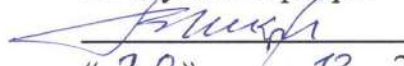


**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова**  
**Навчально науковий інститут (факультет) \_\_\_\_\_ Кораблебудівний \_\_\_\_\_**

Кафедра \_\_\_\_\_ теорії та проектування суден \_\_\_\_\_

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри

 В.О. Некрасов  
« 20 » 12 2024 р.

***КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА***  
**на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**  
**на тему: Концептуальний проект службово-**  
**допоміжного багатофункціонального судна з**  
**водневою енергетичною установкою**

Виконав: студентка 6113м групи

 **Вашкевич В.В.**  
(підпис)

Керівник роботи:

 (посада, науковий ступень вчене звання)  
**Бондаренко О.В.**  
(підпис)

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально науковий інститут (факультет) \_\_\_\_\_ Кораблебудівний

Кафедра \_\_\_\_\_ теорії та проектування суден

Спеціальність \_\_\_\_\_ 135 Суднобудування

Освітня програма \_\_\_\_\_ Яхтинг та малі судна

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми



к.т.н., професор Бондаренко О.В.

« » \_\_\_\_\_ 2024 року

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студенту \_\_\_\_\_ Вашкевичу Владиславу Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Концептуальний проект службово-допоміжного багатфункціонального судна з водневою енергетичною установкою

Керівник роботи Бондаренко О.В., к.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № \_\_\_\_\_ від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

2. Термін подання роботи: \_\_\_\_\_ 14.12.2024 р.

3. Вихідні дані по роботі:

3.1 Довжина корпусу – до 12 м \_\_\_\_\_

3.2 Екіпаж(осіб) – 2 особи \_\_\_\_\_

3.3 Швидкість максимальна – 18,0 вузлів \_\_\_\_\_

3.4 Тип пропульсивного комплексу – гвинти фіксованого кроку \_\_\_\_\_

3.5 Район плавання: Прибережний 1 \_\_\_\_\_

3.6 Додаткові вимоги воднева енергетична установка \_\_\_\_\_

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів):

4.1 Аналіз сучасного стану застосування водню на водному транспорті, стану розробок та технічних характеристик судових водневих установок.

4.2 Математична модель вибору проектних характеристик службово-допоміжного багатфункціонального судна.

4.3 Розрахунок морехідних якостей службово-допоміжного багатфункціонального судна

4.4 Розробка загального розташування та 3D моделі проекту службово-допоміжного багатфункціонального судна;

4.5 Дослідження ходовості службово-допоміжного багатфункціонального судна

5. Перелік презентаційних матеріалів:

5.1 3D модель судна. Теоретичне креслення. Криві елементів теоретичного креслення

5.2 Презентація

6 Консультанти розділів роботи:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |            |                  |            |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------|------------------|------------|
|        |                                           | завдання видав |            | завдання прийняв |            |
| 1-5    | Бондаренко О.В.                           |                | 01.09.2024 |                  | 05.12.2024 |
|        |                                           |                |            |                  |            |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 04.09.2024 \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Номер | Назва етапів роботи                                                                                                                    | Строк виконання | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|----------|
| 1     | Аналіз сучасного стану застосування водню на водному транспорті, стану розробок та технічних характеристик суднових водневих установок | 01.10.2024      |          |
| 2     | Математична модель вибору проектних характеристик службово-допоміжного багатофункціонального судна                                     | 15.10.2024      |          |
| 3     | Розрахунок морехідних якостей службово-допоміжного багатофункціонального судна                                                         | 01.11.2024      |          |
| 4     | Розробка загального розташування та 3D моделі концептуального проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна                 | 15.11.2024      |          |
| 5     | Дослідження ходовості службово-допоміжного багатофункціонального судна                                                                 | 01.12.2024      |          |

Студент

  
(підпис)

**Вашкевич Владислав Володимирович**  
(ПІБ)

Керівник роботи

  
(підпис)

**Бондаренко Олександр Валентинович**  
(ПІБ)

## АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи “Концептуальний проект службово-допоміжного багатофункціонального судна з водневою енергетичною установкою”.

Мета роботи: розробка концептуального проекту багатофункціонального службово-допоміжного судна з водневою установкою та оцінка його експлуатаційних характеристик довжиною до 12 метрів.

У ході виконання роботи було проаналізовано сучасний стан застосування водню на водному транспорті, стан розробок та технічні характеристики суднових водневих установок. За допомогою математичної моделі було пораховано оптимальні головні характеристики службово-допоміжного судна. За результатами було розроблено концептуальний проект, для якого розраховано морехідні якості службово-допоміжного судна, а саме: елементи плавучості та початкової остійності, аварійну посадку і остійність.

Виконано розрахунки ходовості та потужності водневих двигунів. Побудована 3D модель, теоретичне креслення та креслення загального розташування.

Ключові слова: воднева установка, паливний елемент, службово-допоміжне судно, проектування, головні розміри, морехідні якості.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 4    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

## SUMMARY

*Title* of master's work «Conceptual project of hydrogen fuel cell powered multifunctional service and auxiliary vessel»

*The aim* of the master's work is to development of a conceptual design of a multifunctional service and auxiliary vessel with a hydrogen installation and assessment of its operational characteristics up to 12 meters long.

During the work, the current state of hydrogen use in water transport, the state of development and technical characteristics of ship hydrogen installations were analyzed. Using a mathematical model, the optimal main characteristics of the service and auxiliary vessel were calculated. Based on the results, a conceptual design was developed for which the seaworthiness of the service and auxiliary vessel was calculated, namely: elements of buoyancy and initial stability, emergency landing and stability.

Calculations of the speed and power of hydrogen engines were performed. A 3D model, theoretical drawing and general layout drawing were built.

Keywords: Fuel Cell Power Plant, Fuel Cell Stack, Multifunctional service and auxiliary vessel, Design, main dimensions, seaworthiness qualities.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.KP.135.6113M.01.П3.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Анотація .....                                                                                                                                    | 4  |
| Вступ.....                                                                                                                                        | 8  |
| Розділ 1 Сучасний стан застосування водню на водному транспорті. Технічні характеристики водневих установок.....                                  | 10 |
| 1.1 Сучасний стан застосування водню на водному транспорті.....                                                                                   | 11 |
| 1.2 Стан розробок та технічні характеристики водневих установок.....                                                                              | 15 |
| 1.3 Аналіз проектних характеристик суден з водневими установками                                                                                  | 18 |
| Розділ 2 Визначення проектних характеристик службово-допоміжного багатофункціонального судна.....                                                 | 29 |
| 2.1 Початкові дані на розробку проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна.....                                                      | 30 |
| 2.2 Визначення головних розмірів службово-допоміжного багатофункціонального судна.....                                                            | 31 |
| 2.3 Розрахунок потужності головної силової установки проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна та необхідної кількості водню ..... | 32 |
| 2.4 Результати розрахунків проектних характеристик службово-допоміжного багатофункціонального судна .....                                         | 37 |
| 2.5 Формування поверхні корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна.....                                                             | 39 |
| 2.6 Уточнений розрахунок навантаження мас службово-допоміжного багатофункціонального судна.....                                                   | 44 |
| 2.7 Розробка 3D моделі концептуального проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна .....                                             | 54 |
| Розділ 3 Розрахунок морехідних якостей службово-допоміжного багатофункціонального судна.....                                                      | 56 |
| 3.1 Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності.....                                                                                 | 57 |
| 3.2 Розрахунок елементів трюмів, цистерн та інших відсіків .....                                                                                  | 60 |
| 3.3 Розрахунок елементів теоретичного креслення.....                                                                                              | 65 |

|                                                                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4 Інтерполяційні криві плечей остійності форми (пантокарени).....                                             | 69  |
| 3.5 Перевірка остійності судна .....                                                                            | 71  |
| 3.6 Розрахунок аварійної посадки і остійності .....                                                             | 78  |
| Розділ 4 Дослідження ходовості проекту службово-допоміжного                                                     |     |
| багатофункціонального судна.....                                                                                | 82  |
| 4.1 Уточнений розрахунок буксирувального опору.....                                                             | 83  |
| 4.2 Розрахунок характеристик гребного гвинта проекту службово-<br>допоміжного багатофункціонального судна ..... | 88  |
| 4.3 Побудова 3D моделі гребного гвинта .....                                                                    | 93  |
| Висновок .....                                                                                                  | 97  |
| Список використаної літератури .....                                                                            | 98  |
| Додатки.....                                                                                                    | 101 |

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 7    |



## ВСТУП

**Актуальність.** Сьогодні досить багато зусиль інженерів і науковців направлено на зменшення шкідливих викидів з водного транспорту (так звану декарбонізацію водного транспорту), оскільки за даними [1] на морський транспорт приходить 2,89 % річного загальносвітового обсягу викидів парникових газів або близько 1056 млн. т вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ) на рік.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є застосування водню як палива на судах. На даний час існує три напрямки такого використання водню [2, 3].

Перший напрямок передбачає використання звичайних двигунів внутрішнього згоряння, що працюють на водні або водневій суміші. Вони можуть працювати як на чистому водні, так і на суміші основного палива і водню (5—10 %). В обох випадках коефіцієнт корисної дії двигуна збільшується (у другому випадку приблизно на 20 %) і викиди стають набагато чистішими (вміст чадного газу ( $\text{CO}$ ) і вуглеводнів ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) зменшується в півтора рази, оксидів нітрогену ( $\text{N}_n\text{O}_m$ ) — до п'яти разів) [2, 3].

Другий напрямок — це гібридні двигуни з двома електроносіями: рух забезпечується електромотором, енергію якому постачає акумулятор, що у свою чергу заряджається від високо-економічного двигуна внутрішнього згоряння, який працює на суміші водню з бензином [2, 3]. Гібридні двигуни на водні не можна називати повністю екологічно безпечними. У вихлопних газах таких двигунів є чадний газ ( $\text{CO}$ ).

Третій напрямок — використання водневих установок на основі електрохімічних генераторів (паливних елементів).

Повністю екологічно безпечними є судна з водневими, а не гібридними установками. Тому дана кваліфікаційна робота направлена на розробку проекту службово-допоміжного судна з таким типом енергетичної установки.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |



**Мета роботи:** розробка концептуального проекту багатофункціонального службово-допоміжного судна з водневою установкою та оцінка його експлуатаційних характеристик довжиною до 12 метрів.

**Завдання дослідження:**

1. Аналіз сучасного стану застосування водню на водному транспорті та технічних характеристик водневих установок;
2. Аналіз проектних характеристик суден з водневою енергетичною установкою;
3. Аналіз та підготовка початкових даних для розрахунку морехідних якостей службово-допоміжного багатофункціонального судна;
4. Розробка 3D поверхні корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна.
5. Дослідження морехідних якостей службово-допоміжного багатофункціонального судна з використанням сучасних програмних засобів.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

|              |                 |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  |      |  |      |         |    |  |  |
|--------------|-----------------|----------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|------|--|------|---------|----|--|--|
|              |                 |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01                                                                              |  |  |  |      |  |      |         |    |  |  |
|              |                 |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  |      |  |      |         |    |  |  |
| Змн.         | Лист            | № докум. | Підпис | Дата | Сучасний стан застосування водню на водному транспорті.<br>Технічні характеристики водневих установок |  |  |  | Літ. |  | Арк. | Аркушів |    |  |  |
| Студент      | Вашкевич В.В.   |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  |      |  |      | 10      | 20 |  |  |
| Керівник     | Бондаренко О.В. |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  | НУК  |  |      |         |    |  |  |
| Консультант. | Бондаренко О.В. |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  |      |  |      |         |    |  |  |
| Зав. каф.    | Некрасов В.О.   |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  |      |  |      |         |    |  |  |
|              |                 |          |        |      |                                                                                                       |  |  |  |      |  |      |         |    |  |  |

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЮ НА ВОДНОМУ ТРАНСПОРТІ. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЕВИХ УСТАНОВОК

## 1.1 Сучасний стан застосування водню на водному транспорті

Пошук альтернатив для двигунів внутрішнього згорання проводиться науковцями уже досить давно. Особливо ці роботи активізувалися після започаткування процесу декарбонізації транспорту. Одним з варіантів вирішення даної проблеми є застосування водню як палива з використанням паливних елементів замість двигунів внутрішнього згорання.

Історію розвитку даного типу двигунів можна розглядати з 1839 року, коли англійський електрохімік Вільям Роберт Гров, описав досвід розкладання сірчаної кислоти. У процесі проведення експерименту було зафіксовано відхилення стрілки гальванометра при з'єднуванні з двома платиновими смужками, наполовину зануреними в посудину з розведеною сірчаною кислотою. При цьому одна смужка обдувалась воднем, інша киснем [4]. Для даного експерименту процес поєднання водню і кисню з утворення води і отриманням при цьому електричного струму було побічним явищем.

Відкриття Грова не справили тоді на вчених великого враження – занадто нікчемні були струми. Спочатку новинку назвали «елементом Грова», але потім, коли з'ясувалося, що спалювати в ньому можна не тільки водень, а й вугілля, інші види палива, йому було дано назву – «fuel cell», що в перекладі з англійської звучить як паливний елемент.

Сьогодні паливний елемент – це пристрій, в якому енергія взаємодії палива та окислювача, що безперервно і окремо підводяться до електродів, перетворюється на електричну енергію. Паливний елемент перетворює хімічну енергію в електричну поки в нього надходять паливо та окислювач. На основі з'єднання необхідної кількості паливних елементів були створені електрохімічні генератори. Така установка складається з батареї паливних

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 11   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

елементів, систем для підведення палива та окислювача, систем відведення продуктів реакції тощо.

Сучасна установка на водні працює наступним чином. На паливний елемент подається забортне повітря і водень з балонів (рис. 1.1). У паливному елементі відбувається хімічна реакція без горіння, в результаті якої відбувається окислення водню і виробляється електроенергія. Отримувана електроенергія направляється на електродвигун, або заряджає акумуляторну батарею, яка накопичує енергію для роботи силової установки. При з'єднанні водню з киснем, крім електроенергії, також утворюється вода, яка виводиться за борт, або може бути використана для суднових потреб [3].

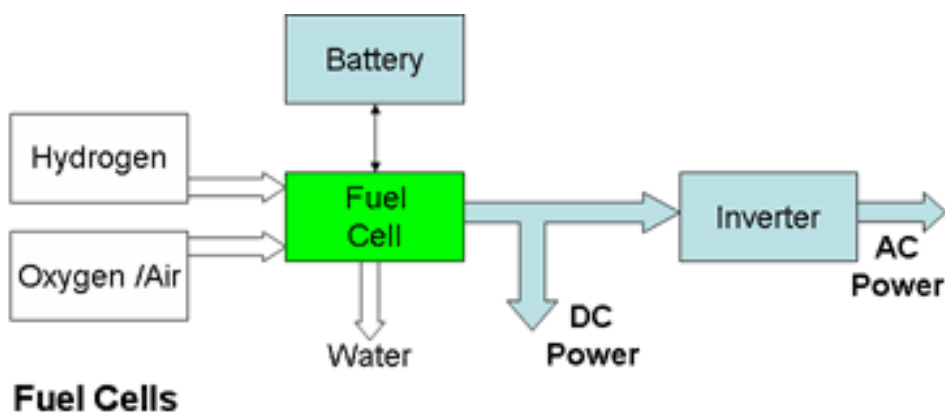


Рисунок 1.1 – Схема роботи установки на водні

Постійний електричний струм, що виробляється на паливних елементах, проходить через інвертор, в якому перетворюється на змінний, а напруга збільшується до 400–700 В. Змінний струм подається на електродвигун, що обертає гребний гвинт або інший рушій судна. При гальмуванні електродвигун працює як генератор, генеруючи енергію у акумулятор, в якому зберігається енергія від рекуперативного гальмування. Акумулятор також використовується для запуску паливного елемента і при русі на максимальній швидкості [3].

На сьогоднішній день використання водню на водному транспорті відбувається за декількома напрямками [2, 3].

Перший напрямок передбачає конвертацію звичайних двигунів внутрішнього згоряння для роботи на чистому водні або суміші основного палива і водню (5–10 %). В обох випадках коефіцієнт корисної дії двигуна збільшується (у другому випадку приблизно на 20 %), а вміст чадного газу (CO) і вуглеводнів (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) зменшується в півтора рази, оксидів нітрогену (N<sub>n</sub>O<sub>m</sub>) – до п'яти разів [2, 3].

Як приклад такого застосування можна навести пором «Hydro Bingo» (рис. 1.2) пасажиромісткістю 80 осіб, побудований японською фірмою Tsuneishi Facilities & Craft у 2021 році [5]. Як паливо на поромі використовується водень та дизель. Для зберігання водню на кормі на палубі порома встановлено цистерну. Корпус катамаранного типу.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд пасажирського порома «Hydro Bingo»

Основні характеристики порома «Hydro Bingo»

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Довжина габаритна, м ..... | 19,40 |
| Ширина габаритна, м .....  | 5,40  |
| Висота борту, м .....      | 1,75  |
| Водотоннажність, т. ....   | 19,00 |

|                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
| Тип рушія .....                   | ГВИНТ           |
| Кількість рушіїв.....             | 2               |
| Максимальна швидкість, вузл. .... | 23              |
| Пасажиромісткість, осіб .....     | 80              |
| Екіпаж.....                       | 2               |
| Матеріал корпусу .....            | Алюміній        |
| Марка двигуна .....               | Volvo Penta D13 |
| Потужність двигуна .....          | 441 кВт         |
| Кількість двигунів .....          | 2               |

Другий напрямок це побудова суден з гібридними двигунами. Рух забезпечується електромотором, енергію якому постачає акумулятор, що у свою чергу заряджається від високо-економічного двигуна внутрішнього згоряння, який працює на суміші водню з бензином. Проте у вихлопних газах таких двигунів є чадний газ (CO) [2, 3].

Третій напрямок – використання водневих установок на основі паливних елементів (рис. 1.3) [2, 3].

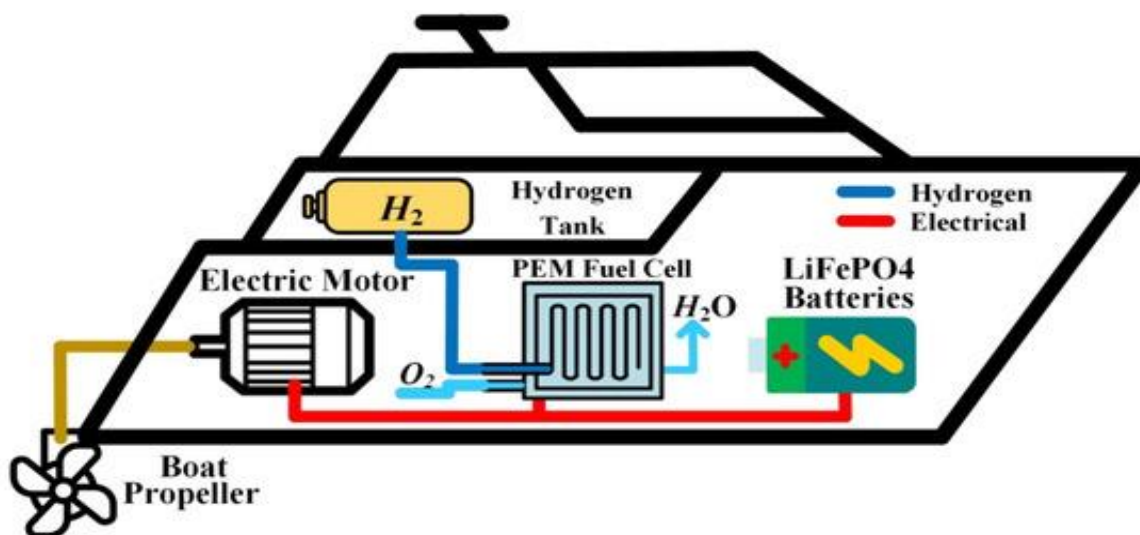


Рисунок 1.3 – Схема енергетичної установки на паливному елементі

Як свідчать дані аналізу, на сьогоднішній день використання таких установок проводиться в основному на експериментальних зразках.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 14   |

Опис основних характеристик суден з таким типом енергетичної установки наведено в пункті 1.3.

Як показав проведений аналіз найбільше застосування водню зараз відбувається в автомобільному транспорті. Передові виробники автомобілів Toyota, Hyundai, Honda, BMW, Mercedes-Benz та інші зараз на ринку пропонують легкові та вантажні автомобілі [6, 7], автобуси, що працюють на водні. На водному транспорті в основному використовуються водневі установки з автомобільного транспорту, адаптовані для суден. В останні роки ведуться дослідження з налагодження серійного випуску водневих двигунів у вигляді єдиного модуля, що об'єднує паливний елемент, модуль управління живленням, систему охолодження, систему безпеки [3].

Значні зусилля направлені на зниження масо-габаритних показників водневих установок та балонів для зберігання водню. Також для успішного застосування водневих двигунів необхідно вирішити проблему бункерування [3].

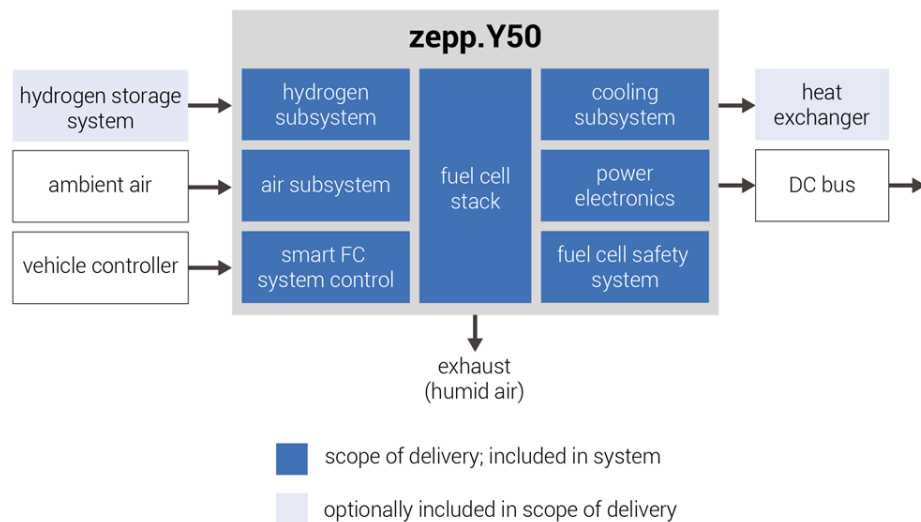
## **1.2 Стан розробок та технічні характеристики водневих установок**

У результаті аналізу встановлено характеристики водневих установок, що зараз пропонуються різними фірмами виробниками. На даний час найбільш досконалими є водневі установки створені фірмою Toyota [8, 9]. Дані установки знайшли своє застосування в автомобільному транспорті. Для потреб водного транспорту використовують модифіковані водневі установки шляхом заміни системи повітряного охолодження на водяне.

Також різними виробниками пропонуються водневі паливні елементи, оформлені у вигляді єдиного модуля, що об'єднує паливний елемент, модуль управління живленням, систему охолодження, систему безпеки (рис. 1.4). Для збільшення потужності модулі можна об'єднувати по декілька штук [3].

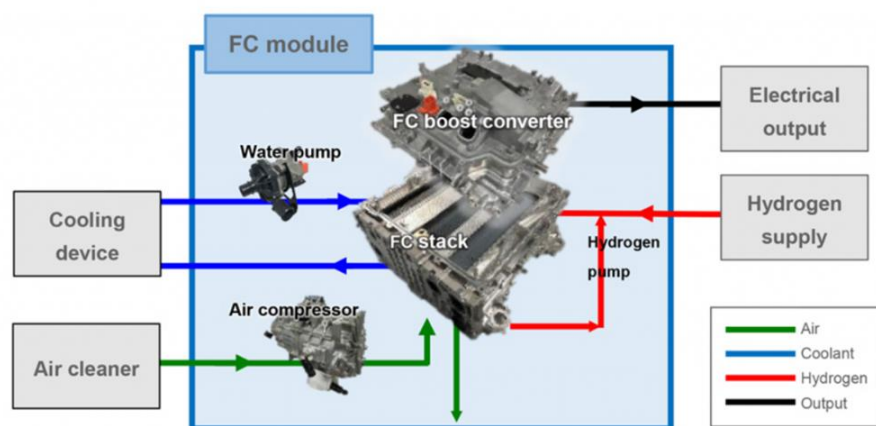
|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 15   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |





*a)*

**Schematic example of connecting the FC module to an external device**



*б)*

Рисунок 1.4 – Воднева установка у вигляді модуля:  
*a* – zepp.solutions; *б* – Toyota

Характеристики модульних паливних елементів наведено в табл. 1.1.



### 1.3 Аналіз проектних характеристик суден з водневими установками

Наступним етапом даної магістерської роботи було вивчення та аналіз наявних суден-прототипів з водневими енергетичними установками.

#### Прогулянковий катер «Yanmar's EX38A FC»

Прогулянковий катер типу monohull з водневою енергетичною установкою був розроблений Yanmar Marine International Asia (Японія) [10] на базі прогулялкового катера EX38A виробництва Yanmar Marine International Asia (рис. 1.5, 1.6). Це демонстраційне судно вперше пройшло випробування у 2021 році.

#### Основні характеристики

|                                      |                     |
|--------------------------------------|---------------------|
| Довжина габаритна, м .....           | 12,39               |
| Ширина габаритна, м .....            | 3,40                |
| Висота борту, м .....                | 1,93                |
| Водотоннажність, т. ....             | 7,90                |
| Осадка, м .....                      | 1,09                |
| Тип рушія .....                      | ГВИНТ               |
| Кількість рушіїв.....                | 1                   |
| Максимальна швидкість, вузл. ....    | 22                  |
| Пасажиromісткість, осіб .....        | 10                  |
| Матеріал корпусу .....               | Склопластик         |
| Тип паливного елемента .....         | Polymer Electrolyte |
| Модель паливного елемента .....      | Toyota MIRAI        |
| Потужність паливного елемента .....  | 92 кВт              |
| Кількість паливних елементів .....   | 2                   |
| Потужність електродвигуна, кВт ..... | 250                 |
| Цистерни для водню .....             | 70МПа x 8 одн       |
| Місткість цистерн .....              | 480 літрів          |
| Тип акумуляторної батареї.....       | Li-ion              |

Кількість акумуляторних батарей .....2  
 Ємність акумуляторної батареї.....32 кВт/год



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд прогулянкового катера «Yanmar's EX38A FC» [10]

Для енергетичної установки було модифіковано модулі водневих паливних елементів з автомобіля Toyota MIRAI з урахуванням особливостей застосування на морі. В першу чергу це стосувалося системи охолодження, конфігурації обладнання та компоновання (рис. 1.7). Так, повітряну систему охолодження було замінено на охолодження морською водою.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 19   |

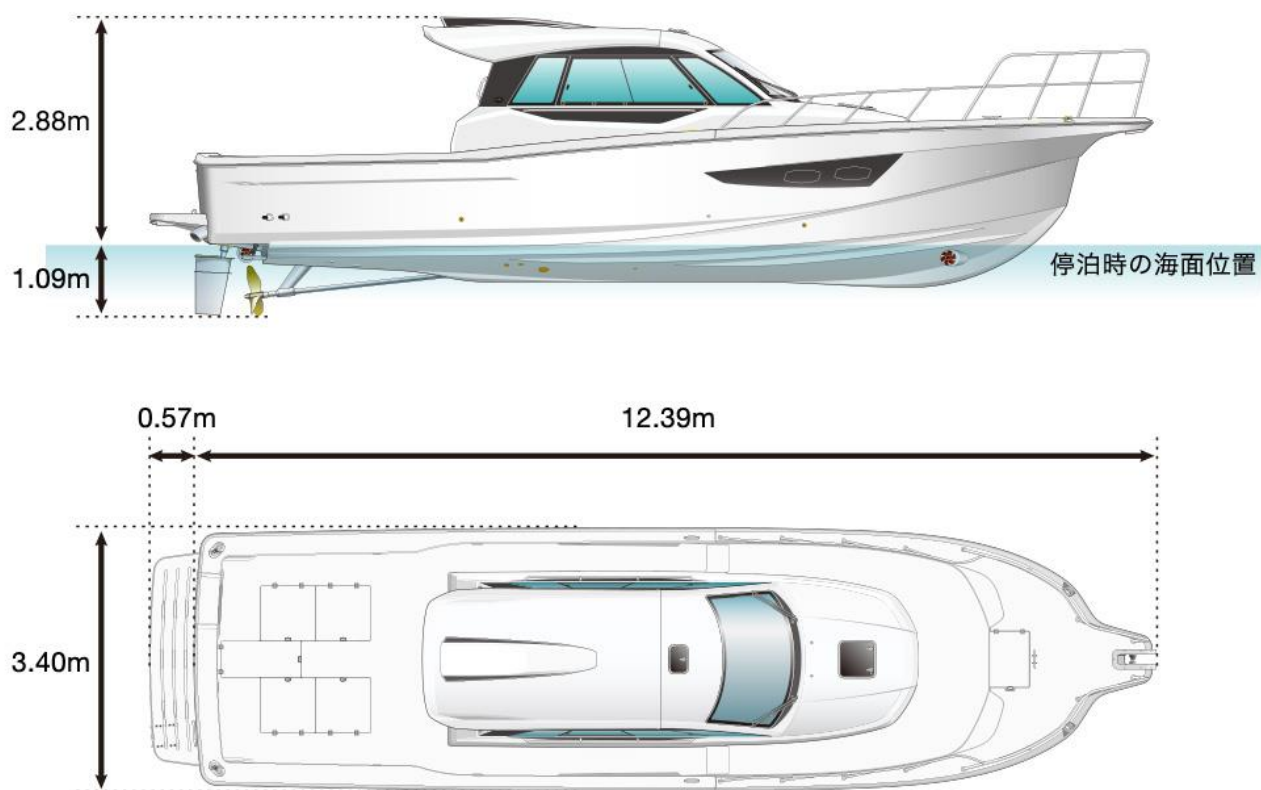


Рисунок 1.6 – Габаритні розміри прогулянкового катера «Yanmar's EX38A FC» [10]

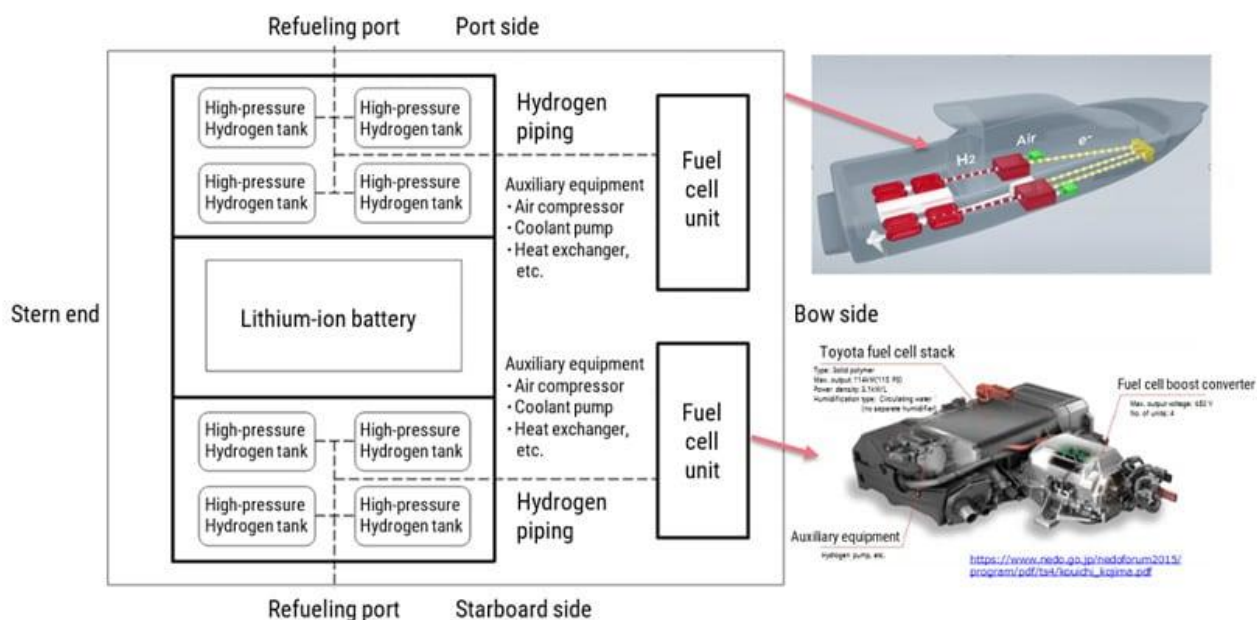


Рисунок 1.7 – Схема енергетичної установки прогулянкового катера «Yanmar's EX38A FC» [10]

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01

Арк.

20



### Яхта «HYNOVA-40»

Яхта (рис. 1.8) побудована французькою суднобудівною компанією Hynova Yachts спільно з інноваційним стартапом Energy Observer Developments у 2020 році на базі серійного корпусу моделі «HYNOVA 42». Тип корпусу – monohull. На яхті використано модульна воднева силова установка Toyota REXH2. Модуль паливних елементів Toyota REXH2 має потужність до 60 кВт та базується на добре відомій технології паливних елементів від Toyota Mirai.



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд прогулянкового катера «Yanmar's EX38A FC» [11]

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

### Основні характеристики

|                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| Довжина габаритна, м .....            | 12,65               |
| Довжина по ватерлінії, м .....        | 12,25               |
| Ширина габаритна, м.....              | 3,77                |
| Ширина по ватерлінії, м .....         | 3,41                |
| Водотоннажність, т. ....              | 8,50                |
| Осадка, м.....                        | 0,73                |
| Тип рушія .....                       | ГВИНТ               |
| Кількість рушіїв.....                 | 2                   |
| Максимальна швидкість, вузл. ....     | 27                  |
| Пасажиромісткість, осіб .....         | 12                  |
| Матеріал корпусу .....                | Склопластик         |
| Тип паливного елемента .....          | Polymer Electrolyte |
| Модель паливного елемента .....       | REXH2               |
| Потужність паливного елемента .....   | 80 кВт              |
| Кількість паливних елементів .....    | 2                   |
| Потужність електродвигуна, кВт .....  | 150                 |
| Кількість електродвигунів.....        | 2                   |
| Цистерни для водню .....              | 35МПа х 3 одн       |
| Місткість цистерн .....               | 936 літрів          |
| Тип акумуляторної батареї.....        | LiFePO              |
| Кількість акумуляторних батарей ..... | 2                   |
| Ємність акумуляторної батареї.....    | 44 кВт/год          |

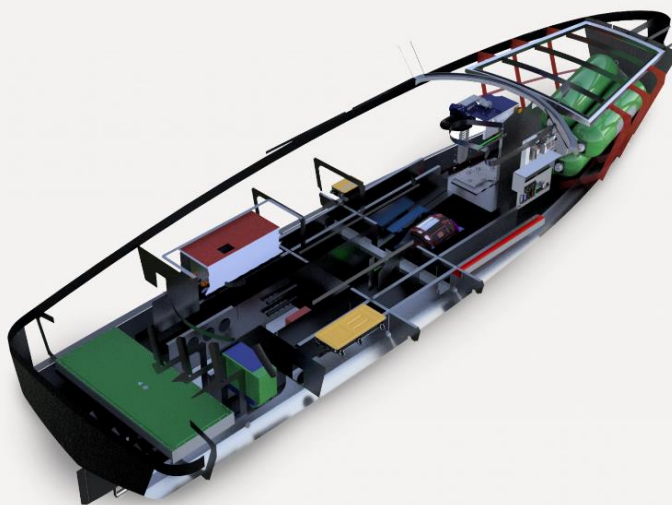
### **Водне таксі «MSTX 22»**

Водне таксі «MSTX 22» (рис. 1.9) побудоване фірмою Alumax Boats [12] у 202 році та використовується в Роттердамі (Нідерланди). Тип корпусу – monohull. На таксі встановлено 1 модуль паливного елемента zepp.Y50 потужністю 45 кВт (рис. 1.10).

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 22   |



## Specifications



### Dimensions:

Length: 8.8m

Width: 2.7m

Draft: 60cm

### Capacity:

Max 12 passengers

### Drive type:

Hydrogen electric

### Battery Specs:

Capacity: 33kWh

Output: 50kW

### Fuel Cell Specs:

Capacity: 45kW

H2 storage: 14kg

Life 9 hours (cruising speed)

### Performance:

Cruising Speed: 16km/h (8.8 knots)

Max Speed: 25km/h (13 knots)

Motor power 95kw

Рисунок 1.9 – Загальний вигляд водного таксі «MSTX 22» [13]

### Основні характеристики

Довжина габаритна, м .....8,80

Ширина габаритна, м .....2,70

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 23   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |



|                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| Осадка, м .....                       | 0,60                |
| Тип рушія .....                       | ГВИНТ               |
| Кількість рушіїв.....                 | 1                   |
| Максимальна швидкість, вузл. ....     | 13                  |
| Пасажиромісткість, осіб .....         | 12                  |
| Матеріал корпусу .....                | Алюміній            |
| Тип паливного елемента .....          | Polymer Electrolyte |
| Модель паливного елемента .....       | zepp.Y50            |
| Потужність паливного елемента .....   | 45 кВт              |
| Кількість паливних елементів .....    | 1                   |
| Потужність електродвигуна, кВт .....  | 95                  |
| Кількість електродвигунів.....        | 1                   |
| Кількість акумуляторних батарей ..... | 1                   |
| Ємність акумуляторної батареї.....    | 33 кВт/год          |



Рисунок 1.10 – Розташування основних елементів водного таксі  
«MSTX 22» [13]

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 24   |

### Пасажирський пором «Sea Change» (ex. «WATER-GO-ROUND»)

Судно катамаранного типу (рис. 1.11 – 1.12) введене спущене на воду у 2021 році за проєктом Incat Crowther [14]. Побудоване в США компаніями Bay Ship and Yacht та All American Marine. Зараз здійснює комерційні рейси в районі затоки Сан-Франциско (США).



Рисунок 1.11 – Загальний вигляд пасажирського порому «Sea Change» [14]

#### Основні характеристики

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Довжина габаритна, м .....        | 22,10 |
| Ширина габаритна, м.....          | 7,50  |
| Висота борту, м .....             | 2,90  |
| Осадка корпусом, м.....           | 1,10  |
| Тип рушія .....                   | ГВИНТ |
| Кількість рушіїв.....             | 2     |
| Максимальна швидкість, вузл. .... | 15    |

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 25   |

|                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| Пасажиromісткість, осіб .....         | 75                           |
| Матеріал корпусу .....                | Алюміній                     |
| Тип паливного елемента .....          | Polymer Electrolyte          |
| Модель паливного елемента .....       | Cummins HyPM™ R120 Fuel Cell |
| Потужність паливного елемента .....   | 120 кВт                      |
| Кількість паливних елементів .....    | 3                            |
| Потужність електродвигуна, кВт .....  | 300                          |
| Кількість електродвигунів.....        | 2                            |
| Цистерни для водню .....              | 25МПа x 10 одн               |
| Тип акумуляторної батареї.....        | Li-Ion                       |
| Кількість акумуляторних батарей ..... | 2                            |
| Ємність акумуляторної батареї.....    | 100 кВт/год                  |

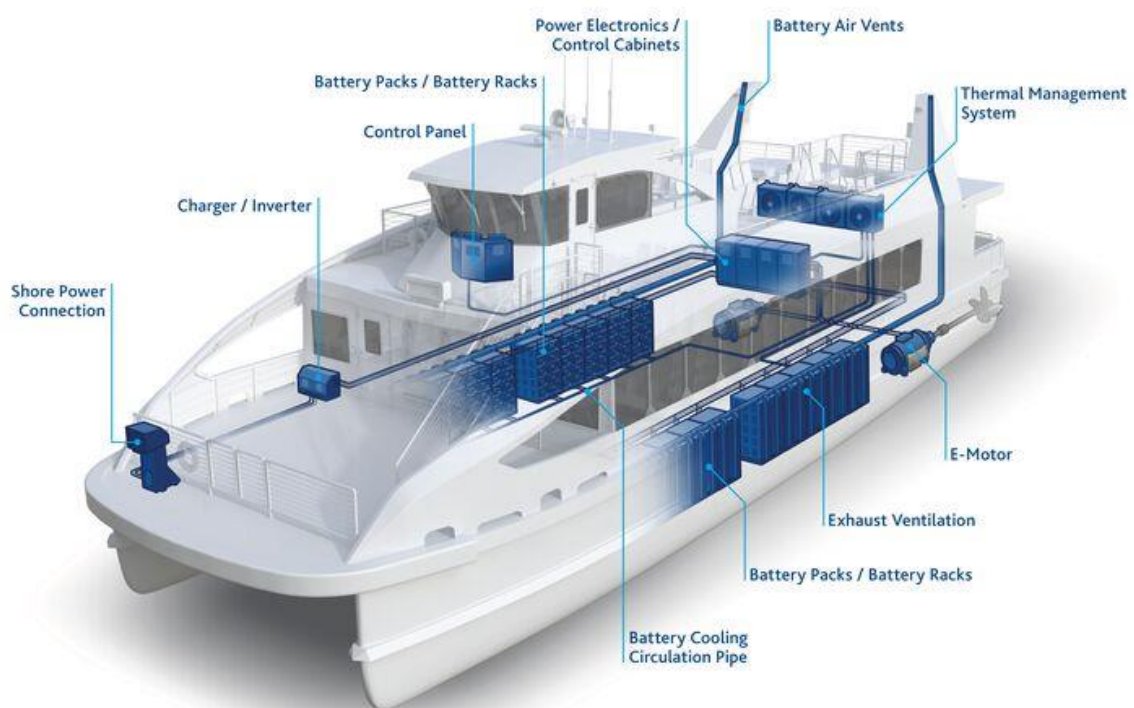


Рисунок 1.12 – Розташування основного обладнання на пасажирському поромі «Sea Change»

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 | 26   |

## Службово-допоміжне судно Three Gorges Hydrogen Boat No. 1 (三峡氢舟1)

Судно (рис. 1.13) є результатом спільної розробки компанії Yangtze River Electric Power Company та China State Shipbuilding Corporation. Спущено на воду у 2023 році. Судно буде використовуватися для транспортування, патрулювання та надзвичайних ситуацій у районі водосховища Three Gorges. Корпус катамаранного типу.



Рисунок 1.13 – Загальний вигляд судна «三峡氢舟1»

### Основні характеристики [15]

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| Довжина габаритна, м .....        | 49,90 |
| Ширина габаритна, м .....         | 10,40 |
| Висота борту, м .....             | 3,20  |
| Осадка, м .....                   | 1,85  |
| Тип рушія .....                   | ГРК   |
| Кількість рушіїв .....            | 2     |
| Максимальна швидкість, вузл. .... | 15,2  |
| Пасажиромісткість, осіб .....     | 80    |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 27   |

Матеріал корпусу ..... Сталь+ Алюміній  
 Тип паливного елемента .....Polymer Electrolyte  
 Модель паливного елемента .....RMZA 70K  
 Потужність паливного елемента .....70 кВт  
 Кількість паливних елементів .....8  
 Потужність електродвигуна, кВт .....500  
 Кількість електродвигунів.....2  
 Цистерни для водню .....35МПа х 32 одн.  
 Місткість паливних цистерн .....10240 літрів  
 Тип акумуляторної батареї.....LiFePO  
 Ємність акумуляторної батареї.....2× 903 кВт/год

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.01</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

|              |      |                 |        |      |                                                                                     |  |  |      |      |         |    |
|--------------|------|-----------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|--|------|------|---------|----|
|              |      |                 |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02                                                            |  |  |      |      |         |    |
|              |      |                 |        |      |                                                                                     |  |  |      |      |         |    |
| Змн.         | Лист | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                                     |  |  |      |      |         |    |
| Студент      |      | Вашкевич В. В.  |        |      | Визначення проектних характеристик службово-допоміжного багатофункціонального судна |  |  | Літ. | Арк. | Аркушів |    |
| Керівник     |      | Бондаренко О.В. |        |      |                                                                                     |  |  |      |      | 29      | 27 |
| Консультант. |      | Бондаренко О.В. |        |      |                                                                                     |  |  | НУК  |      |         |    |
| Зав. каф.    |      | Некрасов В.О.   |        |      |                                                                                     |  |  |      |      |         |    |
|              |      |                 |        |      |                                                                                     |  |  |      |      |         |    |

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЄКТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЖБОВО-ДОПОМІЖНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО СУДНА

### 2.1 Початкові дані на розробку проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна

Для розробки концептуального проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна-платформи з енергетичною установкою, що працює на водневих паливних елементах було сформовано початкові дані та основні вимоги.

*Клас судна:* КМ ✦ П1 AUT1 EPP «лоцмейстерське»

*Тип і призначення судна* – самохідне судно призначене для проведення робіт з очищення акваторії від забруднення нафтопродуктами та сміттям, забезпечення навігаційної безпеки, постановки навігаційних знаків і загороджувальних сіток, висадки десанту та інше. Багатофункціональність платформи буде досягатися за рахунок встановлення 20 футового контейнера з відповідним обладнанням.

*Основні вимоги до проєкту:*

- довжина судна-платформи до 11 м;
- повністю екологічно безпечно за рахунок використання водневої енергетичної установки;
- матеріал корпусу – алюмінієво-магнієвий сплав;
- повинна бути забезпечена можливість розміщення на палубі стандартного 20-футового контейнера;
- можливість встановлення крана вантажопідйомністю 5 –6 тон.

*Район плавання* – Прибережний 1.

Прибережне плавання в морських районах при сприятливих погодних умовах при хвилюванні з висотою хвиль 3%-ї забезпеченості не більше 6,0 м і вітрі не більше 8 балів з віддаленням від берегової лінії не більше 20 миль та віддаленням від місця укриття не більше 50 миль або без обмежень на внутрішніх водних шляхах в зонах 1, 2, 3 і 4. Для цього району, за узгодженням з Регістром,

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 30   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



може бути призначене спеціальне обмеження хвилювання по висоті хвиль 3%-ї забезпеченості в межах від 6,0м до 3,5м включно із зазначенням у формулі класу судна, як це викладено в 2.2.5.7.2.2 даної частини Правил [16].

***Технічні характеристики:***

Максимальна швидкість – не менше 18 вузлів

Автономність – 1 доба;

Екіпаж, осіб – 2...3 особи

## **2.2 Визначення головних розмірів службово-допоміжного багатофункціонального судна**

За прототип проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна було взято 32.8' x 11.8'- V Landing Craft [17].

Основні характеристики судна-прототипу:

Довжина корпусу – 9,98 м;

Ширина корпусу – 3,56 м;

Маса спорядженого судна – 9265 кг;

Маса голого корпусу – 6250 кг;

Кут кілеватості на транці – 15 град;

Кут кілеватості в районі 4 шпангоута – 25 град;



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд судна-прототипу [17]

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 31   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

Для вибору головних розмірів проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна було використано статистичний метод проєктування. На початковому етапі за статистичними даними отримано співвідношення головних розмірів проєкту. Далі, використовуючи дані співвідношення, було розраховано довжину, ширину та висоту борта судна.

На наступному етапі було відкореговано розміри з урахуванням особливостей проєкту. Так ширину судна було відкориговано згідно вимоги розміщення 20 футового контейнеру з дотриманням вимог забезпечення мінімальної відстані для проходу вздовж борту та урахуванням розмірів стійок набору фальшборта.

## **2.3 Розрахунок потужності головної силової установки проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна та необхідної кількості водню**

### **2.3.1 Розрахунок потужності головної силової установки проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна**

У концептуальному проєкті службово-допоміжного багатофункціонального судна в якості енергетичної установки обрано енергетичну установку, яка працює на водні. Така енергетична установка має наступні основні вузли та системи (рис. 2.2, 2.3): водневий паливний елемент (FC Stack), акумуляторна батарея (Battery), електродвигун (Motor), балони для зберігання водню (High-pressure hydrogen tank), модуль управління живленням (FC system control), перетворювач напруги (DC/DC converter), Інвертор (Inverter), систему охолодження (cooling system), систему безпеки (Fuel cell safety system), Зарядний блок (Charger) [3].

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

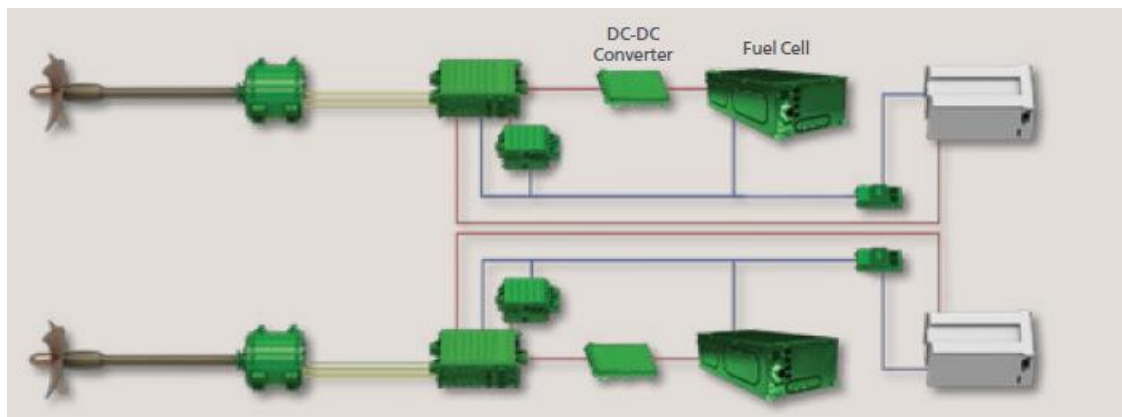


Рисунок 2.2 – Схема водневої енергетичної установки

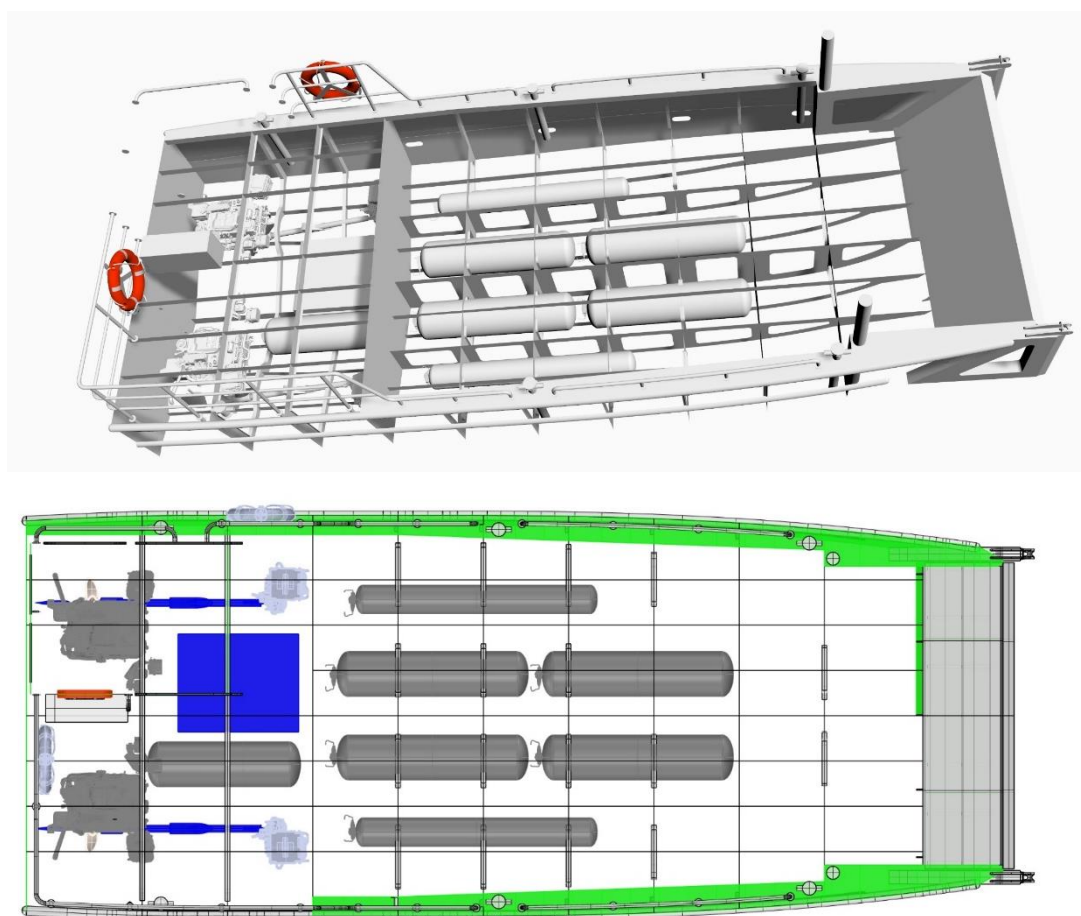


Рисунок 2.3 – Схема енергетичної установки службово-допоміжного багатофункціонального судна [3]

Для попереднього розрахунку потужності головного двигуна використовуємо програму Maxsurf Resistance. За результатами розрахунків встановлюємо, що для руху зі швидкістю 18 вузлів потрібна загальна потужність

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 33   |

електричних двигунів 278,524 кВт (див. пункт 4.1). Враховуючи, що на судні буде встановлено 2 електродвигуни підбираємо двигуни по 140 кВт кожний (табл. 2.1).

На наступному кроці визначаємо необхідну потужність модуля паливного елемента для забезпечення максимальної швидкості руху 18 вузлів. Розрахунок ве

Розрахунок такої потужності здійснено за залежністю згідно до рис. 2.4

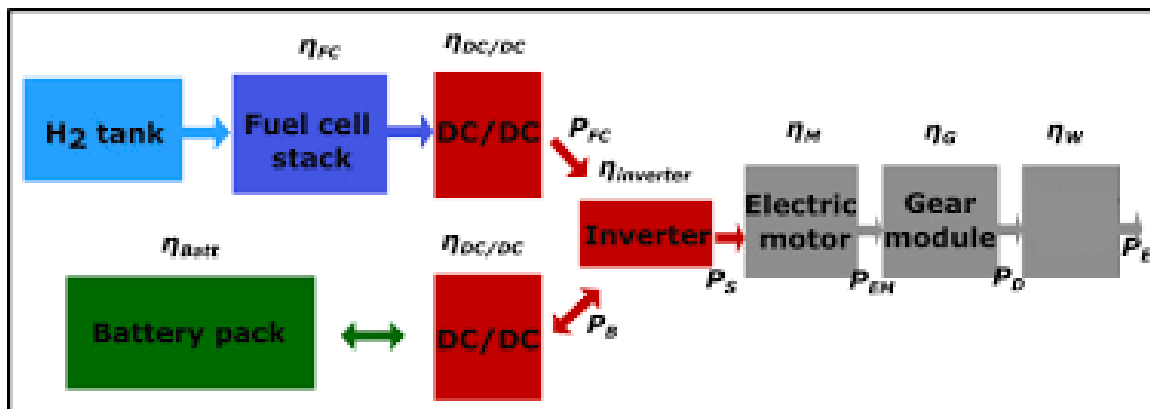


Рисунок 2.4 – Схема передачі потужності від паливного елемента до гвинта [18]

Потужність електромоторів  $P_{EM}$ , необхідна для руху судна з заданою швидкістю визначається за попереднім розрахунком ходовості судна і становить 278,524 кВт.

З іншої сторони

$$P_S = \frac{P_{EM}}{\eta_M},$$

де

$\eta_M$  – ККД електромотора. Прийнято рівним 96 %.

Цю потужність можна забезпечити потужністю паливного елемента та акумуляторної батареї:

$$P_S = P_{FC}\eta_{inv} + P_B\eta_{inv},$$

де

$P_{FC}$  – потужність паливного елемента, кВт;

$P_B$  – потужність акумуляторної батареї, кВт;

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

$\eta_{inv}$  – ККД інвертора. Прийнято рівним 95 %.

Тоді сумарну потужність паливного елемента та акумуляторної батареї можна визначити за залежністю

$$P_{FC} + P_B = \frac{P_{EM}}{\eta_{inv} \eta_M \eta_{DC/DC}},$$

де

$\eta_0$  – ККД DC/DC перетворювача. Прийнято рівним 97 %.

$$P_{FC} + P_B = \frac{278,524}{0,95 \times 0,96 \times 0,97} = 314,72 \text{ кВт}.$$

Орієнтуючись на паливний елемент Toyota потужність 128 кВт у кількості 2 одиниць визначаємо необхідну потужність акумуляторної батареї:

$$P_B = 314,72 - 256,0 = 58,72 \text{ кВт}$$

Враховуючи, що в крім двигуна на судні будуть інші споживачі енергії та приймаючи максимальну глибину розрядки акумуляторної батареї 0,5 [19] приймаємо для судна 2 акумуляторні батареї 50 кВт/год.

Характеристики прийнятих компонентів енергетичної установки наведено в табл. 2.1.

### 2.3.2 Розрахунок необхідної кількості водню та вибір основних компонентів енергетичної установки судна

Виходячи з умов експлуатації судна та тривалості рейсу необхідно визначити кількість водню для виконання такого рейсу.

Для цього потрібно визначитися з необхідною потужністю паливного елемента.

Початковими даними для такого розрахунку є:

- швидкість експлуатаційна – 12 вузл.;
- ККД генератора водню – 62 %;
- необхідна потужність двигуна на валу – 120,675 кВт;
- необхідна потужність паливного елемента – 135,6 кВт.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 35   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Виходячи з умов експлуатації, а саме в денний час, приймаємо тривалість безперервної роботи паливного елемента – 8 годин.

Тоді необхідну кількість водню визначаємо за формулою [19]:

$$H_a = \frac{P \times t \times 3600}{\eta \times LHV},$$

де

$P$  – потужність паливного елемента, кВт;

$\eta$  – ККД генератора водню, %;

$t$  – час експлуатації судна (тривалість безперервної роботи паливного елемента), год;

$LHV$  – теплота згоряння 1 кг водню, кДж/кг.  $LHV$  1 кг водню за нижчою межею становить 120 000 кДж/кг.

Виходячи з прийнятих розрахункових даних отримуємо необхідну масу водню для здійснення 8-ми годинного рейсу при експлуатаційній швидкості 12 вузл.:

$$H_a = \frac{135,6 \times 8 \times 3600}{0,62 \times 120000} = 52,49 \text{ кг}.$$

На наступному кроці визначаємо кількість балонів та їх об'єм, необхідний для розміщення такої кількості водню. Для цього користуємося даними фірми-виробника Toyota (рис. 2.5).

Враховуючи велику масу балонів, проводимо пошук оптимального співвідношення кількості балонів, їх місткості мінімізуючи загальну масу балонів з урахуванням можливості розташування балонів у корпусі судна.

Прийнята остаточна кількість балонів передбачає використання 7 балонів з місткістю:

$$H_a = 4 \times 9,4 + 2 \times 4,9 + 1 \times 7,2 = 54,60 \text{ кг}.$$

Інші параметри балонів та прийнятого обладнання енергетичної установки наведено в табл. 2.1.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

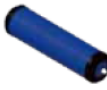
|                                |                                                   | G2-1                                                                              | G2-2                                                                              | G2-3                                                                              | G2L-1                                                                              | G2L-2                                                                               | G2L-3                                                                               | G2XL-1                                                                              |
|--------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Product specifications         |                                                   |  |  |  |  |  |  |  |
| Nominal use pressure           | MPa                                               | 70                                                                                |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                     |
| Length                         | mm                                                | 1,467                                                                             | 1,201                                                                             | 684                                                                               | 2,060                                                                              | 1,850                                                                               | 1,650                                                                               | 2,060                                                                               |
| Diameter                       | mm                                                | 299                                                                               | 299                                                                               | 299                                                                               | 486                                                                                | 486                                                                                 | 486                                                                                 | 702                                                                                 |
| Internal volume                | L                                                 | 64.9                                                                              | 52.0                                                                              | 25.3                                                                              | 230.0                                                                              | 202.0                                                                               | 176.0                                                                               | 458.5                                                                               |
| Tank mass                      | kg                                                | 43.0                                                                              | 36.7                                                                              | 22.6                                                                              | 136.0                                                                              | 118.0                                                                               | 100.9                                                                               | 243.8                                                                               |
| Hydrogen storage capacity@NWP  | kg                                                | 2.6                                                                               | 2.1                                                                               | 1.0                                                                               | 9.4                                                                                | 8.2                                                                                 | 7.2                                                                                 | 18.8                                                                                |
| Conformity Codes and Standards | Chinese organization standard T/CATSI 02 007-2020 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   | Regulation on Safety of Containers annex11                                         |                                                                                     |                                                                                     | UN-R134, EU2021/535                                                                 |
|                                | UN-R134,EU 2021/535 <sup>*2</sup>                 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                   | UN-R134 <sup>*2</sup> ,EU 2021/535 <sup>*2</sup>                                   |                                                                                     | TBD                                                                                 |                                                                                     |

Рисунок 2.5 – Масо габаритні показники балонів [20]

Таблиця 2.1 – Характеристики основних компонентів водневої енергетичної установки

| Назва            | Найменування показника                         | Значення показника            |
|------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|
| Hydrogen tank    | Number of tanks                                | 7                             |
|                  | Nominal working pressure, MPa                  | 70                            |
|                  | One tank capacity, l                           | 192,29                        |
|                  | Tank internal volume, l                        | 1346                          |
|                  | Hydrogen mounted amount one tank, kg           | 7,8                           |
|                  | Hydrogen storage mass, kg                      | 54,6                          |
|                  | One tank weight, kg                            | 108,7                         |
|                  | Combined tank weight (kg, not including valve) | 760,9                         |
| Fuel Cell System | Model                                          | Toyota MIRAI                  |
|                  | Maximum output, kW                             | 128                           |
|                  | Type:                                          | Polymer electrolyte fuel cell |
|                  | Weight power density, kW/kg                    | 2                             |
|                  | Volume power density, kW/L                     | 5,4                           |
|                  | Volume, L                                      | 24                            |
|                  | Fuel cell efficiency (%)                       | 62                            |
|                  | Maximum output voltage, V                      | 650                           |
|                  | Number                                         | 2                             |
|                  | Weight, kg                                     | 77,5                          |



## Продовження таблиці 2.1

|         |                                     |                        |
|---------|-------------------------------------|------------------------|
| Motor   | Continuous power, kW                | 140                    |
|         | Continuous torque, Nm               | 275                    |
|         | Type:                               | Permanent-magnet motor |
|         | Weight, kg                          | 100                    |
|         | Motor model code                    | iDM-375                |
|         | Number                              | 2                      |
| Battery | rpm\max rpm                         |                        |
|         | Type:                               | Lithium-ion (Li-ion)   |
|         | Nominal capacity, kWh               | 50                     |
|         | Battery capacity (Ahr)              |                        |
|         | Peak output, kW                     |                        |
|         | Number cells                        |                        |
|         | Weight, kg                          | 279,5                  |
|         | Number                              | 2                      |
|         | Working Voltage range(DC V)         | 350V – 750V            |
|         | Dimension (L/W/H, mm)               | 1300 x 1050 x 112      |
|         | Power output (V)                    |                        |
|         | Number other outfit                 | 2                      |
|         | Other outfit (Inverter, charger...) | 100                    |

## 2.4 Результати розрахунків проєктних характеристик службово-допоміжного багатофункціонального судна

У результаті проведених розрахунків за методикою, яка наведена вище, з використанням Microsoft Office Excel та Maxsurf отримаємо наступні проєктні характеристики службово-допоміжного багатофункціонального судна:

|                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| Дедвейт                      | $DW = 5,325 \text{ т}$     |
| Автономність                 | 1 доба;                    |
| Кількість екіпажу            | $n_{ЕК} = 2 \text{ особи}$ |
| Швидкість                    | $V_s = 18.0 \text{ вуз}$   |
| Довжина найбільша            | $L = 10,83 \text{ м}$      |
| Довжина по КВЛ               | $L = 9,438 \text{ м}$      |
| Довжина між перпендикулярами | $L = 8,941 \text{ м}$      |

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Ширина по КВЛ

$B = 4,130 \text{ м}$

Осадка

$T = 0,717 \text{ м}$

Висота борту

$H = 1,75 \text{ м}$

Коефіцієнт загальної повноти

0,471

Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоуту

0,664

Коефіцієнт повноти площі конструктивної ватерлінії

0,870

Водотоннажність

$\Delta = 13,54 \text{ т}$

## 2.5 Формування поверхні корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна

Тривимірна модель поверхні корпусу судна була побудована за даними 33' Aluminum Landing Craft (рис. 2.6) в програмному комплексі Rhinoceros.

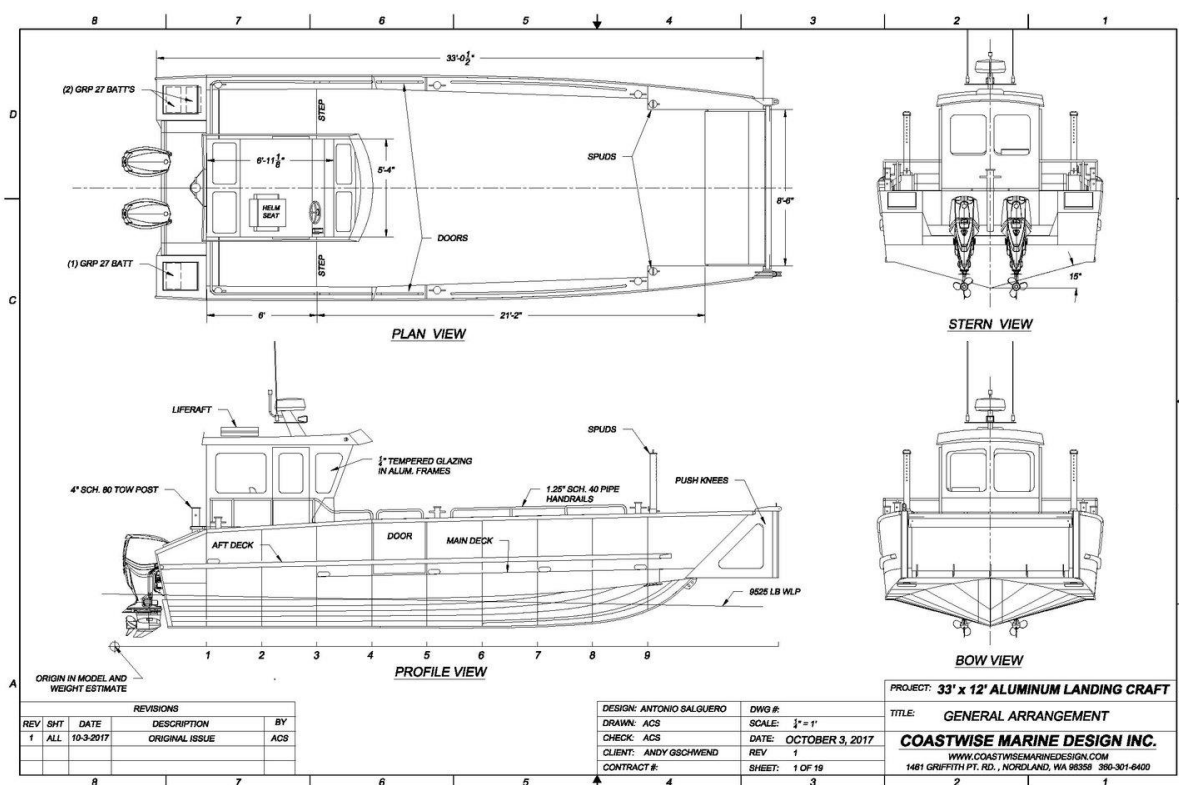


Рисунок 2.6 – Креслення корпусу судна-прототипу

Розробка 3D поверхні корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна розпочинається зі створення каркасної моделі корпусу. Для цього відкриваємо рисунок корпусу близького судна-прототипу в

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

програмі Rhinoceros та використовуючи метод оцифрування рисунку створюємо характерні лінії, зберігаючи при цьому проекційні взаємозв'язки. У результаті такої побудови ми отримуємо каркасну 3D модель корпусу службово-допоміжного багатфункціонального судна (рис. 2.7, 2.8)

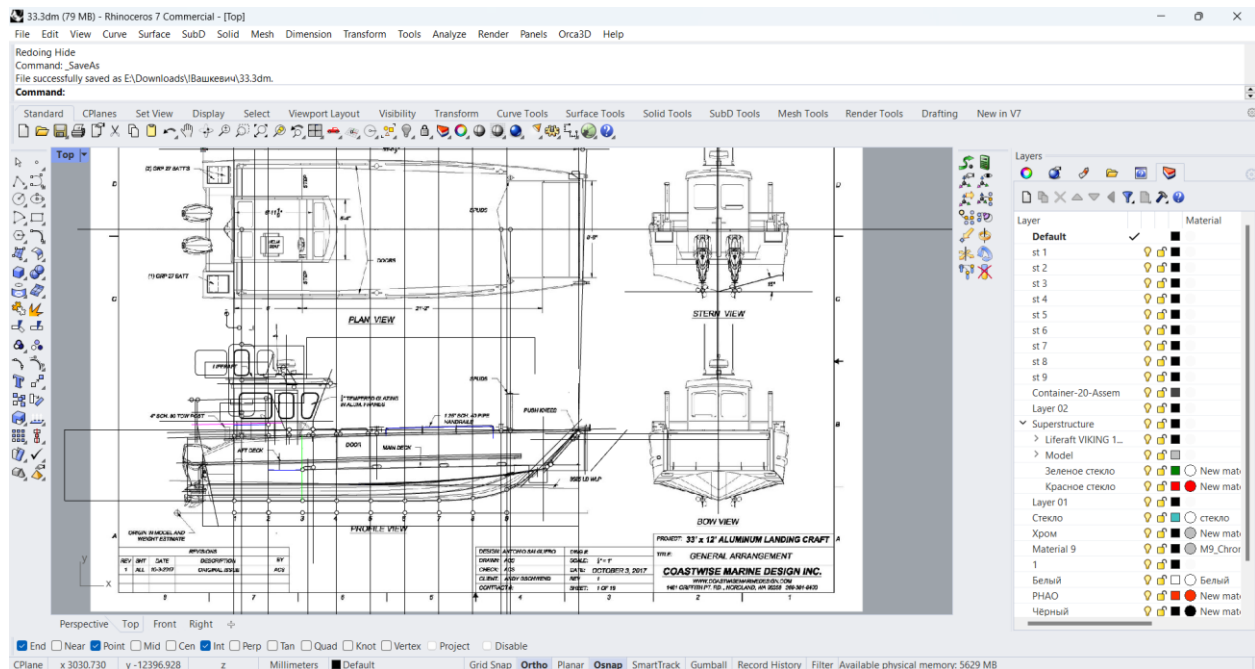


Рисунок 2.7 – Процес оцифрування корпусу судна-прототипу

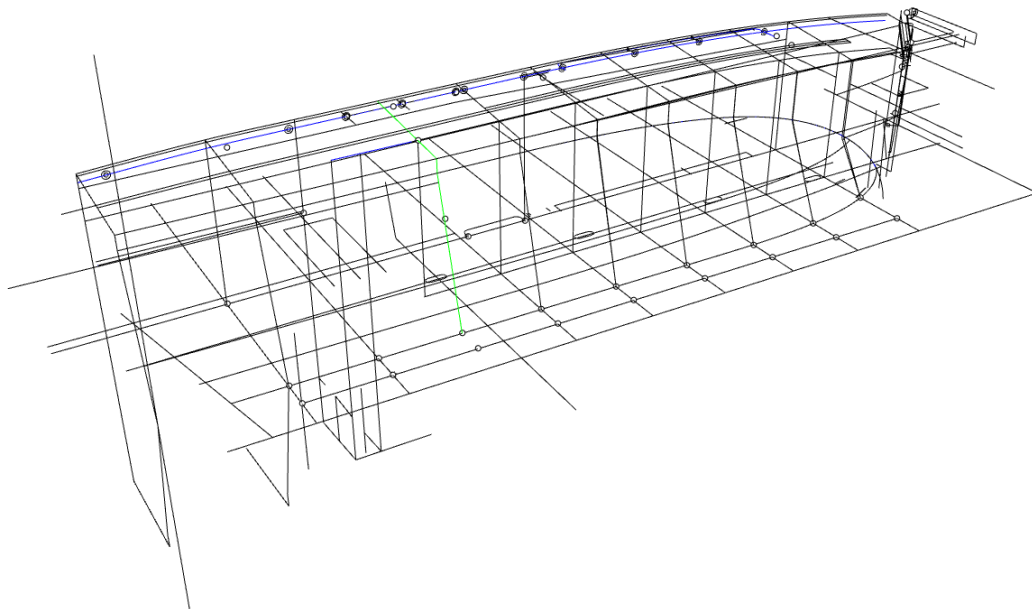


Рисунок 2.8 – Каркасна 3D модель корпусу службово-допоміжного багатфункціонального судна

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Далі за допомогою команд побудови поверхонь створюємо 3D поверхню корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна (рис. 2.9). Отриману в Rhinoceros 3D поверхню корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна а експортуємо в Maxsurf для подальшого виконання розрахунків морехідних якостей (рис. 2.10).

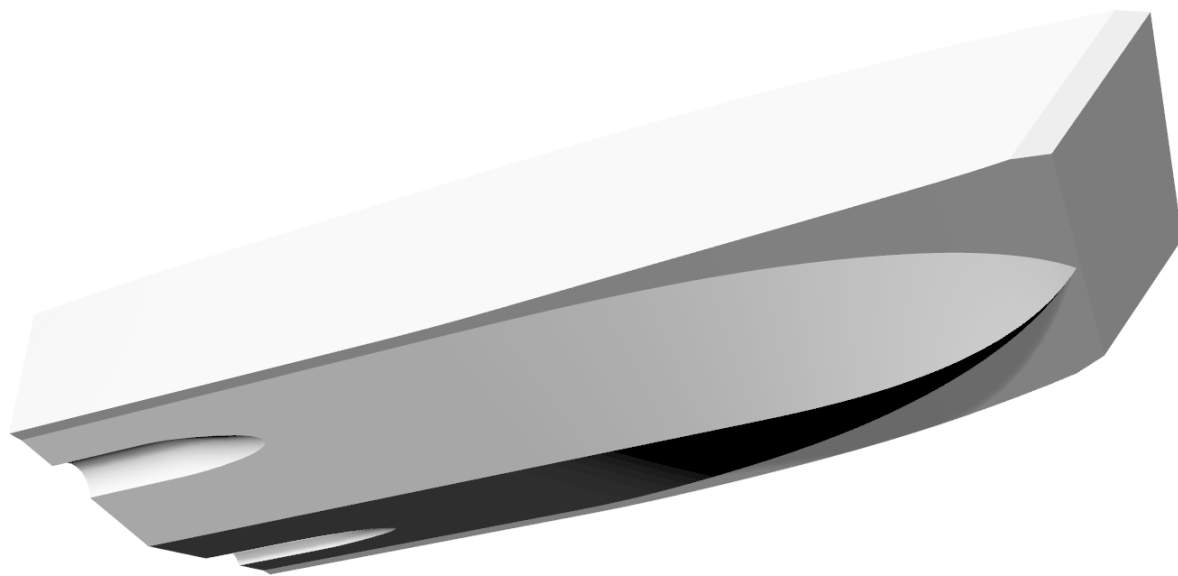


Рисунок 2.9 – 3D поверхня корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна в Rhinoceros

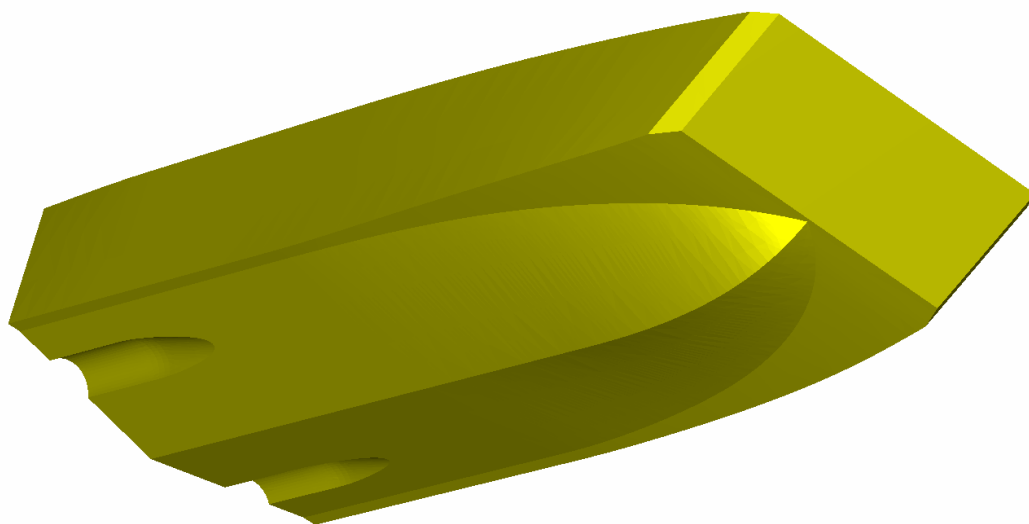


Рисунок 2.10 – Створення корпусу службово-допоміжного багатофункціонального судна в Maxsurf

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

За допомогою цієї програми можна перевірити характеристики службово-допоміжного багатofункціонального судна (рис. 2.11 і табл. 2.2).

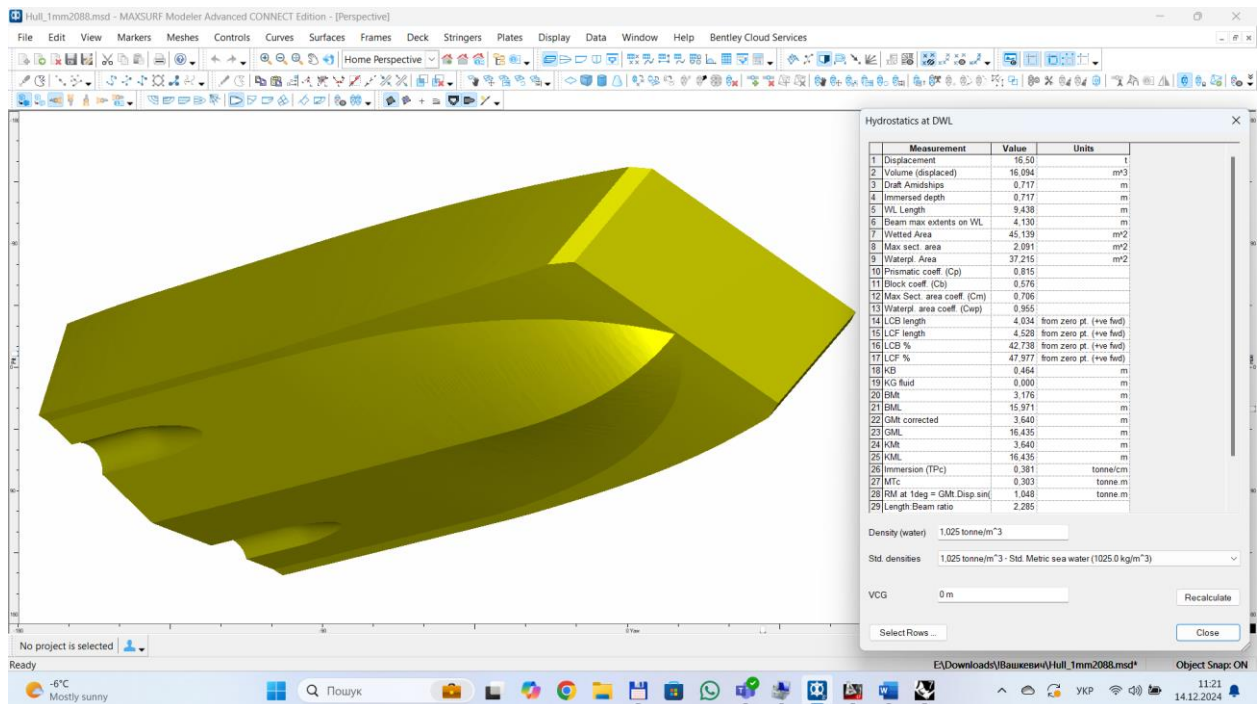


Рисунок 2.11 – Визначення гідростатичних характеристик службово-допоміжного багатofункціонального судна

Таблиця 2.2 – Основні характеристики проєкту службово-допоміжного багатofункціонального судна

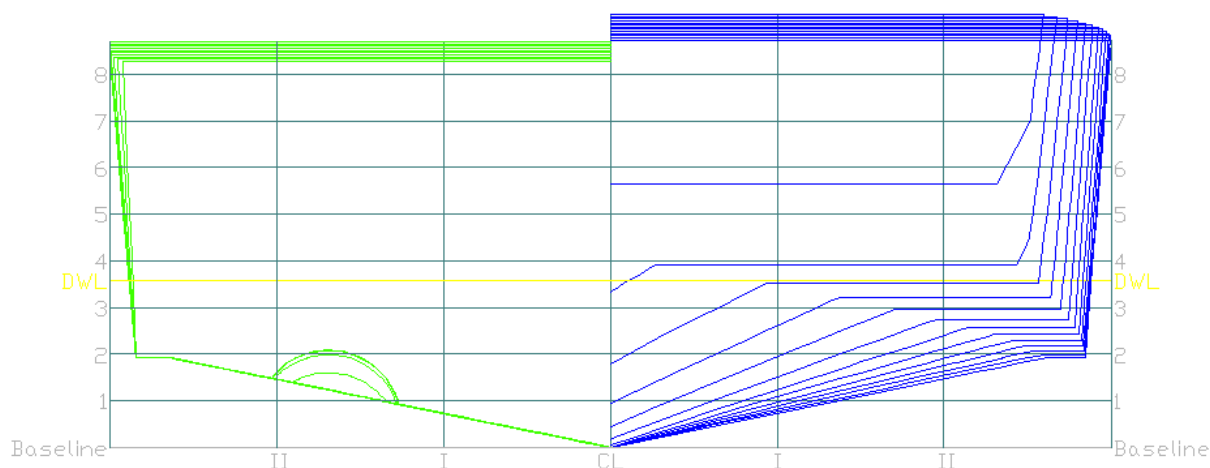
| Measurement                | Value  | Units          |
|----------------------------|--------|----------------|
| Displacement               | 16,50  | t              |
| Volume (displaced)         | 16,094 | m <sup>3</sup> |
| Draft Amidships            | 0,717  | m              |
| Immersed depth             | 0,717  | m              |
| WL Length                  | 9,438  | m              |
| Beam max extents on WL     | 4,130  | m              |
| Wetted Area                | 45,139 | m <sup>2</sup> |
| Max sect. area             | 2,091  | m <sup>2</sup> |
| Waterpl. Area              | 37,215 | m <sup>2</sup> |
| Prismatic coeff. (Cp)      | 0,815  |                |
| Block coeff. (Cb)          | 0,576  |                |
| Max Sect. area coeff. (Cm) | 0,706  |                |

Продовження таблиці 2.2

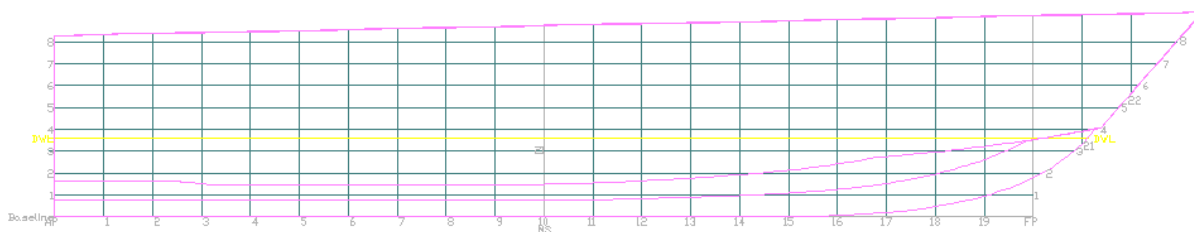
|                                 |        |                              |
|---------------------------------|--------|------------------------------|
| Waterpl. area coeff. (Cwp)      | 0,955  |                              |
| LCB length                      | 4,034  | from amidsh. (+ve fwd) m     |
| LCF length                      | 4,528  | from amidsh. (+ve fwd) m     |
| LCB %                           | 42,738 | from amidsh. (+ve fwd) % Lwl |
| LCF %                           | 47,977 | from amidsh. (+ve fwd) % Lwl |
| KB                              | 0,464  | m                            |
| KG fluid                        | 0,000  | m                            |
| BMt                             | 3,176  | m                            |
| BML                             | 15,971 | m                            |
| GMt corrected                   | 3,640  | m                            |
| GML                             | 16,435 | m                            |
| KMt                             | 3,640  | m                            |
| KML                             | 16,435 | m                            |
| Immersion (TPc)                 | 0,381  | tonne/cm                     |
| MTc                             | 0,303  | tonne.m                      |
| RM at 1deg =<br>GMt.Disp.sin(1) | 1,048  | tonne.m                      |
| Precision                       | Medium | 23 stations                  |

Теоретичне креслення службово-допоміжного багатofункціонального судна наведено на рис. 2.12.

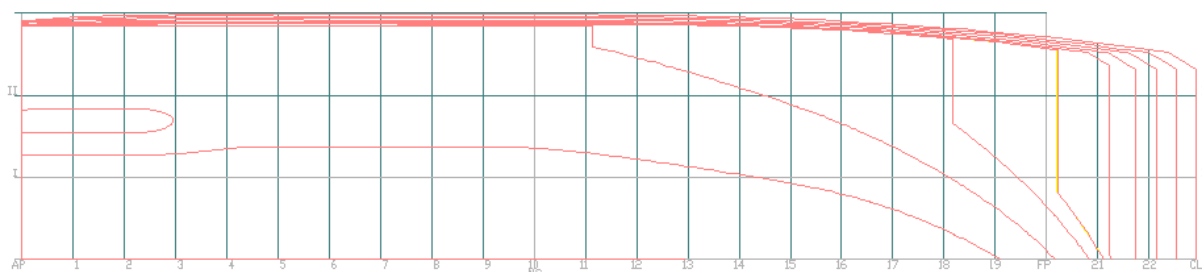
|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.KP.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



а) Проекція «Корпус»



б) Проекція «Бік»



в) Проекція «Напівширина»

Рисунок 2.12 – Теоретичне креслення службово-допоміжного багатфункціонального судна

## 2.6 Уточнений розрахунок навантаження мас службово-допоміжного багатфункціонального судна

Розрахунок навантаження мас службово-допоміжного багатфункціонального судна виконано за розробленою 3D моделлю основних

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 44   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



корпусних конструкцій в середовищі Rhinoceros з дотриманням вимог Правил класифікаційного товариства [16]. Дану 3D модель представлено на рис. 2.13.

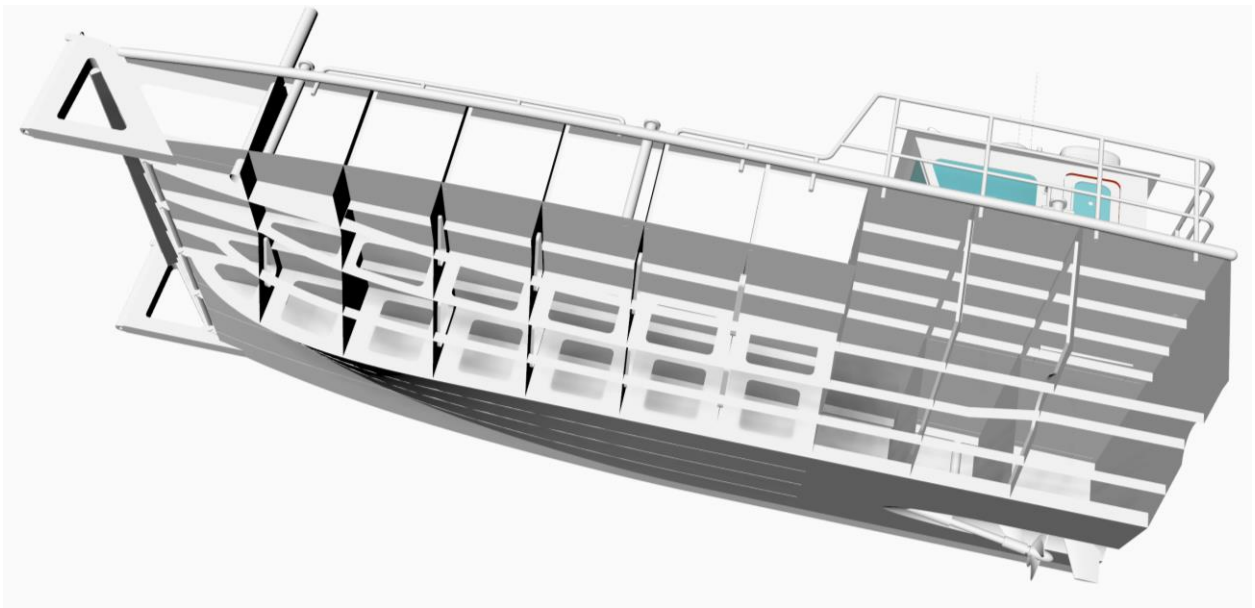


Рисунок 2.13 – Розрахунок маси корпусних конструкцій судна-платформи

Далі, використовуючи модуль Weight/Cost програмного забезпечення Orca3D, яка є плагіном для Rhinoceros, розраховуємо масу корпусних конструкцій проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна.

Процес розрахунку маси корпусних конструкцій та їх координат центру тяжіння виконуємо в наступній послідовності.

1. На першому етапі для кожного типу елементу корпусної конструкції (точка, крива, поверхня, тверде тіло) вказуємо характеристики матеріалу, а саме: назву, характеристики маси та вартості матеріалу та вартості робіт (рис. 2.14).

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

Orca3D Stock Material Manager

Stock Material Type

☐ Point Materials

☐ Curve Materials

☒ Surface Materials

☐ Solid Materials

Add

Delete

| Name                   | Mass/Area (kg/m <sup>2</sup> ) | Material Cost/Area (EUR/m <sup>2</sup> ) | Labor Cost/Area (EUR/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| Alloy 6061 T6 4x.37... | 25.92632                       | 0                                        | 0                                     |
| Alloy 6061 T6 .25x2... | 17.57716535                    | 0                                        | 0                                     |
| Glass                  | 14.96                          | 0                                        | 0                                     |
| Alloy 5086_6.35mm...   | 16.8735744                     | 0                                        | 0                                     |
| Alloy 5083-H111_4...   | 10.6                           | 0                                        | 0                                     |
| Alloy 5083-H111_6...   | 15.9                           | 0                                        | 0                                     |
| Alloy 5052 H32_4.7...  | 13.133656                      | 0                                        | 0                                     |

OK Cancel

a)

Orca3D Stock Material Manager

Stock Material Type

☐ Point Materials

☐ Curve Materials

☐ Surface Materials

☒ Solid Materials

Add

Delete

| Name               | Mass/Volume (kg/m <sup>3</sup> ) | Material Cost/Volume (EUR/m <sup>3</sup> ) | Labor Cost/Volume (EUR/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Steel              | 7800                             | 0                                          | 0                                       |
| Hydrogen tank      | 346.650817                       | 0                                          | 0                                       |
| Hydrogen tank G2I  | 370.441997                       | 0                                          | 0                                       |
| Hydrogen tank COPV | 297.74127                        | 0                                          | 0                                       |
| Rubber             | 1200                             | 0                                          | 0                                       |
| Alloy 5083-H111    | 2650                             | 0                                          | 0                                       |
| Alloy 6063-T6      | 2700                             | 0                                          | 0                                       |

OK Cancel

б)

Рисунок 2.14 – Діалогове вікно для введення характеристик матеріалів:

а – типу поверхня; б – типу тверде тіло

2. Для кожного елементу корпусної конструкції, використовуючи команду Assign Weight/Cost Properties, вказуємо матеріал, з якого її планується виготовити. Після запуску команди та вибору об'єкта висвітиться діалогове вікно Weight/Cost Properties (рис. 2.15). У верхній частині необхідно вибрати будь-який відповідний тип матеріалів (точка, крива, поверхня або тверде тіло), залежно від типу об'єкту корпусної конструкції.

Weight/Cost Properties
?
X

Rhino Object Name
6063 1.25" sch 40 Pipe, Port

Currently Assigned Material
Alloy 6063-T6

Select Material

☐ Point Materials
☐ Curve Materials
☐ Surface Materials
☒ Solid Materials

Click to change currently assigned material

Weight

☒ Compute from Material
☐ Assign Directly

Weight
0
kgf

Material Cost

☒ Compute from Material
☐ Assign Directly

Material Cost
0
EUR

Labor Cost

☒ Compute from Material
☐ Assign Directly

Labor Cost
0
EUR

Center Of Mass

☒ Compute from Geometry
☐ Assign Directly

LCG (from origin)
0
m

TCG (from origin)
0
m

VCG (from origin)
0
m

OK
Cancel
Clear

Рисунок 2.15 – Діалогове вікно Weight/Cost Properties

3. Контроль та перевірку маси та координат центру тяжіння здійснюємо за допомогою команди Manage Weight/Cost Properties (рис. 2.16).

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

Orca3D Weight and Cost Items

☒ Enable  
☒ Disable  
☒ Enable All  
☒ Enable Selected  
☒ Disable Hidden

| Enabled                             | Name                                     | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Material Cost (EUR) | Labor Cost (EUR) |
|-------------------------------------|------------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|---------------------|------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Shaft, Stbd                              | 56.684       | 1.748   | 1.209   | 0.296   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Shaft, Port                              | 56.684       | 1.748   | -1.209  | 0.296   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | G2L-3 176l Aft, Port                     | 100.900      | 2.122   | -0.521  | 0.510   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | G2L-1 230l Fwd, Stbd                     | 136.000      | 6.566   | 0.447   | 0.514   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | G2L-1 230l Aft, Stbd                     | 136.000      | 4.362   | 0.447   | 0.496   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | G2L-1 230l Fwd, Port                     | 136.000      | 6.566   | -0.447  | 0.514   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | G2L-1 230l Aft, Port                     | 136.000      | 4.362   | -0.447  | 0.496   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | COPV 58l, Stbd                           | 58.002       | 4.834   | 1.247   | 0.550   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | COPV 58l, Port                           | 58.002       | 4.834   | -1.247  | 0.550   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | 9.094        | 10.236  | -1.731  | 1.216   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | 5.253        | 9.969   | -1.729  | 0.757   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | 5.495        | 9.751   | -1.731  | 1.311   | 0.00                | 0.00             |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | 1.617        | 10.457  | -1.732  | 1.865   | 0.00                | 0.00             |

Totals    Weight: 4612.952    LCG: 4.836    TCG: 0.080    VCG: 1.081    Mat'l Cost: 0.00    Labor Cost: 0.00    Total Cost: 0.00

Add Weight/Cost Point ...    Edit Weight/Cost Properties ...    Clear Weight/Cost Properties    Close

Рисунок 2.16 – Діалогове вікно Manage Weight/Cost Properties

4. За допомогою команди Generate Weight/Cost Report генеруємо звіт загальної ваги та вартості корпусних конструкцій (рис. 2.17 – 2.18). Отримані результати експортуємо в формат \*.xlsx.

Report Weight & Cost

Report Items

☒ Enabled Items  
☐ All Items  
☐ Visible Items  
☐ Selected Items

Grouping Options

☐ None  
☒ By Rhino Layer  
☐ By Rhino Group

OK    Cancel

Рисунок 2.17 – Діалогове вікно Report Weight & Cost

| Orca3D Weight And Cost Report                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|---------|---------|---------|--------------|-------------|----------|--------------|---------|---------|---------|--------------|-------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|---------|-------|-------|-------|--|---------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|---------|-------|-------|-------|--|----------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|--------|-------|-------|-------|--|------------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|---------|-------|-------|-------|--|-----------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|---------|-------|--------|-------|--|-------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|--------|-------|-------|-------|--|-------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|--------|-------|-------|-------|--|-------------|--|--|--|--|--|--|----------|--|--------|-------|-------|-------|--|
| Default Project<br>Orca3D Weight and Cost Report<br>Default Company<br>Report Time: 15 грудня 2024 р., 20:58:50<br>Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33_ширина_масса_туннель_метри_new.3dm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| <div>Weight Items</div> <table> <tr> <th>Object Name</th><th>Material</th><th>Weight (kgf)</th><th>LCG (m)</th><th>TCG (m)</th><th>VCG (m)</th><th>Weight Basis</th></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: Side</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>442,969</td><td>5,005</td><td>0,000</td><td>1,119</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: Bottom</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>673,466</td><td>4,709</td><td>0,000</td><td>0,300</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: Transom</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>98,553</td><td>0,000</td><td>0,000</td><td>0,945</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: Main deck</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>444,691</td><td>6,288</td><td>0,000</td><td>0,852</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: Aft deck</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>170,094</td><td>1,524</td><td>-0,025</td><td>1,688</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: st 1</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>29,954</td><td>1,244</td><td>0,000</td><td>0,970</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: st 2</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>30,049</td><td>2,160</td><td>0,000</td><td>0,965</td><td></td></tr> <tr> <td colspan="7">Layer: st 4</td></tr> <tr> <td>SubTotal</td><td></td><td>32,558</td><td>3,991</td><td>0,000</td><td>0,578</td><td></td></tr> </table> |          |              |         |         |         |              | Object Name | Material | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis | Layer: Side |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 442,969 | 5,005 | 0,000 | 1,119 |  | Layer: Bottom |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 673,466 | 4,709 | 0,000 | 0,300 |  | Layer: Transom |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 98,553 | 0,000 | 0,000 | 0,945 |  | Layer: Main deck |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 444,691 | 6,288 | 0,000 | 0,852 |  | Layer: Aft deck |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 170,094 | 1,524 | -0,025 | 1,688 |  | Layer: st 1 |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 29,954 | 1,244 | 0,000 | 0,970 |  | Layer: st 2 |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 30,049 | 2,160 | 0,000 | 0,965 |  | Layer: st 4 |  |  |  |  |  |  | SubTotal |  | 32,558 | 3,991 | 0,000 | 0,578 |  |
| Object Name                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Material | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: Side                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 442,969      | 5,005   | 0,000   | 1,119   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: Bottom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 673,466      | 4,709   | 0,000   | 0,300   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: Transom                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 98,553       | 0,000   | 0,000   | 0,945   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: Main deck                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 444,691      | 6,288   | 0,000   | 0,852   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: Aft deck                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 170,094      | 1,524   | -0,025  | 1,688   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: st 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 29,954       | 1,244   | 0,000   | 0,970   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: st 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 30,049       | 2,160   | 0,000   | 0,965   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| Layer: st 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |          |              |         |         |         |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |
| SubTotal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |          | 32,558       | 3,991   | 0,000   | 0,578   |              |             |          |              |         |         |         |              |             |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |               |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |                  |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |       |       |  |                 |  |  |  |  |  |  |          |  |         |       |        |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |             |  |  |  |  |  |  |          |  |        |       |       |       |  |

Рисунок 2.18 – Діалогове вікно згенерованого звіту по масі та координатах центру тяжіння

Результати розрахунку маси та координат центру тяжіння основних елементів корпусних конструкцій, енергетичної установки, обладнання та водотоннажності порожнем наведено в табл. 2.3 –2.7.

Детальний розрахунок маси корпусних конструкцій наведено у додатку А.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



Продовження таблиці 2.3

| Найменування елементу | Маса W,<br>кг   | LCG, м       | TCG, м        | VCG, м       | WxLCG,<br>кг м   | WxTCG,<br>кг м | WxVCG,<br>кг м  |
|-----------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|------------------|----------------|-----------------|
| Трап                  | 11,235          | 2,834        | 1,715         | 1,373        | 31,841           | 19,270         | 15,422          |
| Bitteng               | 27,893          | 5,927        | 0,000         | 1,596        | 165,331          | 0,000          | 44,506          |
| Упори                 | 131,403         | 10,282       | 0,000         | 1,270        | 1351,133         | 0,000          | 166,823         |
| Привальний брус       | 278,638         | 4,919        | 0,000         | 1,516        | 1370,701         | 0,000          | 422,450         |
| <b>Усього корпус</b>  | <b>3332,739</b> | <b>5,366</b> | <b>-0,003</b> | <b>0,978</b> | <b>17883,375</b> | <b>-11,428</b> | <b>3258,130</b> |

Таблиця 2.4 – Результати розрахунку маси та координат центру тяжіння рубки

| Найменування елементу                                        | Маса W,<br>кг  | LCG, м       | TCG, м       | VCG, м       | WxLCG,<br>кг м | WxTCG,<br>кг м | WxVCG,<br>кг м  |
|--------------------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| Стінка ЛБ                                                    | 50,698         | 1,18         | 0,23         | 2,811        | 59,824         | 11,661         | 142,512         |
| Стінка ПрБ                                                   | 57,277         | 1,116        | 1,848        | 2,795        | 63,921         | 105,848        | 160,089         |
| Кормова стінка                                               | 45,053         | 0,045        | 1,039        | 2,79         | 2,027          | 46,810         | 125,698         |
| Стінка передня (низ)                                         | 33,194         | 2,165        | 1,039        | 2,481        | 71,865         | 34,489         | 82,354          |
| Стінка передня (верх)                                        | 9,248          | 2,368        | 1,039        | 3,808        | 21,899         | 9,609          | 35,216          |
| Крыша рубки                                                  | 84,438         | 1,26         | 1,039        | 4,342        | 106,392        | 87,731         | 366,630         |
| Палуба рубки внутрішня                                       | 45,074         | 1,105        | 1,039        | 2,085        | 49,807         | 46,832         | 93,979          |
| Рами ілюмінаторів                                            | 22,958         | 1,258        | 1,070        | 3,680        | 28,881         | 24,565         | 84,485          |
| Ілюмінатори                                                  | 58,000         | 1,323        | 1,101        | 3,678        | 76,750         | 63,853         | 213,325         |
| Двері судові                                                 | 63,18          | 0,630        | 0,207        | 3,086        | 39,803         | 194,973        | 194,973         |
| <i>Усього без набору</i>                                     | <i>469,120</i> | <i>1,111</i> | <i>1,335</i> | <i>3,196</i> | <i>521,170</i> | <i>626,370</i> | <i>1499,262</i> |
| <b>Загальна маса з урахуванням ізоляції, фарбування тощо</b> | <b>574,198</b> | <b>1,120</b> | <b>1,284</b> | <b>3,185</b> | <b>643,364</b> | <b>737,368</b> | <b>1828,734</b> |



Таблиця 2.5 – Результати розрахунку маси та координат центру енергетичної установки

| Найменування елемнту       | Маса W,<br>кг   | LCG, м       | TCG, м       | VCG, м       | WxLCG,<br>кг м  | WxTCG,<br>кг м | WxVCG,<br>кг м |
|----------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|----------------|----------------|
| Паливний елемент           | 155             | 0,626        | 0            | 1,025        | 97,030          | 0,000          | 158,875        |
| Електродвигун з редуктором | 200             | 2,829        | 0,000        | 0,616        | 565,800         | 0,000          | 123,200        |
| Акумуляторна батарея       | 559,000         | 1,275        | 0,350        | 0,397        | 712,725         | 195,650        | 221,923        |
| Гвинт                      | 50,6            | 0,706        | 0            | 0,108        | 35,724          | 0,000          | 5,465          |
| Валопровід                 | 113,368         | 1,746        | 0,000        | 0,296        | 197,941         | 0,000          | 33,557         |
| Інше обладнання            | 200,000         | 1,840        | -0,500       | 0,700        | 368,000         | -100,000       | 140,000        |
| <b>Загальна маса</b>       | <b>1277,968</b> | <b>1,547</b> | <b>0,075</b> | <b>0,534</b> | <b>1977,219</b> | <b>95,650</b>  | <b>683,020</b> |

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку маси та координат центру енергетичної установки

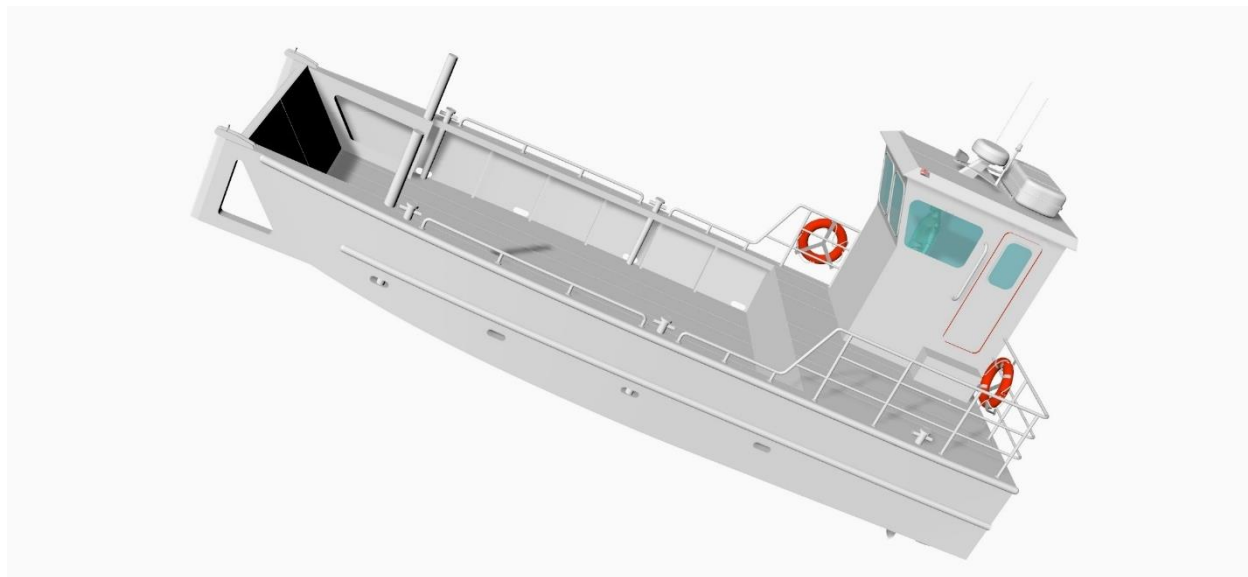
| Найменування елемнту       | Маса W,<br>кг   | LCG, м       | TCG, м        | VCG, м       | WxLCG,<br>кг м  | WxTCG,<br>кг м   | WxVCG,<br>кг м  |
|----------------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|-----------------|
| Цистерни Н2                | 760,904         | 4,925        | -0,069        | 0,513        | 3747,311        | -52,575          | 390,101         |
| Рятувальний пліт на 4 чол. | 32,000          | 0,569        | 1,039         | 4,601        | 18,208          | 33,248           | 147,232         |
| Рятувальний круг (борт)    | 4,000           | 2,520        | 2,153         | 2,297        | 10,08           | 8,612            | 9,188           |
| Рятувальний круг (корма)   | 4,000           | 0,241        | -0,468        | 2,297        | 0,964           | -1,872           | 9,188           |
| Антенa радара              | 5,600           | 1,364        | 1,039         | 4,812        | 7,6384          | 5,8184           | 26,9472         |
| Крісло судноводія          | 18,600          | 0,994        | 1,320         | 2,535        | 18,4884         | 24,552           | 47,151          |
| Якір                       | 80,000          | 10,786       | 1,906         | 0,000        | 862,88          | 152,464          | 0               |
| Кран                       | 1820,000        | 2,237        | -1,075        | 2,479        | 4071,34         | -1956,5          | 4511,78         |
| Штурвал                    | 1,360           | 1,742        | 1,411         | 3,116        | 2,36912         | 1,91896          | 4,23776         |
| Інше обладнання            | 300,000         | 1,364        | 2,000         | 2,300        | 409,2           | 600              | 690             |
| <b>Усього обладнання</b>   | <b>3026,464</b> | <b>3,023</b> | <b>-0,391</b> | <b>1,928</b> | <b>9148,479</b> | <b>-1184,334</b> | <b>5835,825</b> |

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку маси та координат центру судна порожнем

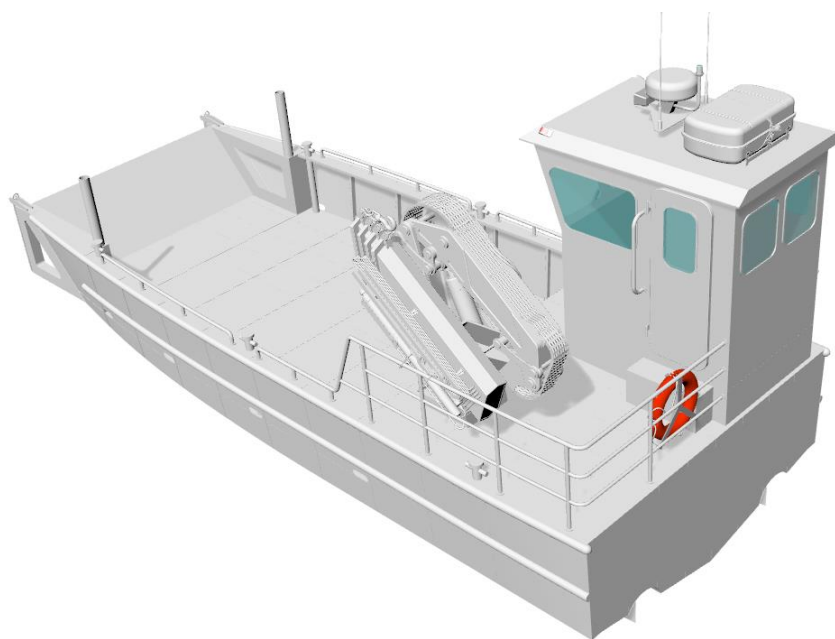
| Найменування елемнту            | Маса W,<br>кг   | LCG, м       | TCG, м        | VCG, м       | WxLCG,<br>кг м   | WxTCG,<br>кг м  | WxVCG,<br>кг м   |
|---------------------------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|------------------|
| Корпус                          | 3332,739        | 5,366        | -0,003        | 0,978        | 17883,375        | -11,428         | 3258,130         |
| Рубка                           | 574,198         | 1,120        | 1,284         | 3,185        | 643,364          | 737,368         | 1828,734         |
| Енергетична установка           | 1277,968        | 1,547        | 0,075         | 0,534        | 1977,219         | 95,650          | 683,020          |
| Обладнання                      | 3026,464        | 3,023        | -0,391        | 1,928        | 9148,479         | -1184,334       | 5835,825         |
| Запас водотоннажності           |                 |              |               |              | 0,000            | 0,000           | 0,000            |
| <b>Водотоннажність порожнем</b> | <b>8211,369</b> | <b>3,611</b> | <b>-0,044</b> | <b>1,413</b> | <b>29652,437</b> | <b>-362,743</b> | <b>11605,708</b> |

## 2.7 Розробка 3D моделі концептуального проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна

Для розробки 3D моделі концептуального проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна використано програмний продукт Rhinoceros [21]. Результат роботи представлено на рис. 2.19.



а)

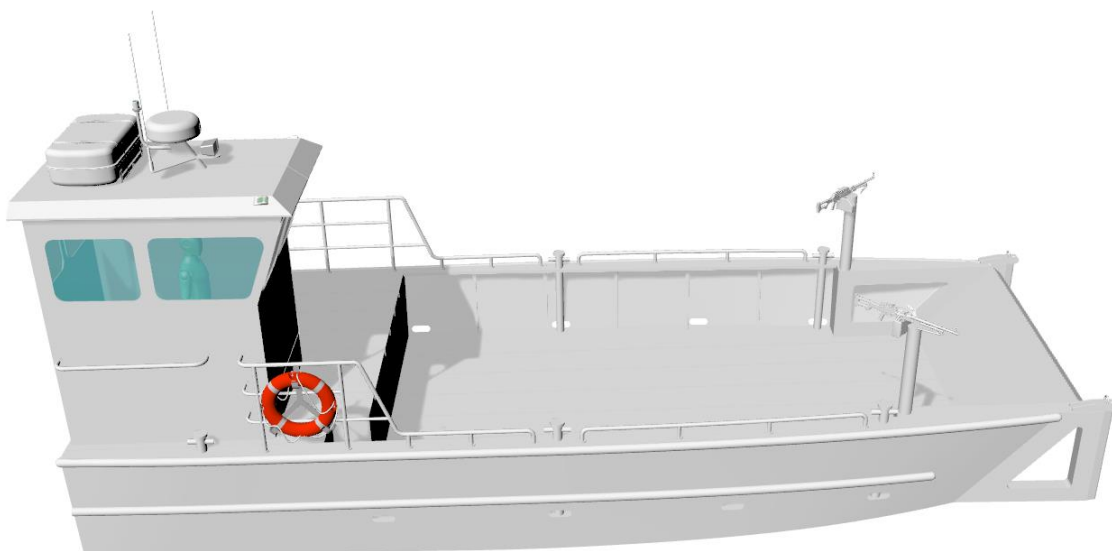


б)

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



в)



г)

Рисунок 2.19 – Загальний вигляд розробленої концептуальної моделі  
службово-допоміжного багатофункціонального судна:

*а* – судно без крана; *б* – судно з краном; *в* – судно з контейнером;

*г* – десантний варіант

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.02</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

|              |      |                 |        |      |                                                                                           |      |        |
|--------------|------|-----------------|--------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|              |      |                 |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03                                                                  |      |        |
|              |      |                 |        |      |                                                                                           |      |        |
| Змн.         | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                                           |      |        |
| Студент      |      | Вашкевич В.В.   |        |      | Розрахунок морехідних<br>якостей службово-допоміж-<br>ного багатofункціонального<br>судна | Літ. | Арк.   |
| Керівник     |      | Бондаренко О.В. |        |      |                                                                                           |      | Аркуші |
| Консультант. |      | Бондаренко О.В. |        |      |                                                                                           | 56   | 26     |
| Зав.кафедр.  |      | Некрасов В.О.   |        |      |                                                                                           | НУК  |        |
|              |      |                 |        |      |                                                                                           |      |        |

# З РОЗРАХУНОК МОРЕХІДНИХ ЯКОСТЕЙ СЛУЖБОВО-ДОПОМІЖНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО СУДНА

## 3.1 Розрахунок елементів плавучості та початкової остійності

Даний розрахунок виконано з метою визначення елементів початкової остійності і посадки судна для різних випадків навантаження.

При розрахунках визначена посадка та початкова остійність судна для варіантів навантаження судно згідно табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Варіанти навантаження службово-допоміжного багатофункціонального судна

| Номер варіанту навантаження | Найменування варіанту навантаження           |
|-----------------------------|----------------------------------------------|
| 1                           | Судно без вантажу в баласті зі 100 % запасів |
| 2                           | Судно з вантажем зі 100 % запасів            |
| 3                           | Судно з вантажем зі 10 % запасів             |

Питомі маси рідких вантажів прийнято:

Паливо  $\gamma = 40,9 \text{ кг/м}^3$

Прісна вода..... $\gamma = 1,000 \text{ т/м}^3$

Баласт..... $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$

Зведені дані за вказаними варіантами навантаження представлено у табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Зведені таблиці навантаження службово-допоміжного багатофункціонального судна

| Найменування             | Варіант № 1 |          |        |       |             |         |         |
|--------------------------|-------------|----------|--------|-------|-------------|---------|---------|
|                          | Маса, т     | Плечі, м |        |       | Моменти, тм |         |         |
|                          |             | X        | Y      | Z     | Mx          | My      | Mz      |
| 1                        | 2           | 3        | 4      | 5     | 6           | 7       | 8       |
| Водотоннажність порожнем | 8,211       | 3,611    | -0,044 | 1,413 | 29,652      | -0,3627 | 11,6057 |
| Fore Peak                | 0           | 7,661    | 0,000  | 0,039 | 0           | 0       | 0       |
| After Peak               | 0           | 0,059    | 0,000  | 0,000 | 0           | 0       | 0       |
| Усього баласт            | 0           | 0        | 0      | 0     | 0           | 0       | 0       |

## Продовження таблиці 3.2

| 1                               | 2             | 3            | 4             | 5            | 6              | 7              | 8              |
|---------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| Tank H2 #1                      | 0,0072        | 2,108        | 0,521         | 0,267        | 0,01518        | 0,00375        | 0,00192        |
| Tank H2 #2 (S)                  | 0,0094        | 4,188        | 0,447         | 0,253        | 0,03937        | 0,0042         | 0,00238        |
| Tank H2 #2 (P)                  | 0,0094        | 4,188        | -0,447        | 0,253        | 0,03937        | -0,0042        | 0,00238        |
| Tank H2 #3 (S)                  | 0,0094        | 5,695        | 0,366         | 0,254        | 0,05353        | 0,00344        | 0,00239        |
| Tank H2 #3 (P)                  | 0,0094        | 5,695        | -0,366        | 0,254        | 0,05353        | -0,0034        | 0,00239        |
| Tank H2 #4 (S)                  | 0,0049        | 3,774        | 1,154         | 0,376        | 0,01849        | 0,00565        | 0,00184        |
| Tank H2 #4 (P)                  | 0,0049        | 3,774        | -1,154        | 0,376        | 0,01849        | -0,0057        | 0,00184        |
| <b>Усього паливо</b>            | <b>0,0546</b> | <b>4,925</b> | <b>-0,069</b> | <b>0,513</b> | <b>0,27088</b> | <b>-0,0038</b> | <b>0,02822</b> |
| Crew                            | 0,200         | 1,433        | 0,000         | 3,086        | 0,2866         | 0              | 0,6172         |
| Payload                         | 0             | 0            | 0             | 0            | 0              | 0              | 0              |
| <b>Усього дедвейт</b>           | <b>0,255</b>  | <b>2,182</b> | <b>-0,015</b> | <b>2,534</b> | <b>0,55641</b> | <b>-0,0038</b> | <b>0,64617</b> |
| <b>Водотоннажність</b>          | <b>8,466</b>  | <b>3,568</b> | <b>-0,043</b> | <b>1,447</b> | <b>30,2067</b> | <b>-0,364</b>  | <b>12,2503</b> |
| Найменування                    | Варіант № 2   |              |               |              |                |                |                |
|                                 | Маса, т       | Плечі, м     |               |              | Моменти, тм    |                |                |
|                                 |               | X            | Y             | Z            | Mx             | My             | Mz             |
| <b>Водотоннажність порожнем</b> | <b>8,211</b>  | <b>3,611</b> | <b>-0,044</b> | <b>1,413</b> | <b>29,652</b>  | <b>-0,3627</b> | <b>11,6057</b> |
| Fore Peak                       | 0             | 7,661        | 0,000         | 0,039        | 0              | 0              | 0              |
| After Peak                      | 0             | 0,059        | 0,000         | 0,000        | 0              | 0              | 0              |
| <b>Усього баласт</b>            | <b>0</b>      | <b>0</b>     | <b>0</b>      | <b>0</b>     | <b>0</b>       | <b>0</b>       | <b>0</b>       |
| Tank H2 #1                      | 0,0072        | 2,108        | 0,521         | 0,267        | 0,01518        | 0,00375        | 0,00192        |
| Tank H2 #2 (S)                  | 0             | 4,188        | 0,447         | 0,253        | 0              | 0              | 0              |
| Tank H2 #2 (P)                  | 0             | 4,188        | -0,447        | 0,253        | 0              | 0              | 0              |
| Tank H2 #3 (S)                  | 0             | 5,695        | 0,366         | 0,254        | 0              | 0              | 0              |
| Tank H2 #3 (P)                  | 0             | 5,695        | -0,366        | 0,254        | 0              | 0              | 0              |
| Tank H2 #4 (S)                  | 0             | 3,774        | 1,154         | 0,376        | 0              | 0              | 0              |
| Tank H2 #4 (P)                  | 0             | 3,774        | -1,154        | 0,376        | 0              | 0              | 0              |
| <b>Усього паливо</b>            | <b>0,0072</b> | <b>2,108</b> | <b>0,521</b>  | <b>0,267</b> | <b>0,01518</b> | <b>0,00375</b> | <b>0,00192</b> |
| Crew                            | 0,200         | 1,433        | 0,000         | 3,086        | 0,2866         | 0              | 0,6172         |
| Payload                         | 5,070         | 3,800        | 0             | 2,074        | 19,266         | 0              | 10,5152        |
| <b>Усього дедвейт</b>           | <b>5,277</b>  | <b>3,708</b> | <b>0,001</b>  | <b>2,110</b> | <b>19,5671</b> | <b>0,00528</b> | <b>11,1345</b> |
| <b>Водотоннажність</b>          | <b>13,489</b> | <b>3,649</b> | <b>-0,027</b> | <b>1,686</b> | <b>49,2214</b> | <b>-0,3642</b> | <b>22,7425</b> |
| Найменування                    | Варіант № 3   |              |               |              |                |                |                |
|                                 | Маса, т       | Плечі, м     |               |              | Моменти, тм    |                |                |
|                                 |               | X            | Y             | Z            | Mx             | My             | Mz             |
| <b>Водотоннажність порожнем</b> | <b>8,211</b>  | <b>3,611</b> | <b>-0,044</b> | <b>1,413</b> | <b>29,652</b>  | <b>-0,3627</b> | <b>11,6057</b> |
| Fore Peak                       | 0             | 7,661        | 0,000         | 0,039        | 0              | 0              | 0              |
| After Peak                      | 0             | 0,059        | 0,000         | 0,000        | 0              | 0              | 0              |
| <b>Усього баласт</b>            | <b>0</b>      | <b>0</b>     | <b>0</b>      | <b>0</b>     | <b>0</b>       | <b>0</b>       | <b>0</b>       |
| Tank H2 #1                      | 0,0072        | 2,108        | 0,521         | 0,267        | 0,01518        | 0,00375        | 0,00192        |
| Tank H2 #2 (S)                  | 0,0094        | 4,188        | 0,447         | 0,253        | 0,03937        | 0,0042         | 0,00238        |
| Tank H2 #2 (P)                  | 0,0094        | 4,188        | -0,447        | 0,253        | 0,03937        | -0,0042        | 0,00238        |
| Tank H2 #3 (S)                  | 0,0094        | 5,695        | 0,366         | 0,254        | 0,05353        | 0,00344        | 0,00239        |
| Tank H2 #3 (P)                  | 0,0094        | 5,695        | -0,366        | 0,254        | 0,05353        | -0,0034        | 0,00239        |
| Tank H2 #4 (S)                  | 0,0049        | 3,774        | 1,154         | 0,376        | 0,01849        | 0,00565        | 0,00184        |

Продовження таблиці 3.2

| 1                      | 2             | 3            | 4             | 5            | 6              | 7              | 8              |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| Tank H2 #4 (P)         | 0,0049        | 3,774        | -1,154        | 0,376        | 0,01849        | -0,0057        | 0,00184        |
| <b>Усього паливо</b>   | <b>0,0546</b> | <b>4,925</b> | <b>-0,069</b> | <b>0,513</b> | <b>0,27088</b> | <b>-0,0038</b> | <b>0,02822</b> |
| Crew                   | 0,200         | 1,433        | 0,000         | 3,086        | 0,2866         | 0              | 0,6172         |
| Payload                | 5,07          | 3,8          | 0             | 2,074        | 19,266         | 0              | 10,5152        |
| <b>Усього дедвейт</b>  | <b>5,325</b>  | <b>3,723</b> | <b>-0,001</b> | <b>2,096</b> | <b>19,825</b>  | <b>-0,0053</b> | <b>11,1612</b> |
| <b>Водотоннажність</b> | <b>13,536</b> | <b>3,655</b> | <b>-0,027</b> | <b>1,682</b> | <b>49,4741</b> | <b>-0,3655</b> | <b>22,7676</b> |

Розрахунок виконано на ПЕОМ за програмою "Maxsurf Stability

Щоб виконати розрахунки елементів плавучості та початкової остійності необхідно створити Loadcase. У вікні Window вибираємо таблицю для створення варіанту завантаження судна: Window => Input => Loadcase => Lightship. Для введення даних в таблицю Lightship вибираємо: File => New Lightship, далі для додавання в таблицю кожного рядка використовуємо команду: Ctrl + A. Для розрахунку посадки та початкової остійності судна вибираємо команду: Analysis => Start Equilibrium Analysis [Вашкевич].

Зведені результати для усіх варіантів навантаження судна представлено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведені результати розрахунків посадки та початкової остійності судна

| Номер варіанта завантаження                    | 1      | 2      | 3      |
|------------------------------------------------|--------|--------|--------|
| Осадка на міделі, м                            | 0,569  | 0,716  | 0,718  |
| Водотоннажність, т                             | 8,466  | 13,49  | 13,54  |
| Кут крену, град.                               | -0,7   | -0,7   | -0,7   |
| Осадка носом, м                                | 0,594  | 0,711  | 0,714  |
| Осадка кормою, м                               | 0,544  | 0,722  | 0,722  |
| Диферент, м                                    | -0,050 | 0,010  | 0,008  |
| Довжина по ватерлінії, м                       | 9,309  | 9,432  | 9,435  |
| Ширина по ватерлінії, м                        | 4,098  | 4,126  | 4,126  |
| Площа змоченої поверхні <sup>2</sup>           | 34,843 | 40,467 | 40,524 |
| Площа ватерлінії, м <sup>2</sup>               | 31,062 | 33,851 | 33,886 |
| Коефіцієнт повздовжньої повноти (Cp)           | 0,703  | 0,711  | 0,713  |
| Коефіцієнт загальної повноти (Cb)              | 0,399  | 0,470  | 0,471  |
| Коефіцієнт повноти площі мідель-шпангоута (Cm) | 0,597  | 0,664  | 0,664  |
| Коефіцієнт повноти площі ватерлінії (Cwp)      | 0,814  | 0,870  | 0,870  |
| Абсциса ЦВ судна, м                            | 3,574  | 3,648  | 3,654  |



Продовження таблиці 3.3

|                                          |         |        |        |
|------------------------------------------|---------|--------|--------|
| Номер варіанта завантаження              | 1       | 2      | 3      |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m            | 3,895   | 4,162  | 4,166  |
| Апліката ЦВ судна KB, м                  | 0,398   | 0,489  | 0,490  |
| Апліката ЦВ судна KG, м                  | 1,447   | 1,686  | 1,682  |
| Поперечний метацентричний радіус BMt, м  | 4,674   | 3,415  | 3,409  |
| Повздовжній метацентричний радіус BML, м | 19,740  | 14,967 | 14,954 |
| Поперечна метацентрична висота GMt, м    | 3,626   | 2,218  | 2,217  |
| Повздовжня метацентрична висота GML, м   | 18,692  | 13,770 | 13,762 |
| Апліката поперечного МЦ KMt, м           | 5,072   | 3,904  | 3,899  |
| Апліката повздовжнього МЦ KML, м         | 20,137  | 15,455 | 15,443 |
| Число тон на 1 см осадки (TRC) т/см      | 0,318   | 0,347  | 0,347  |
| Момент, що диферентує на 1см, тм/см      | 0,177   | 0,208  | 0,208  |
| Момент, що кренить на 1 градус, тм/град  | 0,536   | 0,522  | 0,524  |
| Кут нахилу палуби, град                  | 0,7480  | 0,6818 | 0,6942 |
| Кут диференту, град                      | -0,3217 | 0,0672 | 0,0498 |

### 3.2 Розрахунок елементів трюмів, цистерн та інших відсіків

Згідно попередньо-розробленої схеми цистерн та відсіків службово-допоміжного багатофункціонального судна (рис. 3.1) корпус судна розділено на 4 водонепроникних відсіки.

Далі виконуємо побудову основних цистерн, відсіків службово-допоміжного багатофункціонального судна у наступній послідовності [22]:

1. Для побудови танків і розрахунок місткості відкриваємо програму Maxsurf Stability [23].

2. Далі виконуємо наступні команди: File - Open Design (рис. 3.2)

3. При відкритті файлу з'являється вікно, ставим галочки на відповідних значеннях (рис.3.3). Результат представлено на рис.3.4.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 60   |

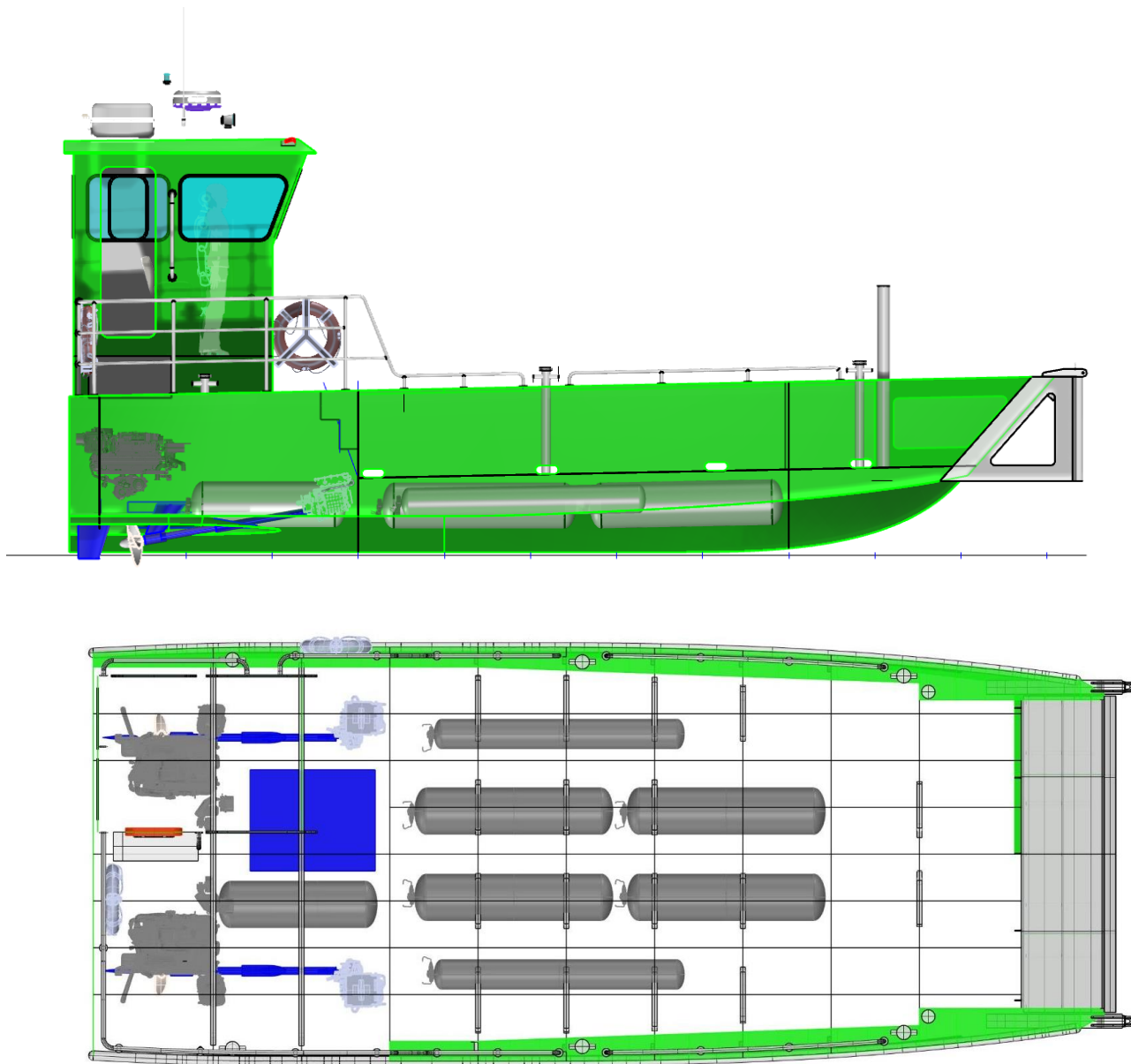


Рисунок 3.1 – Схема цистерн та відсіків службово-допоміжного багатфункціонального судна

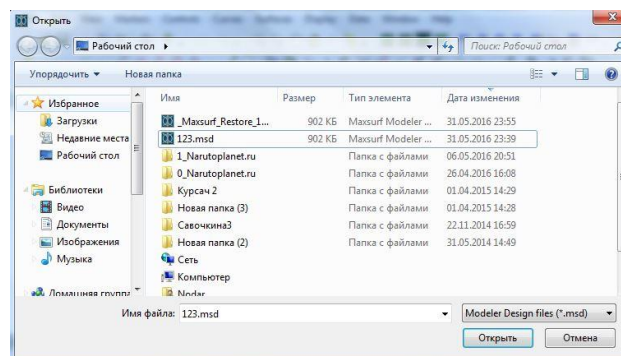
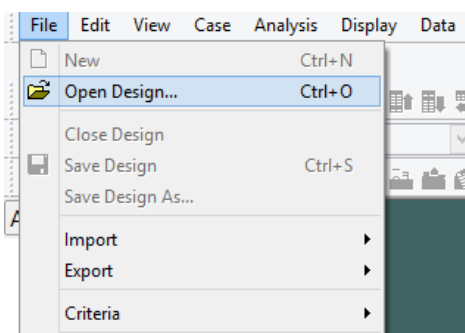


Рисунок 3.2

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 61   |

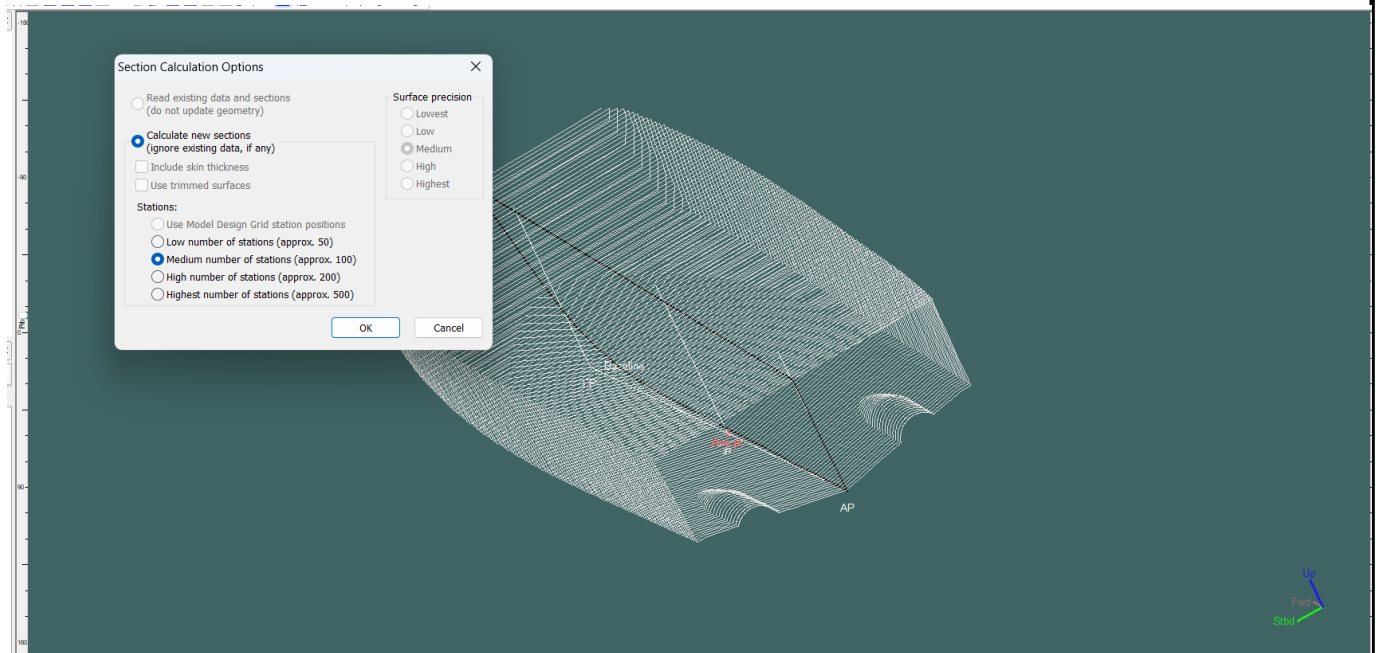


Рисунок 3.3

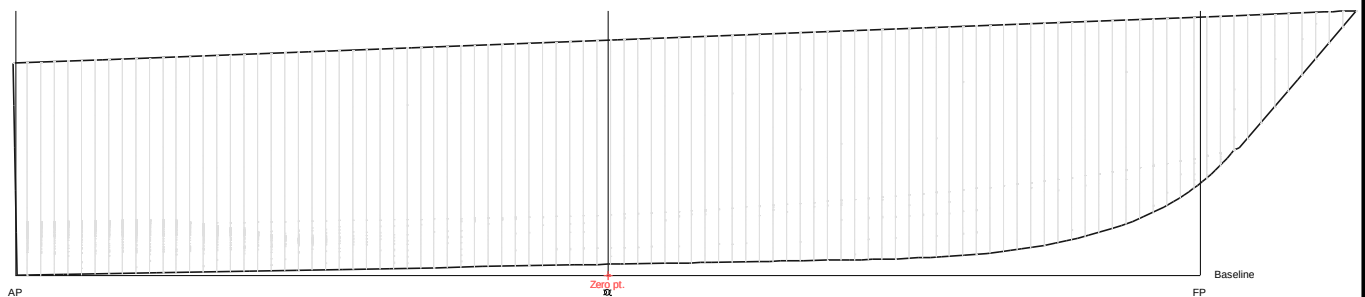


Рисунок 3.4

4. Натискаємо на значок Room Definition (рис. 3.5).

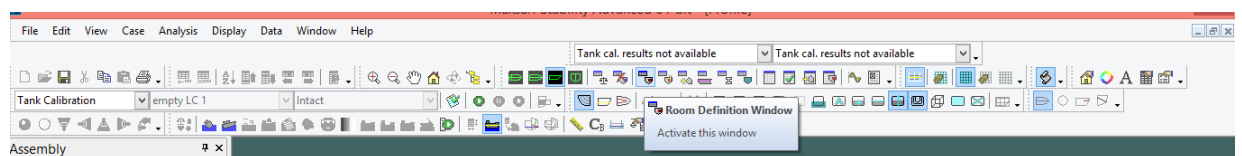


Рисунок 3.5

5. В таблиці створюємо танки з використанням схеми цистерн та відсіків судна. Відкриваємо файл зі схемою цистерн та відсіків і знімаємо координати відповідних цистерн.

6. Результат створення танків показаний на рис. 3.6.

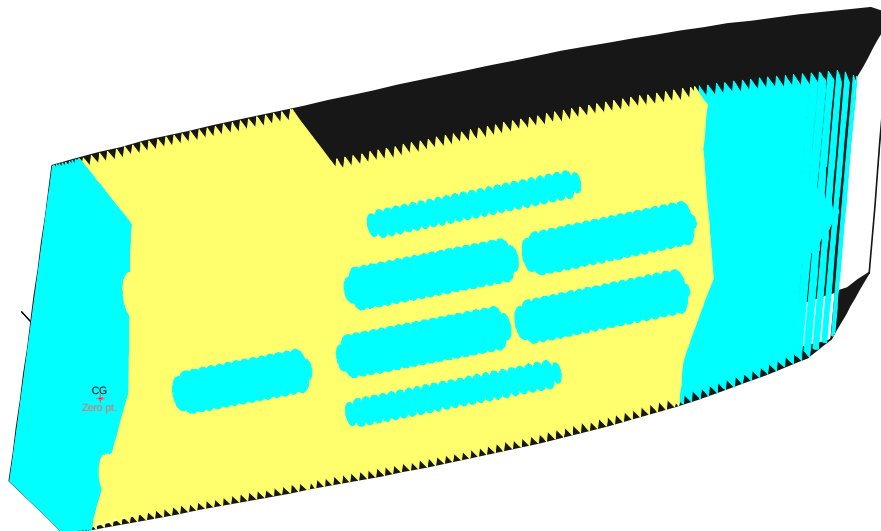


Рисунок 3.6

7. Після створення танків починаємо розрахунок (рис. 3.7)

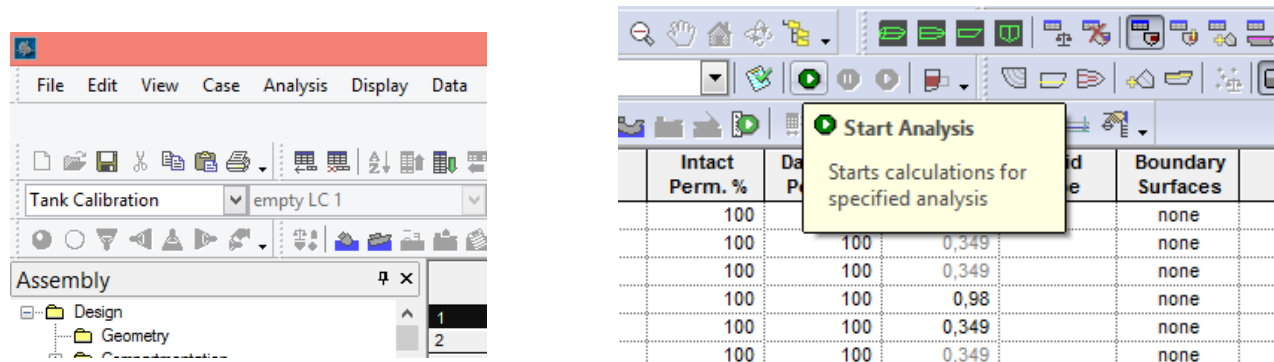


Рисунок 3.7

9. Результати розрахунку місткості представлено в таблицях 3.4 та на рис. 3.8.

Fluid Type = Water Ballast      Specific gravity = 1,025  
 Permeability = 95 %  
 Trim = 0 m (+ve by stern); Heel = 0 deg

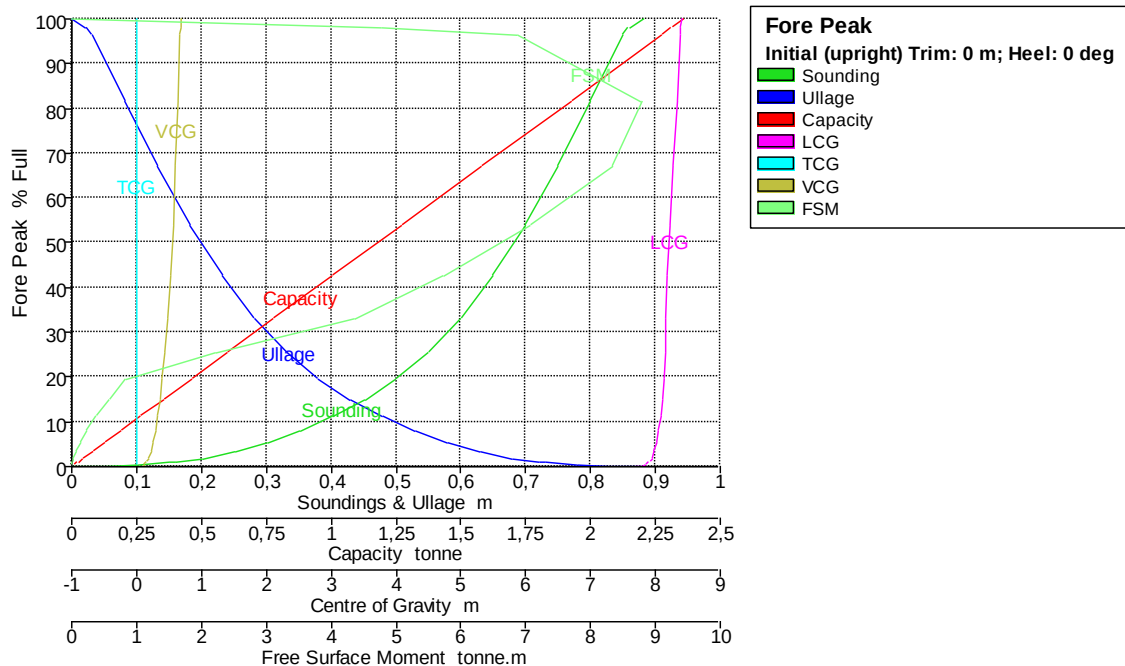


Рисунок 3.8

Таблиця 3.4

| Sounding<br>m | Ullage<br>m | % Full  | Capacity<br>m <sup>3</sup> | Capacity<br>tonne | LCG<br>m | TCG<br>m | VCG<br>m | FSM<br>tonne.m |
|---------------|-------------|---------|----------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------------|
| 0,881         | 0,000       | 100,000 | 2,301                      | 2,358             | 8,402    | 0,000    | 0,682    | 0,000          |
| 0,858         | 0,023       | 98,000  | 2,255                      | 2,311             | 8,385    | 0,000    | 0,677    | 4,776          |
| 0,858         | 0,024       | 97,900  | 2,252                      | 2,309             | 8,384    | 0,000    | 0,677    | 4,776          |
| 0,850         | 0,031       | 96,322  | 2,216                      | 2,271             | 8,375    | 0,000    | 0,673    | 6,869          |
| 0,800         | 0,081       | 81,514  | 1,875                      | 1,922             | 8,330    | 0,000    | 0,638    | 8,791          |
| 0,750         | 0,131       | 66,886  | 1,539                      | 1,577             | 8,277    | 0,000    | 0,601    | 8,348          |
| 0,700         | 0,181       | 53,769  | 1,237                      | 1,268             | 8,228    | 0,000    | 0,561    | 7,059          |
| 0,650         | 0,231       | 42,424  | 0,976                      | 1,000             | 8,189    | 0,000    | 0,519    | 5,713          |
| 0,600         | 0,281       | 32,925  | 0,757                      | 0,776             | 8,163    | 0,000    | 0,477    | 4,360          |
| 0,550         | 0,331       | 25,311  | 0,582                      | 0,597             | 8,149    | 0,000    | 0,436    | 2,201          |
| 0,500         | 0,381       | 19,627  | 0,452                      | 0,463             | 8,132    | 0,000    | 0,399    | 0,818          |
| 0,450         | 0,431       | 15,006  | 0,345                      | 0,354             | 8,108    | 0,000    | 0,363    | 0,561          |
| 0,400         | 0,481       | 11,094  | 0,255                      | 0,262             | 8,081    | 0,000    | 0,328    | 0,368          |
| 0,350         | 0,531       | 7,861   | 0,181                      | 0,185             | 8,052    | 0,000    | 0,292    | 0,227          |
| 0,300         | 0,581       | 5,265   | 0,121                      | 0,124             | 8,020    | 0,000    | 0,256    | 0,130          |
| 0,250         | 0,631       | 3,264   | 0,075                      | 0,077             | 7,984    | 0,000    | 0,221    | 0,067          |
| 0,200         | 0,681       | 1,808   | 0,042                      | 0,043             | 7,942    | 0,000    | 0,185    | 0,030          |
| 0,160         | 0,721       | 1,000   | 0,023                      | 0,024             | 7,905    | 0,000    | 0,156    | 0,013          |
| 0,150         | 0,731       | 0,836   | 0,019                      | 0,020             | 7,894    | 0,000    | 0,148    | 0,010          |
| 0,100         | 0,781       | 0,277   | 0,006                      | 0,007             | 7,837    | 0,000    | 0,112    | 0,002          |
| 0,050         | 0,831       | 0,040   | 0,001                      | 0,001             | 7,764    | 0,000    | 0,076    | 0,000          |
| 0,000         | 0,881       | 0,000   | 0,000                      | 0,000             | 7,673    | 0,000    | 0,039    | 0,000          |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03

Арк.

64

Зведені дані по елементах цистерн наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Зведена таблиця елементів цистерн

| Код                                                          | Найменування                    | Об'єм, м³ | Маса, т | Координати ЦТ, м |        |       | Момент інерції м⁴ |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|---------|------------------|--------|-------|-------------------|
|                                                              |                                 |           |         | X                | Y      | Z     |                   |
| Цистерни баластні $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$             |                                 |           |         |                  |        |       |                   |
| WB1                                                          | Цистерна баластна №1 (форпик)   | 2,255     | 2,311   | 8,385            | 0,000  | 0,677 | 4,776             |
| WB2                                                          | Цистерна баластна №2 (ахтерпик) | 1,935     | 1,935   | 0,182            | 0,000  | 0,933 | 2,072             |
|                                                              | Сума                            | 4,190     | 4,246   | —                | —      | —     | —                 |
| Цистерни палива $\gamma = 40,90 \text{ кг/м}^3 (\text{H}_2)$ |                                 |           |         |                  |        |       |                   |
| FO1                                                          | Цистерна запаса палива №1       | 0,176     | 7,2     | 2,131            | 0,521  | 0,510 | —                 |
| FO2                                                          | Цистерна запаса палива №2 ПрБ   | 0,230     | 9,4     | 4,374            | 0,446  | 0,496 | —                 |
| FO3                                                          | Цистерна запаса палива №2 ЛБ    | 0,230     | 9,4     | 4,374            | -0,446 | 0,496 | —                 |
| FO4                                                          | Цистерна запаса палива №3 ПрБ   | 0,230     | 9,4     | 4,374            | 0,446  | 0,496 | —                 |
| FO5                                                          | Цистерна запаса палива №3 ЛБ    | 0,230     | 9,4     | 4,374            | -0,446 | 0,496 | —                 |
| FO6                                                          | Цистерна запаса палива №4 ПрБ   | 0,125     | 4,9     | 4,841            | 1,245  | 0,550 | —                 |
| FO7                                                          | Цистерна запаса палива №4 ЛБ    | 0,125     | 4,9     | 4,841            | 1,245  | 0,550 | —                 |
| Трюм                                                         |                                 |           |         |                  |        |       |                   |
|                                                              | Трюм №1                         | 8,943     | —       | 5,325            | 0,000  | 0,521 | —                 |

### 3.3 Розрахунок елементів теоретичного креслення

Щоб виконати розрахунок елементів теоретичного креслення (гідростатичних кривих) [22] необхідно вибрати тип розрахунку Upright Hydrostatics і натиснути кнопку «почати розрахунок», попередньо завантаживши модель судна в Maxsurf Stability та вказавши діапазон змін осадок судна. Результати розрахунку наведено у табл.3.6 та на рис. 3.9

|                          |          |                                                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------|----------|--------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Зм.                      | Арк.     | Таблиця 3.6 – Елементи теоретичного креслення          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                          |          | Осадка на міделі, м                                    | 0,00   | 0,10   | 0,20   | 0,30   | 0,40   | 0,50   | 0,60   | 0,70   | 0,80   | 0,90   | 1,00   |
|                          |          | Водотоннажність, т                                     | 0,000  | 0,086  | 0,663  | 1,858  | 3,732  | 6,441  | 9,545  | 12,900 | 16,450 | 20,180 | 24,100 |
|                          | № докум. | Водотоннажність<br>об'ємна, м³                         | 0,000  | 0,084  | 0,647  | 1,812  | 3,641  | 6,284  | 9,313  | 12,581 | 16,046 | 19,691 | 23,508 |
|                          |          | Площа змоченої<br>поверхні, м²                         | 0,000  | 2,655  | 9,292  | 15,286 | 24,278 | 31,641 | 35,954 | 39,833 | 43,685 | 47,535 | 51,145 |
|                          | Підпис   | Площа ватерлінії, м²                                   | 0,000  | 2,555  | 8,885  | 14,329 | 22,612 | 28,782 | 31,496 | 33,563 | 35,455 | 37,239 | 38,678 |
|                          | Дата     | Коефіцієнт<br>повздожньої повноти<br>(Cp)              | 0,000  | 0,330  | 0,430  | 0,573  | 0,646  | 0,671  | 0,701  | 0,728  | 0,752  | 0,773  | 0,791  |
| 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 |          | Коефіцієнт загальної<br>повноти (Cb)                   | 0,000  | 0,165  | 0,229  | 0,248  | 0,259  | 0,347  | 0,418  | 0,474  | 0,519  | 0,558  | 0,590  |
|                          |          | Коефіцієнт повноти<br>площі мідель-<br>шпангоута (Cm)  |        | 0,500  | 0,532  | 0,434  | 0,401  | 0,518  | 0,597  | 0,654  | 0,696  | 0,728  | 0,753  |
|                          |          | Коефіцієнт повноти<br>площі ватерлінії<br>(Cwp)        | 0,000  | 0,493  | 0,625  | 0,586  | 0,641  | 0,792  | 0,845  | 0,883  | 0,917  | 0,948  | 0,969  |
|                          |          | Абсциса центру<br>величини (LCB), м                    | 0,000  | 0,493  | 0,625  | 0,586  | 0,641  | 0,792  | 0,845  | 0,883  | 0,917  | 0,948  | 0,969  |
|                          |          | Абсциса центру<br>тяжіння площі<br>ватерлінії (LCF), м | -4,623 | -2,786 | -1,672 | -1,092 | -1,119 | -0,935 | -0,682 | -0,476 | -0,277 | -0,083 | 0,072  |
| Арк.                     | 66       |                                                        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

|                                           |                                            |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Зм.<br>Арк.<br>№ докум.<br>Підпис<br>Дата | Продовження таблиці 3.6                    |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|                                           | Осадка на міделі, м                        | 0,00  | 0,10   | 0,20   | 0,30   | 0,40   | 0,50   | 0,60   | 0,70   | 0,80   | 0,90   | 1,00   |
|                                           | Апліката центру величини (KB), м           | 0,000 | 0,075  | 0,149  | 0,216  | 0,285  | 0,355  | 0,419  | 0,479  | 0,537  | 0,595  | 0,652  |
|                                           | Поперечний метацентричний радіус (BMt), м  | 0,000 | 1,192  | 2,370  | 2,673  | 5,295  | 5,382  | 4,272  | 3,522  | 3,007  | 2,611  | 2,278  |
|                                           | Повздовжній метацентричний радіус (BML), м | 0,000 | 46,687 | 50,725 | 32,561 | 28,709 | 22,306 | 17,905 | 15,329 | 13,847 | 12,966 | 12,130 |
|                                           | Апліката поперечного метацентру (KMt), м   | 0,000 | 1,268  | 2,518  | 2,889  | 5,580  | 5,737  | 4,690  | 4,001  | 3,544  | 3,206  | 2,930  |
|                                           | Апліката повздовжнього метацентру (KML), м | 0,000 | 46,762 | 50,874 | 32,777 | 28,994 | 22,661 | 18,324 | 15,808 | 14,384 | 13,561 | 12,782 |
|                                           |                                            |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03                  |                                            |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Арк.                                      | 67                                         |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |



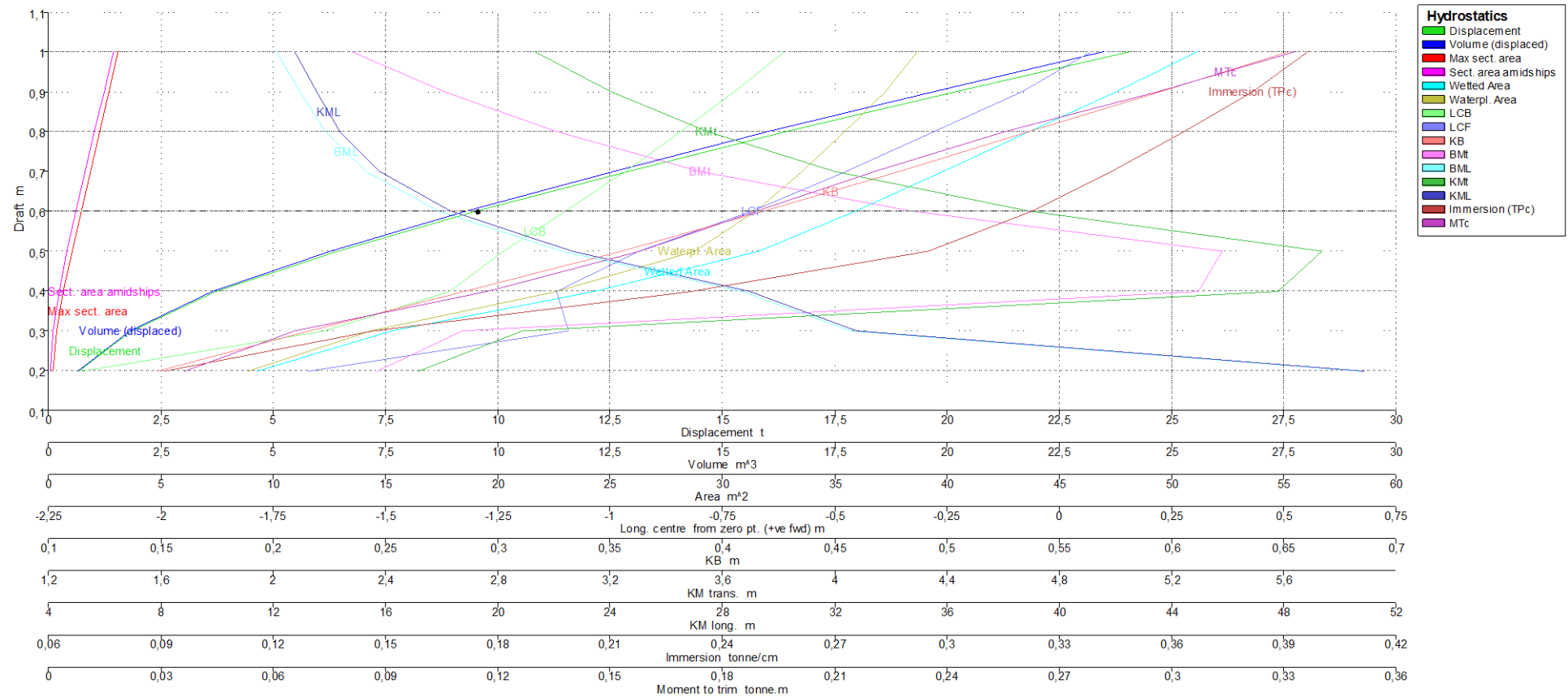


Рисунок 3.9 – Гідростатичні криві

### 3.4 Інтерполяційні криві плечей остійності форми (пантокарени)

Інтерполяційні криві плечей остійності форми (пантокарени) [22] – це криві залежності плечей статичної остійності  $l$  від водотоннажності, які відраховуються від умовного центру ваги Р, положення якого вибрано так, щоб у всьому діапазоні кутів крену (звичайно від 10 до 90) і водотоннажністю плечі статичної остійності залишалися позитивними.

Апліката умовного центру ваги Р прийнята  $z_{\phi} = 0$ .

Для розрахункового випадку навантаження плечі діаграми статичної остійності  $l_{\theta}$ , м обчислюються за формулою:

$$l_{\theta} = l_{\theta\phi} - z_g \cdot \sin(\theta),$$

де  $l_{\theta\phi}$ , м - плече, знімається з пантокарен для розрахункової водотоннажності;

$z_g$ , м – апліката центру ваги для розрахункового випадку навантаження;

$\theta$ , градус – кут крену.

Розрахунок інтерполяційних кривих пліч остійності форми (пантокарени) виконано за допомогою програми «Maxsurf Stability». Інтерполяційні криві плечей остійності форми представлено на рис. 3.10 та в табл. 3.7.

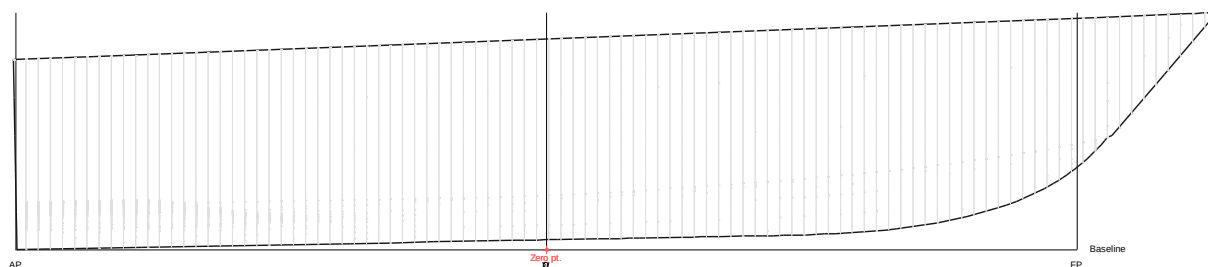


Рисунок 3.10 – Схема об’ємів, що враховувалися при розрахунках пантокарен



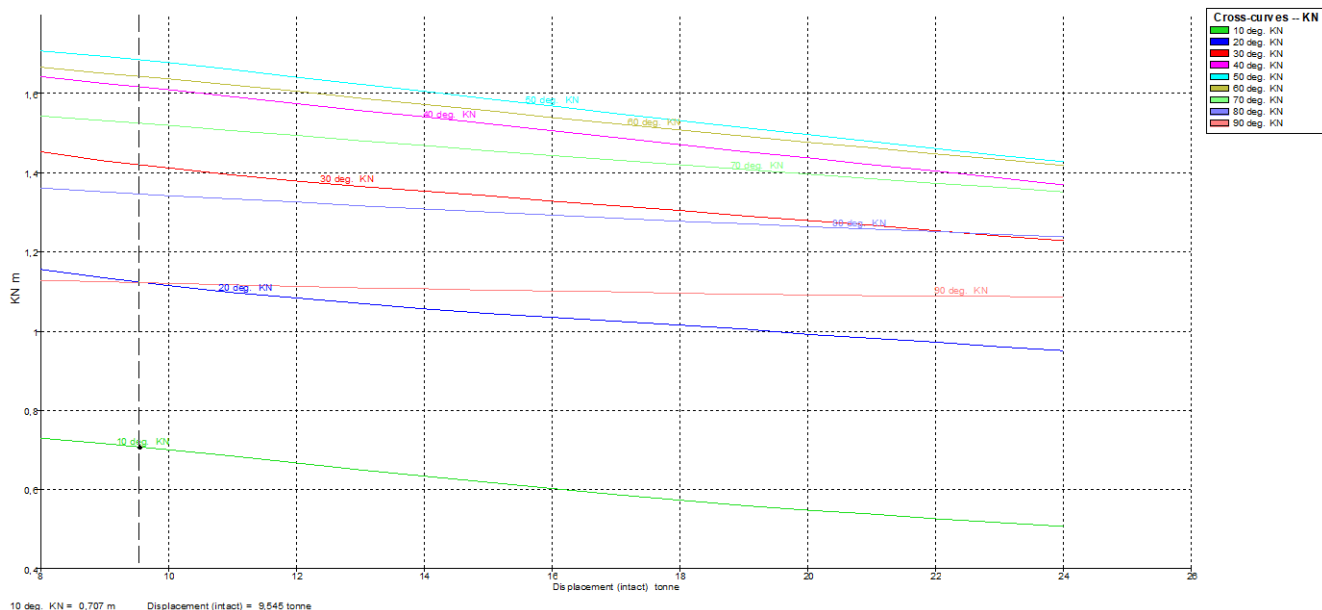


Рисунок 3.11 – Пантокарени

### 3.5 Перевірка остійності судна

#### 3.5.1 Критерії остійності судна

Остійність вважається достатньою, якщо [16]:

- виправлена початкова метацентрична висота при всіх варіантах навантаження не менш ніж 0,15 м;
- плече діаграми статичної остійності не менше ніж 0,20 м при куті крену  $\Theta \geq 30^\circ$ ;
- максимум діаграми статичної остійності наступає при куті крену більше  $30^\circ$ , але не менше  $25^\circ$ ;
- площа під додатною частиною діаграми статичної остійності не менше:
  - 0,055 м\*рад. до кута крену  $30^\circ$ ;
  - 0,09 м\*рад. до кута крену  $40^\circ$ , або кута заливання (що менше);
  - 0,03 м\*рад. між кутами крену  $30^\circ$  і  $40^\circ$ , або  $30^\circ$  і кутом заливання (якщо цей кут менше  $40^\circ$ );

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 71   |

Розглянуто робочі стани судна:

- судно з вантажем максимальної вантажопідйомності на палубі та повними запасами;
- судно без вантажу з повними запасами палива.

### 3.5.2 Результати перевірки остійності судна

Перевірка загальних вимог до остійності службово-допоміжного багатофункціонального судна за правилами класифікаційного товариства [16] виконано для варіанта навантаження № 3.

Початкові дані для розрахунку:

Водотоннажність – 13,560 т;

Довжина судна за правилами – 9,245 м

Ширина судна по КВЛ – 4,125 м;

Осадка судна – 0,718 м;

Коефіцієнт загальної повноти – 0,484

Апліката ЦТ – 1,682 м;

Абсциса ЦТ – 3,655 м;

Початкова метацентрична висота – 2,217 м;

Відкриті отвори:

| Найменування                      | X     | Y     | Z     |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| Комінгс вхідних дверей<br>- корма | 0,420 | 0,200 | 2,280 |
| Комінгс вхідних дверей<br>- ніс   | 0,835 | 0,200 | 2,280 |

Далі виконуємо розрахунки параметрів, необхідних для визначення критерію погоди [9]:

амплітуди хитавиці

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S}$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує вплив скулових і/або брускових кілів, 0,7.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 72   |

а) із співвідношення  $B/d = 4,125/0,717 = 5,753$ ,  $X_1 = 0,800$ ;

|       |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |            |
|-------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| $B/d$ | $\leq 2.4$ | 2.5  | 2.6  | 2.7  | 2.8  | 2.9  | 3.0  | 3.1  | 3.2  | 3.4  | $\geq 3.5$ |
| $X_1$ | 1.00       | 0.98 | 0.96 | 0.95 | 0.93 | 0.91 | 0.90 | 0.88 | 0.86 | 0.82 | 0.80       |

б) в залежності від коефіцієнту загальної повноти  $C_B = 0,484$ ,  $X_2 = 0,798$ ;

|       |             |      |      |      |      |             |
|-------|-------------|------|------|------|------|-------------|
| $C_B$ | $\leq 0.45$ | 0.50 | 0.55 | 0.60 | 0.65 | $\geq 0.70$ |
| $X_2$ | 0.75        | 0.82 | 0.89 | 0.95 | 0.97 | 1.00        |

$r$  – параметр, який визначаємо за формулою [9]:

$$r = 0,73 + \frac{0,6(Z_g - d)}{d} = 0,73 + \frac{0,6 \cdot (1,682 - 0,718)}{0,718} = 1,536;$$

причому, значення  $r$  не повинно прийматися більше 1. Приймаємо  $r = 1,0$

$S$  – множник, що визначається в залежності від району плавання судна і періоду хитавиці  $TR$  [9]:

$$TR = 2 \cdot c \cdot B / \sqrt{GM_t},$$

$$c = 0,373 + 0,023 \cdot B/d - 0,043 \cdot L/100 = 0,373 + 0,023 \cdot 4,125/0,717 - 0,043 \cdot 9,245/100 = 0,501$$

$$TR = 2 \cdot c \cdot B / \sqrt{GM_t} = 2 \cdot 0,501 \cdot 4,125 / \sqrt{2,217} = 2,776 \text{ сек};$$

|      |          |       |       |       |       |       |       |           |
|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| $TR$ | $\leq 6$ | 7     | 8     | 12    | 14    | 16    | 18    | $\geq 20$ |
| $s$  | 0.100    | 0.098 | 0.093 | 0.065 | 0.053 | 0.044 | 0.038 | 0.035     |

$S = 0,100$  – обираємо методом лінійної інтерполяції

$$\theta_1 = 109 \cdot K \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot \sqrt{r \cdot S} = 109 \cdot 0,7 \cdot 0,80 \cdot 0,798 \cdot \sqrt{1,0 \cdot 0,1} = 15,403^\circ.$$

Розрахунок плеча кренувального моменту від тиску вітру

Кренувальне плече  $l_{w1,м}$  приймається постійним для всіх кутів крену і розраховується за формулою:

$$l_{w1} = (P_v \cdot A_v \cdot Z_v) / (1000 \cdot g \cdot D) = (252 \cdot 6,046 \cdot 2,7075) / (1000 \cdot 9,81 \cdot 13,560) = 0,031м$$

|      |      |          |        |      |                          |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|--|--|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 |  |  | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |  |  | 73   |

де  $P_v = 252$ , Па – тиск вітру, який визначається в залежності від району плавання судна.

$Z_v = Z_p - d / 2 = 3,066 - 0,717 / 2 = 2,7075$  м, – плече парусності, яке приймається рівним виміряній по вертикалі відстані від центра площі парусності  $A_v$ , до центра площі проекції підводної частини корпусу на ДП.

$A_v = 6,046 \text{ м}^2$  – повна (з урахуванням площі надводної частини корпусу) площа парусності;

$Z_p = 3,066$  м – центр парусності;

$\Delta = 13,560$  т – водотоннажність судна.

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Кренувальне плече  $l_{w2}$  розраховується за формулою:

$$l_{w2} = 1,5 l_{w1} = 1,5 \times 0,031 = 0,0465 \text{ м}$$

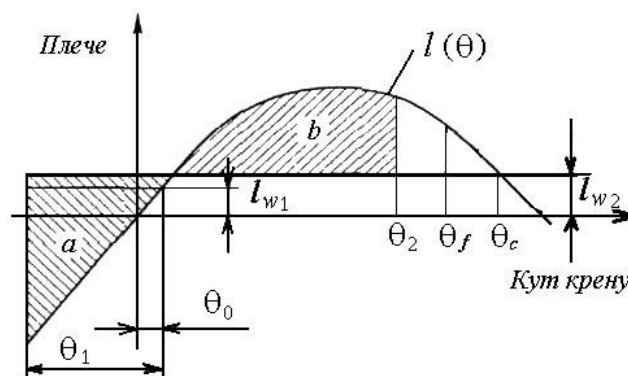


Рисунок 3.12 – Схема розрахунку критерія погоди

Остійність судна за критерієм погоди  $K = b / a \geq 1$ , вважається достатньою, якщо площа  $b$  дорівнює або більша площі  $a$ , тобто  $K \geq 1$ . Де площа  $b$  обмежена кривою  $l(\theta)$  відновлювальних плечей, горизонтальною прямою, що відповідає кренувальному плечу  $l_{w2}$  і кутом крену  $\theta_2$ .

$$K = b / a = 0,3332 / 0,0747 = 4,46$$

Згідно з вимогами Регістру до остійності обрані наступні критерії:

- Parent criteria/GZ curve criteria:

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.03 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 74   |

✓ Value of GMt at → критерій початкової метacentричної висоти;

✓ Value of GZ at → критерій максимального плеча статичної остійності;

✓ Angle of max. GZ → критерій кута, відповідний до максимального плеча;

✓ Angle of vanishing stability → критерій кута заочування;

✓ GZ area between limits type 1 – standard → критерій площі, обмежений між 0 і 30 градусами;

- IMO/IMO A.749(18) Code on Intact Stability/A.749(18) Ch3- Design criteria applicable to all ships:

Severe wind and rolling → критерій погоди

З діаграми статичної остійності (рис. 3.13) бачимо що критерії виконуються.

Результати розрахунку критеріїв представлені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку критеріїв остійності

| Criteria                                                                        | Value | Units | Actual | Status | Margin, % |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|--------|--------|-----------|
| Angle of vanishing stability                                                    | 60    | deg   | 65.6   | Pass   | +9.30     |
| 3.1.2.1: Area 0 to 30                                                           | 0,055 | m.rad | 0,2098 | Pass   | +281,48   |
| 3.1.2.1: Area 0 to 40                                                           | 0,090 | m.rad | 0,3009 | Pass   | +234,33   |
| 3.1.2.1: Area 30 to 40                                                          | 0,030 | m.rad | 0,0911 | Pass   | +203,61   |
| 3.1.2.2: Max GZ at 30 or greater                                                | 0,2   | m     | 0,543  | Pass   | +171,50   |
| 3.1.2.3: Angle of maximum GZ                                                    | 25    | deg   | 29,1   | Pass   | +16,36    |
| 3.1.2.4: Initial GMt                                                            | 0,15  | m     | 2,230  | Pass   | +1386,67  |
| 3.2.2: Severe wind and rolling                                                  |       |       |        |        |           |
| Angle of steady heel shall not be greater than (<=)                             | 16    | deg   | 0,1    | Pass   | +99,38    |
| Angle of steady heel / Deck edge immersion angle shall not be greater than (<=) | 80    | %     | 0,37   | Pass   | +99,54    |
| Area1 / Area2 shall not be less than (>=)                                       | 100   | %     | 446,01 | Pass   | +346,01   |



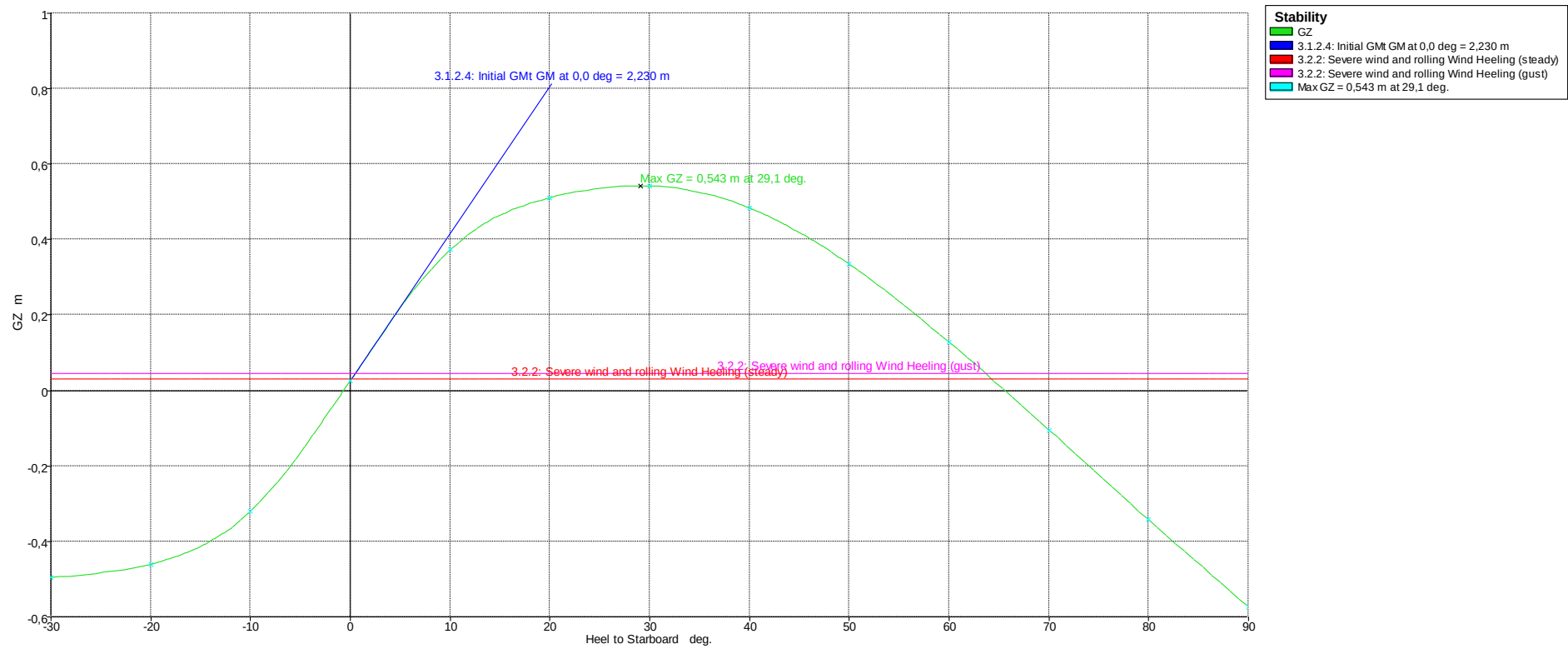


Рисунок 3.13 – Діаграма статичної остійності

|                               |        |                                                                       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
|-------------------------------|--------|-----------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Змн.                          |        | Таблиця 3.9 – Результати розрахунку остійності на великих кутах крену |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Арк.                          |        |                                                                       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
| № док-м.                      |        |                                                                       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Підпис                        |        |                                                                       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Дата                          |        |                                                                       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |
| 24.КР.135.611Зм.01.ПЗ.03      |        | Heel to Starboard, deg                                                | 0      | 10      | 20      | 30      | 40      | 50      | 60      | 70      | 80      |
|                               |        | GZ m                                                                  | 0,027  | 0,373   | 0,511   | 0,543   | 0,485   | 0,335   | 0,128   | -0,105  | -0,343  |
|                               |        | Area under GZ curve from zero heel m.rad                              | 0,0009 | 0,0371  | 0,1168  | 0,2098  | 0,3009  | 0,3736  | 0,4145  | 0,4168  | 0,3777  |
|                               |        | Displacement t                                                        | 13,54  | 13,54   | 13,54   | 13,54   | 13,54   | 13,54   | 13,54   | 13,54   | 13,54   |
|                               |        | Draft at FP m                                                         | 0,714  | 0,651   | 0,512   | 0,291   | -0,047  | -0,591  | -1,487  | -3,208  | -8,171  |
|                               |        | Draft at AP m                                                         | 0,722  | 0,736   | 0,680   | 0,581   | 0,449   | 0,324   | 0,163   | -0,132  | -1,017  |
|                               |        | WL Length m                                                           | 9,435  | 9,666   | 9,810   | 9,916   | 9,984   | 9,991   | 9,948   | 9,925   | 9,895   |
|                               |        | Beam max extents on WL m                                              | 4,126  | 4,120   | 3,378   | 3,166   | 2,769   | 2,268   | 2,097   | 1,881   | 1,644   |
|                               |        | Wetted Area m^2                                                       | 40,583 | 38,749  | 35,893  | 32,888  | 32,818  | 32,507  | 32,247  | 32,087  | 32,043  |
|                               |        | Waterpl. Area m^2                                                     | 33,946 | 31,547  | 27,545  | 25,693  | 22,519  | 19,172  | 16,755  | 15,155  | 14,185  |
|                               |        | Prismatic coeff. (Cp)                                                 | 0,713  | 0,675   | 0,654   | 0,626   | 0,617   | 0,599   | 0,583   | 0,571   | 0,562   |
|                               |        | Block coeff. (Cb)                                                     | 0,471  | 0,459   | 0,410   | 0,355   | 0,353   | 0,385   | 0,386   | 0,412   | 0,468   |
|                               |        | LCB from zero pt. (+ve fwd) m                                         | 3,654  | 3,643   | 3,632   | 3,616   | 3,592   | 3,552   | 3,508   | 3,467   | 3,439   |
|                               |        | LCF from zero pt. (+ve fwd) m                                         | 4,173  | 4,136   | 4,265   | 4,287   | 4,416   | 4,434   | 4,436   | 4,432   | 4,416   |
|                               |        | Max deck inclination deg                                              | 0,0502 | 10,0141 | 20,0246 | 30,0391 | 40,0616 | 50,1036 | 60,1399 | 70,1428 | 80,0961 |
| Trim angle (+ve by stern) deg | 0,0502 | 0,5421                                                                | 1,0782 | 1,8581  | 3,1781  | 5,8437  | 10,4595 | 18,9848 | 38,6658 |         |         |
| Арк.                          | 77     |                                                                       |        |         |         |         |         |         |         |         |         |

### 3.6 Розрахунок аварійної посадки і остійності

Для забезпечення непотоплюваності корпус службово-допоміжного багатофункціонального судна розділено трьома водонепроникними перебірками, розміщеними на чотири водонепроникних відсіків. Палубою перебірок є верхня палуба [22].

Коефіцієнти проникності затоплених відсіків прийняті наступні [16]:

0,98 – для пустих цистерн;

0,95 – для жилих відсіків;

0,85 – для машинного відділення.

Для розрахунку аварійної посадки і остійності необхідно виконати наступні дії:

1. Вибираємо варіанти затоплення відсіків: Window => Damadge => Cases (рис. 3.14)

|    | Room            | Intact                              | DCase 1                             |
|----|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1  | Case type       | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 2  | Has RoRo spaces | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 3  | Fore Peak       | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 4  | Hold            | <input type="checkbox"/>            | <input checked="" type="checkbox"/> |
| 5  | Engine Room     | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 6  | After Peak      | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 7  | Tank H2 #1      | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 8  | Tank H2 #2 (S)  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 9  | Tank H2 #2 (P)  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 10 | Tank H2 #3 (S)  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 11 | Tank H2 #3 (P)  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 12 | Tank H2 #4 (S)  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |
| 13 | Tank H2 #4 (P)  | <input type="checkbox"/>            | <input type="checkbox"/>            |

Рисунок 3.14

2. Вибираємо критерії розрахунку: Analysis => Criteria=>Marpol=>Marpol jan 2007...=>Regulation 28 damage....(рис. 3.15)

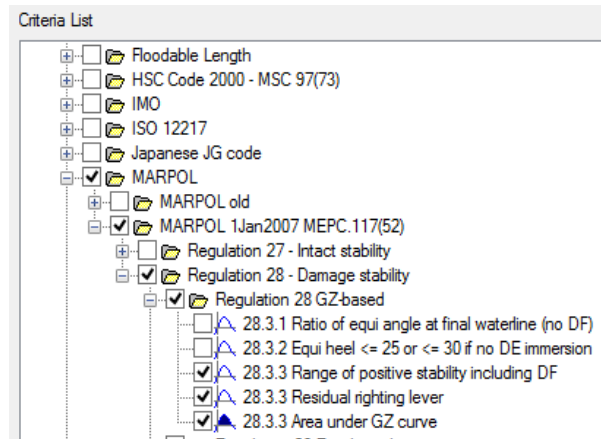


Рисунок 3.15

3. Для вказаного варіанта затоплення вибираємо розрахунки:

- посадки судна;
- остійності на великих кутах крену.

Нижче приводиться приклад розрахунків аварійної посадки та остійності судна для варіанту завантаження 3 (повні запаси) при пошкодженні машинного відділення. Результати розрахунків представлено в табл.3.10 та рис 3.16–3.17.

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку посадки аварійного судна

| Draft Amidships m            | 0,959  |
|------------------------------|--------|
| Displacement t               | 13,54  |
| Heel deg                     | -0,5   |
| Draft at FP m                | 1,088  |
| Draft at AP m                | 0,829  |
| Draft at LCF m               | 0,967  |
| Trim (+ve by stern) m        | -0,260 |
| WL Length m                  | 9,838  |
| Beam max extents on WL m     | 4,154  |
| Wetted Area m <sup>2</sup>   | 50,184 |
| Waterpl. Area m <sup>2</sup> | 39,051 |
| Prismatic coeff. (Cp)        | 0,491  |
| Block coeff. (Cb)            | 0,360  |
| Max Sect. area coeff. (Cm)   | 0,753  |

Продовження таблиці 3.10

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Waterpl. area coeff. (Cwp)           | 0,956   |
| LCB from zero pt. (+ve fwd) m        | 3,683   |
| LCF from zero pt. (+ve fwd) m        | 4,748   |
| KB m                                 | 0,718   |
| KG fluid m                           | 1,682   |
| BMt m                                | 4,072   |
| BML m                                | 22,324  |
| GMt corrected m                      | 3,108   |
| GML m                                | 21,360  |
| KMt m                                | 4,788   |
| KML m                                | 23,031  |
| Immersion (TPC) tonne/cm             | 0,400   |
| MTc tonne.m                          | 0,323   |
| RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m | 0,734   |
| Max deck inclination deg             | 1,7339  |
| Trim angle (+ve by stern) deg        | -1,6627 |

6. Результат затоплення танків показано на рис. 3.16.

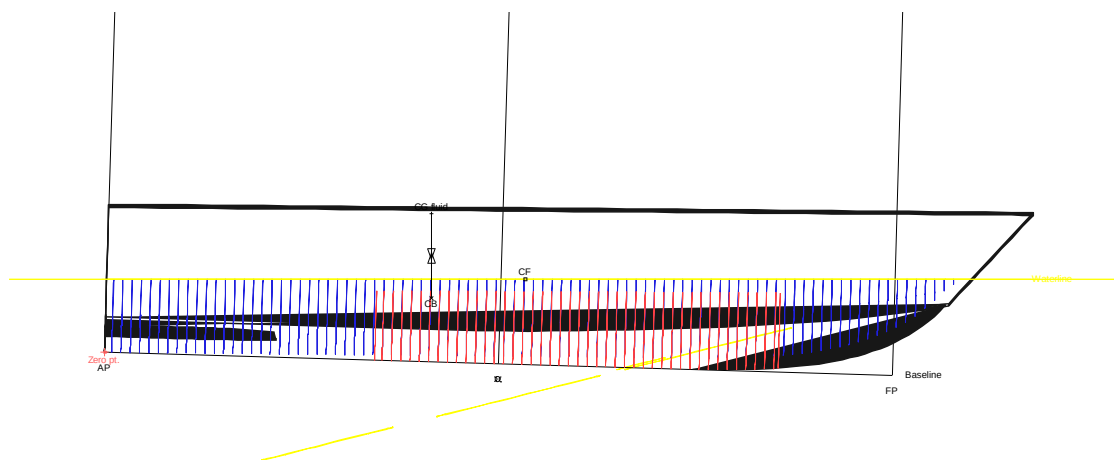


Рисунок 3.16 – Положення аварійного судна

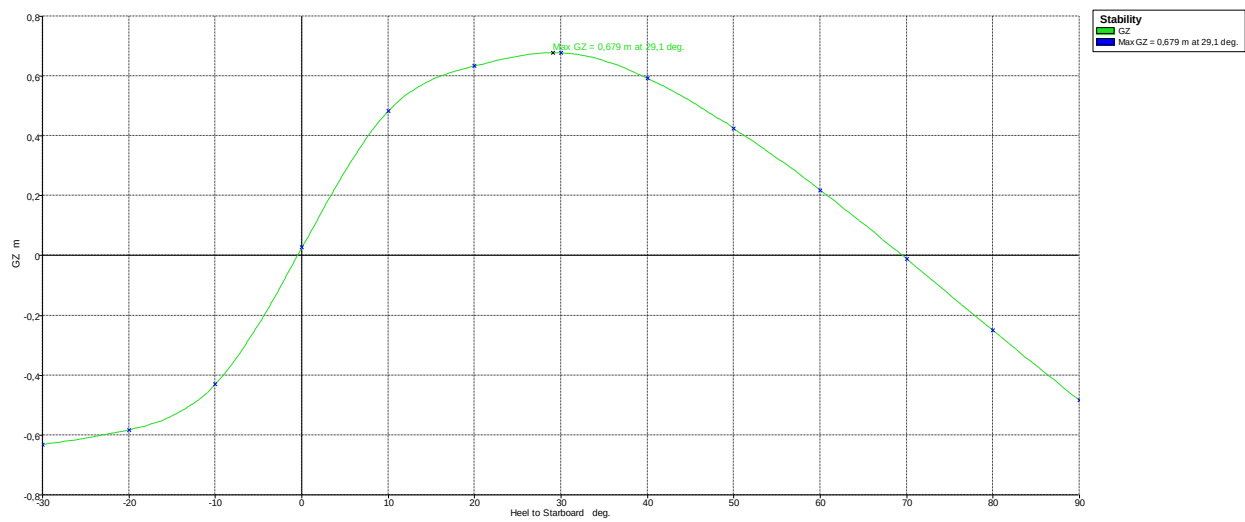


Рисунок 3.17 – ДСО аварійного судна

|              |      |                 |        |      |                                                                                      |      |  |      |  |         |  |
|--------------|------|-----------------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------------------|------|--|------|--|---------|--|
|              |      |                 |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.04                                                             |      |  |      |  |         |  |
|              |      |                 |        |      |                                                                                      |      |  |      |  |         |  |
| Змн.         | Арк. | № докум.        | Підпис | Дата |                                                                                      |      |  |      |  |         |  |
| Студент      |      | Вашкевич В.В.   |        |      | Дослідження ходовості проекту<br>службово-допоміжного<br>багатофункціонального судна | Літ. |  | Арк. |  | Акрушів |  |
| Керівник     |      | Бондаренко О.В. |        |      |                                                                                      |      |  | 82   |  | 16      |  |
| Консультант. |      | Бондаренко О.В. |        |      |                                                                                      | НУК  |  |      |  |         |  |
| Зав.кафедр.  |      | Некрасов В.О.   |        |      |                                                                                      |      |  |      |  |         |  |
|              |      |                 |        |      |                                                                                      |      |  |      |  |         |  |

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ХОДОВОСТІ ПРОЕКТУ СЛУЖБОВО-ДОПОМІЖНОГО БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО СУДНА

### 4.1 Уточнений розрахунок буксирувального опору

Розрахунок виконано з метою визначення швидкості, якої досягне судно на вільному ході. Наближеним розрахунком встановлено, що на судні буде встановлено два інтегрованих модулі iDM-375 з електромоторами максимальної тривалої потужності по 140 кВт кожний при 2400 об/хв (рис. 4.1). Рушійний комплекс службово-допоміжного багатофункціонального судна буде складатися з гвинтів фіксованого кроку.

iDM-375 є більш потужною версією iDM-190. Він поєднує в собі інвертор CM350SiC і BorgWarner eDM (двигун і трансмісія).

Характеристики інтегрованого модуля iDM-375:

Максимальна пікова потужність – 425 кВт;

Максимальна тривала потужність – 140 кВт;

Кількість обертів для тривалої потужності – 2400 об/хв;

Діапазон вхідної напруги – 200...840 Вт;

Загальна маса модуля – 100 кг;

Загальний ККД модуля – 93,5 %;

Габаритні розміри – 515 x 540 x 435 мм.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд інтегрованого модуля iDM-375

Для уточненого розрахунку потужності судна використовуємо програму Maxsurf Resistance.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.04 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          | 83   |



Процес розрахунку опору та потужності головних двигунів складається з наступних етапів.

1. Відкриваємо в програмному комплексі Maxsurf Resistance 3D модель поверхні проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна, побудовану раніше в модулі Maxsurf Modeler (рис. 4.2)

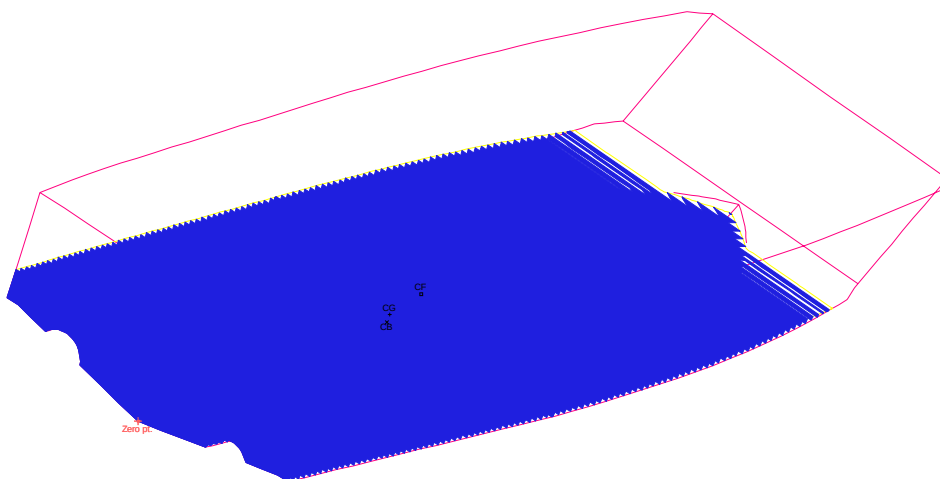


Рисунок 4.2 – 3D модель поверхні проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна в Maxsurf Resistance

2. Вибираємо метод розрахунку буксирувального опору і потужності. Для цього заходимо у вкладку Analysis => Methods (рис. 4.3).

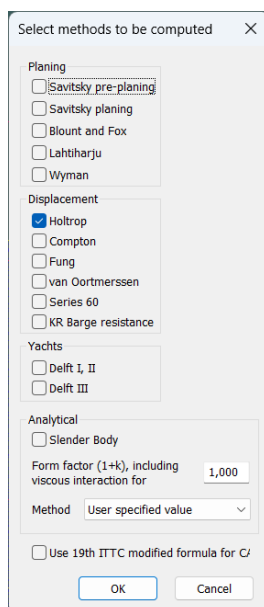


Рисунок 4.3 – Вибір методів розрахунку опору проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна

3. Задаємо діапазон швидкостей, для яких будуть обчислюватись буксирувальний опір та потужність. Для цього використовуємо команду Speeds із меню Analysis (рис. 4.4).

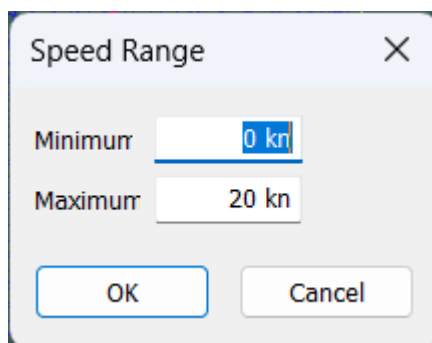


Рисунок 4.4 – Вибір інтервалу швидкості проекту службово-допоміжного багатфункціонального судна

4. У вікні вихідних даних Data (табл. 4.1) вносимо значення площі фронтальної поверхні, швидкості вітру, коефіцієнту повітряного опору (рис. 4.5).

|    | Item                      | Value      | Units  | Holtrop     |
|----|---------------------------|------------|--------|-------------|
| 1  | LWL                       | 9,438      | m      | 9,438 (low) |
| 2  | Beam                      | 4,13       | m      | 4,13 (high) |
| 3  | Draft                     | 0,717      | m      | 0,717 (low) |
| 4  | Displaced volume          | 16,096     | m³     | 16,096      |
| 5  | Wetted area               | 44,815     | m²     | 44,815      |
| 6  | Prismatic coeff. (Cp)     | 0,816      |        | 0,816       |
| 7  | Waterpl. area coeff. (Cw) | 0,946      |        | 0,946       |
| 8  | 1/2 angle of entrance     | 58,7       | deg.   | 58,7        |
| 9  | LCG from midships(+ve)    | -0,438     | m      | -0,438      |
| 10 | Transom area              | 1,949      | m²     | 1,949       |
| 11 | Transom wl beam           | 4,101      | m      | --          |
| 12 | Transom draft             | 0,717      | m      | --          |
| 13 | Max sectional area        | 2,091      | m²     | --          |
| 14 | Bulb transverse area      | 0,278      | m²     | 0,278       |
| 15 | Bulb height from keel     | 0,611      | m      | 0,611       |
| 16 | Draft at FP               | 0,717      | m      | 0,717       |
| 17 | Deadrise at 50% LWL       | 11,8       | deg.   | --          |
| 18 | Hard chine or Round bil   | Hard chine |        | --          |
| 19 |                           |            |        |             |
| 20 | Frontal Area              | 9,95       | m²     |             |
| 21 | Headwind                  | 20         | kn     |             |
| 22 | Drag Coefficient          | 1          |        |             |
| 23 | Air density               | 0,001      | tonne/ |             |
| 24 | Appendage Area            | 0          | m²     |             |
| 25 | Nominal App. length       | 0          | m      |             |
| 26 | Appendage Factor          | 1          |        |             |
| 27 |                           |            |        |             |
| 28 | Correlation allowance     | 0,0004     |        | Calculated  |
| 29 | Kinematic viscosity       | 0,00000118 | m²/s   |             |
| 30 | Water Density             | 1,0259     | tonne/ |             |

Рисунок 4.5 – Вікно вихідних даних Data

Після вводу всіх параметрів, програмний комплекс Maxsurf Resistance автоматично розрахує значення опору та потужності головного двигуна для заданого діапазону швидкостей. Результати обчислень наведено в табл. 4.2 та на рис. 4.6 – 4.7.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

| Item                         | Value        | Units                | Holtrop [25–28]      |
|------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| LWL                          | 9,245        | m                    | 9,245 (low)          |
| Beam                         | 4,126        | m                    | 4,126 (high)         |
| Draft                        | 0,715        | m                    | 0,715 (low)          |
| Displaced volume             | 13,148       | m <sup>3</sup>       | 13,148               |
| Wetted area                  | 38,694       | m <sup>2</sup>       | 38,694               |
| Prismatic coeff. (Cp)        | 0,732        |                      | 0,732                |
| Waterpl. area coeff. (Cwp)   | 0,893        |                      | 0,893                |
| 1/2 angle of entrance        | 41,8         | deg.                 | 41,8                 |
| LCG from midships(+ve for'd) | -0,943       | m                    | -0,943               |
| Transom area                 | 0,003        | m <sup>2</sup>       | 0,003                |
| Transom wl beam              | 4,101        | m                    | --                   |
| Transom draft                | 0,001        | m                    | --                   |
| Max sectional area           | 1,942        | m <sup>2</sup>       | --                   |
| Bulb transverse area         | 0            | m <sup>2</sup>       | 0                    |
| Bulb height from keel        | 0            | m                    | 0                    |
| Draft at FP                  | 0,717        | m                    | 0,717                |
| Deadrise at 50% LWL          | 11,7         | deg.                 | --                   |
| Hard chine or Round bilge    | Hard chine   |                      | --                   |
|                              |              |                      |                      |
| Frontal Area                 | 9,95         | m <sup>2</sup>       |                      |
| Headwind                     | 20           | kn                   |                      |
| Drag Coefficient             | 1            |                      |                      |
| Air density                  | 0,001        | tonne/m <sup>3</sup> |                      |
| Appendage Area               | 0            | m <sup>2</sup>       |                      |
| Nominal App. length          | 0            | m                    |                      |
| Appendage Factor             | 1            |                      |                      |
|                              |              |                      |                      |
| Correlation allow.           | 0,0004       |                      | Calculated by method |
| Kinematic viscosity          | 0,0000011883 | m <sup>2</sup> /s    |                      |
| Water Density                | 1,026        | tonne/m <sup>3</sup> |                      |

Таблиця 4.2 – Результати розрахунку буксирувального опору та потужності

| Speed<br>(kn) | Froude No.<br>LWL | Froude No.<br>Vol. | Holtrop<br>Resist. (kN) | Holtrop<br>Power (kW) |
|---------------|-------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| 0,500         | 0,027             | 0,053              | 0,7                     | 0,340                 |
| 1,000         | 0,054             | 0,107              | 0,8                     | 0,739                 |
| 1,500         | 0,081             | 0,160              | 0,9                     | 1,219                 |
| 2,000         | 0,108             | 0,214              | 1,0                     | 1,801                 |
| 2,500         | 0,135             | 0,267              | 1,1                     | 2,505                 |
| 3,000         | 0,162             | 0,321              | 1,2                     | 3,351                 |
| 3,500         | 0,189             | 0,374              | 1,3                     | 4,358                 |
| 4,000         | 0,216             | 0,428              | 1,5                     | 5,550                 |
| 4,500         | 0,243             | 0,481              | 1,7                     | 6,967                 |
| 5,000         | 0,270             | 0,535              | 1,9                     | 8,673                 |
| 5,500         | 0,297             | 0,588              | 2,1                     | 10,797                |
| 6,000         | 0,324             | 0,642              | 2,5                     | 13,775                |
| 6,500         | 0,351             | 0,695              | 2,9                     | 17,355                |
| 7,000         | 0,378             | 0,749              | 3,2                     | 21,244                |
| 7,500         | 0,405             | 0,802              | 3,8                     | 26,723                |
| 8,000         | 0,432             | 0,855              | 4,6                     | 34,216                |
| 8,500         | 0,459             | 0,909              | 5,3                     | 42,521                |
| 9,000         | 0,486             | 0,962              | 6,1                     | 51,656                |
| 9,500         | 0,513             | 1,016              | 6,9                     | 61,637                |
| 10,000        | 0,540             | 1,069              | 7,7                     | 72,480                |
| 10,500        | 0,567             | 1,123              | 8,7                     | 85,031                |
| 11,000        | 0,594             | 1,176              | 9,5                     | 97,671                |
| 11,500        | 0,621             | 1,230              | 10,2                    | 109,510               |
| 12,000        | 0,648             | 1,283              | 10,8                    | 120,675               |
| 12,500        | 0,675             | 1,337              | 11,2                    | 131,443               |
| 13,000        | 0,702             | 1,390              | 11,7                    | 142,117               |
| 13,500        | 0,729             | 1,444              | 12,1                    | 152,955               |
| 14,000        | 0,756             | 1,497              | 12,5                    | 164,163               |
| 14,500        | 0,783             | 1,550              | 13,0                    | 175,888               |
| 15,000        | 0,810             | 1,604              | 13,4                    | 188,240               |
| 15,500        | 0,837             | 1,657              | 13,9                    | 201,294               |
| 16,000        | 0,864             | 1,711              | 14,4                    | 215,103               |
| 16,500        | 0,891             | 1,764              | 14,9                    | 229,705               |
| 17,000        | 0,918             | 1,818              | 15,4                    | 245,129               |
| 17,500        | 0,945             | 1,871              | 16,0                    | 261,397               |
| 18,000        | 0,972             | 1,925              | 16,5                    | 278,524               |
| 18,500        | 1,000             | 1,978              | 17,1                    | 296,525               |
| 19,000        | 1,027             | 2,032              | 17,7                    | 315,411               |
| 19,500        | 1,054             | 2,085              | 18,4                    | 335,194               |
| 20,000        | 1,081             | 2,139              | 19,0                    | 355,884               |

|      |      |          |        |      |
|------|------|----------|--------|------|
|      |      |          |        |      |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

24.КР.135.6113м.01.ПЗ.04

Арк.

87

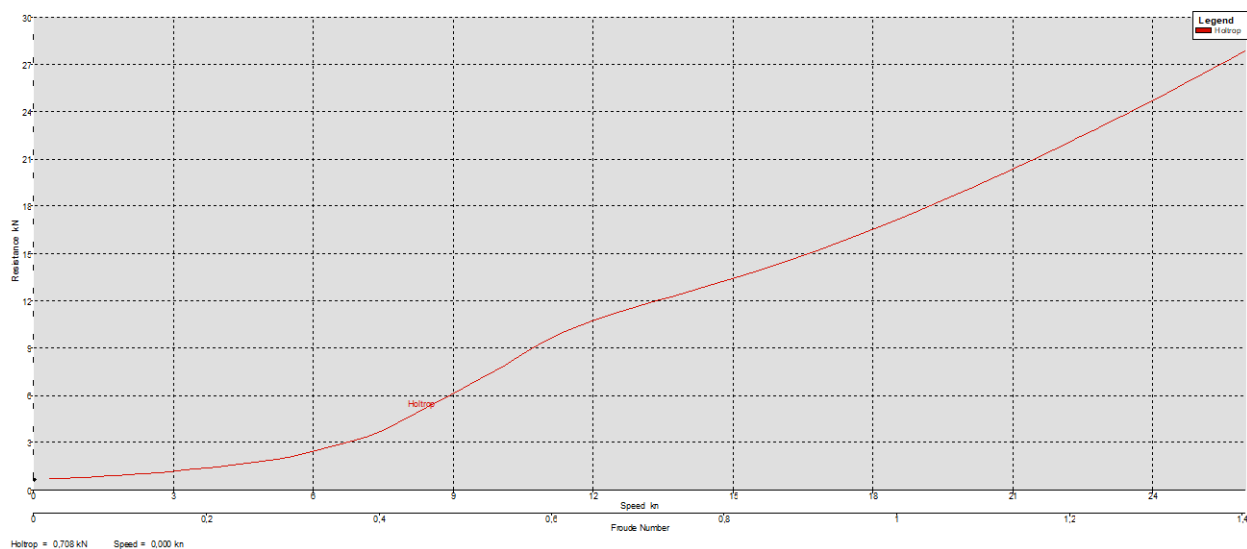


Рисунок 4.6 – Залежність опору від швидкості проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна

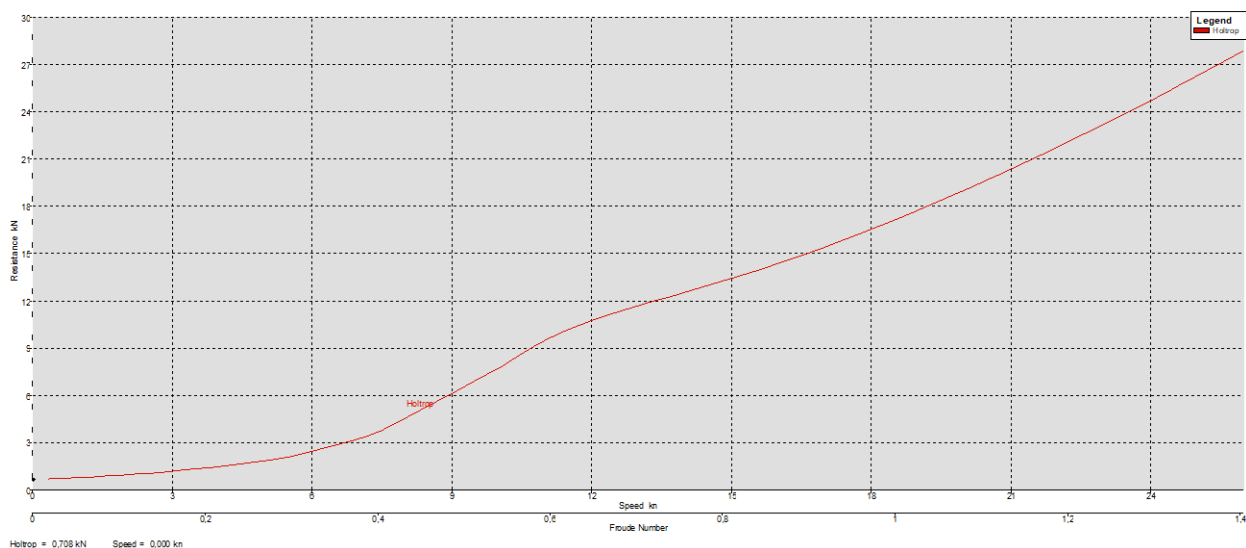


Рисунок 4.7 – Залежність потужності від швидкості проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна

## 4.2 Розрахунок характеристик гребного гвинта проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна

У якості рушія обираємо гвинт фіксованого кроку, граничний діаметр якого обчислюємо за формулою [24]:

$$D_{\text{гр}} = (0,6 \dots 0,7) T = 0,70 \cdot 0,717 = 0,5019 \text{ м};$$

Приймаємо діаметр гвинта 0,5 м.

Максимальна швидкість  $v_s = 18,0$  вуз.

Розрахунок характеристик гребного гвинта проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна виконуємо за допомогою. Програми PropExpert 2005 у наступній послідовності.

1. В програмі PropExpert вводимо характеристики судна, використовуючи вкладку Vessel (рис. 4.8).

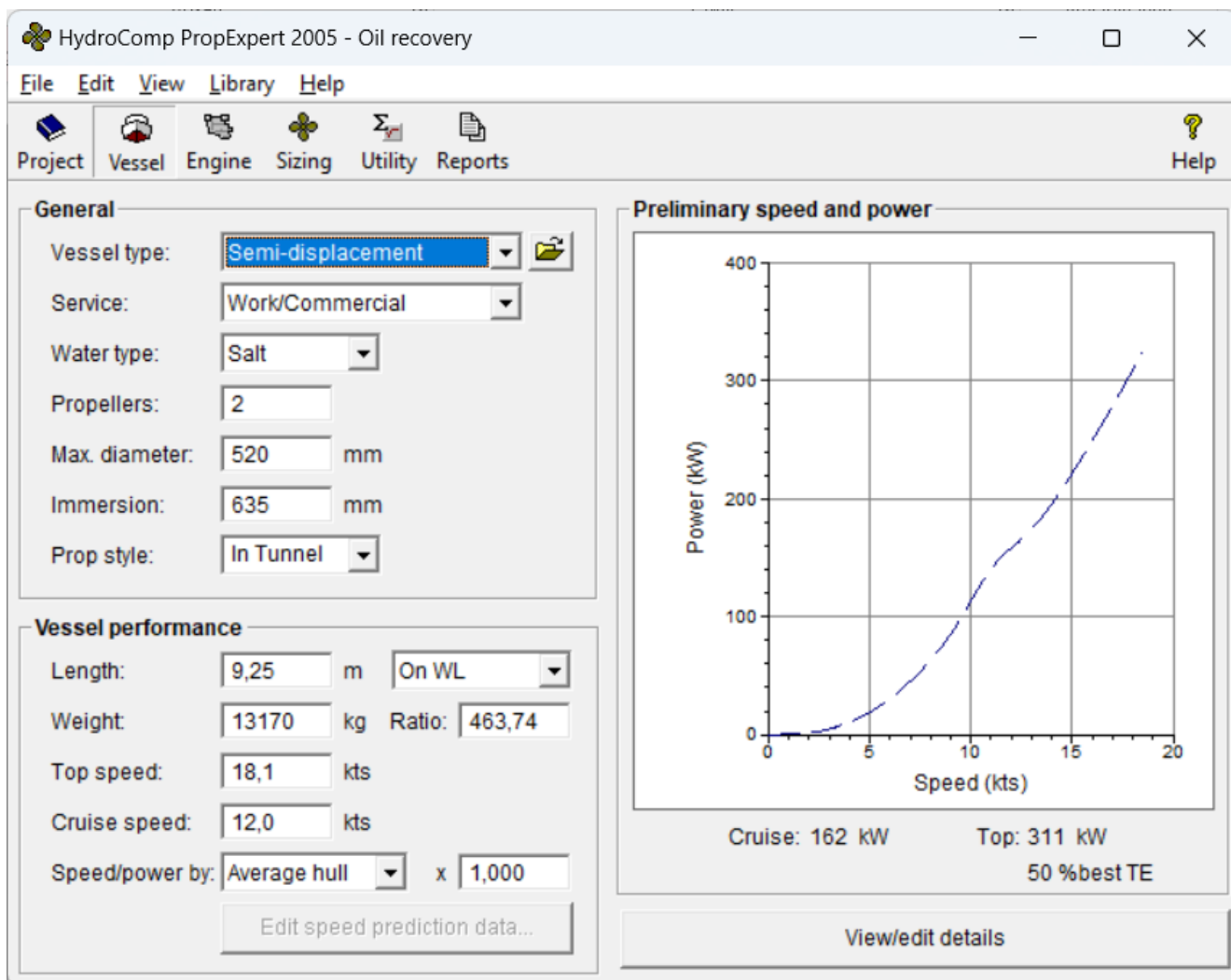


Рисунок 4.8 – Введення характеристик проекту службово-допоміжного багатофункціонального судна

2. За допомогою кнопки View/edit detail отримуємо графік залежності потужності від швидкості (рис. 4.9).

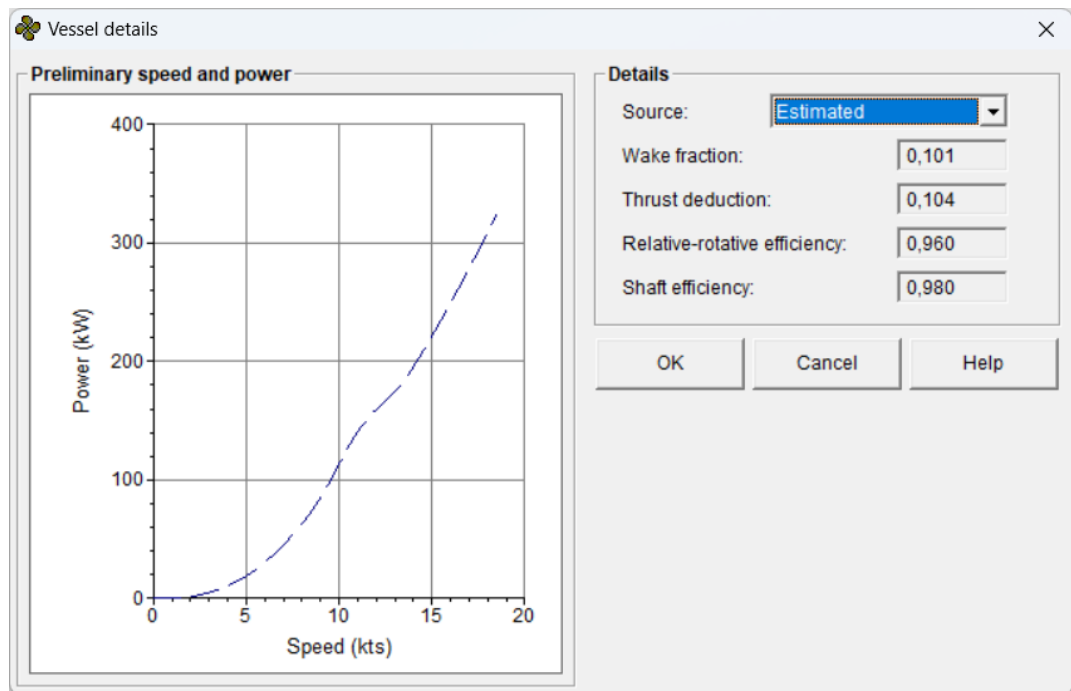


Рисунок 4.9 – Вікно з графіком залежності потужності від швидкості

3. Задаємо технічні характеристики обраного електродвигуна (рис. 4.10).

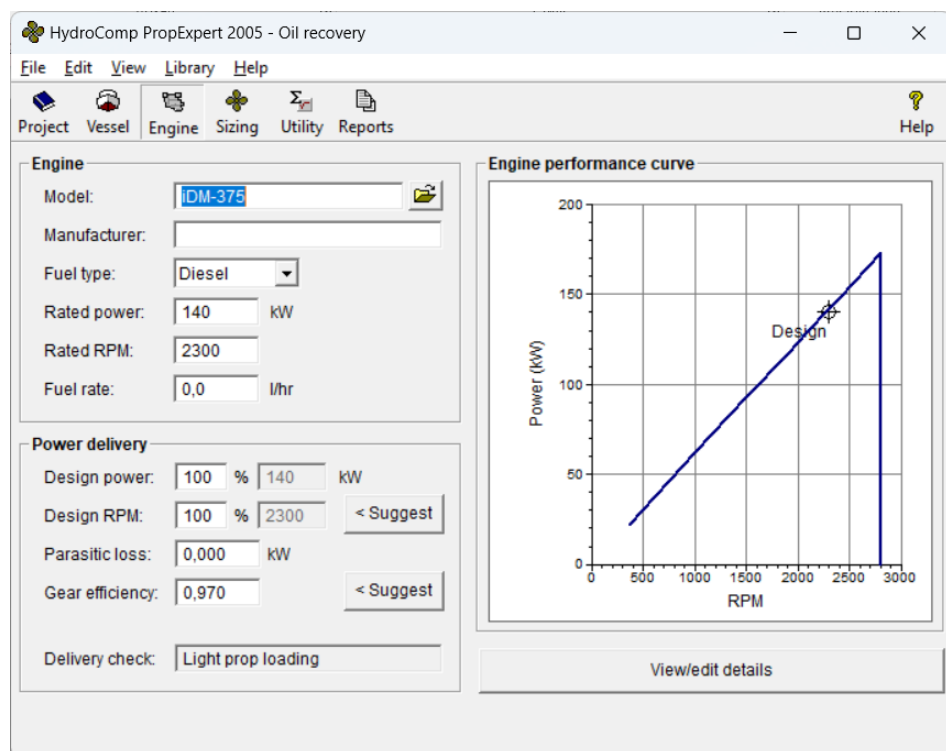


Рисунок 4.10 – Вікно вводу даних параметрів двигуна

4. Вводимо дані від виробника залежності потужності від частоти обертів, натиснувши кнопку View/edit detail (рис. 4.11).

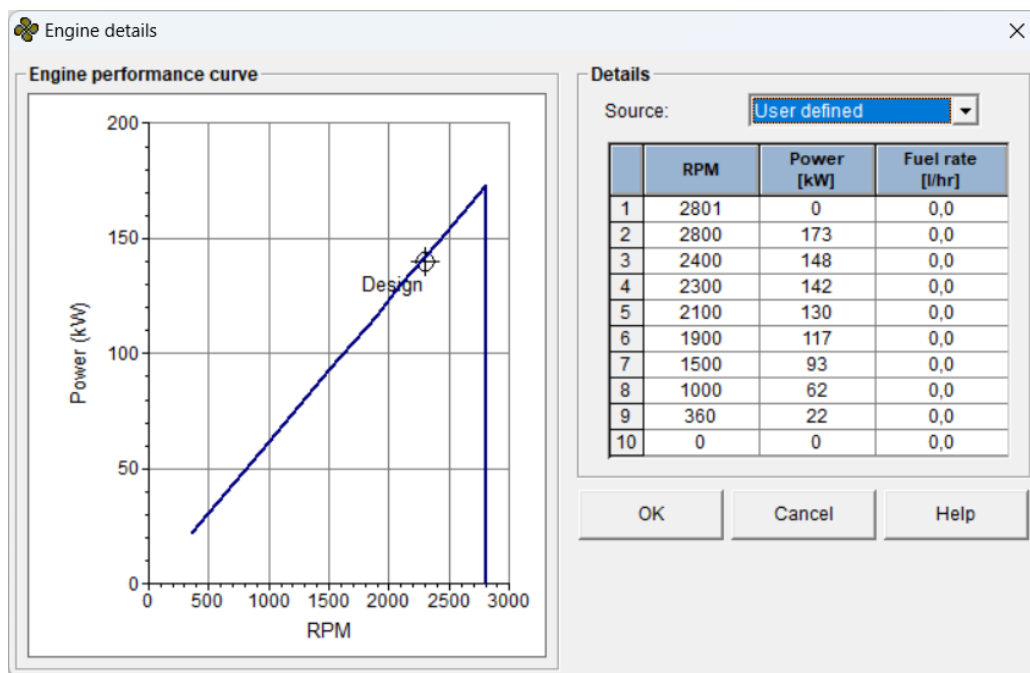
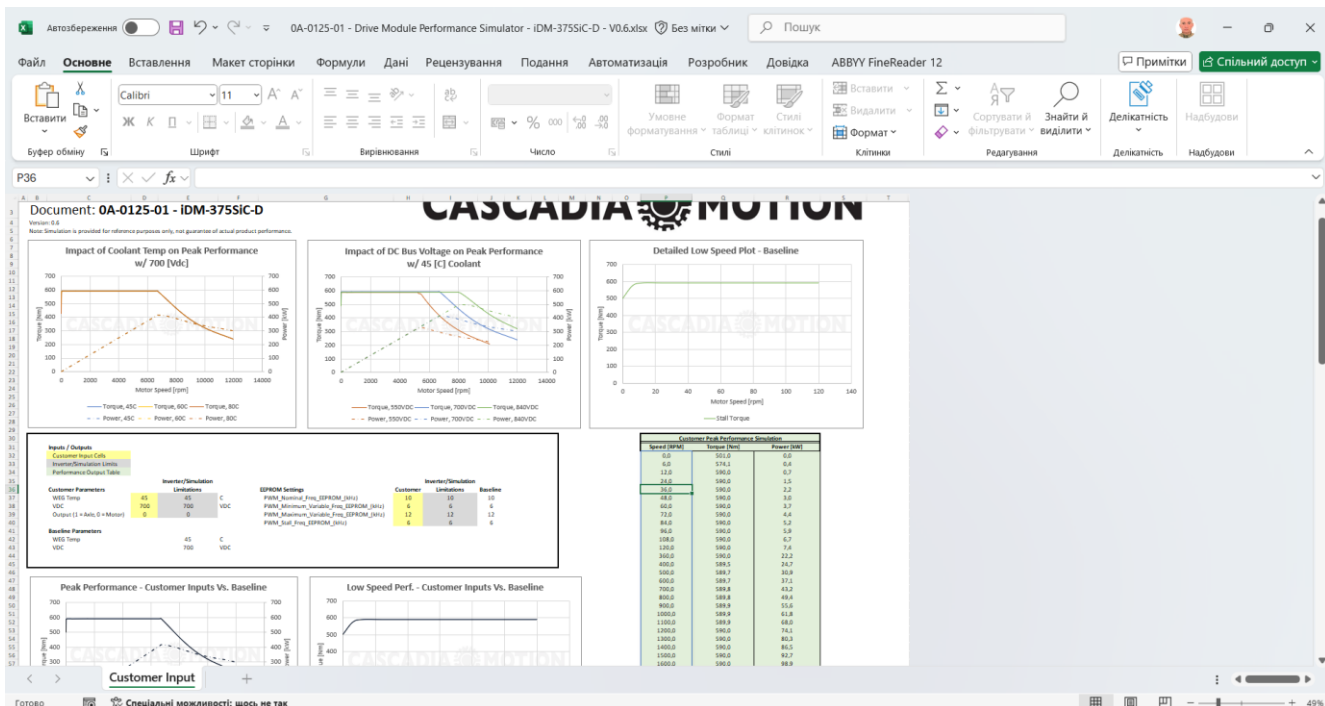


Рисунок 4.11 – графік залежності потужності від частоти обертів

5. Розраховуємо параметри гребного гвинта для заданих даних (вкладка Sizing) за допомогою кнопки Build. Результати розрахунку представлено на рис. 4.12.



HydroComp PropExpert 2005 - Oil recovery

File Edit View Library Help

Project Vessel Engine Sizing Utility Reports Help

**Propeller**

Model: CNC 480

Manufacturer: Austral Propeller Co. Pty. Ltd.

Series: BSeries

Blades: 4

Blade area ratio: Keep 0,800

Diameter: Keep 500 mm

Pitch: Size 452 mm

Gear ratio: Size 1,446

Cup type: PX Light (0.5% D)

Cup drop: 3 mm

Material: MnNiAl Bronze

**Speed**

Calc. sizing for: Top

Design speed: 18,1 kts

Calc'd max. speed: 18,1 kts

**Build**

**Summary results**

|             | Top   | Cruise |
|-------------|-------|--------|
| Speed [kts] | 18,1  | 12,0   |
| Engine RPM  | 2327  | 1794   |
| Power [kW]  | 144   | 77     |
| Thrust [kN] | 10,00 | 7,10   |
| Cavitation  | OK    | OK     |
| Strength    | OK    | OK     |

**Details**

Factors: T: 1,000 P: 1,000

MWR/BTF: M: 0,370 B: 0,050

**View details**

Рисунок 4.12 – Вікно вибору параметрів гвинта

6. За допомогою кнопки View detail здійснюємо перевірку спроектованого гвинта щодо відповідності критеріям (рис. 4.13).

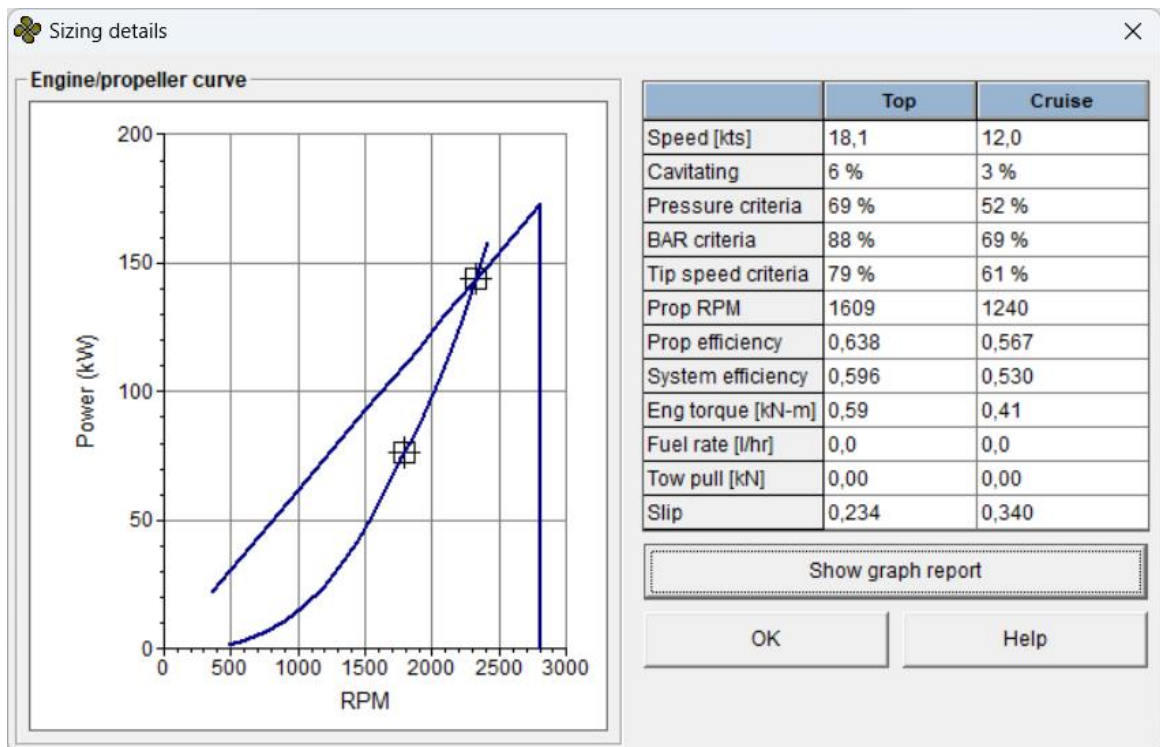


Рисунок 4.13 – Діаграма ефективності гребного гвинта

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що для обраного двигуна судно буде мати:

- максимальну швидкість – 18,2 вузл;
- проєктну швидкість (90% максимальної тривалої потужності двигуна) – 16,8 вузла.

### 4.3 Побудова 3D моделі гребного гвинта

Для побудови 3D моделі гребного гвинта використовуємо програму PropCad. Процес виконуємо в наступній послідовності.

1. В головному вікні програми PropExpert вводимо параметри гребного гвинта отримані у попередньому розрахунку (рис. 4.14).

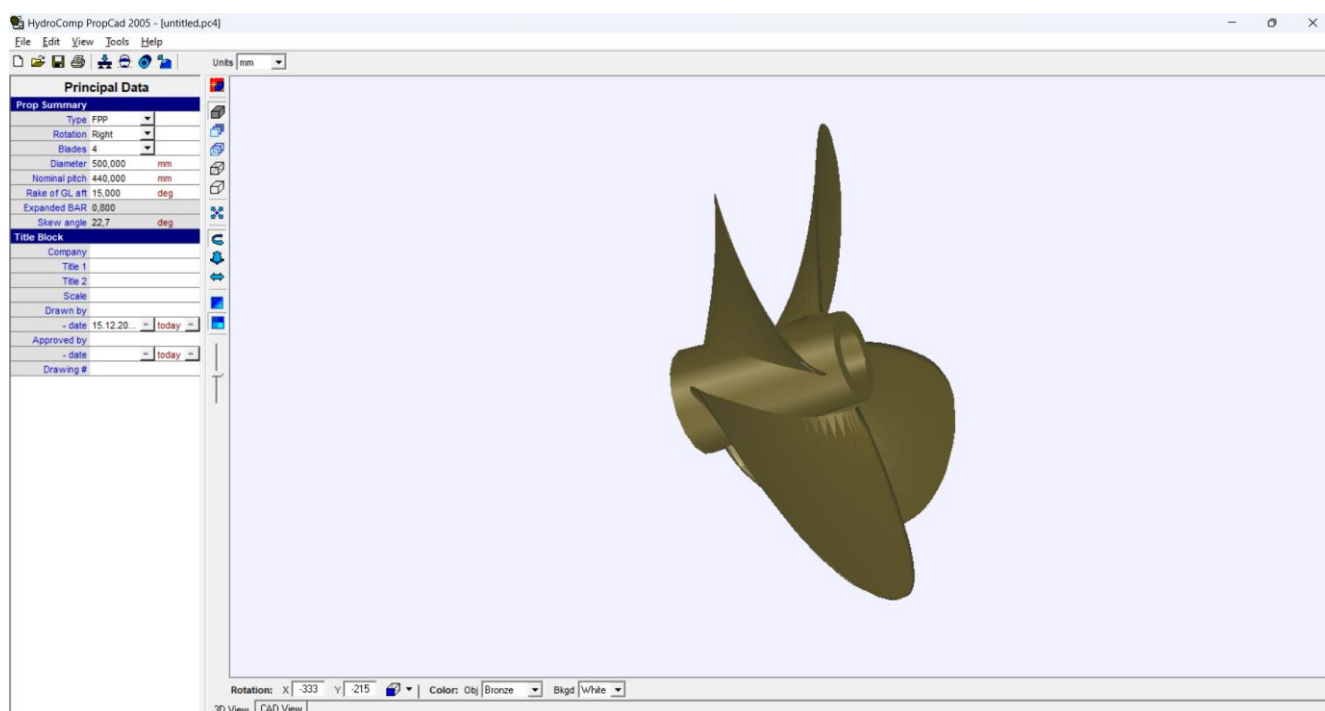


Рисунок 4.14 – Вікно вводу параметрів гвинта

2. В діалоговому вікні (рис. 4.15) Material strength properties вказуємо матеріал гвинта, потужність головного двигуна, кількість обертів гвинта

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.04 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 93   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |

Material/strength properties

Classification Society:

Rule parameters

Thickness rule:

Material type:

Loading:

Design conditions

Material density:  g/cm3

Design power:  kW

Design RPM:

Рисунок 4.15 – Діалогове вікно задання властивостей матеріалу гвинта та інших параметрів

3. Розраховуємо геометричні характеристики гвинта (рис. 4.16).

Sections data

Geometry

| r/R    | Chord  | Max T | MidC:GL | p/Pnominal | Face:RL |
|--------|--------|-------|---------|------------|---------|
| 1.0000 | 1,50   | 0,75  | 44,18   | 1,0000     | 0,00    |
| 0,9875 | 65,96  | 1,76  | 41,64   | 1,0000     | 0,00    |
| 0,9750 | 91,86  | 2,03  | 39,09   | 1,0000     | 0,00    |
| 0,9500 | 127,06 | 2,55  | 33,90   | 1,0000     | 0,00    |
| 0,9000 | 164,34 | 3,60  | 23,62   | 1,0000     | 0,00    |
| 0,8000 | 204,80 | 5,70  | 7,22    | 1,0000     | 0,00    |
| 0,7000 | 222,76 | 7,80  | -5,25   | 1,0000     | 0,00    |
| 0,6000 | 227,30 | 9,90  | -13,34  | 1,0000     | 0,00    |
| 0,5000 | 223,67 | 12,00 | -18,50  | 1,0000     | 0,00    |

Edge radii

| r/R    | LE back r | LE face r | TE back r | TE face r |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1.0000 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,9875 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,9750 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,9500 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,9000 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,8000 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,7000 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |
| 0,6000 | 0,00001   | 0,00001   | 0,00000   | 0,00000   |

Рисунок 4.16 – Діалогове вікно розрахунку параметрів геометрії гвинта

3. Натискаємо кнопку Build, в діалоговому вікні (рис. 4.17) вказуємо потрібні параметри та отримаємо 3D модель гребного гвинта (рис. 4.18).

Prop Builder

Blade geometry

Sections and r/R: B-series

Pitch distribution: Full

Expanded BAR: 0,8

Outline: B-series

Rake aft: 15 deg

Rake distribution: Linear

Exp skew at tip/D: 0

Skew distribution: B-series

Hub diam/D: 0,2

Hub/shafting

Shaft diameter: 77 mm

Hub rule: Metric

Shaft taper: 1 / 10

Hub length: 174 mm

Thickness

Thickness rule: B-series

Tip/edge thickness: 1,50 mm

Root thickness: 16,20 mm

@ r/R: 0,30

Thickness distribution: Linear

Camber

Camber/chord (f/c): 0

Peak chord-wise position: 0

Camber shape: C-shape (arc)

Radial f/c distribution: Constant

Peak r/R position: 0

Cupping

Drop: 0 mm

Root fairing: 0 to 0

Tip fairing: 0 to 0

Build Cancel Help

Рисунок 4.18 – Діалогове вікно Prop Builder

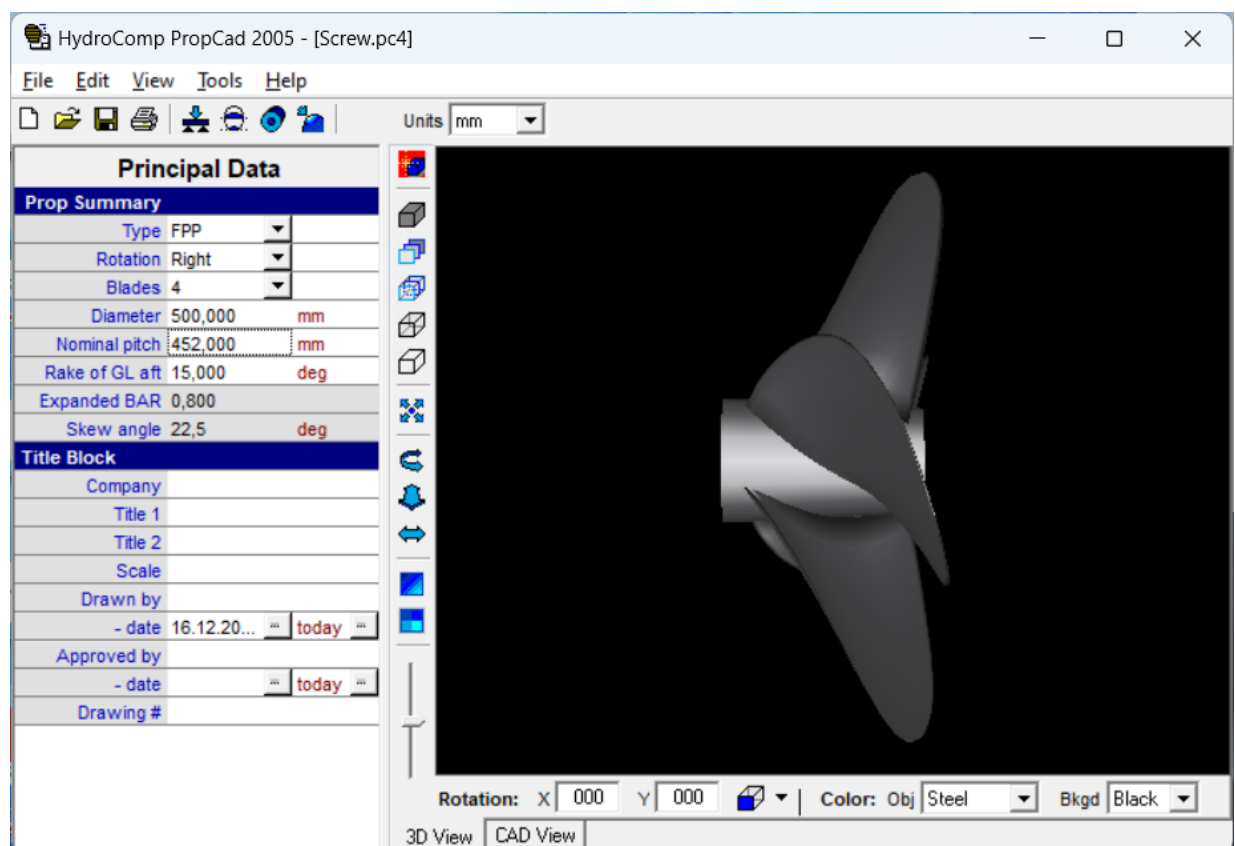


Рисунок 4.18 – 3D модель гребного гвинта

4. За допомогою команди CAD View генеруємо теоретичне креслення гвинта (рис. 4.19).

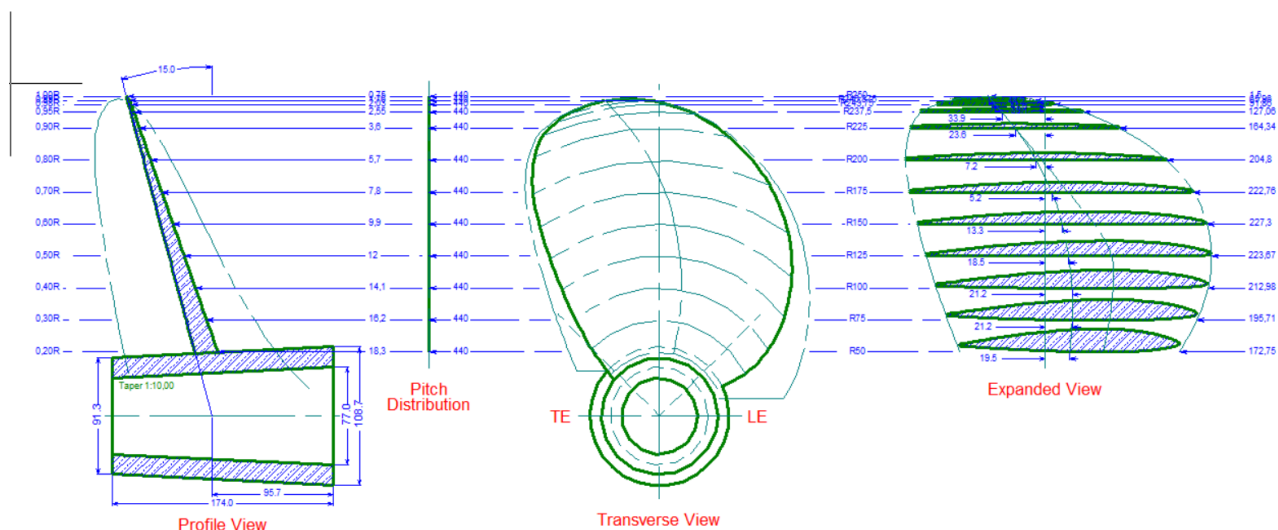


Рисунок 4.19 – Теоретичне креслення гребного гвинта

Основні характеристики спроектованого гребного гвинта представлені на рис.4.20.

| Principal characteristics           |                                 |                |       |  |  |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------|-------|--|--|
| Show                                | Text                            | Value          | Units |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Propeller type                  | FPP            |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Rotation                        | Right          |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Number of blades                | 4              |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Diameter                        | 500,00         | mm    |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Pitch (nominal)                 | 452,00         | mm    |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Expanded area ratio             | 0,800          |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Rake of GL aft                  | 15             | Deg   |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Skew                            | 22,5           | Deg   |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Material type                   | Mn-Ni-Al bronz |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Density                         | 7,5            | g/cm3 |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Design power                    | 146            | kW    |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Design RPM                      | 2440           |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Thickness rule                  | ABS Rivers     |       |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Required t @ 0,25               | 21,98          | mm    |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Weight                          | 14,3           | kg    |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Mass moment of inertia          | 0,17           | kg-m2 |  |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Additional wetted inertia (S'w) | 0,12           | kg-m2 |  |  |
| <input type="checkbox"/>            |                                 |                |       |  |  |

Рисунок 4.20 – Основні характеристики гребного гвинта

## ВИСНОВОК

У магістерській роботі проведено аналіз сучасного стану застосування водню на водному транспорті, стану розробок та технічні характеристики суднових водневих установок.

Показано, що для суттєвого зниження шкідливих викидів з водного транспорту необхідно перейти на використання інших видів палива. Серед можливих варіантів перспективним є використання водню. Проте використання водню на судах пов'язано з вирішення низки технічних проблем та має декілька варіантів рішень.

Тому у відповідності із завданням кафедри теорії та проектування суден у магістерській роботі було розроблено концептуальний проєкт службово-допоміжного багатофункціонального судна. Однією з особливостей проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна є можливість зміни обладнання для виконання різних задач. Таке обладнання можна встановлювати в стандартному 20 футовому контейнері.

У ході виконання роботи було проаналізовано сучасний стан застосування водню на водному транспорті, стан розробок та технічні характеристики суднових водневих установок, основні характеристики суден з водневою енергетичною установкою.

Для виконання розрахунків морехідних якостей проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна згідно теоретичного креслення розроблено 3D модель поверхні корпусу судна. За допомогою розробленої 3D моделі та програмного продукту Maxsurf виконано детальні розрахунки характеристик морехідних якостей проєкту службово-допоміжного багатофункціонального судна: ходовості, плавучості, початкової остійності, остійності на великих кутах крену, аварійної посадки та остійності.

Результати розрахунків, проведених на основі використаних методів та нормативних документів, показали, що розроблений концептуальний проєкт службово-допоміжного багатофункціонального судна задовольняє вимогам Регістру судноплавства України.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 97   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Faber, J. et al. (2021), Fourth IMO GHG Study 2020. International Maritime Organization (IMO). <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study-2020.aspx>
2. Учасники проєктів Вікімедіа. (2007, 1 серпня). Водневий двигун – Вікіпедія. Вікіпедія. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Водневий\\_двигун](https://uk.wikipedia.org/wiki/Водневий_двигун)
3. Бондаренко О.В., Звайгзне А. (2023) Концептуальний проєкт службово-допоміжного багатофункціонального судна з водневою енергетичною установкою // Сучасні технології проєктування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – м. Миколаїв, 17–18 травня 2023 р. – Миколаїв: НУК, 2023. – С. 21–27.
4. History of Fuel Cells. <https://www.fuelcellstore.com/blog-section/fuel-cell-information/history-of-fuel-cells>
5. Setting a Precedent and Bringing the Future Closer Developing the World's First Hydrogen-Powered Vessel. <https://www.tsuneishi-g.jp/english/sustainability/2023/03/story03/>
6. Колесніков, В.О. (2020). Водневі технології. Частина 1. Легкові водневі автомобілі. У Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту (с. 144–157). Вінницький національний технічний університет.
7. Колесніков, В.О. (2020). Водневі технології. Частина 2. Вантажні водневі автомобілі. У Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту (с. 158–165). Вінницький національний технічний університет.
8. Yumiya, H., Kizaki, M., Asai, H. (2015). Toyota Fuel Cell System (TFCS). World Electric Vehicle Journal, 7(1), 85–92.
9. Aso, S., Kizaki, M., & Mizuno, H. (2008). Development Progress of the Toyota Fuel Cell Hybrid Vehicle. SAE International Journal of Engines, 1(1), 296–303. <https://doi.org/10.4271/2008-01-0420>.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 98   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

10. Development of Maritime Hydrogen Fuel Cell System.  
[https://www.yanmar.com/global/about/technology/technical\\_review/2022/08\\_2.html](https://www.yanmar.com/global/about/technology/technical_review/2022/08_2.html)
11. Hynova 40 - 12.60 m Motor boat. <https://velamic.com/en/offer/hynova-yachts/hynova-40-11733/>
12. Watertaxi 20 hydrogen. <https://alumaxboats.nl/watertaxi-20-hydrogen/>
13. Eerste waterstof-watertaxi gaat volgende week varen in Rotterdam.  
<https://allesoverwaterstof.nl/eerste-waterstof-watertaxi-gaat-volgende-week-varen-in-rotterdam/>
14. Incat Crowther 22.  
<https://www.incatcrowther.com/ships/ferries/commuter/ic17212/>
15. Guan, W., Chen, L., Wang, Z., Chen, J., Ye, Q., & Fan, H. (2024). A 500 kW hydrogen fuel cell-powered vessel: From concept to sailing. *International Journal of Hydrogen Energy*.
16. Правила класифікації та побудови морських суден [Текст]. – К.: Регістр судноплавства України, 2024. – 205 с.
17. 33' x 12' Aluminum Landing Craft.  
<https://www.coastwisemarinedesign.com/33-x-12-aluminum-landing-craft>
18. Chiche, A., Andruetto, C., Lagergren, C., Lindbergh, G., Stenius, I., & Peretti, L. (2021). Feasibility and impact of a Swedish fuel cell-powered rescue boat. *Ocean Engineering*, 234, 109259.
19. Minnehan J.J., Pratt J.W. Practical application limits of fuel cells and batteries for zero emission vessels 2017. <https://www.osti.gov/biblio/1410178-practical-application-limits-fuel-cells-batteries-zero-emission-vessels>.
20. Toyota high-pressure hydrogen tank.  
[https://www.toyota.co.jp/fuelcells/en/pdf/pdf2\\_202303.pdf](https://www.toyota.co.jp/fuelcells/en/pdf/pdf2_202303.pdf)
21. Rhino. <https://www.rhino3d.com/>
22. Вашкевич В.В. Проект самохідного судна-перевантажувача та дослідження його морехідності. Магістерська кваліфікаційна робота, Миколаїв, 2020.

|      |      |          |        |      |                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00 | Арк. |
|      |      |          |        |      |                          | 99   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                          |      |



23. Maxsurf. <https://maxsurf.net/>

24. Суднові рушії [Текст] : навч. посіб. / В. П. Шестопал [и др.] ;  
Національний ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. - Миколаїв : НУК,  
2009. - 184 с.

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | <b>24.КР.135.6113м.01.ПЗ.00</b> | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 100  |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

|              |      |                 |        |      |                          |  |  |  |      |  |      |         |  |  |
|--------------|------|-----------------|--------|------|--------------------------|--|--|--|------|--|------|---------|--|--|
|              |      |                 |        |      | 24.МР.135.6112м.01.ПЗ.00 |  |  |  |      |  |      |         |  |  |
|              |      |                 |        |      |                          |  |  |  |      |  |      |         |  |  |
| Змн.         | Лист | № докум.        | Підпис | Дата |                          |  |  |  |      |  |      |         |  |  |
| Студент      |      | Вашкевич В.В.   |        |      | Додатки                  |  |  |  | Літ. |  | Арк. | Аркушів |  |  |
| Керівник     |      | Бондаренко О.В. |        |      |                          |  |  |  |      |  | 101  | 33      |  |  |
| Консультант. |      | Бондаренко О.В. |        |      |                          |  |  |  | НУК  |  |      |         |  |  |
| Зав. каф.    |      | Некрасов В.О.   |        |      |                          |  |  |  |      |  |      |         |  |  |
|              |      |                 |        |      |                          |  |  |  |      |  |      |         |  |  |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Weight Items       |                           |              |         |         |         |              |
|--------------------|---------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Object Name        | Material                  | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
| Layer: Side        |                           |              |         |         |         |              |
| Side Shell (S)     | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 221,484      | 5,005   | 2,021   | 1,119   | 13,126 m^2   |
| Side Shell (P)     | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 221,484      | 5,005   | -2,021  | 1,119   | 13,126 m^2   |
| SubTotal           |                           | 442,969      | 5,005   | 0,000   | 1,119   |              |
| Layer: Bottom      |                           |              |         |         |         |              |
| Bottom plating (P) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 111,096      | 2,161   | -0,903  | 0,184   | 6,584 m^2    |
| Bottom plating (P) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 4,042        | 1,234   | -1,161  | 0,346   | 0,240 m^2    |
| Bottom plating (P) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 12,355       | 0,529   | -1,159  | 0,351   | 0,732 m^2    |
| Bottom plating (P) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,761        | 1,745   | -1,152  | 0,292   | 0,341 m^2    |
| Bottom plating (P) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 203,480      | 6,508   | -1,021  | 0,359   | 12,059 m^2   |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name        | Material                  | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|--------------------|---------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Bottom plating (S) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 203,480      | 6,508   | 1,021   | 0,359   | 12,059 m^2   |
| Bottom plating (S) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 4,042        | 1,234   | 1,161   | 0,346   | 0,240 m^2    |
| Bottom plating (S) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 12,355       | 0,529   | 1,159   | 0,351   | 0,732 m^2    |
| Bottom plating (S) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 111,096      | 2,161   | 0,903   | 0,184   | 6,584 m^2    |
| Bottom plating (S) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,761        | 1,745   | 1,152   | 0,292   | 0,341 m^2    |
| SubTotal           |                           | 673,466      | 4,709   | 0,000   | 0,300   |              |
| Layer: Transom     |                           |              |         |         |         |              |
| Transom plating    | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 98,553       | 0,000   | 0,000   | 0,945   | 5,841 m^2    |
| SubTotal           |                           | 98,553       | 0,000   | 0,000   | 0,945   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                        | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|---------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Main deck           |                                 |              |         |         |         |              |
| Main Deck plating (P)      | Alloy 5086_6.35mm (1/4in)       | 222,345      | 6,288   | -1,004  | 0,852   | 13,177 m^2   |
| Main Deck plating (S)      | Alloy 5086_6.35mm (1/4in)       | 222,345      | 6,288   | 1,004   | 0,852   | 13,177 m^2   |
| SubTotal                   |                                 | 444,691      | 6,288   | 0,000   | 0,852   |              |
| Layer: Aft deck            |                                 |              |         |         |         |              |
| Aft Deck plating           | Alloy 5052 H32_4.76mm (3/16 in) | 170,094      | 1,524   | -0,025  | 1,688   | 12,951 m^2   |
| SubTotal                   |                                 | 170,094      | 1,524   | -0,025  | 1,688   |              |
| Layer: st 1                |                                 |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #1 (S)     | Alloy 5052 H32_4.76mm (3/16 in) | 10,509       | 1,244   | 1,227   | 0,970   | 0,800 m^2    |
| Plate Web Frame #1 (P)     | Alloy 5052 H32_4.76mm (3/16 in) | 10,509       | 1,244   | -1,227  | 0,970   | 0,800 m^2    |
| Facing flat Frame #1, Stbd | Alloy 6061 T6 .25x2" Flat Bar   | 4,468        | 1,244   | 1,163   | 0,971   | 0,254 m^2    |
| Facing flat Frame #1, Port | Alloy 6061 T6 .25x2" Flat Bar   | 4,468        | 1,244   | -1,163  | 0,971   | 0,254 m^2    |
| SubTotal                   |                                 | 29,954       | 1,244   | 0,000   | 0,970   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                        | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|---------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 2                |                                 |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #2 (P)     | Alloy 5052 H32 4.76mm (3/16 in) | 10,624       | 2,160   | -1,203  | 0,958   | 0,809 m^2    |
| Plate Web Frame #2 (S)     | Alloy 5052 H32 4.76mm (3/16 in) | 10,624       | 2,160   | 1,203   | 0,958   | 0,809 m^2    |
| Facing flat Frame #2, Stbd | Alloy 6061 T6 .25x2" Flat Bar   | 4,401        | 2,160   | 1,173   | 0,980   | 0,250 m^2    |
| Facing flat Frame #2, Port | Alloy 6061 T6 .25x2" Flat Bar   | 4,401        | 2,160   | -1,173  | 0,980   | 0,250 m^2    |
| SubTotal                   |                                 | 30,049       | 2,160   | 0,000   | 0,965   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 4                |                                    |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #4 (P)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,429       | 3,991   | -0,940  | 0,498   | 0,870 m^2    |
| Plate Web Frame #4 (S)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,429       | 3,991   | 0,940   | 0,498   | 0,870 m^2    |
| Frame #4, Topside, Stbd    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,679        | 3,986   | 2,046   | 1,272   | 0,128 m^2    |
| Frame #4, Topside, Port    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,679        | 3,986   | -2,046  | 1,272   | 0,128 m^2    |
| Facing flat Frame #4, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,500        | 3,991   | 1,488   | 0,556   | 0,085 m^2    |
| Facing flat Frame #4, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,672        | 3,991   | 0,471   | 0,452   | 0,095 m^2    |
| Facing flat Frame #4, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,500        | 3,991   | -1,488  | 0,556   | 0,085 m^2    |
| Facing flat Frame #4, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,672        | 3,991   | -0,471  | 0,452   | 0,095 m^2    |
| SubTotal                   |                                    | 32,558       | 3,991   | 0,000   | 0,578   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 5                |                                    |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #5 (P)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,527       | 4,907   | -0,938  | 0,511   | 0,878 m^2    |
| Plate Web Frame #5 (S)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,527       | 4,907   | 0,938   | 0,511   | 0,878 m^2    |
| Frame #5, Topside, Stbd    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,680        | 4,902   | 2,046   | 1,290   | 0,128 m^2    |
| Frame #5, Topside, Port    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,680        | 4,902   | -2,046  | 1,290   | 0,128 m^2    |
| Facing flat Frame #5, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,505        | 4,907   | 1,487   | 0,573   | 0,086 m^2    |
| Facing flat Frame #5, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,694        | 4,907   | 0,470   | 0,464   | 0,096 m^2    |
| Facing flat Frame #5, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,505        | 4,907   | -1,487  | 0,573   | 0,086 m^2    |
| Facing flat Frame #5, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,694        | 4,907   | -0,470  | 0,464   | 0,096 m^2    |
| SubTotal                   |                                    | 32,813       | 4,907   | 0,000   | 0,592   |              |



Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 6                |                                    |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #6 (P)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,451       | 5,823   | -0,928  | 0,533   | 0,872 m^2    |
| Plate Web Frame #6 (S)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,451       | 5,823   | 0,928   | 0,533   | 0,872 m^2    |
| Frame #6, Topside, Stbd    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,680        | 5,818   | 2,037   | 1,309   | 0,128 m^2    |
| Frame #6, Topside, Port    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,680        | 5,818   | -2,037  | 1,309   | 0,128 m^2    |
| Facing flat Frame #6, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,425        | 5,823   | 1,474   | 0,604   | 0,081 m^2    |
| Facing flat Frame #6, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,698        | 5,823   | 0,468   | 0,481   | 0,097 m^2    |
| Facing flat Frame #6, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,425        | 5,823   | -1,474  | 0,604   | 0,081 m^2    |
| Facing flat Frame #6, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,698        | 5,823   | -0,468  | 0,481   | 0,097 m^2    |
| SubTotal                   |                                    | 32,509       | 5,823   | 0,000   | 0,614   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 7                |                                    |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #7 (P)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,216       | 6,739   | -0,912  | 0,561   | 0,854 m^2    |
| Plate Web Frame #7 (S)     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,216       | 6,739   | 0,912   | 0,561   | 0,854 m^2    |
| Frame #7, Topside, Stbd    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,681        | 6,734   | 2,012   | 1,327   | 0,128 m^2    |
| Frame #7, Topside, Port    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,681        | 6,734   | -2,012  | 1,327   | 0,128 m^2    |
| Facing flat Frame #7, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,214        | 6,739   | 1,438   | 0,648   | 0,069 m^2    |
| Facing flat Frame #7, Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,682        | 6,739   | 0,464   | 0,503   | 0,096 m^2    |
| Facing flat Frame #7, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,214        | 6,739   | -1,438  | 0,648   | 0,069 m^2    |
| Facing flat Frame #7, Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar   | 1,682        | 6,739   | -0,464  | 0,503   | 0,096 m^2    |
| SubTotal                   |                                    | 31,587       | 6,738   | 0,000   | 0,643   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                   | Material                              | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|-------------------------------|---------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 9                   |                                       |              |         |         |         |              |
| Plate Web Frame #9            | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 15,048       | 8,571   | 0,000   | 0,698   | 1,146 m^2    |
| Frame #9, Topside,<br>Port    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 4,347        | 8,571   | -1,778  | 1,384   | 0,331 m^2    |
| Frame #9, Topside,<br>Stbd    | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 4,347        | 8,571   | 1,778   | 1,384   | 0,331 m^2    |
| Facing flat Frame #9,<br>Stbd | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar      | 1,255        | 8,571   | 0,436   | 0,669   | 0,071 m^2    |
| Facing flat Frame #9,<br>Port | Alloy 6061 T6<br>.25x2" Flat Bar      | 1,255        | 8,571   | -0,436  | 0,669   | 0,071 m^2    |
| SubTotal                      |                                       | 26,253       | 8,571   | 0,000   | 0,922   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: st 8                |                                    |              |         |         |         |              |
| bulkhead plate #8 (P)      | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 13,029       | 7,655   | -0,801  | 0,599   | 0,992 m^2    |
| bulkhead plate #8 (S)      | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 13,029       | 7,655   | 0,801   | 0,599   | 0,992 m^2    |
| Frame #8, Topside,<br>Stbd | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,682        | 7,649   | 1,965   | 1,346   | 0,128 m^2    |
| Frame #8, Topside,<br>Port | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,682        | 7,649   | -1,965  | 1,346   | 0,128 m^2    |
| SubTotal                   |                                    | 29,423       | 7,654   | 0,000   | 0,685   |              |
| Layer: st 3                |                                    |              |         |         |         |              |
| bulkhead plate #3          | Alloy<br>5086_6.35mm (1/4in)       | 40,253       | 3,075   | 0,000   | 0,486   | 2,386 m^2    |
| bulkhead plate #3 (top)    | Alloy<br>5086_6.35mm (1/4in)       | 59,296       | 3,075   | -0,211  | 1,238   | 3,514 m^2    |
| SubTotal                   |                                    | 99,549       | 3,075   | -0,126  | 0,934   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name             | Material                  | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|-------------------------|---------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Centre girder    |                           |              |         |         |         |              |
| Web Center girder (Fwd) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 51,838       | 6,148   | 0,000   | 0,439   | 3,072 m^2    |
| Web Center girder (Aft) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 7,784        | 1,538   | 0,000   | 0,075   | 0,461 m^2    |
| Web Center girder (Aft) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,191        | 1,538   | 0,000   | 1,638   | 0,308 m^2    |
| SubTotal                |                           | 64,813       | 5,225   | 0,000   | 0,491   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                                               | Material | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|-----------------------------------------------------------|----------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Side girder                                        |          |              |         |         |         |              |
| Web Side girder #1 (S) Alloy 5086_6.35mm (1/4in)<br>- Fwd |          | 31,851       | 5,982   | 0,971   | 0,582   | 1,888 m^2    |
| Web Side girder #1 (S) Alloy 5086_6.35mm (1/4in)<br>- aft |          | 5,220        | 1,537   | 0,971   | 0,301   | 0,309 m^2    |
| Web Side girder #1 (P) Alloy 5086_6.35mm (1/4in)<br>- Fwd |          | 31,851       | 5,982   | -0,971  | 0,582   | 1,888 m^2    |
| Web Side girder #1 (P) Alloy 5086_6.35mm (1/4in)<br>- aft |          | 5,220        | 1,537   | -0,971  | 0,301   | 0,309 m^2    |
| Web Side girder #1 (S) Alloy 5086_6.35mm (1/4in)<br>- aft |          | 5,191        | 1,538   | 0,971   | 1,638   | 0,308 m^2    |
| Web Side girder #1 (P) Alloy 5086_6.35mm (1/4in)<br>- aft |          | 5,191        | 1,538   | -0,971  | 1,638   | 0,308 m^2    |
| SubTotal                                                  |          | 84,524       | 4,887   | 0,000   | 0,677   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_масса\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                            | Material                  | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------------------|---------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Glass                           |                           |              |         |         |         |              |
| Stbd panel                             | Glass                     | 8,297        | 0,628   | 1,849   | 3,660   | 0,555 m^2    |
| Fwd Panel                              | Glass                     | 7,307        | 2,330   | 0,639   | 3,706   | 0,488 m^2    |
| Fwd Panel                              | Glass                     | 7,307        | 2,330   | 1,439   | 3,706   | 0,488 m^2    |
| Aft Panel                              | Glass                     | 5,554        | 0,045   | 0,673   | 3,671   | 0,371 m^2    |
| Aft Panel                              | Glass                     | 5,554        | 0,045   | 1,405   | 3,671   | 0,371 m^2    |
| Port Panel                             | Glass                     | 10,158       | 1,707   | 0,229   | 3,672   | 0,679 m^2    |
| Stbd panel                             | Glass                     | 10,158       | 1,707   | 1,849   | 3,672   | 0,679 m^2    |
| Door Panel                             | Glass                     | 3,666        | 0,628   | 0,186   | 3,660   | 0,245 m^2    |
| SubTotal                               |                           | 58,000       | 1,323   | 1,101   | 3,678   |              |
| Layer: Longitudinals                   |                           |              |         |         |         |              |
| Bottom/Deck Longitudinals #1 (S) - Fwd | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 21,698       | 6,286   | 0,485   | 0,539   | 1,286 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #1 (S) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,189        | 1,538   | 0,485   | 0,149   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #1 (S) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,191        | 1,538   | 0,485   | 1,638   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #2 (S) - Fwd | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 23,041       | 6,384   | 1,456   | 0,655   | 1,365 m^2    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                            | Material                  | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------------------------|---------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Bottom/Deck Longitudinals #2 (S) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,191        | 1,538   | 1,456   | 1,638   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #2 (S) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,189        | 1,538   | 1,456   | 0,346   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #2 (P) - Fwd | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 23,041       | 6,384   | -1,456  | 0,655   | 1,365 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #2 (P) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,191        | 1,538   | -1,456  | 1,638   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #2 (P) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,189        | 1,538   | -1,456  | 0,346   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #1 (P) - Fwd | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 21,698       | 6,286   | -0,485  | 0,539   | 1,286 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #1 (P) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,191        | 1,538   | -0,485  | 1,638   | 0,308 m^2    |
| Bottom/Deck Longitudinals #1 (P) - Aft | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 5,189        | 1,538   | -0,485  | 0,149   | 0,308 m^2    |
| SubTotal                               |                           | 130,997      | 4,816   | 0,000   | 0,708   |              |



Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name            | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: DeckHouse       |                                    |              |         |         |         |              |
| DeckHouse Side, Stbd   | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 57,277       | 1,116   | 1,848   | 2,795   | 4,361 m^2    |
| DeckHouse Side, Port   | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 50,698       | 1,180   | 0,230   | 2,811   | 3,860 m^2    |
| DeckHouse Aft (S)      | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 22,526       | 0,045   | 1,452   | 2,790   | 1,715 m^2    |
| DeckHouse Aft (P)      | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 22,526       | 0,045   | 0,626   | 2,790   | 1,715 m^2    |
| DeckHouse Front        | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 33,194       | 2,165   | 1,039   | 2,481   | 2,527 m^2    |
| DeckHouse Front Up (S) | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 4,624        | 2,368   | 1,451   | 3,808   | 0,352 m^2    |
| DeckHouse Front Up (P) | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 4,624        | 2,368   | 0,627   | 3,808   | 0,352 m^2    |
| House Deck             | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 45,074       | 1,105   | 1,039   | 2,085   | 3,432 m^2    |
| House Roof (P)         | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 42,219       | 1,260   | 0,532   | 4,342   | 3,215 m^2    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!\Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name    | Material                              | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------|---------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| House Roof (S) | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 42,219       | 1,260   | 1,546   | 4,342   | 3,215 m^2    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 2,105        | 0,628   | 0,186   | 3,660   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 3,508        | 1,711   | 1,849   | 3,678   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 3,508        | 1,711   | 0,229   | 3,678   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 2,499        | 0,045   | 1,405   | 3,671   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 2,499        | 0,045   | 0,673   | 3,671   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 2,875        | 2,330   | 1,439   | 3,706   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 2,875        | 2,330   | 0,639   | 3,706   | 0,001 m^3    |
| Window frame   | Alloy 5083-H111                       | 3,089        | 0,628   | 1,849   | 3,660   | 0,001 m^3    |
| SubTotal       |                                       | 347,940      | 1,163   | 1,056   | 3,136   |              |
| Layer: Default |                                       |              |         |         |         |              |
| Steps          | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 3,468        | 0,648   | 0,079   | 2,085   | 0,264 m^2    |
| Steps          | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 1,753        | 0,208   | 0,079   | 1,862   | 0,133 m^2    |
| Steps          | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 1,753        | 1,088   | 0,079   | 1,862   | 0,133 m^2    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name       | Material                              | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|-------------------|---------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Steps             | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16<br>in) | 5,142        | 0,648   | -0,071  | 1,862   | 0,392 m^2    |
| Deck Base, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,114        | 4,829   | 2,059   | 1,760   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,114        | 4,198   | 2,059   | 1,747   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,114        | 3,564   | 2,059   | 1,734   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,114        | 2,941   | 2,059   | 1,722   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,114        | 2,097   | 2,059   | 1,704   | 0,000 m^3    |
| Lower Rail, Stbd  | Alloy 6063-T6                         | 1,376        | 2,581   | 2,044   | 2,049   | 0,001 m^3    |
| Mid Rail, Stbd    | Alloy 6063-T6                         | 0,991        | 2,361   | 2,039   | 2,375   | 0,000 m^3    |
| Cross Mid, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,345        | 5,073   | 1,994   | 1,867   | 0,000 m^3    |
| Cross Mid, Port   | Alloy 6063-T6                         | 0,345        | 5,073   | -1,994  | 1,867   | 0,000 m^3    |
| Cross Fwd, Port   | Alloy 6063-T6                         | 0,345        | 8,408   | -1,849  | 1,934   | 0,000 m^3    |
| Cross Fwd, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,345        | 8,408   | 1,849   | 1,934   | 0,000 m^3    |
| Cross Aft, Stbd   | Alloy 6063-T6                         | 0,345        | 1,444   | 2,016   | 1,793   | 0,000 m^3    |
| Cross Aft, Port   | Alloy 6063-T6                         | 0,345        | 1,444   | -2,016  | 1,793   | 0,000 m^3    |
| SubTotal          |                                       | 17,124       | 1,522   | 0,362   | 1,948   |              |
| Layer: Ramp       |                                       |              |         |         |         |              |
| Bow door skin (P) | Alloy<br>5086_6.35mm<br>(1/4in)       | 71,336       | 10,056  | -0,800  | 1,404   | 4,228 m^2    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name       | Material                  | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|-------------------|---------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Bow door skin (S) | Alloy 5086_6.35mm (1/4in) | 71,336       | 10,056  | 0,800   | 1,404   | 4,228 m^2    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,146        | 9,627   | 0,005   | 0,856   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,306        | 9,713   | -0,005  | 0,921   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,017        | 9,650   | 0,000   | 0,866   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,146        | 9,627   | -0,793  | 0,856   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,306        | 9,713   | -0,783  | 0,921   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,017        | 9,650   | -0,788  | 0,866   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,146        | 9,627   | -1,516  | 0,856   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,306        | 9,713   | -1,506  | 0,921   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,017        | 9,650   | -1,511  | 0,866   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,146        | 9,627   | 0,793   | 0,856   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,306        | 9,713   | 0,783   | 0,921   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,017        | 9,650   | 0,788   | 0,866   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,146        | 9,627   | 1,516   | 0,856   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,306        | 9,713   | 1,506   | 0,921   | 0,000 m^3    |
| Arm               | Alloy 6063-T6             | 0,017        | 9,650   | 1,511   | 0,866   | 0,000 m^3    |
| Bow door skin     | Alloy 5083-H111           | 27,540       | 10,069  | 0,820   | 1,392   | 0,010 m^3    |
| Bow door skin     | Alloy 5083-H111           | 27,540       | 10,069  | -0,820  | 1,392   | 0,010 m^3    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name               | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|---------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 0,442        | 10,480  | 1,640   | 1,739   | 0,034 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 3,525        | 10,548  | 0,820   | 1,816   | 0,268 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 3,525        | 10,412  | 0,820   | 1,661   | 0,268 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 9,102        | 10,539  | 0,820   | 1,686   | 0,693 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 0,442        | 10,480  | -1,640  | 1,739   | 0,034 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 3,525        | 10,548  | -0,820  | 1,816   | 0,268 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 3,525        | 10,412  | -0,820  | 1,661   | 0,268 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Top  | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 9,102        | 10,539  | -0,820  | 1,686   | 0,693 m^2    |
| Bow Door Stiffeners, Vert | Alloy 6063-T6                      | 1,182        | 10,032  | -1,050  | 1,316   | 0,000 m^3    |
| Bow Door Stiffeners, Vert | Alloy 6063-T6                      | 1,182        | 10,032  | -0,525  | 1,316   | 0,000 m^3    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                     | Material      | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|---------------------------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Bow Door Stiffeners, Vert       | Alloy 6063-T6 | 1,182        | 10,032  | 0,000   | 1,316   | 0,000 m^3    |
| Bow Door Stiffeners, Vert       | Alloy 6063-T6 | 1,182        | 10,032  | 0,525   | 1,316   | 0,000 m^3    |
| Bow Door Stiffeners, Vert       | Alloy 6063-T6 | 1,182        | 10,032  | 1,050   | 1,316   | 0,000 m^3    |
| Bow Door Stiffeners, Vert       | Alloy 6063-T6 | 1,182        | 10,032  | -1,576  | 1,316   | 0,000 m^3    |
| Bow Door Stiffeners, Vert       | Alloy 6063-T6 | 1,182        | 10,032  | 1,576   | 1,316   | 0,000 m^3    |
| Lower Bow Door Stiffeners, Stbd | Alloy 6063-T6 | 2,114        | 9,697   | 0,820   | 0,929   | 0,001 m^3    |
| Lower Bow Door Stiffeners, Port | Alloy 6063-T6 | 2,114        | 9,697   | -0,820  | 0,929   | 0,001 m^3    |
| SubTotal                        |               | 245,789      | 10,110  | 0,000   | 1,427   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name              | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|--------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Bow Locker        |                                    |              |         |         |         |              |
| Bow Locker Coaming, Port | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,224       | 9,370   | -1,600  | 1,439   | 0,855 m^2    |
| Bow Locker Coaming, Stbd | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 11,224       | 9,370   | 1,600   | 1,439   | 0,855 m^2    |
| Bow Locker Plate, Stbd   | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 7,010        | 9,400   | 1,757   | 1,848   | 0,534 m^2    |
| Bow Locker Plate, Port   | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 7,010        | 9,400   | -1,757  | 1,848   | 0,534 m^2    |
| SubTotal                 |                                    | 36,467       | 9,381   | 0,000   | 1,596   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                           | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|---------------------------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Side Deck                      |                                    |              |         |         |         |              |
| Side Deck Coaming, Stbd               | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 3,098        | 5,624   | 1,877   | 1,751   | 0,236 m^2    |
| Side Deck Coaming, Port               | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 2,888        | 5,823   | -1,873  | 1,755   | 0,220 m^2    |
| Side Deck, Port                       | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 17,377       | 5,911   | -1,993  | 1,777   | 1,323 m^2    |
| Side Deck, Stbd                       | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 18,468       | 5,732   | 1,996   | 1,773   | 1,406 m^2    |
| SubTotal                              |                                    | 41,832       | 5,805   | 0,063   | 1,772   |              |
| Layer: Spuds                          |                                    |              |         |         |         |              |
| 6061 T6 140mm ODX10mm Wall Tube, Port | Alloy 6063-T6                      | 21,284       | 8,662   | -1,683  | 1,864   | 0,008 m^3    |
| 6061 T6 140mm ODX10mm Wall Tube, Stbd | Alloy 6063-T6                      | 21,284       | 8,662   | 1,683   | 1,864   | 0,008 m^3    |
| SubTotal                              |                                    | 42,567       | 8,662   | 0,000   | 1,864   |              |
| Layer: Hand Rails                     |                                    |              |         |         |         |              |
| Round Base, Port                      | Alloy 6063-T6                      | 0,114        | 1,097   | 0,225   | 2,921   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Port                      | Alloy 6063-T6                      | 0,114        | 1,097   | 0,225   | 3,811   | 0,000 m^3    |



Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                          | Material      | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|--------------------------------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| 6063 1.25" sch 40<br>Pipe, Port      | Alloy 6063-T6 | 1,251        | 1,095   | 0,092   | 3,366   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Stbd                     | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 1,595   | 1,853   | 2,689   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Stbd                     | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 0,105   | 1,853   | 2,659   | 0,000 m^3    |
| 6063 1.25" sch 40<br>Pipe, Stbd      | Alloy 6063-T6 | 1,920        | 0,850   | 1,995   | 2,675   | 0,001 m^3    |
| Round Base Fwd, Stbd                 | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 8,202   | 1,939   | 1,828   | 0,000 m^3    |
| Round Base Fwd, Stbd                 | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 7,218   | 2,002   | 1,808   | 0,000 m^3    |
| Round Base Fwd, Stbd                 | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 6,301   | 2,038   | 1,790   | 0,000 m^3    |
| Round Base Fwd, Stbd                 | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 5,322   | 2,056   | 1,770   | 0,000 m^3    |
| 6063 1.25" sch 40 Pipe<br>Fwd, Stbd  | Alloy 6063-T6 | 3,633        | 6,762   | 2,013   | 1,928   | 0,001 m^3    |
| Post 6063 1.25" sch 40<br>Pipe, Stbd | Alloy 6063-T6 | 0,146        | 7,218   | 2,002   | 1,866   | 0,000 m^3    |
| Post 6063 1.25" sch 40<br>Pipe, Stbd | Alloy 6063-T6 | 0,146        | 6,301   | 2,038   | 1,847   | 0,000 m^3    |
| 6063 1.25" sch 40 Pipe<br>Fwd, Port  | Alloy 6063-T6 | 3,633        | 6,762   | -2,013  | 1,928   | 0,001 m^3    |
| Post 6063 1.25" sch 40<br>Pipe, Port | Alloy 6063-T6 | 0,146        | 7,218   | -2,002  | 1,866   | 0,000 m^3    |
| Post 6063 1.25" sch 40<br>Pipe, Port | Alloy 6063-T6 | 0,146        | 6,301   | -2,038  | 1,847   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Port                     | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 8,202   | -1,939  | 1,828   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Port                     | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 7,218   | -2,002  | 1,808   | 0,000 m^3    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name        | Material      | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|--------------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Round Base, Port   | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 6,301   | -2,038  | 1,790   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Port   | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 5,322   | -2,056  | 1,770   | 0,000 m^3    |
| SubTotal           |               | 12,385       | 5,060   | 0,357   | 2,216   |              |
| Layer: Guard Rails |               |              |         |         |         |              |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 0,105   | -0,970  | 1,662   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 4,829   | -2,059  | 1,760   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 4,198   | -2,059  | 1,747   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 2,097   | -2,059  | 1,704   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 3,564   | -2,059  | 1,734   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 2,941   | -2,059  | 1,722   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 0,266   | -2,014  | 1,667   | 0,000 m^3    |
| Deck Base, Port    | Alloy 6063-T6 | 0,152        | 1,110   | -2,046  | 1,684   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Stbd   | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 1,937   | 1,853   | 2,696   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Stbd   | Alloy 6063-T6 | 0,128        | 1,938   | 1,853   | 2,366   | 0,000 m^3    |
| Round Base, Stbd   | Alloy 6063-T6 | 0,128        | 1,937   | 1,853   | 2,036   | 0,000 m^3    |
| Base Round, Port   | Alloy 6063-T6 | 0,114        | 0,105   | 0,225   | 2,659   | 0,000 m^3    |
| Base Round, Port   | Alloy 6063-T6 | 0,128        | 0,105   | 0,225   | 2,329   | 0,000 m^3    |
| Base Round, Port   | Alloy 6063-T6 | 0,128        | 0,105   | 0,225   | 1,999   | 0,000 m^3    |
| Post, Stbd         | Alloy 6063-T6 | 1,151        | 2,098   | 2,059   | 2,192   | 0,000 m^3    |
| Post, Stbd         | Alloy 6063-T6 | 1,151        | 2,941   | 2,059   | 2,209   | 0,000 m^3    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name      | Material      | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|------------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Post, Stbd       | Alloy 6063-T6 | 0,153        | 4,198   | 2,059   | 1,807   | 0,000 m^3    |
| Post, Stbd       | Alloy 6063-T6 | 0,153        | 3,564   | 2,059   | 1,795   | 0,000 m^3    |
| Top Rail, Stbd   | Alloy 6063-T6 | 4,346        | 3,353   | 2,053   | 2,281   | 0,002 m^3    |
| Post, Port       | Alloy 6063-T6 | 1,151        | 2,098   | -2,059  | 2,192   | 0,000 m^3    |
| Post, Port       | Alloy 6063-T6 | 1,151        | 2,941   | -2,059  | 2,209   | 0,000 m^3    |
| Post, Port       | Alloy 6063-T6 | 1,151        | 1,110   | -2,046  | 2,172   | 0,000 m^3    |
| Post, Port       | Alloy 6063-T6 | 1,151        | 0,266   | -2,014  | 2,155   | 0,000 m^3    |
| Post, Port       | Alloy 6063-T6 | 0,153        | 4,198   | -2,059  | 1,807   | 0,000 m^3    |
| Post, Port       | Alloy 6063-T6 | 0,153        | 3,564   | -2,059  | 1,795   | 0,000 m^3    |
| Top Rail, Port   | Alloy 6063-T6 | 8,864        | 1,880   | -1,709  | 2,477   | 0,003 m^3    |
| Post, Aft        | Alloy 6063-T6 | 1,153        | 0,105   | -0,970  | 2,150   | 0,000 m^3    |
| Mid Rail, Port   | Alloy 6063-T6 | 4,328        | 0,898   | -1,530  | 2,345   | 0,002 m^3    |
| Lower Rail, Port | Alloy 6063-T6 | 4,713        | 1,081   | -1,573  | 2,019   | 0,002 m^3    |
| SubTotal         |               | 32,606       | 1,805   | -0,832  | 2,256   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name       | Material                           | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|-------------------|------------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Steps      |                                    |              |         |         |         |              |
| Steps plating     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,683        | 2,975   | 1,776   | 1,098   | 0,128 m^2    |
| Steps plating     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 2,662        | 2,875   | 1,783   | 1,254   | 0,203 m^2    |
| Steps plating     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 1,752        | 2,775   | 1,789   | 1,408   | 0,133 m^2    |
| Steps plating     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 2,706        | 2,675   | 1,796   | 1,561   | 0,206 m^2    |
| Steps plating     | Alloy 5052<br>H32_4.76mm (3/16 in) | 2,433        | 2,910   | 1,456   | 1,457   | 0,185 m^2    |
| SubTotal          |                                    | 11,235       | 2,834   | 1,715   | 1,373   |              |
| Layer: Bitteng    |                                    |              |         |         |         |              |
| Collumn Fwd, Stbd | Alloy 6063-T6                      | 4,455        | 8,408   | 1,849   | 1,447   | 0,002 m^3    |
| Flange Fwd, Stbd  | Alloy 6063-T6                      | 1,411        | 8,408   | 1,849   | 2,014   | 0,001 m^3    |
| Collumn Mid, Stbd | Alloy 6063-T6                      | 4,455        | 5,072   | 1,994   | 1,379   | 0,002 m^3    |
| Flange Mid, Stbd  | Alloy 6063-T6                      | 1,411        | 5,073   | 1,994   | 1,947   | 0,001 m^3    |
| Cross Mid, Stbd   | Alloy 6063-T6                      | 0,019        | 5,207   | 1,994   | 1,867   | 0,000 m^3    |
| Collumn Fwd, Port | Alloy 6063-T6                      | 4,455        | 8,408   | -1,849  | 1,447   | 0,002 m^3    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name      | Material      | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|------------------|---------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Flange Fwd, Port | Alloy 6063-T6 | 1,411        | 8,408   | -1,849  | 2,014   | 0,001 m^3    |
| Column Mid, Port | Alloy 6063-T6 | 4,455        | 5,072   | -1,994  | 1,379   | 0,002 m^3    |
| Flange Mid, Port | Alloy 6063-T6 | 1,411        | 5,073   | -1,994  | 1,947   | 0,001 m^3    |
| Cross Mid, Stbd  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 4,938   | 1,994   | 1,867   | 0,000 m^3    |
| Cross Mid, Port  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 5,207   | -1,994  | 1,867   | 0,000 m^3    |
| Cross Mid, Port  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 4,938   | -1,994  | 1,867   | 0,000 m^3    |
| Cross Fwd, Port  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 8,542   | -1,849  | 1,934   | 0,000 m^3    |
| Cross Fwd, Port  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 8,273   | -1,849  | 1,934   | 0,000 m^3    |
| Cross Fwd, Stbd  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 8,542   | 1,849   | 1,934   | 0,000 m^3    |
| Cross Fwd, Stbd  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 8,273   | 1,849   | 1,934   | 0,000 m^3    |
| Flange Aft, Stbd | Alloy 6063-T6 | 1,411        | 1,444   | 2,016   | 1,873   | 0,001 m^3    |
| Column Aft, Port | Alloy 6063-T6 | 0,692        | 1,444   | -2,016  | 1,772   | 0,000 m^3    |
| Flange Aft, Port | Alloy 6063-T6 | 1,411        | 1,444   | -2,016  | 1,873   | 0,001 m^3    |
| Cross Aftd, Stbd | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 1,579   | 2,016   | 1,793   | 0,000 m^3    |
| Cross Aft, Stbd  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 1,310   | 2,016   | 1,793   | 0,000 m^3    |
| Cross Aft, Port  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 1,579   | -2,016  | 1,793   | 0,000 m^3    |
| Cross Aft, Port  | Alloy 6063-T6 | 0,019        | 1,310   | -2,016  | 1,793   | 0,000 m^3    |
| Column Aft, Stbd | Alloy 6063-T6 | 0,692        | 1,444   | 2,016   | 1,772   | 0,000 m^3    |
| SubTotal         |               | 27,893       | 5,927   | 0,000   | 1,596   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                          | Material                        | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Pull                          |                                 |              |         |         |         |              |
| Roll, Stbd                           | Alloy 6063-T6                   | 0,230        | 10,786  | 1,733   | 1,906   | 0,000 m^3    |
| Plate, Stbd                          | Alloy 6063-T6                   | 1,856        | 10,606  | 1,691   | 1,902   | 0,001 m^3    |
| Plate, Stbd                          | Alloy 6063-T6                   | 1,856        | 10,606  | 1,775   | 1,902   | 0,001 m^3    |
| Clamp, Stbd                          | Alloy 6063-T6                   | 0,103        | 10,702  | 1,733   | 1,985   | 0,000 m^3    |
| Shaft, Stbd                          | Alloy 6063-T6                   | 0,050        | 10,786  | 1,733   | 1,906   | 0,000 m^3    |
| Roll, Port                           | Alloy 6063-T6                   | 0,230        | 10,786  | -1,733  | 1,906   | 0,000 m^3    |
| Plate, Port                          | Alloy 6063-T6                   | 1,856        | 10,606  | -1,691  | 1,902   | 0,001 m^3    |
| Plate, Port                          | Alloy 6063-T6                   | 1,856        | 10,606  | -1,775  | 1,902   | 0,001 m^3    |
| polysurface                          | Alloy 6063-T6                   | 0,050        | 10,786  | -1,733  | 1,906   | 0,000 m^3    |
| Clamp, Port                          | Alloy 6063-T6                   | 0,103        | 10,702  | -1,733  | 1,985   | 0,000 m^3    |
| Extruded Rubber D<br>Fenders, Stbd   | Rubber                          | 11,718       | 10,723  | 1,732   | 1,311   | 0,010 m^3    |
| Extruded Rubber D<br>Fenders, Port   | Rubber                          | 11,718       | 10,723  | -1,732  | 1,311   | 0,010 m^3    |
| Push knee 6061 0.375"<br>Plate, Stbd | Alloy<br>5086_6.35mm<br>(1/4in) | 12,154       | 10,140  | 1,803   | 1,218   | 0,720 m^2    |
| Push knee 6061 0.375"<br>Plate, Stbd | Alloy<br>5086_6.35mm<br>(1/4in) | 12,154       | 10,140  | 1,659   | 1,218   | 0,720 m^2    |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name                              | Material                       | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|------------------------------------------|--------------------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Push knee 6061 0.375" Plate, Port        | Alloy 5086_6.35mm (1/4in)      | 12,154       | 10,140  | -1,803  | 1,218   | 0,720 m^2    |
| Push knee 6061 0.375" Plate, Port        | Alloy 5086_6.35mm (1/4in)      | 12,154       | 10,140  | -1,659  | 1,218   | 0,720 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Stbd | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 4,121        | 10,675  | 1,731   | 1,311   | 0,159 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Stbd | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 1,617        | 10,457  | 1,732   | 1,865   | 0,062 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Stbd | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 5,495        | 9,751   | 1,731   | 1,311   | 0,212 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Stbd | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 5,253        | 9,969   | 1,729   | 0,757   | 0,203 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Stbd | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 9,094        | 10,236  | 1,731   | 1,216   | 0,351 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 4,121        | 10,675  | -1,731  | 1,311   | 0,159 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 1,617        | 10,457  | -1,732  | 1,865   | 0,062 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 5,495        | 9,751   | -1,731  | 1,311   | 0,212 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 5,253        | 9,969   | -1,729  | 0,757   | 0,203 m^2    |
| Push knee 6061 T6 4x.375" Flat Bar, Port | Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar | 9,094        | 10,236  | -1,731  | 1,216   | 0,351 m^2    |
| SubTotal                                 |                                | 131,403      | 10,282  | 0,000   | 1,270   |              |

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name          | Material              | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|----------------------|-----------------------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Fender        |                       |              |         |         |         |              |
| Fender Top, Stbd     | Rubber                | 96,895       | 5,103   | 2,085   | 1,711   | 0,081 m^3    |
| Fender Top, Port     | Rubber                | 96,895       | 5,103   | -2,085  | 1,711   | 0,081 m^3    |
| Fender Lower, Port   | Rubber                | 42,424       | 4,499   | -2,083  | 1,072   | 0,035 m^3    |
| Fender Lower, Stbd   | Rubber                | 42,424       | 4,499   | 2,083   | 1,072   | 0,035 m^3    |
| SubTotal             |                       | 278,638      | 4,919   | 0,000   | 1,516   |              |
| Layer: Hydrogen tank |                       |              |         |         |         |              |
| COPV 58l, Port       | Hydrogen tank<br>COPV | 58,002       | 4,834   | -1,247  | 0,550   | 0,195 m^3    |
| COPV 58l, Strbd      | Hydrogen tank<br>COPV | 58,002       | 4,834   | 1,247   | 0,550   | 0,195 m^3    |
| G2L-1 230l Aft, Port | Hydrogen tank G2l     | 136,000      | 4,362   | -0,447  | 0,496   | 0,367 m^3    |
| G2L-1 230l Fwd, Port | Hydrogen tank G2l     | 136,000      | 6,566   | -0,447  | 0,514   | 0,367 m^3    |
| G2L-1 230l Aft, Stbd | Hydrogen tank G2l     | 136,000      | 4,362   | 0,447   | 0,496   | 0,367 m^3    |
| G2L-1 230l Fwd, Stbd | Hydrogen tank G2l     | 136,000      | 6,566   | 0,447   | 0,514   | 0,367 m^3    |
| G2L-3 176l Aft, Port | Hydrogen tank         | 100,900      | 2,122   | -0,521  | 0,510   | 0,291 m^3    |
| SubTotal             |                       | 760,904      | 4,925   | -0,069  | 0,513   |              |



Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_туннель\_метри\_new.3dm



| Object Name               | Material | Weight (kgf) | LCG (m) | TCG (m) | VCG (m) | Weight Basis |
|---------------------------|----------|--------------|---------|---------|---------|--------------|
| Layer: Frame of reference |          |              |         |         |         |              |
| Shaft, Port               | Steel    | 56,684       | 1,748   | -1,209  | 0,296   | 0,007 m^3    |
| Shaft, Stbd               | Steel    | 56,684       | 1,748   | 1,209   | 0,296   | 0,007 m^3    |
| SubTotal                  |          | 113,368      | 1,748   | 0,000   | 0,296   |              |
| Totals                    |          | 4612,952     | 4,836   | 0,080   | 1,081   |              |

\* Values with an asterisk are assigned directly and not computed from the corresponding material and geometry.

\*\* These items are associated with Rhino block instances. See "Block Item Details" section for breakdown of these weight items.

Default Project

Orca3D Weight and Cost Report

Default Company

Report Time: 19 грудня 2024 р., 20:28:30

Model Name: E:\Downloads\!Вашкевич\Нова магістерська робота\33\_ширина\_масса\_туннель\_метри\_new.3dm



Material Library - Point Materials

Material Library - Curve Materials

Material Library - Surface Materials

| Material Name                    | Mass/Area (kg/m^2) | Material Cost/Area (EUR/m^2) | Labor Cost/Area (EUR/m^2) |
|----------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------------------|
| Alloy 5086_ 6.35mm(1/4in)        | 16,874             | 0,00                         | 0,00                      |
| Alloy 5052 H32_ 4.76mm (3/16 in) | 13,134             | 0,00                         | 0,00                      |
| Glass                            | 14,960             | 0,00                         | 0,00                      |
| Alloy 6061 T6 .25x2" Flat Bar    | 17,577             | 0,00                         | 0,00                      |
| Alloy 6061 T6 4x.375" Flat Bar   | 25,926             | 0,00                         | 0,00                      |

Material Library - Solid Materials

| Material Name      | Mass/Volume (kg/m^3) | Material Cost/Volume (EUR/m^3) | Labor Cost/Volume (EUR/m^3) |
|--------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Alloy 5083-H111    | 2650,000             | 0,00                           | 0,00                        |
| Alloy 6063-T6      | 2700,000             | 0,00                           | 0,00                        |
| Rubber             | 1200,000             | 0,00                           | 0,00                        |
| Hydrogen tank COPV | 297,741              | 0,00                           | 0,00                        |
| Hydrogen tank G2I  | 370,442              | 0,00                           | 0,00                        |
| Hydrogen tank      | 346,651              | 0,00                           | 0,00                        |
| Steel              | 7800,000             | 0,00                           | 0,00                        |