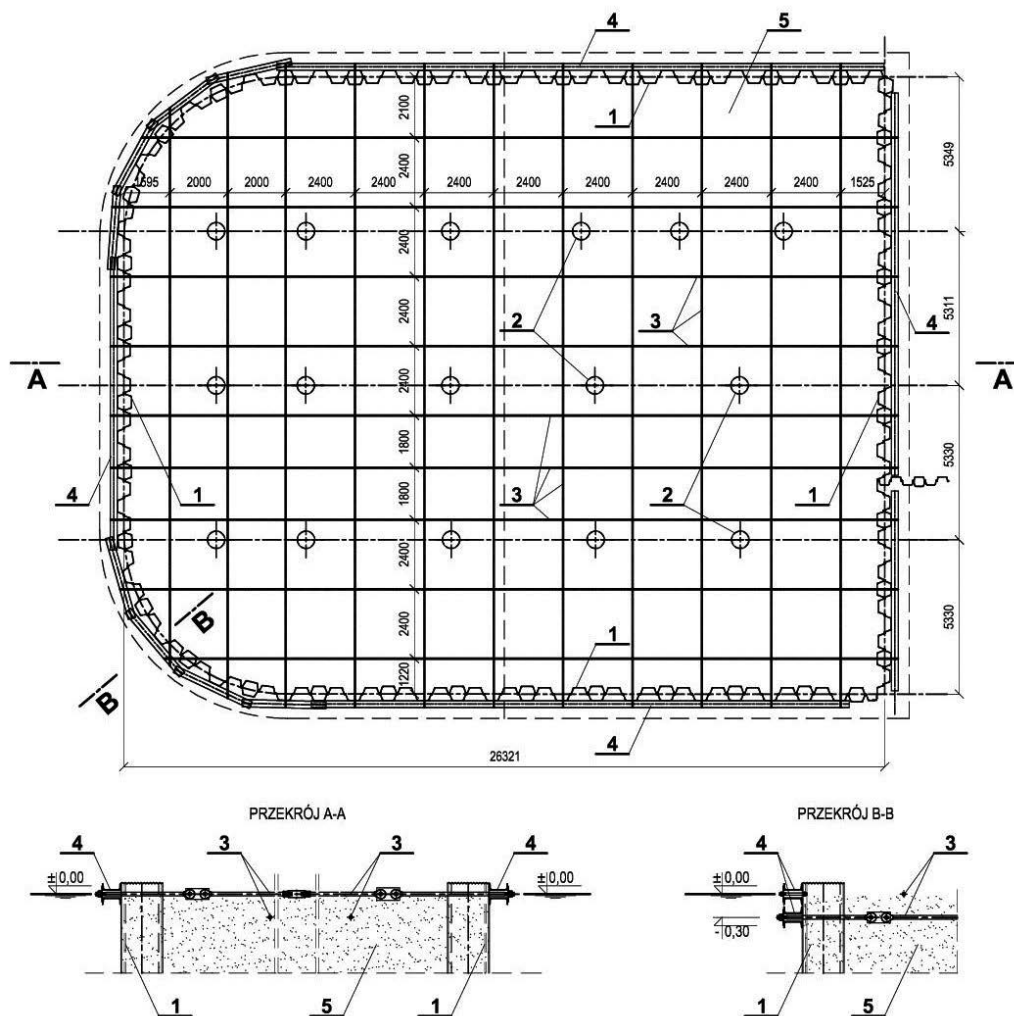


Rys. 3. Przekrój podłużny A-A głowicy falochronu Zachodniego

1 – stalowa ścianka szczelna typu „U” co czwarty brzus skrzynkowy; 2 – pale stalowe $\phi 610 \times 12,5$ mm, $L = 12,0$ m; 3 – płyta żelbetowa; 3a – obniżona płyta żelbetowa; 4 – oczep żelbetowy; 5 – parapet żelbetowy; 6 – zasyp; 7 – nawierzchnia betonowa; 8 – instalacja separatora z wylotem; 9 – geotekstyl separacyjny; 10 – podbudowa z kamieni o masie $50 \div 100$ kg; 11 – stopa narzutu kamiennego z kamienia o masie $900 \div 1100$ kg; 12 – warstwa pośrednia narzutu z kamieni o masie $350 \div 550$ kg; 13 – narzut z masywnych elementów prefabrykowanych o masie 5600 kg ułożonych w dwóch warstwach; 14 – konstrukcja wsporcza światła nawigacyjnego zielonego; 15 – odwodnienie liniowe



Rys. 4. Przekrój poprzeczny B-B głowicy falochronu Zachodniego
Oznaczenia jak na rys. 3



Rys. 5. Rzut części podwodnej głowicy falochronu Zachodniego
1 – stalowa ścianka szczelna typu „U” co czwarty brzus skrzynkowy; 2 – pale stalowe $\phi 610 \times 12,5$ mm, $L = 12,0$ m; 3 – ściągi stalowe $\phi 56$ mm;
4 – kleszcz stalowy $2 \times C240$; 5 – zasyp.

1/4 o wskaźniku wytrzymałości $W_x \geq 3050 \text{ cm}^3/\text{mb}$, wykonana z brusów typu „U” o szerokości w zamkach 600 mm ze stali S355GP według normy EN 10248. Ścianka stalowa grodzy będzie stężona układem kleszczy i ściągow stalowych. Wnętrze grodzy będzie wypełnione gruntem niespoistym pochodzącym z robót czerpalnych.

Nadbudowa głowicy (rys. 2, 3 i 4) będzie posadowiona na opisanej grodzy i na trzech rzędach pali rurowych wbitych we wnętrzu grodzy. Pale rurowe przewidziano do wykonania z rur stalowych $\phi 610 \times 12,5 \text{ mm}$ ze szwem pionowym lub spiralnym ze stali S355J2H według normy PN-EN 10219:2000.

Projektowaną nadbudowę żelbetową przewidziano do wykonania z betonu C35/45 o klasach ekspozycji: XA1, XC4, XS3 i XF4 oraz wodoszczelności W8, zgodnie z wymogami normy PN-EN 206-1:2003 oraz norm związanych (oznaczenie W według PN-88/B-06250).

Na głowicy umieszczono konstrukcję wsporczą ze światłem nawigacyjnym zielonym (rys. 3 i 4). W konstrukcji nadbudowy głowicy falochronu usytuowano wylot kanalizacji deszczowej wraz z układem podczyszczającym, odprowadzający wody opadowe z powierzchni głowicy i z części przygłowicowej falochronu (rys. 3).

Umocnienie brzegu – wygaszacz fal

Podstawowe parametry umocnienia

- długość całkowita 138,5 m,
- część narzutowa:
 - długość 94,0 m,
 - głębokość techniczna H_t 5,0 m,
 - szerokość nadbudowy 1,0 m,
 - rzędna nawierzchni +3,00 m,
 - obciążenie użytkowe 5 kN/m^2 ,
 - szerokość drogi pieszej 2,0 m,
- obudowa brzegu:
 - długość 44,5 m,

- głębokość techniczna H_t 5,0 m,
- szerokość oczepu 1,5 m,
- rzędna nawierzchni +2,50 m,
- obciążenie użytkowe 20 kN/m^2 ,
- szerokość drogi technologicznej 5,5 m.

Konstrukcja umocnienia

Wygaszacz fal według [4, 5] będzie stanowić umocnienie brzegu terenu (rys. 1) powstałego wskutek odłożenia gruntu piaszczystego z robót czerpalnych oraz z wykopów pod kanał żeglutowy.

Część narzutowa

Od strony falochronu Wschodniego – umocnienie brzegu, w formie wygaszacza fal, będzie stanowić konstrukcja narzutowa z kamienia łamanego (rys. 6) wykonana w nachyleniu 1:5, ułożona na geowłókninie. Nadbudowę będzie tworzyć prefabrykowana żelbetowa ściana oporowa, za którą będzie wykonana nawierzchnia z kostki betonowej. Konstrukcja nawierzchni podobnie jak w przypadku falochronu Wschodniego.

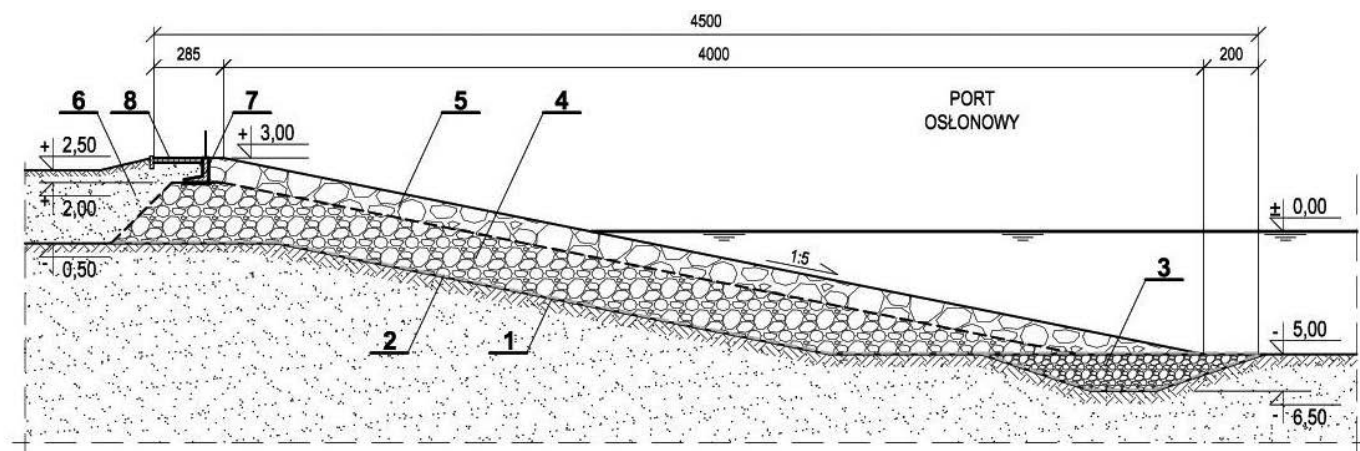
Obudowa brzegu

Od strony zachodniej konstrukcja będzie wykonana ze stalowej ścianki szczelnej w nawiązaniu do konstrukcji nabrzeża kanału żeglutowego przez Mierzę Wiślaną. Ścianka szczelna zwieńczona będzie oczepem żelbetowym i zakotwiona za pomocą mikropali kotwiących oraz ściągow stalowych. Przed ścianką szczelną przewidziano narzut kamienny rozpraszający falowanie, ułożony na warstwie geowłókniny. Za oczepem przewidziano naziom umocniony nawierzchnią z kostki betonowej. Konstrukcja nawierzchni podobnie jak w przypadku falochronu Wschodniego.

Nabrzeże Południowe i Połączeniowe

Podstawowe parametry nabrzeży:

- długość całkowita obu nabrzeży 320,7 m,



Rys. 6. Konstrukcja wygaszacza fal

- 1 – dno uformowane w istniejącym ośrodku gruntowym pod ułożenie narzutu kamiennego; 2 – geowłóknina separacyjna; 3 – podbudowa z kamienia łamanego o masie $60 \div 100 \text{ kg}$; 4 – warstwa pośrednia o grubości 2 m z narzutu kamiennego o masie $200 \div 300 \text{ kg}$; 5 – warstwa grubości 1 m z narzutu kamiennego o masie $350 \div 450 \text{ kg}$; 6 – zasyp piaskowy; 7 – żelbetowa ściana oporowa; 8 – nawierzchnia z kostki brukowej

- nabrzeże Południowe:
 - długość 250,49 m
(w tym: 22,0 m – przystań niska oraz 1,8 m – skos),
 - głębokość techniczna H_t 5,0 m,
 - rzędna nawierzchni +2,50 m
(+0,70 m – przystań niska),
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m²,
 - szerokość drogi technologicznej 5,5 m,
- nabrzeże Połączeniowe:
 - długość 71,0 m,
 - głębokość techniczna H_t 5,0 m,
 - rzędna nawierzchni +2,50 m,
 - obciążenie użytkowe 20 kN/m²
 - szerokość drogi technologicznej 5,5 m.

Konstrukcja nabrzeży

Konstrukcja obu nabrzeży jest identyczna, różnią się one tylko funkcją. Przy nabrzeżu Połączeniowym, w przeciwieństwie do nabrzeża Południowego, nie ma możliwości cumowania jednostek pływających.

Nabrzeża są konstrukcjami oczepowymi [4, 5] – oczep żelbetowy posadowiony na stalowej ścianie szczelnej, która jest zakotwiona za pomocą mikropali. Rodzaj nabrzeży jest podobny jak w przypadku kanału żeglugowego. Przy załamaniu linii obu nabrzeży po stronie zachodniej w nabrzeżu Południowym przewidziano przystań niską, za którą rozpoczyna się nabrzeże Połączeniowe, które z kolei łączy się z konstrukcją nabrzeża wyznaczającego obudowę kanału żeglugowego przez Mierzę Wiślaną. Naziom za konstrukcją nabrzeży będzie zasypywany gruntem piaszczystym pochodzącym z robót czerpalnych oraz z wykopów pod kanał żeglugowy. Nawierzchnia nabrzeży, o konstrukcji rozbieralnej, będzie wykonana ze spadkiem w kierunku odwodnienia liniowego. Konstrukcja nawierzchni podobnie jak w przypadku falochronu Wschodniego.

Oznakowanie nawigacyjne w porcie

Oznakowanie stałe

Przewiduje się następujące oznakowanie nawigacyjne dla portu osłonowego:

- Na głowicy falochronu Wschodniego światło nawigacyjne czerwone; rzędna światła +9,0 m n.p.m.
- Światło sektorowe na falochronie Wschodnim, rzędna światła +9,0 m n.p.m.
- Na głowicy falochronu Zachodniego światło nawigacyjne zielone; rzędna światła +9,0 m n.p.m.
- Światło nawigacyjne czerwone na wschodniej stronie wejścia do kanału żeglugowego; rzędna światła +5,5 m n.p.m.
- Światło nawigacyjne zielone na zachodniej stronie wejścia do kanału żeglugowego; rzędna światła +5,5 m n.p.m.

Pozostałe oznakowanie

Ponadto przewiduje się następujące oznakowania:

- oświetlenie falochronów Wschodniego i Zachodniego jako element oznakowania nawigacyjnego,
- pławy świetlne na torze podejściowym,
- oznakowanie zasięgu podwodnego narzutu kamiennego (od strony portu) za pomocą pław ostrzegawczych (*spare buoy*)
- obniżone odcinki nabrzeży (przystanie niskie) będą oznakowane za pomocą słupków stalowych wystających ponad stan morza WWW; słupki będą pomalowane w żółto-czarne pasy i umieszczone na początku i końcu obniżenia.

Roboty czerpalne

Przed wejściem do portu występują naturalne głębokości, które są większe niż 5,5 m. Między główkami falochronów portowych (w rozstawie osiowym około 250 m) rozpoczyna się droga wodna między Zatoką Gdańską a Zalewem Wiślanym. Szerokość toru wodnego wyznaczonego dla nawigacji statku w porcie wynosi 100 m. Jednocześnie w porcie przewidziano obrotnicę, która zapewnia zmianę kierunku głównie w celu wejścia / wyjścia umownego statku do / z kanału żeglugowego lub też zestawu barek. Obrotnica umożliwia także (poprzez obrót statku) zmianę kierunku nawigacji mniejszych jednostek w celu zacumowania przy nabrzeżach w porcie.

Akwen portowy będzie pogłębiony do głębokości 5,0 m, a tor wodny do głębokości 5,5 m na odcinku od naturalnej głębokości 5,5 m do obrotnicy portowej, której średnicę określono na 200 m [4, 5].

Kubaturę robót czerpalnych obliczono na podstawie posiadanych sondaży i wyniosła ona $V \approx 260\,000\text{ m}^3$ (łącznie z wykopami pod falochrony, bez uwzględnienia tolerancji bagrowniczej).

Grunt piaszczysty pozyskany z robót czerpalnych będzie wykorzystany do załadunku terenu portu (zaplecze nabrzeża Postojowego i wygaszacza fal), do napełniania geotub oraz do zasilania brzegu morskiego.

LITERATURA

1. Analiza symulacyjna dla inwestycji pn. „Budowa drogi wodnej łączącej Zalew Wiślan z Zatoką Gdańską” – opracowanie Akademii Morskiej w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Gdynia 2017.
2. Dane zawarte w Specyfikacji Istotnych Warunków Zamówienia będących częścią materiałów przetargowych przekazanych przez Zamawiającego.
3. Koncepcja drogi wodnej łączącej Zalew Wiślan z Zatoką Gdańską. Opracowanie Konsorcjum Mosty Gdańsk – PROJMORS, Gdańsk 2017.
4. Projekt budowlany drogi wodnej łączącej Zalew Wiślan z Zatoką Gdańską. Opracowanie Konsorcjum Mosty Gdańsk – PROJMORS, Gdańsk 2018.
5. Projekt wykonawczy drogi wodnej łączącej Zalew Wiślan z Zatoką Gdańską. Opracowanie Konsorcjum Mosty Gdańsk – PROJMORS, Gdańsk 2018.