RAPORT KOŃCOWY

PKBWM
PAŃSTWOWA KOMISJA BADANIA WYPADKÓW MORSKICH

114/22

wypadek morski

Zespół holowniczy - holownik Odys i ponton TRD Voyager

Utrata ładunku - żurawia stoczniowego z pokładu holowanego pontonu na Morzu Bałtyckim w dniu 24 sierpnia 2022 r.

lipiec 2023

Badanie wypadku morskiego holownika Odys i pontonu TRD Voyager, prowadzone było na podstawie ustawy z dnia 31 sierpnia 2012 r. o Państwowej Komisji Badania Wypadków Morskich (t.j. Dz. U. z 2019 r. poz. 1374) oraz uzgodnionych w ramach Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO) norm, standardów i zalecanych metod postępowania, wiążących Rzeczpospolitą Polską.

Zgodnie z przepisami wyżej wymienionej ustawy celem badania wypadku lub incydentu morskiego jest ustalenie okoliczności i przyczyn jego wystąpienia dla zapobiegania wypadkom i incydentom morskim w przyszłości oraz poprawy stanu bezpieczeństwa morskiego.

Państwowa Komisja Badania Wypadków Morskich nie rozstrzyga w prowadzonym przez siebie badaniu o winie lub odpowiedzialności osób uczestniczących w wypadku lub incydencie morskim.

Niniejszy raport nie może stanowić dowodu w postępowaniu karnym albo innym postępowaniu mającym na celu ustalenie winy lub odpowiedzialności za spowodowanie wypadku, którego raport dotyczy (art. 40 ust. 2 ustawy o PKBWM).

Państwowa Komisja Badania Wypadków Morskich

Pl. Stefana Batorego 4, 70-207 Szczecin

tel. +48 91 44 03 290, tel. kom. +48 664 987 987

e-mail: pkbwm@pkbwm.gov.pl

www.pkbwm.gov.pl

Raport może być wykorzystany w dowolnym formacie lub na dowolnym nośniku, bezpłatnie, do celów badawczych, edukacyjnych lub informacji publicznej. Raport winien być wykorzystany dokładnie i w kontekście nie wprowadzającym w błąd. W przypadku wykorzystania należy podać tytuł publikacji źródłowej.

SPIS TREŚCI

1. Fakty 4
2. Informacje ogólne 6
2.1. Dane Holownika 6
2.2. Obiekt holowany – Ponton TRD Voyager 7
2.2.1. Ładunek na pokładzie pontonu TRD Voyager 8
2.3. Informacje o podróży statku 9
2.4. Informacje o wypadku morskim 9
2.5. Informacje o zaangażowanych podmiotach z lądu i działaniach ratowniczych 10
3. Opis okoliczności wypadku 11
4. Analiza i uwagi dotyczące czynników, które przyczyniły się do wypadku morskiego z uwzględnieniem wyników badań i ekspertyz. 17
4.1. Czynniki mechaniczne 20
4.1.1. Projekt systemu mocowania żurawia stoczniowego 21
4.1.2. Wytrzymałość dolnej płyty mocującej 25
4.1.3. Wytrzymałość górnej płyty (belki) mocującej. 26
4.1.4. Wytrzymałość rur mocujących 27
4.1.5. Wytrzymałość belki mocującej 29
4.1.6. Złącza spawane systemu mocowania. 31
4.1.7. Rzeczywista wytrzymałość systemu mocowania 32
4.2. Czynniki ludzkie 33
4.3. Czynniki organizacyjne. 35
4.4. Wpływ czynników zewnętrznych, w tym związanych ze środowiskiem morskim, na zaistnienie wypadku morskiego 36
5. Opis wyników przeprowadzonego badania, w tym kwestii dotyczących bezpieczeństwa i wniosków wynikających z badania 38
6. Rekomendacje 48
7. Spis zdjęć 49
8. Spis rysunków 50
9. Spis tabel 51
10. Spis skrótów 51
11. Źródła informacji 52

12. Skład zespołu badającego wypadek 52
13. Załącznik 1. Projektowany system mocowania żurawia do pokładu pontonu – obliczenia wytrzymałościowe. 52

1. Fakty

W dniu 23 sierpnia 2022 r. w porcie Gdynia, przy Nabrzeżu Węgierskim, został załadowany żuraw stoczniowy o masie 255 ton i wysokości 46,8 m na ponton TRD Voyager. Żuraw stoczniowy na pokładzie pontonu został zamocowany według zaprojektowanego systemu mocowania o wytrzymałości deklarowanej 60 t (588.6 kN).

W przygotowanie transportu żurawia stoczniowego z Gdyni do Szczecina, jego załadunek z nabrzeża, mocowanie na pontonie TRD Voyager, zaangażowanych było pięć podmiotów prawnych.

Zdjęcie nr 1. Zamocowany żuraw stoczniowy na pokładzie pontonu TRD Voyager przy Nabrzeżu Węgierskim w porcie Gdynia

Po wystawieniu Certyfikatu Gotowości do Holowania i spełnieniu warunków wymaganych przepisami Urzędu Morskiego w Gdyni dla zespołów holowniczych, uzyskano zgodę Kapitanatu Portu Gdynia na wypłynięcie zespołu holowniczego w podróż morską do Szczecina. O godz. 17:00 zespół holowniczy składający się z holownika Odys na przodzie, holowanego pontonu TRD Voyager wraz z zamocowanym ładunkiem żurawia stoczniowego oraz holownika Fairplay VII na rufie odcumował od Nabrzeża Węgierskiego w porcie Gdynia i wypłynął w podróż morską do portu w Szczecinie.

Zdjęcie nr 2. Zespół holowniczy Odys, ponton TRD Voyager z żurawiem stoczniowym i Fairplay VII opuszczający Port Gdynia w dniu 23.08.2022 r.

O godz. 17:30, po minięciu główek portu Gdynia, zdano pilota, a po minięciu pławy GD zwolniono holownik Fairplay VII, który asekurował tył pontonu. Na holowniku Odys wydłużono hol do 330 m i rozpoczęto podróż morską zespołu holowniczego z ładunkiem żurawia stoczniowego na pokładzie.

Do godz. 02:00 w dniu 24 sierpnia 2022 r. wachtę nawigacyjną na mostku pełnił kapitan holownika, a godz. 02:00 wachtę nawigacyjną przejął I oficer. Ze względu na boczne fale, o godz. 02:30 zredukowano prędkość holownika i wybrano korzystniejszy kurs zespołu holowniczego.

O godz. 06:47 I oficer stwierdził brak ładunku na holowanym pontonie. Niezwłocznie o sytuacji poinformował kapitana, a o godz. 07:03 I oficer przekazał informację o utracie ładunku oficerowi operacyjnemu VTS Ławica Słupska. Po uzgodnieniu z armatorem zespół holowniczy zawrócił do portu w Gdyni.

O godz. 14:15 funkcjonariusze Straży Granicznej, na wysokości Rozewia, przeprowadzili kontrolę bezpieczeństwa żeglugi jednostki holowniczej oraz stan trzeźwości załogi. U trzech członków załogi badania wykazały obecność alkoholu w wydychanym powietrzu[1].

W dniu 26 sierpnia 2022 r. statek wielozadaniowy Urzędu Morskiego w Gdyni Zodiak II, zlokalizował zatopiony żuraw stoczniowy na głębokości około 23 m na wschód od obszaru TSS

[1] Członkowie załogi, u których wykryto obecność alkoholu w wydychanym powietrzu nie należeli do obsady wachty nawigacyjnej na mostku.

Ławica Słupska. BHMW wydało Brzegowe Ostrzeżenie Nawigacyjne oraz Wirtualne Oznakowanie Nawigacyjne w pozycji zalegania wraku żurawia stoczniowego.

W dniu 24 maja 2023 r. z dna Morza Bałtyckiego za pomocą dźwigu pływającego Maja wydobyto główną konstrukcję żurawia i przetransportowano do Gdańska (Zdjęcie nr 3 z „Portal Trójmiasto.pl").

Zdjęcie nr 3. Wydobyta konstrukcja jezdna żurawia stoczniowego na pokładzie dźwigu pływającego Maja

2. Informacje ogólne

2.1. Dane Holownika

Nazwa statku:	Odys
Bandera:	polska
Właściciel:	Fairplay Towage Polska Sp. z o.o. Sp. k.
Armator:	Fairplay Towage Polska Sp. z o.o. Sp. k.
Instytucja klasyfikacyjna:	PRS
Typ statku:	holownik
Sygnał rozpoznawczy:	SQLU
Nr identyfikacyjny IMO:	7937965
Pojemność brutto (GT):	329
Rok i miejsce budowy:	1979 Stocznia Marynarki Wojennej Gdynia

Moc maszyn:	1840 kW
Długość całkowita:	35,63 m
Szerokość:	9,34 m
Materiał, z jakiego jest zbudowany kadłub:	stal
Minimalna obsada załogowa:	żegluga międzynarodowa – 6 osób
	żegluga krajowa – 4 osoby

Zdjęcie nr 4. Holownik Odys

2.2. Obiekt holowany – Ponton TRD Voyager

Nazwa statku:	TRD-Voyager
Bandera:	polska
Właściciel:	Trend Projekt Sp. z o. o. Sp. k. – Mokry Dwór
Armator:	Trend Projekt Sp. z o. o. Sp. k. – Mokry Dwór
Instytucja klasyfikacyjna:	PRS
Typ statku:	ponton
Numer rejestru:	ROG/S/872
Pojemność brutto (GT):	1390
Rok i miejsce budowy:	2006 Stocznia Crist Sp. z o.o. Gdańsk
Moc maszyn:	bez napędu
Długość całkowita:	60,26 m
Szerokość:	20,00 m
Materiał, z jakiego jest zbudowany kadłub:	stal

Zdjęcie nr 5. Ponton TRD Voyager

2.2.1. Ładunek na pokładzie pontonu TRD Voyager

Ładunek na pokładzie pontonu TRD Voyager stanowił: żuraw stoczniowy (szynowy) Eberswalde o następujących danych technicznych:

Masa żurawia:	255 ton
Udźwig:	20 Ton
Wysięg max:	32 m
Rok produkcji:	1969
Wytwórca:	VEB Kranbau Eberswalde Niemcy
Napęd żurawia:	elektryczny
Wysokość żurawia stoczniowego:	46 m

Zdjęcie nr 6. Żuraw stoczniowy na pokładzie pontonu TRD Voyager w porcie Gdynia przy Nabrzeżu Węgierskim

2.3. Informacje o podróży statku

Porty zawinięcia w czasie podróży:	Gdynia
Port przeznaczenia:	Szczecin
Rodzaj żeglugi:	krajowa, przybrzeżna
Informacja o załodze (liczba, narodowość):	6 osób (polska)

2.4. Informacje o wypadku morskim

Rodzaj wypadku:	wypadek morski
Data i czas zdarzenia:	24.08.2022 r. około godz. 03:04 LT[2]
Pozycja geograficzna w czasie zdarzenia:	φ=54°56,52’ N ; λ=017°52,25’ E
Rejon geograficzny zajścia zdarzenia:	Bałtyk Południowy – na wschód od systemu rozgraniczenia ruchu TSS Ławica Słupska
Charakter akwenu:	morze terytorialne
Pogoda w trakcie zdarzenia:	
Dziennik pokładowy - holownik Odys:	wiatr NNE 4°B, stan morza 2-3

[2] LT – (*Local Time*) czas lokalny

Stan eksploatacyjny statku w trakcie zdarzenia:	zespół holowniczy podczas holowania pontonu z ładunkiem żurawia stoczniowego.
Skutki wypadku:	utrata holowanego ładunku żurawia stoczniowego. Holownik Odys nie odniósł uszkodzeń, na skutek wypadku, nieznaczne uszkodzenia powstały na pokładzie pontonu TRD Voyager.

2.5. Informacje o zaangażowanych podmiotach z lądu i działaniach ratowniczych

Podmioty zaangażowane:	Urząd Morski Gdynia (VTS Zatoka Gdańska, Oddział Pomiarów Morskich, Pion Oznakowania Nawigacyjnego), Straż Graniczna, BHMW,
Użyte środki:	statek Zodiak II, który na pozycji geograficznej: φ=54°56,51'N; λ=017°52,06'E i głębokości około 23 m odnalazł zatopiony żuraw stoczniowy
Działanie służb ratowniczych:	jednostki ratownicze nie brały udziału w zdarzeniu
Podjęte działania:	zespół holowniczy został skierowany przez armatora do Portu Gdynia. W dniu 24.08.2022 r. operator dyżurny UM Gdynia pełniący nadzór nad ruchem statków w obszarze TSS Ławica Słupska ostrzegał na kanale 73 VHF przepływające statki o zagrożeniu nawigacyjnym związanym z wypadkiem utraty ładunku żurawia stoczniowego w obszarze TSS Ławica Słupska. Dodatkowo, po informacji o utracie ładunku żurawia stoczniowego, BHMW wydało Brzegowe Ostrzeżenie

Nawigacyjne Nr PL 203/2022. W dniu 26 sierpnia 2022 r. po zlokalizowaniu zatopionego żurawia BHMW wystawiło nowe Brzegowe Ostrzeżenie Nawigacyjne oraz wystawiono Wirtualne Oznakowanie Nawigacyjne w pozycji zlokalizowanego wraku żurawia stoczniowego.

3. Opis okoliczności wypadku

W dniu 18 sierpnia 2022 r. została sporządzona wstępna dokumentacja transportu morskiego konstrukcji żurawia stoczniowego, dotycząca stateczności pontonu wraz z ładunkiem i projekt systemu mocowania do pokładu pontonu (LST.SRM.EBE_P00_2022.08.18). Dokument ten został przekazany armatorowi i kapitanowi holownika Odys.

W dniu 22 sierpnia 2022 r. około godz. 11:00 kapitan i I oficer przeprowadzili inspekcję pontonu TRD Voyager. Sprawdzono wyposażenie pontonu w hol awaryjny oraz czy ponton posiada zamocowane lejce, do których mocuje się hol główny. Sprawdzono gotowość do użycia świateł nawigacyjnych na pontonie.

W dniu 23 sierpnia 2022 r. sporządzono ostateczny dokument przedstawiający parametry stateczności i pływalności pontonu oraz sposób zamocowania żurawia do pokładu pontonu (LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23).

W dniu 23 sierpnia 2022 r. żuraw stoczniowy został umieszczony na pontonie TRD Voyager zacumowanym przy Nabrzeżu Węgierskim w porcie Gdynia. Po zamocowaniu żurawia w dniu 23 sierpnia 2022 r. został sporządzony raport z badania wizualnego spoin. Tego samego dnia o godz. 16:10 holownik Odys odcumował od Nabrzeża Czeskiego i podpłynął do Nabrzeża Węgierskiego do pontonu TRD Voyager. Po dokonaniu oględzin zespołu holowniczego przez upoważnionego certyfikowanego rzeczoznawcę, został wydany Certyfikat Gotowości do Holowania. Certyfikat zawierał zalecenia i warunki holowania dla kapitana zespołu holowniczego. Certyfikat został odebrany i podpisany przez kapitana holownika Odys.

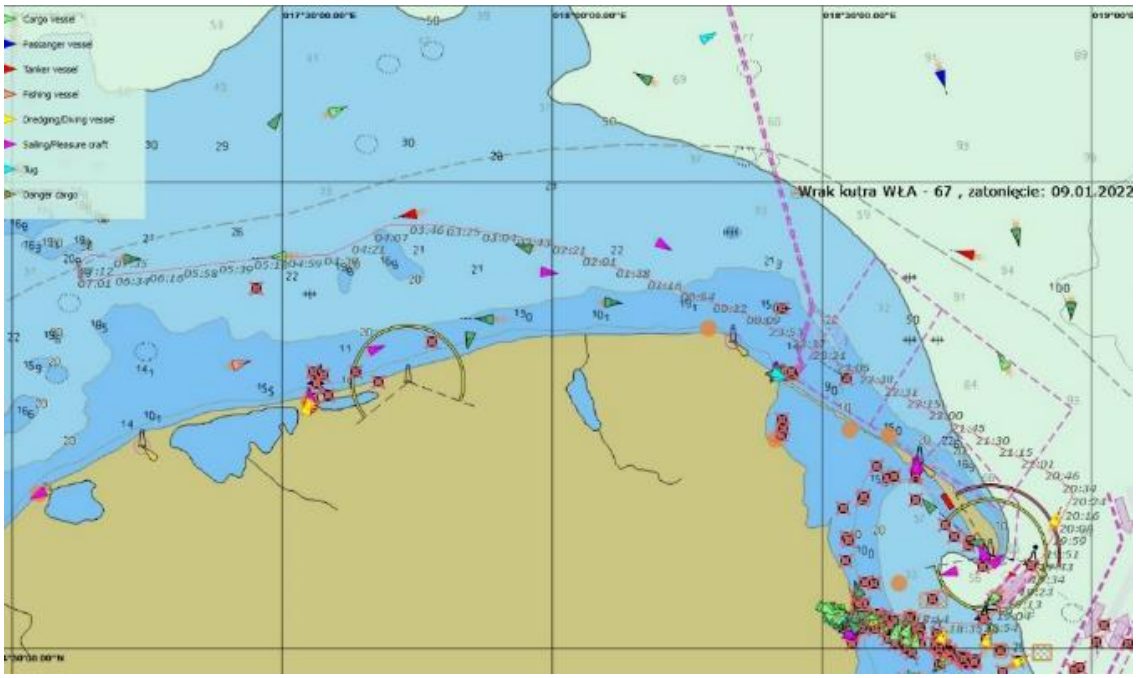
O godz. 16:45 na burtę holownika Odys wszedł pilot portowy, a do rufy pontonu podpłynął holownik Fairplay VII asekurujący ruch pontonu w czasie manewrów portowych.

O godz. 16:50 załoga holownika Odys pod nadzorem I oficera podała hole główne z dziobu i rufy pontonu oraz zakończyła sprawdzanie i przygotowanie obiektu holowanego zgodnie z procedurami statkowymi zawartymi w formularzu F-PS-02/2 „Kontrola obiektu holowanego przed holowaniem".

O godz. 17:00 zespół holowniczy składający się z holownika Odys, holowanego pontonu TRD Voyager i umieszczonym na jego pokładzie żurawiem stoczniowym odcumował od Nabrzeża Węgierskiego i w asyście holownika Fairplay VII na rufie, przy wykorzystaniu krótkich 15 metrowych holi, wypłynął z portu w Gdyni.

O godz. 17:30 po minięciu główek portu Gdynia, zdano pilota, a po minięciu pławy GD zwolniono holownik Fairplay VII, który asekurował rufę pontonu. Na holowniku Odys wydłużono hol do 330 m i rozpoczęto podróż morską zespołu holowniczego.

O godz. 18:55 zespół holowniczy minął boję GN.



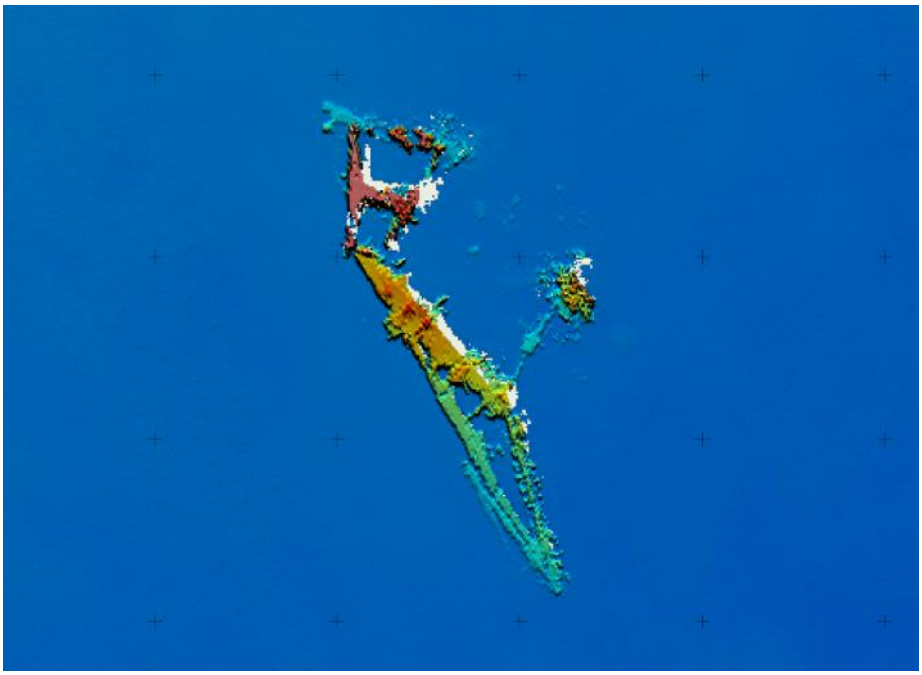
Rysunek 1. Trasa zespołu holowniczego Holownika Odys i pontonu TRD Voyagaer zarejestrowana w systemie SWIBŻ

Od godz. 20:00 do godz. 02:00 wachtę nawigacyjną na mostku pełnił kapitan. Podróż morska przebiegała bez problemów. O godz. 02:00 wachtę nawigacyjną na mostku przejął I oficer, na pozycji: φ = 54° 55,0'N, λ = 018° 03,3'E, na kursie 291°, przy prędkości 6.5 w.

O godz. 02:30 I oficer poinformował kapitana o pogarszającej się pogodzie i fali bocznej. Kapitan przyszedł na mostek nawigacyjny i po zapoznaniu się z sytuacją pogodową,

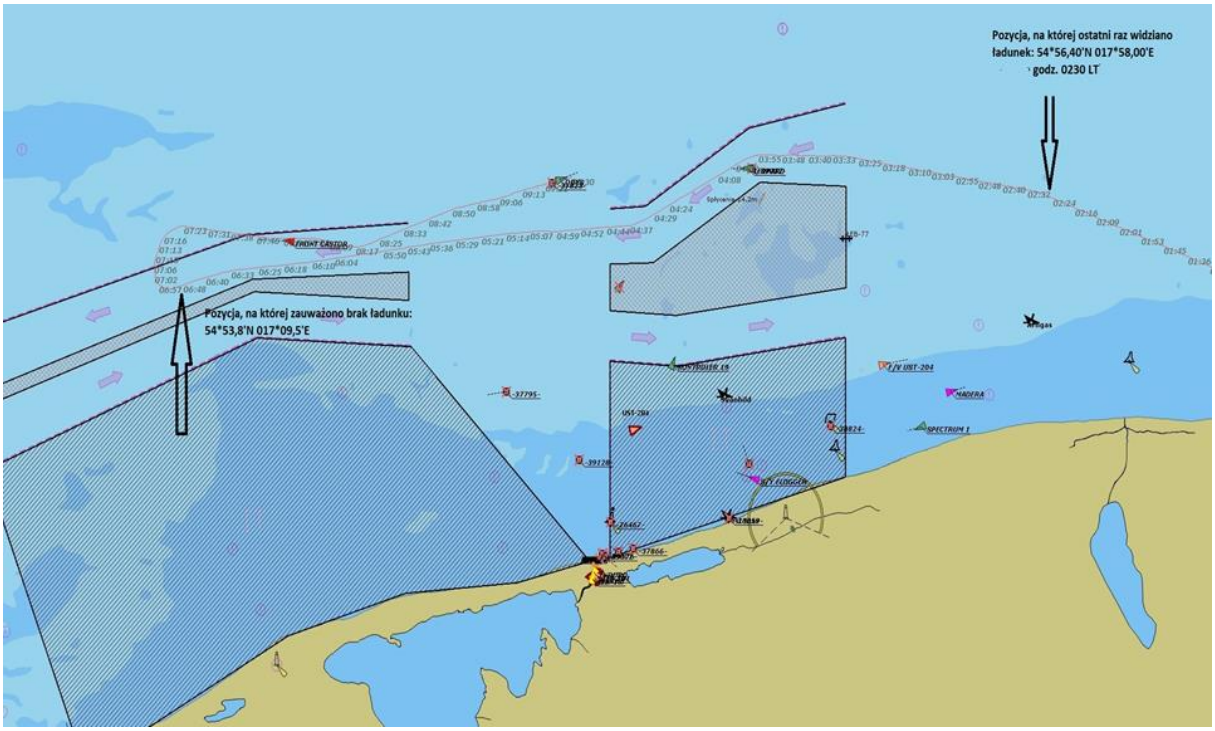
zredukował prędkość holowania oraz zmienił kurs na bardziej korzystny, tak by falowanie oddziaływało na rufę holowanego pontonu. Zmieniono kurs z 291° na kurs 265°.

Według relacji kapitana, o godz. 02:30, ładunek żurawia stoczniowego, był widoczny na holowanym pontonie. Po wykonaniu ww. czynności kapitan opuścił mostek nawigacyjny, a wachtę nawigacyjną kontynuował I oficer. Pomiędzy godziną 03:04, a 03:10 nastąpiła utrata ładunku żurawia z pontonu, co zostało stwierdzone na podstawie zebranych danych trasy holownika Odys i miejsca odnalezienia zatopionej konstrukcji żurawia przez statek Zodiak II w dniu 26 sierpnia 2022 r.



Rysunek 2. Zatopiony na dnie Morza Bałtyckiego, leżący na boku żuraw, skierowany ramieniem w kierunku SE.

Załoga holownika nie zaobserwowała momentu upadku żurawia z pokładu pontonu do morza. O godz. 06:47 na pozycji φ = 54°53,8'N; λ = 017°09,5'E, I oficer zauważył brak ładunku żurawia stoczniowego na pokładzie holowanego pontonu. O tym fakcie, natychmiast powiadomił kapitana.



Rysunek 3. Pozycja zespołu holowniczego w momencie stwierdzania braku ładunku na pokładzie pontonu.

O godz. 06:57 inspektor operacyjny armatora, po otrzymaniu informacji o utracie ładunku, przekazał kapitanowi, aby zespół holowniczy wracał do portu Gdynia.

O godz. 07:03 I oficer na kanale 73 VHF powiadomił dyspozytora służby dyżurnej VTS Ławica Słupska, o utracie ładunku żurawia stoczniowego z pokładu holowanego pontonu. Podał pozycję i czas, kiedy zauważył brak żurawia na holowanym pontonie. Nie był w stanie określić pozycji oraz czasu, kiedy ładunek żuraw stoczniowy wpadł do morza. Następnie zespół holowniczy opuścił strefę separacyjną TSS Ławica Słupska i skierował się w podróż powrotną do portu Gdynia. W dniu 24 sierpnia 2022 r. o godz. 21:30 holownik Odys wraz z pontonem TRD Voyager bezpiecznie zacumował przy Nabrzeżu Węgierskim w porcie Gdynia.

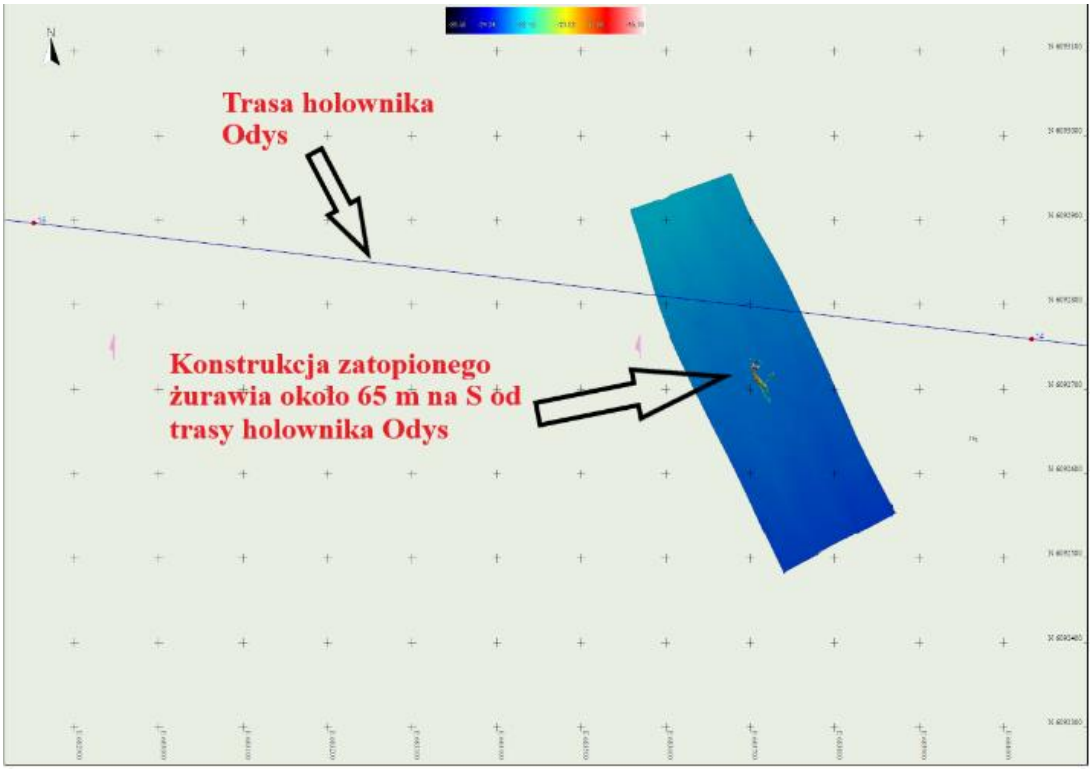
Zdjęcie nr 7. Widok pokładu pontonu TRD Voyager zacumowanego przy Nabrzeżu Węgierskim w Porcie Gdynia w dniu 25 sierpnia 2022 r.

Dnia 26 sierpnia 2022 r. statek wielozadaniowy UM w Gdyni Zodiak II, przy pomocy wielowiązkowego systemu batymetrycznego, wykonał pomiary na trasie przejścia zespołu holowniczego i odnalazł zatopiony żuraw stoczniowy na pozycji: φ = 54°56,51'N ; λ = 017°52,06'E.

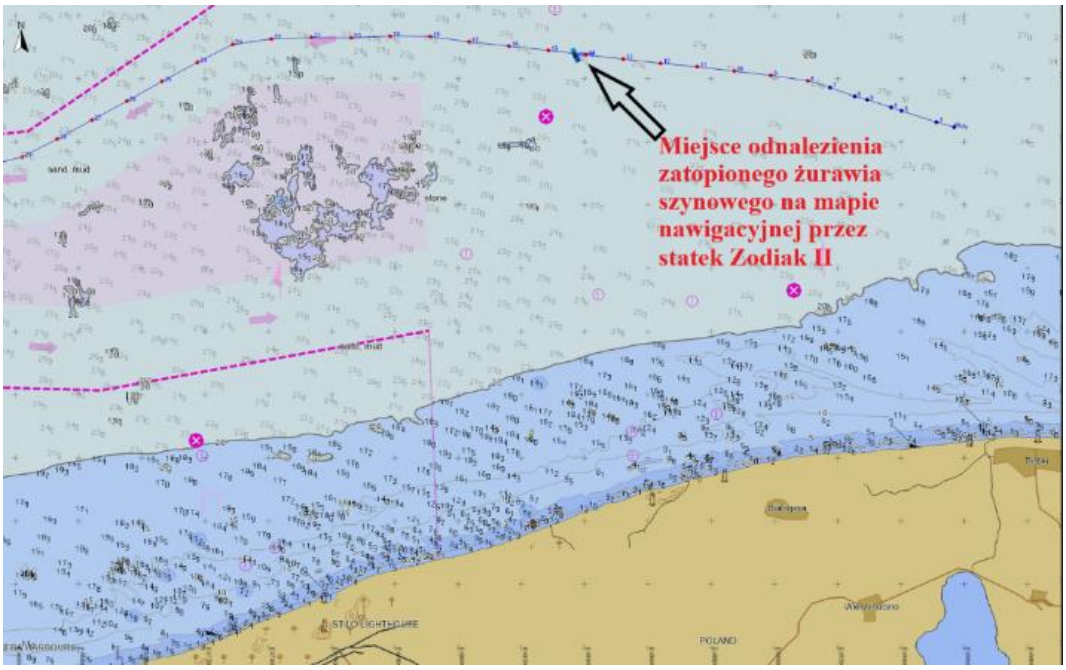
Konstrukcję zatopionego żurawia o wysokości około 60 m, długości 16 m i szerokości 8 m zlokalizowano na południe od trasy holownika Odys, między 14 a 15 punktem widocznym na rysunkach poniżej. Odnaleziony zatopiony żuraw stoczniowy leżał na boku, ramieniem skierowanym w kierunku SE[3]. Minimalna głębokość nad obiektem wynosiła 15.7 m natomiast głębokość w tym rejonie wynosiła około 23 m.

W maju 2023 r. z dna Morza Bałtyckiego wydobyto główną konstrukcję żurawia stoczniowego (część portalowa wraz z mechanizmem jezdnym), aby nie stanowiła zagrożenia dla żeglugi dla statków o dużym zanurzeniu.

[3] SE – kierunek (południowo-wschodni)



Rysunek 4. Pozycja zatopionego żurawia – 65 m od trasy holownika Odys



Rysunek 5. Położenie zatopionej konstrukcji żurawia stoczniowego odnalezionego przez statek Zodiak II

4. Analiza i uwagi dotyczące czynników, które przyczyniły się do wypadku morskiego z uwzględnieniem wyników badań i ekspertyz.

Operacje holowania pontonów i barek z ładunkami niestandardowymi, wielkogabarytowymi w transporcie morskim są operacjami podwyższonego ryzyka. Istnieje możliwość uszkodzenia lub utraty ładunku, statku. Wymaga to odpowiedniego obliczenia sił i momentów działających na ładunek, które będą występowały podczas holowania. Zalecaną przez IMO metodę określenia sił działających na ładunek oraz praktyczne zasady doboru systemu mocowania opisuje Kodeks CSS[4] w Aneksie 13 wraz z ze zmianami MSC.1/Circ.1623[5] dla ładunków niestandardowych wielkogabarytowych. Dodatkowo wykorzystuje się zaawansowane metody obliczeniowe, zawarte w normach, wytycznych oraz przepisach opracowanych przez towarzystwa klasyfikacyjne odnośnie operacji morskich dla ładunków wielkogabarytowych, niestandardowych. Takie normy i przepisy zostały opracowane i udostępnione przez towarzystwo klasyfikacyjne DNV w celu poprawy bezpieczeństwa przy projektowaniu systemów mocowania, planowania i realizacji operacji transportu morskiego. Wytyczne te zawarto w normie DNV-ST-N001[6] oraz przepisach klasyfikacyjnych DNV-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 (2022)[7], opartych na określonych przykładach obciążeń i wytrzymałości w operacjach transportu ładunków niestandardowych w podróży morskiej na statkach, dla określonych założonych warunków hydrometeorologicznych oddziaływujących na ładunek.

W wyniku prowadzonego przez PKBWM badania wypadku morskiego, analizie obliczeniowej i weryfikacji wytrzymałościowej poddano poszczególne elementy mocowania, sprawdzając, czy spełniają one warunki zgodnie z metodologią obliczenia sił, momentów oraz przyspieszeń działających na ładunek. Ze względu na różną sprężystość zastosowanych elementów systemu mocowania, do oceny przyjęto założenie, że tylko główny system mocowania musi przenieść pełne obciążenia, wynikające z transportu żurawia, na pokładzie pontonu. Obliczenia wykonane przez eksperta w dziedzinie zabezpieczenia ładunków niestandardowych w transporcie morskim wykazały, że elementy mocujące ładunek żurawia stoczniowego nie zabezpieczały go w pełni i nie gwarantowały bezpiecznego transportu. Stwarzały możliwość

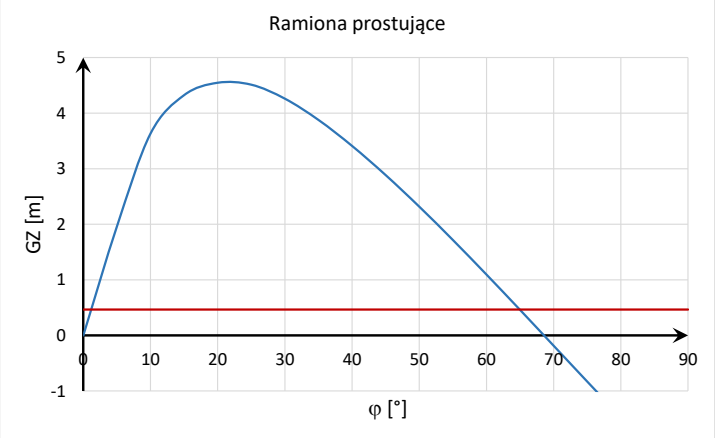
[4] Kodeks CSS – Kodeks Bezpiecznych Praktyk Sztauowania i Mocowania Ładunków
[5] MSC.1/Circ. 1623- Okólnik 1623 - poprawki do Kodeksu CSS Bezpiecznych Praktyk Sztauowania i Mocowania Ładunków
[6] DNV-ST-N001-Standard Operacji Morskich (*Marine Operations Standards)*
[7] DNV-RU-Pt.3 Ch4 (2022) Przepisy Klasyfikacji DNV Statki część 3 Rozdział 4 Ładunki

jego upadku do morza. Obliczenia potwierdzające zastosowanie systemu mocowania o ograniczanej wytrzymałości zamieszczono w Załączniku 1.

Analizie poddano projekt systemu mocowania żurawia oraz zawartą w projekcie metodologię i zgodność obliczeń wytrzymałościowych, a mianowicie:

- Wytrzymałość projektową systemu mocowania (MSL 60 t).
- Wytrzymałość systemu mocowania dla warunków pogodowych zalecanych wg zasad *DNV-ST-N001* (2021).
- Wytrzymałość systemu mocowania dla rzeczywistych warunków pogodowych w czasie rejsu.

Komisja poddała analizie pływalność i stateczność pontonu wraz z ładunkiem żurawia stoczniowego, zgodnie z zaleceniami umieszczonymi w Informacji o Stateczności *(Stability Information)* w oparciu o przepisy Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich PRS, Część IV Stateczność i niezatapialność. Analiza wykazała, że ponton TRD Voyager wraz z ładunkiem, spełniał wymagania stateczności.



Rysunek 6. Krzywe ramion prostujących pontonu TRD Voyager

		Wymagane	Uzyskane	Kryterium
1.	Pole powierzchni do kąta maksymalnej wartości ramienia prostującego	0.08 m·rad	1.075 m·rad	**Spełnione**
2.	Kąt przechyłu wywołany działaniem wiatru	$\varphi_{HALF\ FB}$ = 17.67°	1.2°	**Spełnione**
3	Zakres dodatnich wartości ramion prostujących	20°	68.3°	**Spełnione**

Tabela 1. Kryteria stateczności PRS dla pontonów

Komisja stwierdziła, że ponton posiadał minimalną ilość balastu. Woda balastowa znajdowała się tylko w części dziobowej w zbiornikach balastowych nr 1 Lewa i Prawa Burta.

			Masses		LCG	LCG	TCG	TCG	VCG	VCG	i_b	
			ton		meter	Moment	meter	Moment	meter	Moment	m^4	
	Light weight		860,0		0,96	825,6	0,00	0,0	2,60	2236		
TANKS :	1 PS	188 t	20,0	11%	-22,4	-448,0	-7,99	-159,8	0,24	4,79	64,00	ballast water
	1 SB	188 t	20,0	11%	-22,4	-448,0	7,99	159,8	0,24	4,79	64,00	ballast water
	2 PS (Central)	282 t	15,0	5%	-23,33	-350,0	-2,99	-44,9	0,12	1,80	0,00	
	2 SB (Central)	282 t	15,0	5%	-23,34	-350,1	2,99	44,9	0,12	1,80	0,00	
	3 PS	216 t	10,0	5%	-12,00	-120,0	-7,99	-79,9	0,10	1,04	0,00	
	3 SB	216 t	10,0	5%	-12,00	-120,0	7,99	79,9	0,10	1,04	0,00	
	4 PS (Central)	324 t	15,0	5%	-12,00	-180,0	-3,00	-45,0	0,10	1,56	0,00	
	4 SB (Central)	324 t	15,0	5%	-12,00	-180,0	3,00	45,0	0,10	1,56	0,00	
	5 PS	216 t	10,0	5%	0,00	0,0	-7,98	-79,8	0,10	1,04	0,00	
	5 SB	216 t	10,0	5%	0,00	0,0	7,98	79,8	0,10	1,04	0,00	
	6 PS (Central)	324 t	15,0	5%	0,00	0,0	-3,00	-45,0	0,10	1,56	0,00	
	6 SB (Central)	324 t	15,0	5%	0,00	0,0	3,00	45,0	0,10	1,56	0,00	
	7 PS	216 t	10,0	5%	12,00	120,0	-7,99	-79,9	0,10	1,04	0,00	
	7SB	216 t	10,0	5%	12,00	120,0	7,99	79,9	0,10	1,04	0,00	
	8 PS (Central)	324 t	15,0	5%	12,00	180,0	-3,00	-45,0	0,10	1,56	0,00	
	8 SB (Central)	324 t	15,0	5%	12	180,0	3,00	45,0	0,10	1,56	0,00	
	9 PS	104 t	5,0	5%	21	105,0	-7,99	-40,0	0,11	0,54	0,00	
	9 SB	104 t	5,0	5%	21	105,0	7,99	40,0	0,11	0,54	0,00	
	10 PS (Central)	156 t	8,0	5%	21	168,0	-3,00	-24,0	0,12	0,92	0,00	
	10 SB (Central)	156 t	8,0	5%	21	168,0	3,00	24,0	0,12	0,92	0,00	

Tabela 2. Stan zabalastowania pontonu TRD Voyager podczas holowania wg dokumentacji transportu morskiego żurawia

Rysunek 7. Zanurzenie na dziobie pontonu TRD Voyager

Komisja zauważyła, że zanurzenie pontonu na dziobie na wyjście w morze z portu Gdynia wynosiło 1,20 m i było mniejsze niż zalecane 1,70 m.[8] Dla fali o wysokości około 1,20 m mogło to powodować wynurzanie się dziobu z wody. Utrzymanie zalecanego zanurzenia na dziobie

[8] Zanurzenie pontonu na wyjście w morze wynosiło:
- na dziobie 1,20 m
- na rufie 1,60 m.
Zalecane przegłębienie i zanurzenie w wytycznych DNV ST-N001 wskazuje, aby minimalne przegłębienie pontonu o długości 60 m wynosiło 0.60 m na rufę a minimalne zanurzenie pontonu na dzióbie - 1.7 m.

zmniejszałoby wystąpienie zjawiska „slammingu dziobowego". Slamming dziobowy[9] generuje gwałtowne zmiany oporu ruchu pontonu i tym samym może powodować powstawanie dużych przyspieszeń w kierunku wzdłużnym.

4.1. Czynniki mechaniczne

Komisja mając na uwadze, że wypadek utraty żurawia stoczniowego nie był spowodowany utratą integralności zespołu holowniczego, nie doszło do utraty stateczności ani do wywrócenia się pontonu, poddała analizie i weryfikacji poprawność projektu mocowania (LST.SRM .EBE_R01_2022,08,24) żurawia do pokładu pontonu. W celu weryfikacji wytrzymałości zaprojektowanego systemu mocowania przeprowadzono analizę obliczeniową wytrzymałości jego poszczególnych elementów dla założonego obciążenia roboczego 60 t. W przypadku przekroczenia obciążenia dopuszczalnego, określone zostały wartości maksymalnych bezpiecznych obciążeń roboczych dla każdego elementu systemu mocowania.

Do analizy przyjęto granice obciążeń dopuszczalnych konstrukcji mocującej żuraw do pokładu pontonu TRD Voyager podane poniżej.

Materiał: Stal 235 MPa.

Granica plastyczności σyield = 23.5 kN/cm^2,

Granica wytrzymałości fu = 41.0 kN/cm^2

- rozciąganie: σ_t ≤0.60 *σyield 14.10 kN/cm^2
- ścinanie: σ_S ≤ 0.40 *σyield 9.40 kN/cm^2
- ściskanie: σ_c ≤ 0.60 *σyield 14.10 kN/cm^2
- zginanie: σ_b ≤ 0.66 *σyield 15.51 kN/cm^2
- naprężenie stykowe: σ_{be} ≤ 0.90 *σyield 21.15 kN/cm^2
- naprężenia von Mises: σ_{vM} ≤ 0.75 *σyield 17.62 kN/cm^2
- naprężenie w otworze: σ_{tPH} ≤ 0.45 *σyield 10.58 kN/cm^2
- spoiny: σ_W ≤ 0.30 *fu 12.30 kN/cm^2
- Hertz: σ_W ≤ 2.5·σyield 58.75 kN/cm^2

Współczynnik Poissona: v = 0.3

Współczynnik Younga - stal: E = 20000 kN/cm^2

[9] Slamming dziobowy - uderzenia dziobowej części kadłuba statku o falę

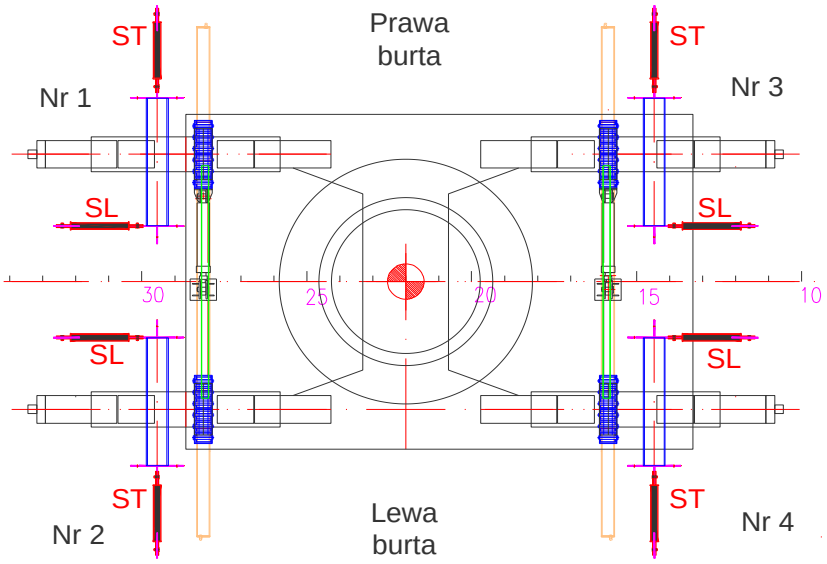
W obliczeniach wytrzymałości mocowań nie brano pod uwagę dodatkowych odkształceń sprężystych żurawia w czasie kołysania na pontonie.

4.1.1. Projekt systemu mocowania żurawia stoczniowego

System mocowania żurawia stoczniowego do pokładu pontonu został przygotowany i wykonany według uaktualnionego projektu (LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23) zatwierdzonego w dniu 23 sierpnia 2022 r. System ten zakładał zamocowanie żurawia stoczniowego do pokładu pontonu TRD Voyager za pomocą:

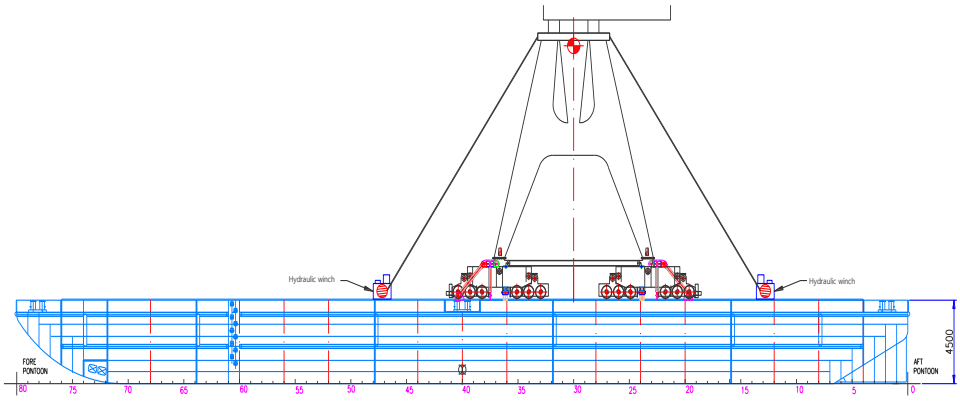
a) głównego systemu mocowania – 4 zestawy mocujące podwozie żurawia. Zastosowany główny system mocowania żurawia był zabezpieczeniem na sztywno, bez możliwości regulacji naprężenia początkowego, o wytrzymałości deklarowanej 60 t (588.6 kN).

Rysunek 8. System mocowania żurawia do pontonu



Rysunek 9. Główny system mocowania-4 zestawy mocujące.

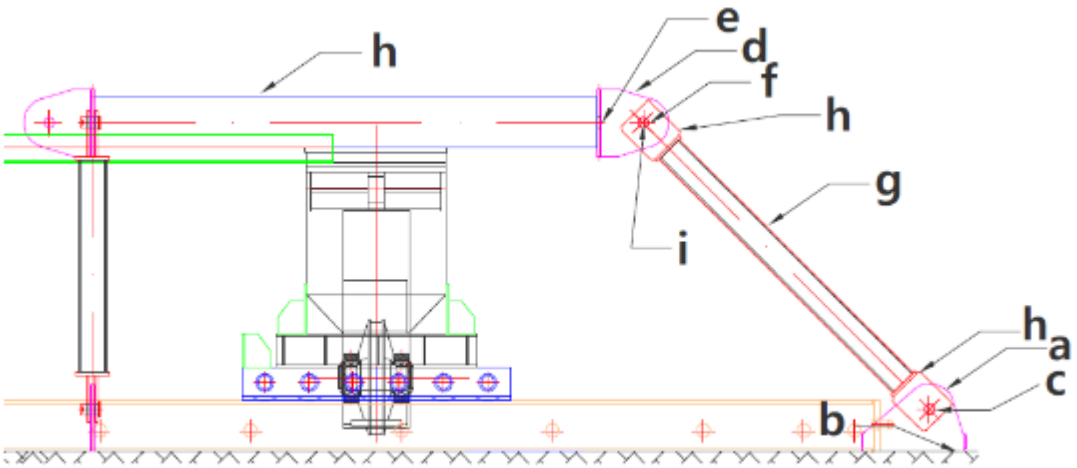
a) dodatkowego systemu mocowania - liny stalowe (∅ 18 mm) zamocowane do wyciągarek (zamocowanych stoperami na pokładzie) i górnej części podstawy żurawia. System zamocowania za pomocą lin stalowych nie był uwzględniany w zamocowaniu żurawia z powodu braku informacji o jego wytrzymałości (liny, szakle, zamocowanie wyciągarek, hamulce wyciągarek) oraz z powodu innego współczynnika sprężystości niż mocowanie podwozia żurawia.



Rysunek 10. Dodatkowy system mocowania żurawia (lina stalowa-Ø18mm)

b) stoperów mocujących szyny prowadnicowe oraz poszczególne elementy podwozia żurawia,

Rysunek 11. Spawane stopery mocowania podwozia i prowadnic



Rysunek 12. Konstrukcja systemu mocowania

Elementy składowe głównego systemu mocowania:

1. Płyta mocująca dolna (a)
2. Spoina dolnej płyty mocującej (b)
3. Oko w dolnej płycie mocującej (c)
4. Górna płyta mocująca (d)

5. Spoina górnej płyty mocującej (e)
6. Oko w górnej płycie mocującej (f)
7. Rura (g)
8. Płyty policzkowe w rurze (h)
9. Oko w płytach policzkowych (i)
10. Belka montażowa systemu mocowania (j)

Po przeprowadzonej analizie głównego systemu mocowania określono bezpieczne obciążenie robocze systemu na 200 kN. Gradacja wytrzymałości poszczególnych elementów systemów mocowania (od najsłabszych) wynosiła:

1. Oko w górnej węzłówce – 200 kN
2. Oko w dolnej węzłówce – 200 kN
3. Płyty w mocowaniu rurowym – 212 kN
4. Spoina górnej płyty – 294 kN
5. Oko w płytach w mocowaniu rurowym – 293 kN
6. Górna płyta – 353 kN
7. Spoina dolnej płyty – 755 kN
8. Dolna pyta mocująca – 795 kN

4.1.2. Wytrzymałość dolnej płyty mocującej

Dolna płyta mocująca głównego systemu mocowania była spawana do poszycia pontonu spoiną o grubości 10 mm.

Rysunek 13. Dolna płyta mocująca

Dolna płyta mocująca oraz spoina dolnej płyty mocującej spełniały wymagania wytrzymałości przy obciążeniu siłą 60 t (588.6 kN).

Obliczenia naprężenia w otworze dolnej płyty mocującej wykazały, że przekraczają one dopuszczalne naprężenia robocze o 260%. Na zdjęciu poniżej pokazano zdeformowanie oka płyty i plastyczne odkształcenie płyty. Dopuszczalne obciążenie (MSL) oka płyty nie powinno przekraczać 200 kN.

Rysunek 14. Zdeformowane plastycznie otwór mocowania dolnej płyty mocującej.

4.1.3. Wytrzymałość górnej płyty (belki) mocującej.

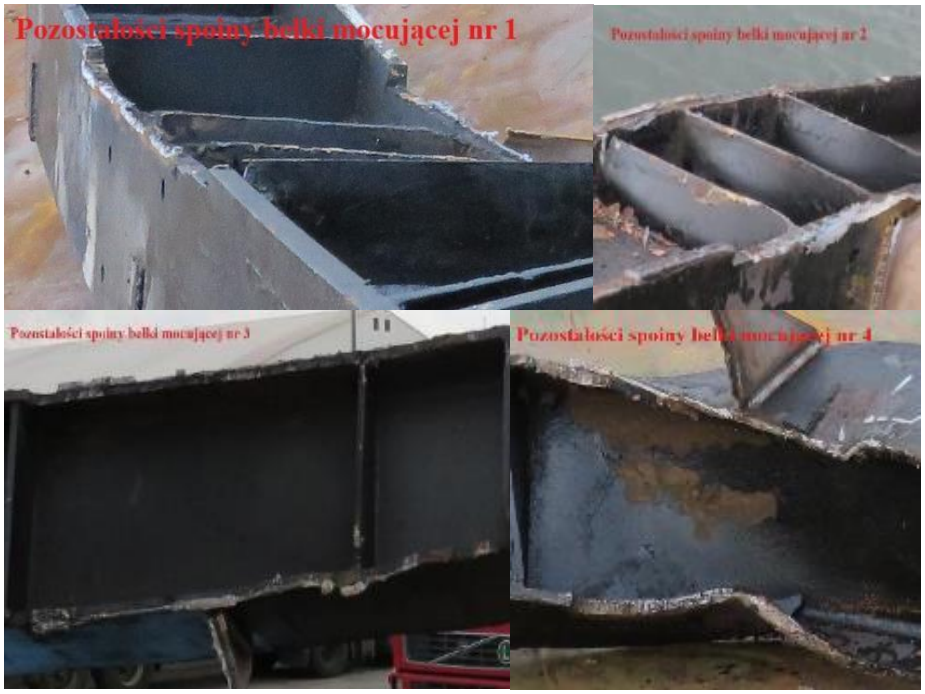
Górna płyta mocująca była elementem poziomej belki przymocowanej do podwozia żurawia.

Rysunek 15. Górne belki mocujące

Obliczenia wytrzymałości wykazały, że naprężenia w górnej płycie mocującej przekraczały obciążenia dopuszczalnego naprężenia roboczego o 144%. Dopuszczalne obciążenie (MSL) belki nie powinno przekraczać 400 kN. Poniżej rysunki zerwanych górnych belek mocujących.

Rysunek 16. Zerwane górne belki mocujące nr 1.2.3.4.

Naprężenia w spoinie górnych belek mocujących przekraczały obciążenia dopuszczalnego naprężenia roboczego 158%. Dopuszczalne obciążenie (MSL) spoiny nie powinno przekraczać 335 kN. Poniżej rysunek przedstawiający pozostałości uszkodzonych spoin górnych belek mocujących.



Rysunek 17. Pozostałości spoin górnych belek mocujących nr 1.2.3.4

4.1.4. Wytrzymałość rur mocujących

Użyte rury mocujące spełniały wymagania wytrzymałości dla założonych obciążeń.

Rysunek 18. Rury mocujące

Wytrzymałość płyt policzkowych ze względu na siły działające w mocowaniu, była spełniona przy poziomym kącie pracy do 0.5°. W czasie rejsu kąty odchylenia pracy odciągu przekraczały znacznie dopuszczalne obciążenie, co powodowało wyginanie płyt policzkowych – rysunek poniżej.

Rysunek 19. Wygięte płyty policzkowe głównego systemu mocowania

W systemie mocowania przewidziano 16 trzpieni mocujących cześć rurową z płytami dolnymi i górnymi. Trzpień wytrzymuje obciążenia dla MSL mocowania 60 t. Trzpień był zabezpieczony przed wysunięciem za pomocą zawleczki giętej ze stali. Wytrzymałość zawleczki została sprawdzona przy założeniu kąta odchylenia poprzecznego 0.5°. Dziesięciokrotne przekroczenie wartości dopuszczalnej siły tnącej oznacza to, że zawleczka nie mogła zablokować rozchylania się policzków mocowania rurowego. Zawleczka została ścięta lub wciągnięta do środka otworu, gdy doszło do jego powiększenia.

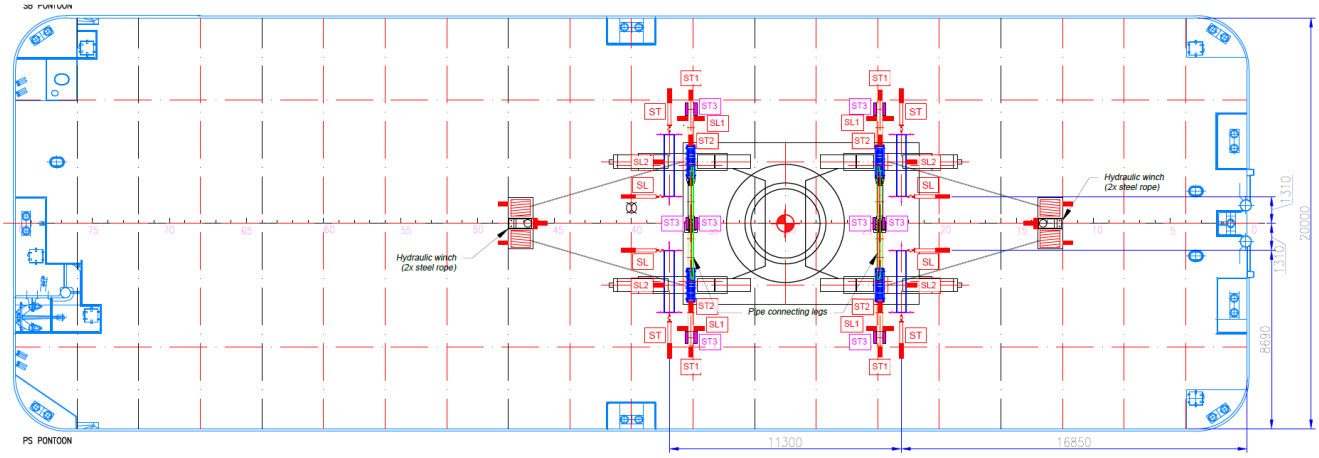
Rysunek 20. Uszkodzona zawleczka trzpienia mocującego i wyrwany trzpień mocujący płytę dolną z policzkami mocowania rurowego

Rysunek 21. Wciągnięta i ścięta zawleczka trzpienia przez rozgięte policzki na rurze

4.1.5. Wytrzymałość belki mocującej

W głównym systemie mocowania żurawia użyte były cztery belki mocujące jego podwozie.

Rysunek 22. Górne belki mocujące



Rysunek 23. Plan rozmieszczenia ładunku żurawia stoczniowego i belek mocujących na pontonie

Belka poprzeczna mocująca podwozie żurawia została zespolona z podwoziem żurawia za pomocą spoiny o deklarowanym wymiarze 10 mm. Do belek mocujących dołożono węzłówki trójkątne (Oznaczenie SL 2 na rysunku mocowania) o wymiarach: 300×300×12 mm.

Weryfikacja wytrzymałości spoiny belki mocującej, dla obciążenia projektowego 60 t, wykazała, że spoina mocująca nie spełnia wymagań wytrzymałości dla obciążenia projektowego i przekracza ją w 148%.

4.1.6. Złącza spawane systemu mocowania.

Zastosowany system mocowania żurawia, był mocowaniem opartym na elementach złączy spawanych, które po zakończeniu operacji mocowania żurawia stoczniowego poddane zostały badaniom wizualnym zgodnie z normą PN-EN ISO 17637[10] oraz normą oceny złączy spawanych PN- EN ISO 5817[11] przez osobę posiadającą uprawnienia stopień 2VT. Po wykonaniu badań VT (badanie wizualne) sporządzono protokół Nr 07/08/2022, który stwierdzał spełnienie wymagań złączy spawanych na poziomie C (średni). W protokole nie zawarto żadnych uwag dotyczących jakości spoin, ich korekty, czy wykrytych niezgodności spawalniczych. Na udostępnionych zdjęciach, wykonanych przed wyjściem zespołu holowniczego w podróż morską, widoczne są węzłówki z nieciągłą spoiną mocującą je do podwozia żurawia. Spoina nie posiadała odpowiedniego kształtu i profilu, powierzchnie spoin nie były równomierne na całej długości, brak było pełnej spoiny.

Rysunek 24. Belka mocująca - dodatkowe węzłówki belki mocującej (niepełna dolna spoina)

[10] PN-EN ISO 17637 Norma badania nieniszczące złączy spawanych – Badania wizualne złączy spawanych
[11] PN- EN ISO 5817 Norma Międzynarodowa – Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.

4.1.7. Rzeczywista wytrzymałość systemu mocowania

Ładunki wielkogabarytowe wytwarzają, dodatkowy moment wywracający przez ich bezwładność obrotową w stosunku do przyspieszenia obrotowego statku w kołysaniach poprzecznych lub wzdłużnych. Dodatkowy moment przewracający jest niezależny od miejsca umieszczenia ładunku na statku i zawsze dodatni, czyli intensyfikujący moment przeradzający. Zjawisko to wymaga dodatkowych środków zabezpieczających i dlatego powinno być uwzględnione w analizie przewracania wielkogabarytowych jednostek ładunkowych (MSC.1/Circ.1623).

Momenty przewracające uwzględniające moment bezwładności masy zostały obliczone według zaleceń załącznika MSC.1/Circ.1623. Efektywną wysokość ładunku przyjęto 46,8 m (wysokość konstrukcji żurawia w czasie transportu).

Uzyskane wyniki pozwalają na zweryfikowanie systemu mocowania dla projektowanych przyspieszeń sił i momentów działających na ładunek:

- Zastosowanie mocowań o realnym MSL = 60 t nie pozwalało na skuteczne zabezpieczenie ładunku ze względu na przesuwanie poprzeczne, jak również na jego przewracanie wzdłużne i poprzeczne. Stopień zabezpieczenia poprzecznej siły działającej na ładunek był nieskuteczny i spełniony w 68 %. Zabezpieczenie przeciwko momentowi przeciwdziałającemu przewracaniu ładunku w kierunku wzdłużnym i poprzecznym, był nieskuteczny i spełniony tylko w 29% (kierunek wzdłużny) i w 12% (kierunek poprzeczny).
- Mocowanie o zweryfikowanym MSL = 20 t nie zabezpieczało przeciw przesuwaniu i przewracaniu w każdym z kierunków i spełniało kryterium zabezpieczenia w kierunku wzdłużnym w 18%, a w kierunku poprzecznym tylko w 7%.

Rysunek 25. Pozostałości konstrukcji głównego systemu mocowania żurawia stoczniowego na pontonie po wypadku.

Komisja uważa, że zasadniczą przyczyną utraty ładunku żurawia z pokładu pontonu TRD Voyager, było zastosowanie systemu mocowań o ograniczonej wytrzymałości. Krytycznym oddziaływaniem było przewracanie poprzeczne, które było zabezpieczone jedynie w 7%. Poprzeczne momenty przewracające oraz bezwładność masy żurawia wygenerowały obciążenia w systemie mocowania, które przewyższały ich wytrzymałość i powodowały odkształcenia plastyczne i docelowo ich zrywanie. Świadczy o tym rozginanie policzków na rurach oraz zrywanie zawleczek trzpieni. Zasadniczymi elementami systemu mocowania przenoszącymi największe obciążenia, były spoiny łączące górne belki mocujące z podwoziem żurawia. W trakcie przeprowadzonego badania i oględzinach pozostałości głównego systemu mocowania na pontonie TRD Voyager, Komisja zauważa, że spoiny belek mocujących najprawdopodobniej ulegały uszkodzeniu jako jeden z pierwszych elementów tego systemu mocowania.

4.2. Czynniki ludzkie

Komisja badając wypadek morski, utraty ładunku żurawia stoczniowego podczas jego holowania, wskazuje na uchybienia w skutecznym zabezpieczeniu ładunku żurawia do transportu morskiego, które zostały popełnione na etapie projektowania, mocowania i przygotowania pontonu wraz z ładunkiem żurawia stoczniowego do holowania.

Holownik Odys podczas operacji holowania był obsadzony 6 osobową załogą, która posiadała odpowiednie kwalifikacyjne zawodowe, zgodne z wymogami zawartymi w Karcie Bezpieczeństwa. Kapitan posiadał ponad trzydziestoletnią praktykę pracy na holownikach, a I oficer posiadał kilkuletnie doświadczenie pracy na holownikach w firmie armatora.

Załoga holownika Odys, przed i podczas rejsu zespołu holowniczego, miała zapewnioną odpowiednią ilość godzin wypoczynku. Załoga na holowniku Odys pracuje w systemie rotacyjnym, dwa tygodnie na holowniku i dwa tygodnie odpoczynku w domu. Załoga holownika zamustrowała na holownik 22 sierpnia 2022 r. i to był jej pierwszy rejs, więc czynnik zmęczenia załogi wynikający z niezapewnienia odpowiedniej ilości godzin wypoczynku podczas rejsu nie wystąpił.

Komisja, zauważa, że podczas operacji holowania brak było należytej obserwacji zachowania się obiektu holowanego wraz z ładunkiem. Oficer na mostku zauważył utratę żurawia z pokładu pontonu dopiero po około czterech godzinach od jego upadku do morza.[12]

O ile obiekt holowany w porze nocnej był mało widoczny ze względu na warunki pogodowe, przelotny deszcz oraz szary kolor żurawia, to pomiędzy godziną 04:10 a 05:00 rano (świt nawigacyjny) przy panującej dobrej widoczności, brak żurawia na pontonie był widoczny.

Zgodnie z Księgą Systemu Zarządzania Bezpieczeństwem funkcjonującą w firmie Fairplay Towage Sp. z o.o. Sp. k. kapitan holownika przez cały czas rejsu, jest odpowiedzialny za statek i załogę, a w przypadku pełnienia funkcji kapitana holownika podczas holowania jednostki bez napędu i nieobsadzonej załogą, odpowiada również za holowaną jednostkę. Podczas wachty w nocy na mostku nie było marynarza wachtowego[13]. Oficer wachtowy zajęty nawigacją holownika, nie zaobserwował momentu utraty ładunku na holowanym pontonie.

Komisja zauważa, że brak dokładnej lokalizacji utraty ładunku przez holownik Odys, powodował zagrożenie dla bezpieczeństwa żeglugi na podejściu do wschodniej części

[12] KZB Procedura Statkowa – „Niestandardowe Holowanie Portowe i Morskie" pkt 7 - Wykonywanie niestandardowych holowań portowych i morskich – „Bezpieczeństwo żeglugi i operacji holowania wymaga dużej podzielności uwagi od Kapitana i załogi holownika, gdyż niezależnie od obserwacji zachowywania się obiektu holowanego i holu, obowiązuje wzmożona obserwacja ruchu innych statków i oznakowania nawigacyjnego na przemierzanych akwenach."

[13] Na statku morskim podczas wachty nocnej z oficerem wachtowym powinien być marynarz wachtowy. Zgodnie z Konwencją (Kodeksem) STCW 2017 Edycja (Sekcja A-VIII/2 Część 14-17 Lookout, oficer może być jedynym obserwatorem na mostku, tylko w ciągu dnia i to, jeżeli sytuacja została dokładnie oceniona, że jest bezpieczna dla statku biorąc pod uwagę widoczność, stan pogody i morza, natężenie ruchu oraz czy wymagana jest niezbędna uwaga podczas żeglugi w systemie rozgraniczenia ruchu lub w pobliżu.

rozgraniczenia ruchu statków TSS Ławica Słupska dla statków o zanurzeniu 15 m i powyżej do momentu odkrycia wraku żurawia przez statek Zodiak II tj. dwa dni po wypadku.

Komisja w trakcie prowadzonego badania zwróciła uwagę na okoliczność, że w drodze powrotnej do portu Gdynia, po przeprowadzeniu kontroli trzeźwości przez funkcjonariuszy Straży Granicznej, u trzech członków załogi, nie związanych z wachtą nawigacyjną, badania wykazały obecność alkoholu w wydychanym powietrzu. Komisja wskazuje, że okoliczność ta była niezgodna z obowiązującą polityką firmy Fairplay Towage Polska Sp. z o.o. Sp. k. „polityka-zero alkoholu" w odniesieniu do używania narkotyków i alkoholu, która zakazuje wnoszenia i spożywania alkoholu na burcie statku.

4.3. Czynniki organizacyjne.

Umowa czarterowa zawarta pomiędzy armatorem holownika Odys, a właścicielem żurawia Spółką z o.o. Halifax P została zawarta na usługę holowania pontonu TRD Voyager wraz z ładunkiem żurawia stoczniowego z portu Gdynia (Nabrzeże Węgierskie) do portu Szczecin (Nabrzeże Remontowe). Umowa czarterowa zobowiązywała właściciela żurawia do odpowiedniego przygotowania pontonu wraz z ładunkiem do podróży morskiej przed wyjściem zespołu holowniczego w podróż morską.

Holownik Odys i holowany ponton TRD Voyager posiadały ważne Karty Bezpieczeństwa. Została wykonana dokumentacja transportu morskiego konstrukcji żurawia, która zawierała obliczenia stateczności owe holowanego pontonu z ładunkiem oraz plan mocowania żurawia wraz z obliczeniami wytrzymałościowymi systemu mocowania żurawia na pontonie dla założonych warunków pogodowych. Zespół holowniczy wychodził z portu na krótkich holach z dwoma holownikami i pilotem na burcie, zgodnie z warunkami określonymi przez Kapitanat Portu Gdynia.

Komisja na podstawie analizy projektu i dokumentów potwierdzających wykonanie mocowania żurawia na pokładzie pontonu, stwierdziła, że projekt mocowania żurawia na pontonie okazał się nieadekwatny dla założonych warunków hydrometeorologicznych oraz zamierzonej podróży morskiej z Gdyni do Szczecina.

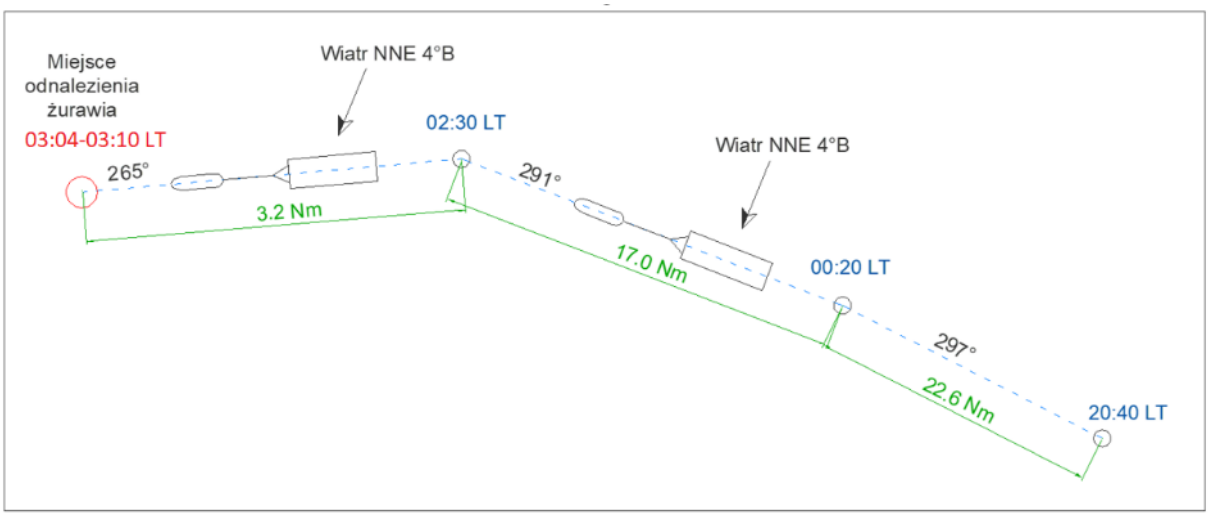
Brak oszacowania ryzyka, wystąpienia utraty ładunku podczas transportu drogą morską żurawia stoczniowego jako jednolitej konstrukcji w stanie nierozmontowanym, był nieodpowiednim rozwiązaniem i stwarzał zagrożenie utraty ładunku w podróży morskiej. Producent żurawia, ze względu na duży ciężar 255 ton i bardzo wysoko położony środek

ciężkości w stanie zmontowanym, zaleca transport morski żurawia w częściach po demontażu części obrotowej wraz z ramieniem od konstrukcji bramy układu jezdnego (portalu).

Komisja stwierdziła, że zgodnie z procedurą statkową obowiązującą u armatora holownika Odys, zawartą w KZB, powinien zostać sporządzony „Plan Holowania" na formularzu do procedury F.PS-02/1 dla podróży morskiej z Gdyni do Szczecina i przesłany do działu operacyjnego firmy jako przygotowanie do holowania obiektu pływającego morskiego i portowego. Zgodnie z KZB „Plan Holowania" obrazuje konfigurację zestawu holowniczego, konfigurację linii holowniczej oraz metodę holowania. Taki plan nie został sporządzony.

4.4. Wpływ czynników zewnętrznych, w tym związanych ze środowiskiem morskim, na zaistnienie wypadku morskiego.

Warunki pogodowe w czasie holowania były (wg. Dziennika Okrętowego) na godz. 03:00: wiatr NNE 4°B, stan morza 2-3, wysokość fali około 1.2-1.5 m. Wiatr oddziaływał na ponton i ładunek z prawej burty, kąt kursowy wiatru wynosił ok. 91.5°-117.5°PB

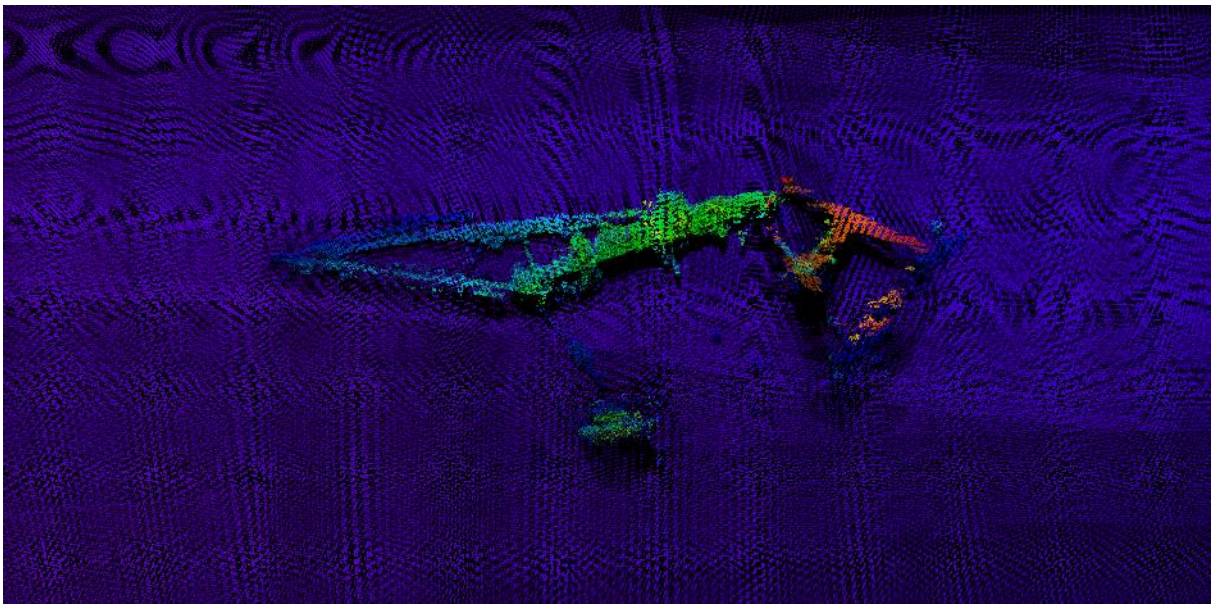


Rysunek 26. Kursy i odległości zespołu holowniczego Odys i pontonu TRD Voyager

W czasie wypadku utraty żurawia z pokładu, według danych otrzymanych przez Komisję z Oddziału Morskiego IMGW-PB, stan pogody na Bałtyku Południowym w rejonie Ławicy Słupskiej był następujący:

- wiatr północno-wschodni do północnego 3 do 5, początkowo w porywach 6°B,
- stan morza 3 (wysokość fali znacznej od 0,9 m do 1,2 m),
- widzialność dobra do umiarkowanej,
- zachmurzenie duże.

Pomiędzy godz. 21:00 23 sierpnia 2022 r., a godz. 02:00 24 sierpnia 2022 r., okresami występował przelotny deszcz. Obecność strefy frontu atmosferycznego oraz wypiętrzonych chmur kłębiastych wskazywały na możliwość występowania lokalnie pojedynczych, silniejszych porywów wiatru. W warunkach pogodowych (wiatr NE 4°B, fala ok. 1.2 m) panujących na akwenie w chwili wypadku, obciążenia dopuszczalne były przekroczone wielokrotnie (ok. 4 razy). Czynnikiem zewnętrznym, który miał wpływ na wypadek był wiejący w godzinach nocnych w dniu 24 sierpnia 2022 r. wiatr, generujący fale boczne i kołysanie wzdłużne a także poprzeczne pontonu wraz z ładunkiem, powodujące przekroczenie naprężeń zniszczeniowych w odniesieniu do spoin spawanych górnych belek mocujących, które zostały oderwane od podwozia żurawia. Żuraw z pokładu pontonu spadł na lewą burtę najprawdopodobniej jako całość konstrukcji ramion żurawia i bramy (portalu), o czym świadczą zdjęcia batymetryczne wykonane w miejscu odnalezienia wraku żurawia.



Rysunek 27. Odnaleziona konstrukcja żurawia na dnie Morza Bałtyckiego.

W celu sprawdzenia wytrzymałości mocowania żurawia na pontonie dla dwóch przypadków kołysań poprzecznych i wzdłużnych[14] pontonu, oraz dwóch wysokości fal, wykonano obliczenia dla rzeczywistych warunków pogodowych:

stan I - określony dla maksymalnych parametrów kołysania pontonu i wielkości fali[15],

[14] Wartości okresów kołysania wzdłużnego i poprzecznego zostały określone na podstawie przepisów: DNV-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 (2022).

[15] Parametry pogodowe i parametry ruchów pontonu wytrzymałości mocowania w rzeczywistych warunkach

stan II - określony dla minimalnych parametrów kołysania pontonu i wielkości fali.[16]

Okres kołysania poprzecznego dla pontonu został przyjęty w stanie II jako równoważny okresowi fali o długości 60 m na Bałtyku Południowym. Analiza wytrzymałościowa wykazała, że spoina mocująca belkę nie spełniała wymagań wytrzymałości dla obciążeń rzeczywistych. Obciążenia były przekroczone 3.24 razy. Zarówno we wstępnym jak i uaktualnionym projekcie mocowania żurawia stoczniowego zawarta była uwaga odnośnie, warunków hydrometeorologicznych dotyczących podróży morskiej zespołu holowniczego, która zakładała, że „rejsu nie należy rozpoczynać przy prognozie pogody o prędkości wiatru większej niż 6°B i znaczącej wysokości fali większej niż 2,0 m"

5. Opis wyników przeprowadzonego badania, w tym kwestii dotyczących bezpieczeństwa i wniosków wynikających z badania

Prawidłowe zabezpieczenie wielogabarytowego, o dużej masie niestandardowego ładunku, w transporcie morskim wymaga starannego przygotowania i wykonania stosownych obliczeń wytrzymałościowych systemu mocowania i urządzeń zabezpieczających oraz właściwego ich montażu. Jeżeli mocowanie ładunku oparte jest o elementy stalowe spawane, należy zwrócić szczególną uwagę na jakość wykonania spoin dużych stalowych wsporników lub belek i usztywnień spawanych, zarówno do pokładu statku (pontonu), jak i ładunku (konstrukcji żurawia).

Holowanie pontonu z ładunkami wielkogabarytowymi nie jest operacją rutynową, a załoga holownika może nie posiadać odpowiednich kompetencji i doświadczenia, odnośnie sporządzonego planu mocowania i oceny prawidłowości jego wykonania. W tej kwestii kapitan zespołu holowniczego polegał na opinii rzeczoznawcy i wydanego Certyfikatu Gotowości do Holowania sporządzonego na zlecenie właściciela ładunku po zakończeniu operacji mocowania żurawia stoczniowego na pontonie.

pogodowych, – STAN I: Wiatr NNE 4°B (v = 8 m/s), Kąt kursowy fali wiatru 120°, Wysokość fali 1.5 m, Amplituda kołysania wzdłużnego 5°, Amplituda kołysania poprzecznego 5°, Okres kołysań wzdłużnych 5.9 s, Okres kołysań poprzecznych 3.9 s

[16] Parametry pogodowe i parametry ruchów pontonu wytrzymałości mocowania w rzeczywistych warunkach pogodowych – STAN II: Wiatr NNE 4°B (v = 8 m/s), Kąt kursowy fali wiatru 120°, Wysokość fali 1.2 m, Amplituda kołysania wzdłużnego 2°, Amplituda kołysania poprzecznego 2.3°, Okres kołysań wzdłużnych 5.9 s, Okres kołysań poprzecznych 6.2 s

Holowanie żurawia stoczniowego na pontonie wymagało starannego przygotowania i odpowiedniego zabezpieczenia ładunku do transportu morskiego. Do transportu żurawia drogą morską użyto ponton TRD Voyager, który został wyczarterowany na podróż z Gdyni do Szczecina. Firma Halifax P Sp. z o.o. będąca właścicielem żurawia, wyczarterowała ponton TRD Voyager, na podróż morską z Gdyni do Szczecina od właściciela firmy Trend Sp. z o.o. Sp. k.

Usługa holownicza na holowanie pontonu TRD Voyager z ładunkiem żurawia stoczniowego z portu Gdynia do portu Szczecin została zlecona przez właściciela żurawia, firmie żeglugowej Fairplay Towage Polska Sp. z o.o. Sp. k. z którą zawarto odpowiednią umowę czarterową na podróż morską. Usługa ta była niestandardowym holowaniem portowo - morskim. Operację transportu konstrukcji żurawia z nabrzeża na ponton, mocowanie oraz zsunięcie żurawia z pontonu i montaż w stoczni w Szczecinie, właściciel żurawia zlecił firmie Suwrem Sp. z o.o. Firma ta przed załadunkiem konstrukcji żurawia na ponton, zabezpieczyła przed obrotem ruchome części wraz z ustawieniem, złożeniem ramion żurawia jak na zdjęciu poniżej.

Zdjęcie nr 8. Mocowanie żurawia stoczniowego na pontonie TRD Voyager w porcie Gdynia

Operację transportu konstrukcji żurawia z nabrzeża Portu Gdynia do nabrzeża Portu Szczecin, firma Suwrem Sp. z o.o. zleciła podwykonawcy, firmie LST Solutions Sp. z o.o. zajmującej się kompleksowo transportem wodno-lądowym i operacjami ładunkowymi konstrukcji ciężkich oraz ponadgabarytowych. Podwykonawca sporządził dokumentację (projekt) transportu morskiego żurawia stoczniowego na pokładzie pontonu TRD Voyager, zawierającą system mocowania żurawia na pokładzie pontonu, kalkulację statecznościowiową pontonu wraz z ładunkiem oraz wyniki kalkulacji wytrzymałości systemu mocowania. Umowa dodatkowo zawierała obowiązek wykonania prac związanych z relokacją i transportem żurawia z nabrzeża na ponton oraz montaż konstrukcji mocowania żurawia stoczniowego na pontonie według wykonanego projektu. Po zamocowaniu żurawia na pontonie wykonano sprawdzenie jakości spawanych spoin elementów mocowania i sporządzono raport z badania wizualnego spoin (Protokół badania VT[17] 07/08/22, 2022.08.23).

Niezależny rzeczoznawca reprezentujący firmę J-G Marine Sp. z o.o. z ramienia właściciela żurawia, dokonał oględzin zespołu holowniczego wydając Certyfikat Gotowości do Holowania, w którym zawarto zalecenia dla kierownika zespołu holowniczego (kapitana holownika Odys), dotyczące przygotowania i wykonania holowania, jako podróży morskiej, wskazując, że ładunek żurawia na pontonie jest prawidłowo zamocowany na pokładzie, zgodnie z projektem mocowania, a ponton posiada odpowiedni zapas stateczności. Według certyfikatu, holowanie, podróż zespołu holowniczego, mogła odbyć się przy dobrych i korzystnych lokalnych warunkach pogodowych (port), siła wiatru nie powinna przekraczać 4°B, a dla całej podróży morskiej prędkość wiatru maks. 12 m/s, co odpowiada 6°B i wysokości fali nie więcej niż 2 m.

Żuraw został zamocowany wg zaprojektowanego systemu mocowania na sztywno do pokładu pontonu z ramieniem złożonym i zablokowanym mechanizmem uniemożliwiającym obrót ramienia. Plan rejsu zakładał, że podróż morska zespołu holowniczego będzie trwać około 34 godzin przy prędkości 6,5 w. Utrata ładunku żurawia stoczniowego na Morzu Bałtyckim zdarzyła się po około dziewięciu godzinach od rozpoczęcia podróży morskiej. Załoga holownika nie zaobserwowała upadku żurawia z pontonu. Podczas rejsu ponton nie był obsadzony załogą i nie posiadał własnego napędu. Podczas rejsu zespołu holowniczego ani integralność pontonu ani holownika nie została naruszona, ponton nie utracił stateczności ani

[17] VT- badanie wizualne spoin spawanych

pływalności. Nie doszło do zerwania czy uszkodzenia liny holowniczej. Zespół holowniczy po wypadku bezpiecznie powrócił do portu w Gdyni. Upadek żurawia z pontonu spowodował nieznaczne uszkodzenia pokładu pontonu w miejscu upadku żurawia i uderzenia elementów mocowania o pokład, widoczne na zdjęciu poniżej.

Zdjęcie nr 9. Uszkodzenie pokładu pontonu TRD Voyager

Wszelkie uszkodzenia na pokładzie pontonu TRD Voyager po upadku żurawia stoczniowego, zostały naprawione przez czarterującego pod nadzorem towarzystwa klasyfikacyjnego PRS.

Holowanie niestandardowe, wg Księgi Zarządzania Bezpieczeństwem, nakłada na kapitana przestrzeganie instrukcji armatorskiej oraz warunków bezpieczeństwa podczas operacji holowniczej. Holownik Odys posiadał odpowiednie ważne dokumenty statkowe, ważną Kartę Bezpieczeństwa wydaną przez Urząd Morski w Gdyni i ważne Świadectwo Klasy wystawione przez Towarzystwo Klasyfikacyjne PRS. Holownik był sprawny, wyposażony w odpowiednie urządzenia radiokomunikacyjne i radionawigacyjne oraz sprawne urządzenia i sprzęt holowniczy. Holownik był obsadzony załogą zgodnie z wymogami zawartymi w Karcie Bezpieczeństwa. Załoga posiadała odpowiednie dyplomy i świadectwa kwalifikacyjne odpowiednie do zajmowanych stanowisk.

W dniu 18 sierpnia 2022 r. został przygotowany wstępny dokument dotyczący stateczności pontonu wraz z ładunkiem oraz systemem jego zamocowania do pokładu pontonu o nr (LST.SRM.EBE_P00_2022.08.18). W dniu 23 sierpnia 2022 r. została sporządzona ostateczna dokumentacja transportu morskiego konstrukcji żurawia na pontonie TRD Voyager o nr (LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23) zgodnie z którą żuraw stoczniowy został zamocowany

i przygotowany do transportu morskiego[18]. Dokument ten zawierał parametry stateczności, wyniki kalkulacji wytrzymałościowych systemu mocowania oraz sposób zamocowania żurawia do pokładu pontonu. Dodatkowo dokument określał wymagania i warunki do rozpoczęcia i samej podróży morskiej. Podstawowy system mocowania przedstawiony w obydwu dokumentach oparty był na takich samych elementach konstrukcyjnych, lecz w dokumencie końcowym zwiększono grubości spoin do 1 cm w systemie mocowania oraz dodano dodatkowo mocowanie linami stalowymi i umiejscowiono dodatkowe stopery mocujące podwozie żurawia i prowadnice, na których był posadowiony. Z zebranego przez Komisję materiału i wykonanej ekspertyzy wytrzymałości projektowej systemu mocowania wynika, że możliwą zasadniczą przyczyną wypadnięcia ładunku żurawia stoczniowego za burtę, było zastosowanie systemu mocowań o ograniczonej wytrzymałości. Projektowany system mocowania przewidywał dopuszczalne obciążenie zabezpieczające, które wynosiło 60 t. Natomiast z analizy wytrzymałości komponentów mocowania wynika, że dopuszczalne obciążenie zabezpieczające MSL większości elementów mocowania nie przekraczało 20 t. Zastosowanie komponentów systemu mocowania o ograniczonej wytrzymałości 20 t powodowało brak poprawnego zamocowania ładunku. System mocowania morskiego ładunku niestandardowego, wielkogabarytowego żurawia stoczniowego oparty był na elementach spawanych. Spoiny spawane powinny być wolne od wad technicznych i wykonane na bardzo wysokim poziomie, a następnie dokładnie i starannie sprawdzone metodą VT zgodnie z normami. Nie zaleca się stosowania jednocześnie systemów mocowań odciągami z systemami mocowań spawanych, ze względu na bardzo dużą różnicę sztywności i sprężystości między „sztywnym spawanym mocowaniem" a „elastycznym mocowaniem z linami i wyciągarkami". Takie rozwiązanie powoduje nierówny rozkład obciążenia.

[18] Dokumentacja transportu i mocowania żurawia (LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23), została wykonana na podstawie norm i przpisów wyszczególnionych w projekcie mocowania, a mianowicie:
Przepisy PRS dotyczące Klasyfikacji i Budowy Statków Morskich, część IV, Stateczność i niezatapialność, styczeń 2022 r.
Międzynarodowy Kodeks Stateczności w Stanie Nienaruszonym – Kodeks IS z 2008 r., IMO (rezolucja MSC.267(85)) przyjęta 4 grudnia 2008 r. i poprawki IMO MSC 85/26/Add.1/Corr.3/Rev.1 - przyjęta 9 grudnia 2008 r. październik 2018 r.
Zasady towarzystwa klasyfikacyjnego ABS dotyczące Budowania i Klasyfikacji Mobilnych Morskich Jednostek Wiertniczych
Standard Operacji Morskich DNVGL-ST-N001

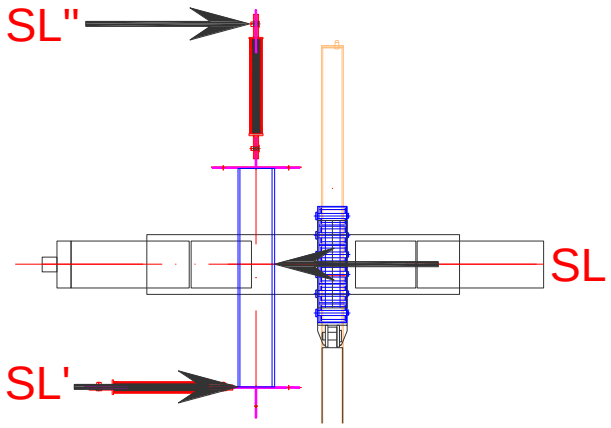
Komisja zauważa, że pomimo spełnienia wielu warunków i wymagań doszło do utraty ładunku żurawia stoczniowego, po około 9 godzinach od rozpoczęcia podróży morskiej. Krytycznym oddziaływaniem było zapewne przewracanie poprzeczne, które było zabezpieczone w bardzo małym stopniu. W ocenie Komisji poprzeczne momenty przewracające oraz bezwładność masy żurawia wygenerowały obciążenia w systemie mocowania, które przewyższały ich wytrzymałość i powodowały odkształcenia plastyczne najsłabszych elementów systemu mocowania, docelowo powodując ich zrywanie. Świadczy o tym rozginanie policzków na rurach mocujących oraz zrywanie zawleczek trzpieni. Zasadniczym elementem systemu mocowania przenoszącym największe obciążenia były spoiny łączące górne belki mocujące podwozie żurawia. Oględziny pozostałości głównego systemu mocowania na pontonie TRD Voyager mogą świadczyć o tym, że spoina belek mocujących ulegała uszkodzeniu jako jeden z pierwszych składników systemu mocowania. Utrata żurawia nastąpiła około 35 minut po tym jak I oficer wraz z kapitanem w wyniku oddziaływania wiatru i falowania bocznego z kierunku NNE, zmienili kurs i prędkość holowania. Pogorszające się warunki hydrometeorologiczne, mogły spowodować przyspieszenie utraty integralności systemu mocowania, pomimo, że warunki pogodowe nie przekraczały warunków meteorologicznych zawartych zarówno w projekcie mocowania żurawia stoczniowego jak i Certyfikacie Gotowości do Holowania. Ponad trzykrotne przekroczenie dopuszczalnego obciążenia spoiny łączącej belkę z podwoziem żurawia powodowało uzyskanie naprężenia bliskiemu zniszczeniowemu tj. 41kN/cm², oznacza to, że przy kołysaniach pontonu: wzdłużnych 2° i poprzecznych 2.3° doszło do zniszczenia spoiny łączącej belkę mocującą z podwoziem żurawia. Zniszczenie połączenia belki z podwoziem umożliwiło poruszanie się żurawia i niszczenie dalszych zabezpieczeń. W takich warunkach przy wietrze z prawej burty, żuraw przewrócił się i spadł do morza na lewą burtę.

Zdjęcie nr 10. Element jezdny żurawia na pokładzie pontonu z LB

Na pontonie po wypadku pozostały urwane części konstrukcji systemu mocowania z belkami mocującymi.

Po przeprowadzonej analizie stateczności pontonu, wytrzymałości systemu mocowania żurawia stoczniowego, warunków pogodowych, Komisja poniżej przedstawiła, uwagi dotyczące przyczyn utraty ładunku żurawia stoczniowego z pontonu, a mianowicie:

1) **uwagi dotyczące projektu systemu mocowania:**
   a. nieodpowiednie określenie MSL systemu mocowania. Według projektu było to 60 t (588.6 kN), natomiast z analizy wytrzymałości części komponentów ustalono, że było to tylko 20 t,
   b. mocowanie żurawia zostało wykonane jako symetryczne względem jego podwozia, było ono natomiast niesymetryczne względem jego środka ciężkości. Belki mocujące nie zostały zabezpieczone symetrycznie, co powodowało powstanie dodatkowych momentów obracających je w poziomie. Brak jest uwzględnienia w obliczeniach dodatkowych momentów skręcających belkę mocująca z podwoziem żurawia, które generowały dodatkowe siły ścinające spoinę łączącą belkę z podwoziem żurawia (Rysunek. 28),



Rysunek 28. Moment skręcający górną belkę mocującą.

c. do dodatkowego mocowania użyto lin stalowych zamocowanych na wyciągarkach. Posiadały one różny współczynnik sprężystości w odniesieniu do mocowania podwozia,
d. w projektowaniu mocowania nie uwzględniono dodatkowego momentu bezwładności masy żurawia i jego oddziaływanie na system mocowania. Powodował on powstanie dodatkowego naprężenia w spoinie belki łączącej ją z podwoziem żurawia,
e. sztywne połączenie systemu mocowania z konstrukcją pontonu powodowało bezpośrednie przekazywanie obciążeń i drgań pontonu na system mocowania żurawia,
f. główny system mocowania nie przewidywał metody równomiernego naprężania poszczególnych jego elementów. Zastosowanie nierównomiernie naprężonego systemu mocowania mogło powodować niewielkie ruchy ładunku, które doprowadziły do wypracowywania (odkształceń plastycznych) poszczególnych elementów systemu (np. policzki i trzpienie) i jego dalsze luzowanie,
g. zabezpieczenie trzpieni mocujących w policzkach poprzez drut stalowy o przekroju 5-6 mm było nieprawidłowe. Powinny być użyte trzpienie blokowane nakrętkami. Ścięcie zawleczki blokującej powodowało uzyskanie swobody ruchu mocowania względem trzpienia i rozchylenie policzków co doprowadziło do wyrwania trzpienia z policzków mocujących i zluzowanie mocowania.

2) **uwagi dotyczące wykonania systemu mocowania:**

a. w planie umieszczenia stoperów brak było zdefiniowania połączeń krytycznych i doboru sposobu badań ich jakości,

b. w uzyskanej dokumentacji projektu systemu mocowania brak było szczegółowych informacji o parametrach każdej spoiny i potwierdzenia jej wymiarów,

c. niektóre stopery mocujące ładunek nie dotykały ładunku, a pomiędzy stoperami i ładunkiem pozostawały przerwy (rys. 29),

Rysunek 29. Stopery mocujące ładunek – brak styku.

d. przygotowanie materiału do spawania – na żadnym ze zdjęć nie jest widoczne przygotowanie powierzchni (szlifowanie) materiału przed położeniem spoiny. Spoiny były napawane na farbę i zanieczyszczenia (rys. 30),

Rysunek 30.Brak widocznego przygotowania materiału do spawania.

e. w dokumentacji brak informacji o ilości (długości) położonych spoin i ich ciągłości. Na zdjęciach widoczne są przerywane spoiny lub spoiny o zmiennej grubości (rys. 32),

Rysunek 31. Brak pełnej spoiny.

f. na rys. 32 widoczne są znaczne różnice grubości spoiny, W przedstawionych dokumentach po wypadku nie ma żadnej informacji o wykonaniu innych badań jakości spoin poza sprawdzeniem optycznym np. badań magnetycznych. Brak jest również potwierdzenia grubości spoin głównych elementów mocujących,

Rysunek 32. Różnice w wymiarze spoin.

g. w dokumentacji znajduje się informacja o wizualnych badaniach spoin (Protokół VT 07_08_2022_LST), w protokole nie wykazano żadnych zastrzeżeń do badanych spoin. W protokole dokonano zapisu, że powierzchnie powinny być surowe lub szlifowane, ale nie zdefiniowano, do jakich spoin to się odnosi,
h. po wykonaniu spoin nie przeprowadzono czyszczenia spoin (dotyczy to spoin łączących belki mocujące do konstrukcji żurawia),
i. spoiny łączące belki mocujące z podwoziem żurawia nie zostały odpowiednio przygotowane do odbioru/inspekcji ze względu na nie usuniętą szlakę,
j. brak jest widocznego zeszlifowania zakończeń spoiny, które jest niezbędne do uzyskania poziomu akceptacji spoiny C (norma EN ISO 5817) (rys.33),

Rysunek 33. Brak widocznego zeszlifowania zakończenia spoin.

k. w końcowym planie mocowania umieszczono dodatkowe mocowanie linami stalowymi (D = 18 mm). Liny stalowe były zamocowane do części obrotowej żurawia oraz do wyciągarek hydraulicznych posadowionych na pokładzie. Wyciągarki hydrauliczne zostały przymocowane do pokładu stoperami. Ze względu na brak informacji o sile trzymania bębna wyciągarki takiego mocowanie nie można uwzględnić w wytrzymałości mocowania żurawia,

l. poprzeczne belki mocujące zostały przymocowane do nóg żurawia spoiną 10 mm – brak jest potwierdzenia spełniania tego wymiaru spoiny,

m. do belek mocujących zamocowano węzłówki (SL2) – brak jest potwierdzenia ciągłości spoin mocujących te węzłówki.

3) uwagi dotyczące przygotowania pontonu wraz z ładunkiem do podróży morskiej:

Ponton posiadał minimalną ilość balastu, przez co nie osiągnął minimalnych zanurzeń na dziobie i rufie (DNV ST-N001), mogło to generować dodatkowe szarpnięcia holem i tym samym dodatkowe przyspieszenia pontonu w czasie ruchu na fali.

6. Rekomendacje

Wypadek utraty żurawia stoczniowego z pontonu, pokazuje, jak ważne jest użycie zaawansowanych metod obliczeniowych pozwalających na wykonanie prawidłowego systemu mocowania zgodnie z obliczeniami wytrzymałościowymi: sił, momentów i przyspieszeń działających na ładunek i system mocowania. Każdy niestandardowy ładunek wymaga zaprojektowania indywidualnego systemu mocowania dla zabezpieczenia go podczas podróży morskiej.

Państwowa Komisja Badania Wypadków Morskich rekomenduje armatorom oraz wyspecjalizowanym firmom zajmującym się zabezpieczaniem ładunków niestandardowych na statkach:

1. stosowanie się do wytycznych zawartych w Kodeksie Bezpiecznych Praktyk w zakresie Sztauowania i Mocowania Ładunków (CSS Code) wraz ze zmianami zawartymi w aneksie 13 wytycznych okólnika MSC.1/Circ.1623 oraz przepisów DNV-RU-Pt.3 Ch4 (2022) - Przepisy Klasyfikacji DNV Statki część 3 Rozdział 4 Ładunki i norm w Marine Operations Standards w rozdziale DNV-ST N001 lub równoważnych zawartych w zaleceniach towarzystw klasyfikacyjnych, dotyczących metodologii obliczeń wytrzymałości mocowania ładunków wielkogabarytowych niestandardowych na statkach dla określonych warunków w operacjach morskich,
2. przeprowadzenie szkoleń odnośnie najnowszych zasad i norm technicznych stosowanych przy zabezpieczaniu ładunków niestandardowych wielkogabarytowych na statkach, dla ich efektywnego zastosowania w projektowaniu operacji morskich, szkolenia takie prowadzone są przez towarzystwa klasyfikacyjne lub inne organizacje wykorzystujące swoje doświadczenie i spostrzeżenia w operacjach morskich,
3. prowadzenie konsultacji z producentami, odnośnie rekomendowanego sposobu transportu niestandardowego ładunku morskiego, jak: dźwigi, żurawie stoczniowe, dźwigi portowe itp. ładunki w celu zapewnienia optymalnego bezpiecznego systemu mocowania w transporcie morskim.

7. Spis zdjęć

Zdjęcie nr 1. Zamocowany żuraw stoczniowy na pokładzie pontonu TRD Voyager przy Nabrzeżu Węgierskim w porcie Gdynia *4*
Zdjęcie nr 2. Zespół holowniczy Odys, ponton TRD Voyager z żurawiem stoczniowym i Fairplay VII opuszczający Port Gdynia w dniu 23.08.2022 r. *5*
Zdjęcie nr 3. Wydobyta konstrukcja jezdna żurawia stoczniowego na pokładzie dźwigu pływającego Maja *6*
Zdjęcie nr 4. Holownik Odys *7*
Zdjęcie nr 5. Ponton TRD Voyager *8*
Zdjęcie nr 6. Żuraw stoczniowy na pokładzie pontonu TRD Voyager w porcie Gdynia przy Nabrzeżu Węgierskim *9*

Zdjęcie nr 7. Widok pokładu pontonu TRD Voyager zacumowanego przy Nabrzeżu Węgierskim w Porcie Gdynia w dniu 25 sierpnia 2022 r. 15
Zdjęcie nr 8. Mocowanie żurawia stoczniowego na pontonie TRD Voyager w porcie Gdynia 39
Zdjęcie nr 9. Uszkodzenie pokładu pontonu TRD Voyager 41
Zdjęcie nr 10. Element jezdny żurawia na pokładzie pontonu z LB 44

8. Spis rysunków

Rysunek 1. Trasa zespołu holowniczego Holownika Odys i pontonu TRD Voyagaer 12
Rysunek 2. Zatopiony na dnie Morza Bałtyckiego, leżący na boku żuraw, skierowany ramieniem w kierunku SE. 13
Rysunek 3. Pozycja zespołu holowniczego w momencie stwierdzania braku ładunku na pokładzie pontonu. 14
Rysunek 4. Pozycja zatopionego żurawia – 65 m od trasy holownika Odys 16
Rysunek 5. Położenie zatopionej konstrukcji żurawia stoczniowego odnalezionego przez statek Zodiak II 16
Rysunek 6. Krzywe ramion prostujących pontonu TRD Voyager 18
Rysunek 7. Zanurzenie na dziobie pontonu TRD Voyager 19
Rysunek 8. System mocowania żurawia do pontonu 22
Rysunek 9. Główny system mocowania-4 zestawy mocujące. 23
Rysunek 10. Dodatkowy system mocowania żurawia (lina stalowa-Ø18mm) 23
Rysunek 11. Spawane stopery mocowania podwozia i prowadnic 24
Rysunek 12. Konstrukcja systemu mocowania 24
Rysunek 13. Dolna płyta mocująca 25
Rysunek 14. Zdeformowane plastycznie otwór mocowania dolnej płyty mocującej. 26
Rysunek 15. Górne belki mocujące 26
Rysunek 16. Zerwane górne belki mocujące nr 1.2.3.4. 27
Rysunek 17. Pozostałości spoin górnych belek mocujących nr 1.2.3.4 27
Rysunek 18. Rury mocujące 28
Rysunek 19. Wygięte płyty policzkowe głównego systemu mocowania 28

Rysunek 20. Uszkodzona zawleczka trzpienia mocującego i wyrwany trzpień mocujący płytę dolną z policzkami mocowania rurowego *29*
Rysunek 21. Wciągnięta i ścięta zawleczka trzpienia przez rozgięte policzki na rurze *29*
Rysunek 22. Górne belki mocujące *30*
Rysunek 23. Plan rozmieszczenia ładunku żurawia stoczniowego i belek mocujących na pontonie *30*
Rysunek 24. Belka mocująca - dodatkowe węzłówki belki mocującej (niepełna dolna spoina) *31*
Rysunek 25. Pozostałości konstrukcji głównego systemu mocowania żurawia stoczniowego na pontonie po wypadku. *33*
Rysunek 26. Kursy i odległości zespołu holowniczego Odys i pontonu TRD Voyager *36*
Rysunek 27. Odnaleziona konstrukcja żurawia na dnie Morza Bałtyckiego. *37*
Rysunek 28. Moment skręcający górną belkę mocującą. *45*
Rysunek 29. Stopery mocujące ładunek – brak styku. *46*
Rysunek 30.Brak widocznego przygotowania materiału do spawania. *46*
Rysunek 31. Brak pełnej spoiny. *47*
Rysunek 32. Różnice w wymiarze spoin. *47*
Rysunek 33. Brak widocznego zeszlifowania zakończenia spoin. *48*

9. Spis tabel

Tabela 1. Kryteria stateczności PRS dla pontonów *18*
Tabela 2. Stan zabalastowania pontonu TRD Voyager podczas holowania wg dokumentacji transportu morskiego żurawia *19*

10. Spis skrótów

B – Beaufort (skala)

BHMW – Biuro Hydrograficzne Marynarki Wojennej

IMGW- PIB – Instytut Meteorologii i Gospadarki Wodnej - Państwowy Instytut Badawczy

KZB – Księga Zarządzania Bezpieczeństwem

MSL – maksymalne obciążenie zabezpieczające, określa wytrzymałość na zerwanie urządzenia służącego do mocowania ładunku

NNE – kierunek wiatru (północny, północno – wschodni)

PRS – Polski Rejestr Statków (towarzystwo klasyfikacyjne)

SWIBŻ – System Wymiany Informacji Bezpieczeństwa Żeglugi (pełniący funkcję platformy dystrybucji informacji pomiędzy służbami operacyjnymi współpracującymi w zakresie ochrony bezpieczeństwa morskiego)

VTS (*vessel traffic service*) – Służba Kontroli Ruchu Statków

11. Źródła informacji

Powiadomienie o wypadku,

Wysłuchania załogi

Zdjęcia własne Komisji

Materiały i dokumenty otrzymane od podmiotów zaangażowanych w operację mocowania i transportu ładunku żurawia stoczniowego

Materiały i dokumenty otrzymane od właściciela żurawia stoczniowego

Informacje uzyskane od producenta żurawia stoczniowego[19]

Dokumenty i materiały otrzymane od armatora holownika Odys i pontonu TRD Voyager

Dokumenty i materiały otrzymane od Urzędu Morskiego w Gdyni oraz Straży Granicznej

Opinia ekspercka sporządzona przez dr. Jarosława Soliwodę, eksperta PKBWM

12. Skład zespołu badającego wypadek

Kierujący zespołem – Tadeusz Gontarek – Członek Komisji

Członek zespołu – Marek Szymankiewicz – Sekretarz Komisji

13. Załącznik 1. Projektowany system mocowania żurawia do pokładu pontonu – obliczenia wytrzymałościowe.

Obliczenia wytrzymałościowe systemu LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23 mocowania ładunku żurawia stoczniowego na pontonie TRD Voyager.

[19] Żuraw szynowy stoczniowy Eberswalde został wyprodukowany w 1969 r. w zakładach VEB Kranbau Eberswalde, które w 1990 r zostały sprywatyzowane i obecnie działają pod nazwą Kirow Ardelt GmbH, jako jeden z największych producentów żurawi i dźwigów portowych.

Skróty i objaśnienia

Skrót	Jednostka	Objaśnienia
α	°	Pionowy kąt pracy mocowania
β	°	Poziomy kąt pracy mocowania
φ	°	Poprzeczny kąt przechyłu pontonu
Δ, D	t	Wyporność statku
a	mm	Grubość spoiny
AP	-	Pion rufowy
A_W	-	Powierzchnia nawiewu
BM	tm, kNm	Moment gnący
BP	-	Płaszczyzna podstawowa
c_H	-	Współczynnik wysokości
CL	-	Płaszczyzna symetrii
c_S	-	Współczynnik kształtu
FB	m	Wolna burta
FL	kN	Siła wzdłużna
FLS	kN	Siła wzdłużna zabezpieczenia ładunku
FP	-	Pion dziobowy
F_S	kN	Siła zabezpieczająca
FSC	m	Poprawka na swobodne powierzchnie cieczy
FSL	kN	Wzdłużna siła działająca na ładunek
FST	kN	Poprzeczna siła działająca na ładunek
F_T	kN	Siła poprzeczna
FTS	kN	Siła poprzeczna zabezpieczenia ładunku
F_X	kN	Siła wzdłużna
F_Y	kN	Siła poprzeczna
F_Z	kN	Siła pionowa
GM	m	Wysokość metacentryczna
GZ	m	Ramię prostujące
KMT	m	Wysokosc metacentrum poprzecznego
l	m	Długość spoiny

LC	kN	Wytrzymałość odciągu
LCB	m	Odcięta środka wyporu
LCF	m	Odcięta środka ciężkości wodnicy
LCG	m	Odcięta środka masy
ls	m	Ramię stateczności kształtu
LT	-	Czas lokalny
M	-	Śródokręcie
MML	kNm, tm	Wzdłużny moment masowy przeciwdziałający przewracaniu
MMT	kNm, tm	Poprzeczny moment masowy przeciwdziałający przewracaniu
MSL	kN, t	Maksymalna siła zabezpieczająca
MTL	kNm, tm	Moment przewracający wzdłużny
MTLS	kNm, tm	Wzdłużny moment przeciwdziałający przewracaniu
MTT	kNm, tm	Moment przewracający poprzeczny
MTTS	kNm, tm	Poprzeczny moment przeciwdziałający przewracaniu
P	N/m^2	Ciśnienie wiatru
t	m	Przegłębienie
T	m	Zanurzenie średnie
TA	m	Zanurzenie na rufie
TCG	m	Poprzeczne położenie środka masy
TF	m	Zanurzenie na dziobie
VCG	m	Wysokość środka masy
W	m^3	Wskaźnik przekroju
zw	m	Odległość pionowa środka nawiewu od wodnicy pływania

Wytrzymałość systemu mocowań

Obliczenia wytrzymałości mocowań opracowano o metody stosowane w projektowaniu konstrukcji stalowych: Norma EN 1993, *Specification for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 360-16.*[20]

Obciążenia dopuszczalne konstrukcji

Granice obciążeń dopuszczalnych konstrukcji mocującej żuraw stoczniowy do pokładu pontonu TRD Voyager

Materiał: Stal 235 MPa

Granica plastyczności σyield = 23.5 kN/cm^2

Granica wytrzymałości fu = 41.0 kN/cm^2

- rozciąganie: σ_t ≤0.60 *σyield 14.10 kN/cm^2
- ścinanie: σ_S ≤ 0.40 *σyield 9.40 kN/cm^2
- ściskanie: σ_c ≤0.60 *σyield 14.10 kN/cm^2
- zginanie: σ_b ≤ 0.66 *σyield 15.51 kN/cm^2
- naprężenie stykowe: σ_{be} ≤ 0.90 *σyield 21.15 kN/cm^2
- naprężenia von Mises: σ_{vM} ≤ 0.75 *σyield17.62 kN/cm^2
- naprężenie w otworze: σ_{tPH} ≤ 0.45 *σyield 10.58 kN/cm^2
- spoiny σ_W ≤ 0.30 *fu 12.3 kN/cm^2
- Hertz σ_W ≤ 2.5·σyield 58.75 kN/cm^2

Współczynnik Poissona: v = 0.3

Współczynnik Younga - stal: E = 20000 kN/cm^2

Parametry projektowe systemu mocowania

System zamocowania żurawia do pokładu pontonu został przegotowany w dokumencie: *CRANE EBERSWALDE Q=20 T ON PONTOON TRD-VOYAGER SEA-FASTENING PLAN_2022_08_23*.

[20] Specification for Structual Steel Buildings Norm –Specyfikacja dla Stalowych Konstrukcji Budowlanych Norma z 7 lipca 2016 r. wydana przez Amerykański Instytut Konstrukcji Stalowych zatwierdzony przez American National Standards Institute- instytucja ustalająca normy techniczne w USA)

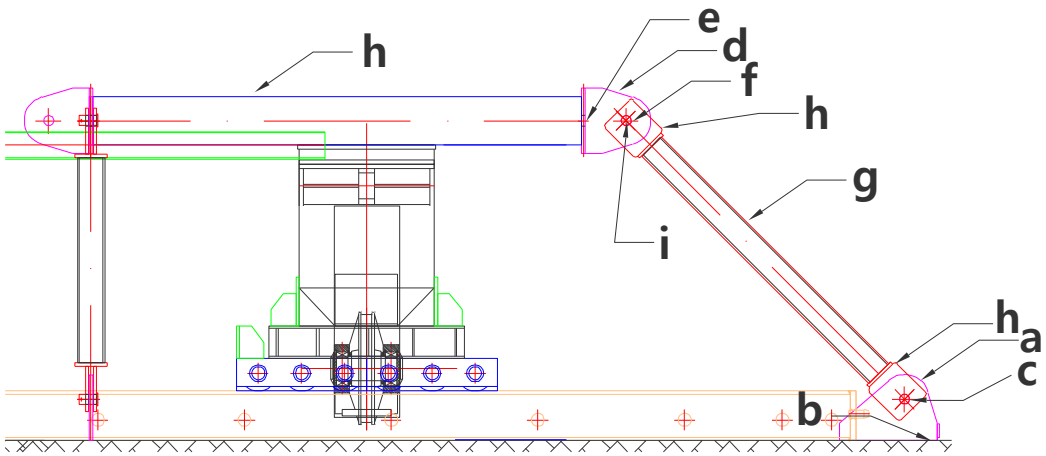
W celu weryfikacji wytrzymałości projektowanego systemu mocowania przeprowadzono analizę wytrzymałości jego poszczególnych elementów dla założonego obciążenia roboczego 60 t.

W przypadkach przekroczenia obciążenia dopuszczalnego określone zostały wartości maksymalnych bezpiecznych obciążeń roboczych dla każdego elementu systemu mocowania.

W obliczeniach wytrzymałości mocowań nie brano pod uwagę dodatkowych odkształceń sprężystych żurawia w czasie kołysania na pontonie.

Elementy składowe głównego systemu mocowania:

11. Płyta mocująca dolna (a)
12. Spoina dolnej płyty mocującej (b)
13. Oko w dolnej płycie mocującej (c)
14. Górna płyta mocująca (d)
15. Spoina górnej płyty mocującej (e)
16. Oko w górnej płycie mocującej (f)
17. Rura (g)
18. Płyty policzkowe w rurze (h)
19. Oko w płytach policzkowych (i)
20. Belka montażowa systemu mocowania (j)



Rys. Konstrukcja systemu mocowania

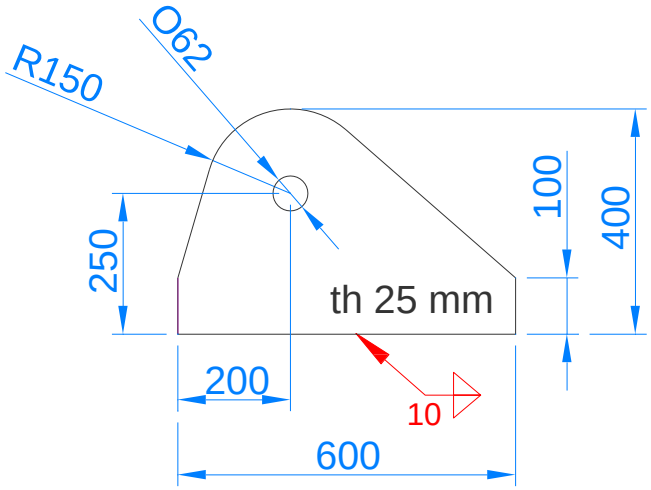
Parametry projektowe mocowania głównego:

Projektowane obciążenie robocze	MSL = 60 t, F = 588.6 kN
Współczynnik obciążenia dynamicznego	DLF = 1.12
Projektowe obciążenie dynamiczne:	Fd=F·DLF = 659.2 kN

Pionowy kąt pracy mocowania:	α =45°
Poziomy kąt mocowania:	β = 0.5°
Średnica trzpienia:	∅ 60 mm
Średnica otworu:	∅ 62 mm

Wytrzymałość dolnej płyty mocującej

Dolna płyta mocująca głównego systemu mocowania była spawana po poszycia pontonu spoiną o grubości deklarowanej 10 mm.



Rys. Dolna płyta mocująca

Parametry dolnej płyty mocującej:

Grubość płyty	a = 2.5 cm
Powierzchnia przekroju płyty	A = 150 cm^2
Wskaźnik przekroju oś poprzeczna:	Wx = 1500 cm^3
Wskaźnik przekroju oś wzdłużna:	Wy = 62.5 cm^3
Siła wzdłużna:	$F_x = F \cdot \cos(\alpha) \cdot cos(\beta)$= 416.2 kN
Siła poprzeczna:	$F_y = F \cdot \cos(\alpha) \cdot sin(\beta)$= 3.63 kN
Siła pionowa:	$F_z = F \cdot sin(\alpha)$= 416.2 kN
Średnica trzpienia:	DP = 6.0 cm
Średnica otworu:	DH = 6.2 cm
Wysokość środka otworu ponad podstawą:	h = 25 cm
Wzdłużny moment gnący:	$BM_x = F_x \cdot h$ = 416.2·25= 10405.0 kN·cm
Poprzeczny moment gnący:	$BM_y = F_y \cdot h$ = 3.63·25 = 90.8 kN·cm

Tab. Naprężenia w dolnej płycie mocującej

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Rozciąganie	$\sigma_t = \frac{F_z}{A}$	2.77	14.10	OK
2	Ścinanie x	$\tau_{sx} = \frac{F_x}{A}$	2.77	9.40	OK
3	Ścinanie y	$\tau_{sy} = \frac{F_y}{A}$	0.02	9.40	OK
4	Zginanie-x	$\sigma_{Bx} = \frac{BM_x}{W_x}$	6.94	15.51	OK
5	Zginanie-y	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	1.45	15.51	OK
6	Von Mises		12.15	17.62	OK
	$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{Bx} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\sigma_{sx}^2 + \sigma_{sy}^2)}$				
7	Obciążenia złożone	$\frac{\sigma_t}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{Bx}}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{By}}{\sigma_{MAX}}$	0.74	1.00	OK

Dolna płyta mocująca spełnia wymagania wytrzymałości przy obciążeniu siłą 60 t.

Wytrzymałość spoiny dolnej płyty mocującej

Wymiar spoiny a = 1.0 cm

Długość spoiny l = 125 cm

Powierzchnia spoiny A_W = 125 cm^2

Wskaźnik przekroju oś poprzeczna: W_x = 1333 cm^3

Wskaźnik przekroju oś wzdłużna: W_y = 143 cm^3

Tab. 1.2. Naprężenia w spoinie mocującej

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Rozciąganie	$\sigma_t = \frac{F_z}{A_W}$	3.32	14.10	OK
2	Ścinanie x	$\tau_{sx} = \frac{F_x}{A_W}$	3.32	9.40	OK
3	Ścinanie y	$\tau_{sy} = \frac{F_y}{A_W}$	0.03	9.40	OK
4	Zginanie-x	$\sigma_{Bx} = \frac{BM_x}{W_x}$	7.81	15.51	OK
5	Zginanie-y	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	0.63	15.51	OK
6	Von Mises	$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{Bx} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\tau_{sx}^2 + \tau_{sy}^2)}$	13.09	17.62	OK
7	Obciążenia złożone	$\frac{\sigma_t}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{Bx}}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{By}}{\sigma_{MAX}}$	0.78	1.00	OK

Spoina dolnej płyty mocującej spełnia wymagania wytrzymałości przy obciążeniu siłą 60 t.

Wytrzymałość otworu w płycie dolnej

Dynamiczne obciążenie robocze: Fd = 659.2 kN

Średnica trzpienia D_P = 6.0 cm

Średnica otworu: D_H = 6.2 cm

Grubość płyty: t = 2.5 cm

Powierzchnia styku z trzpieniem: $A_{BE} = \frac{\pi}{4} \cdot D_P \cdot t = 11.78$ cm^2

Powierzchnia ścinania: $A_{SPF} = 2 \cdot A_{SP}$ = 60 cm^2

Powierzchnia przekroju nad otworem: A_{SP} =30 cm^2

Powierzchnia przekroju A-A: $A_{A\text{-}A}$ = 82.2 cm^2

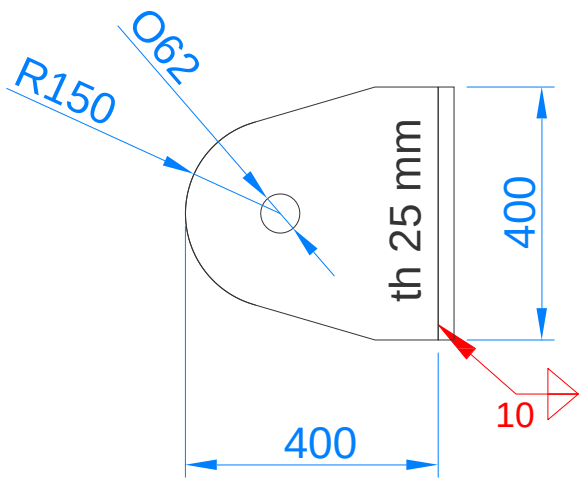
Tab.1.3. Naprężenia w otworze dolnej płyty mocującej

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium	34 % MSL 200 kN
1	Naprężenie stykowe	$\sigma_{BE} = \frac{Fd}{A_{BE}}$	55.96	21.50	**Not OK**	19.03
2	Ścinanie	$\tau_{sp} = \frac{Fd}{A_{SPF}}$	11.00	9.40	**Not OK**	3.74
3	Rozciąganie A-A	$\sigma_{tAA} = \frac{Fd}{A_{AA}}$	8.02	10.58	OK	2.73
4	Hertz		99.59	58.75	**Not OK**	58.07
	$\sigma_H = \sqrt{\frac{Fd \cdot E \cdot (D_H - D_P)}{\pi \cdot (1 - v^2) \cdot t \cdot D_H \cdot D_P}}$					
	W ostatniej kolumnie powyższej tabeli przedstawiono dla maksymalne MSL, dla którego element mocowania spełnia wymagania wytrzymałości					

Naprężenia w otworze dolnej płyty przekraczają dopuszczalne naprężenia robocze (260%).
Na zdjęciu poniżej pokazano zdeformowanie oka płyty i plastyczne odkształcenie płyty.
Dopuszczalne obciążenie (MSL) oka płyty nie powinno przekraczać 200 kN.

Wytrzymałość górnej płyty mocującej

Górna płyta mocująca jest elementem poziomej belki przymocowanej do podwozia żurawia. Wymiary górnej płyty mocującej określono na podstawie dokumentacji zdjęciowej wykonanej podczas instalacji mocowania na pontonie. Wymiary płyty (400×300×25 mm).
W planie mocowania (LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23) płyta górna posiada inne wymiary niż podane w specyfikacji (300×300×25 mm).



Rys. Górna płyta mocująca

Parametry górnej płyty mocującej:

Grubość płyty	a = 2.5 cm
Powierzchnia przekroju płyty	A = 100 cm^2
Wskaźnik przekroju oś poprzeczna:	W_z = 666.7 cm^3
Wskaźnik przekroju oś pionowa:	W_y = 41.7 cm^3
Odległość środka otworu od podstawy:	h = 25 cm
Kąt pionowy mocowania:	α = 45°
Kąt poziomy mocowania:	β = 0.5°
Siła wzdłużna:	$F_x = F \cdot \cos(\alpha) \cdot cos(\beta)$= 416.2 kN
Siła poprzeczna:	$F_y = F \cdot \cos(\alpha) \cdot sin(\beta)$= 3.63 kN
Siła pionowa:	$F_z = F \cdot sin(\alpha)$= 416.2 kN
Pionowy moment gnący:	$BM_z = F_z \cdot h = 416.2 \cdot 25 = 10405.0$ kN·cm
Poprzeczny moment gnący:	$BM_y = F_y \cdot h = 3.63 \cdot 25 = 90.75$ kN·cm`

Tab. Naprężenia w górnej płycie mocującej

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium	69% MSL 400 kN
1	Rozciąganie	$\sigma_t = \frac{F_x}{A}$	4.16	14.10	OK	2.87
2	Ścinanie - z	$\tau_{sx} = \frac{F_z}{A}$	4.16	9.40	OK	2.87
3	Ścinanie - y	$\tau_{sy} = \frac{F_y}{A}$	0.09	9.40	OK	0.06
4	Zginanie- z	$\sigma_{Bz} = \frac{BM_z}{W_z}$	15.61	15.51	Not OK	10.77
5	Zginanie - y	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	2.18	15.51	OK	1.50
6	Von Mises	*	23.10	17.62	**Not OK**	15.94
7	Obciążenia złożone	**	1.44	1.00	**Not OK**	0.99

*) $\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{Bz} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\sigma_{sz}^2 + \sigma_{sy}^2)}$

**) $\frac{\sigma_t}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{Bz}}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{By}}{\sigma_{MAX}}$

W ostatniej kolumnie powyższej tabeli przedstawiono dla maksymalne MSL, dla którego element mocowania spełnia wymagania wytrzymałości

Naprężenia w górnej płycie mocującej przekraczają obciążenia dopuszczalne naprężenia robocze (144%). Dopuszczalne obciążenie (MSL) płyty nie powinno przekraczać 400 kN.

Wytrzymałość spoiny górnej płyty mocującej

Grubość spoiny	a = 1.0 cm
Długość spoiny	l = 80 cm
Powierzchnia przekroju	A_W = 80 cm^2
Wskaźnik przekroju oś poprzeczna:	W_z = 533.3 cm^3

Wskaźnik przekroju oś pionowa:	W_y = 58.5 cm^3
Odległość środka otworu od podstawy:	h = 25 cm
Kąt pionowy mocowania:	$\alpha = 45°$
Kąt poziomy mocowania:	$\beta = 0.5°$
Siła wzdłużna:	$F_x = F \cdot \cos(\alpha) \cdot cos(\beta)$= 416.2 kN
Siła poprzeczna:	$F_y = F \cdot \cos(\alpha) \cdot sin(\beta)$= 3.63 kN
Siła pionowa:	$F_z = F \cdot sin(\alpha)$= 416.2 kN
Pionowy moment gnący:	$BM_z = F_z \cdot h = 416.2 \cdot 25 = 10405.0$ kN·cm
Poprzeczny moment gnący:	$BM_y = F_y \cdot h = 3.63 \cdot 25 = 90.75$ kN·cm`

Tab. Naprężenia w spoinie

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium	57% MSL 335kN
1	Rozciąganie	$\sigma_t = \frac{F_x}{A_W}$	5.20	14.10	OK	2.96
2	Ścinanie - z	$\tau_{sz} = \frac{F_z}{A_W}$	5.20	9.40	OK	2.96
3	Ścinanie - y	$\tau_{sy} = \frac{F_y}{A_W}$	0.05	9.40	OK	0.03
4	Zginanie- z	$\sigma_{Bz} = \frac{BM_z}{W_z}$	19.51	15.51	Not OK	11.12
5	Zginanie - y	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	1.55	15.51	OK	0.88
6	Von Mises	*	27.76	17.62	Not OK	17.46
7	Obciążenia złożone	**	1.73	1.00	Not OK	0.98

*) $\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{Bz} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\tau_{sz}^2 + \tau_{sy}^2)}$

**) $\frac{\sigma_t}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{Bz}}{\sigma_{MAX}} + \frac{\sigma_{By}}{\sigma_{MAX}}$

W ostatniej kolumnie powyższej tabeli przedstawiono dla maksymalne MSL, dla którego element mocowania spełnia wymagania wytrzymałości

Naprężenia w spoinie górnej płycie mocującej przekraczają obciążenia dopuszczalne naprężenia robocze (158%).

Dopuszczalne obciążenie (MSL) spoiny nie powinno przekraczać 335 kN.

Wytrzymałość otworu w górnej płycie mocującej

Dynamiczne obciążenie robocze: Fd = 659.2 kN

Średnica trzpienia $D_P = 6.0$ cm

Średnica otworu: $D_H = 6.2$ cm

Grubość płyty: $t = 2.5$ cm

Powierzchnia styku z trzpieniem $A_{BE} = \frac{\pi}{4} \cdot D_P \cdot t = 11.78$ cm^2

Powierzchni ścinania: $A_{SPF} = 2 \cdot A_{SP} = 60$ cm^2

Powierzchni przekroju nad otworem: $A_{SP} = 30.0$ cm^2

Powierzchni przekroju A-A: $A_{A\text{-}A} = 62.5$ cm^2

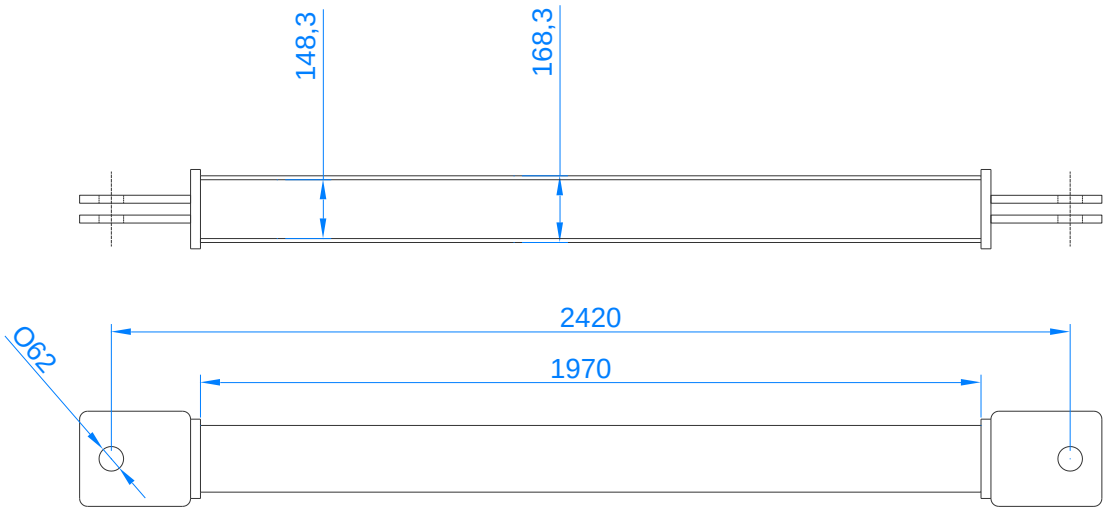
Tab. Naprężenia w oku płyty

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium	33% MSL 200 kN
1	Naprężenie stykowe	$\sigma_{BE} = \frac{Fd}{A_{BE}}$	55.96	21.50	**Not OK**	18.47
2	Ścinanie	$\sigma_{sp} = \frac{Fd}{A_{SPF}}$	10.99	9.40	**Not OK**	3.63
3	Rozciąganie A-A	$\sigma_{tAA} = \frac{Fd}{A_{AA}}$	10.55	10.58	**OK**	3.48
4	Hertz	*	99.59	58.75	**Not OK**	57.53
	*) $\sigma_H = \sqrt{\frac{Fd \cdot E \cdot (D_H - D_P)}{\pi \cdot (1-\nu^2) \cdot t \cdot D_H \cdot D_P}}$					
	W ostatniej kolumnie powyższej tabeli przedstawiono dla maksymalne MSL, dla którego element mocowania spełnia wymagania wytrzymałości					

Naprężenia w otworze dolnej płyty przekraczają dopuszczalne naprężenia robocze (260%).

Dopuszczalne obciążenie (MSL) oka płyty nie powinno przekraczać 200 kN.

Wytrzymałość rury mocującej



Rys. Rura mocująca

Parametry rury mocującej:

Średnica rury D = 16.83 cm

Powierzchnia przekroju A = 49.73 cm

Poprzeczny wskaźnik przekroju: W_y = 185.9 cm^3

Siła wzdłużna: $F_x = F \cdot \cos(\alpha) \cdot cos(\beta)$= 416.2 kN

Siła poprzeczna: $F_y = F \cdot \cos(\alpha) \cdot sin(\beta)$= 3.63 kN

Siła pionowa: $F_z = F \cdot sin(\alpha)$= 416.2 kN

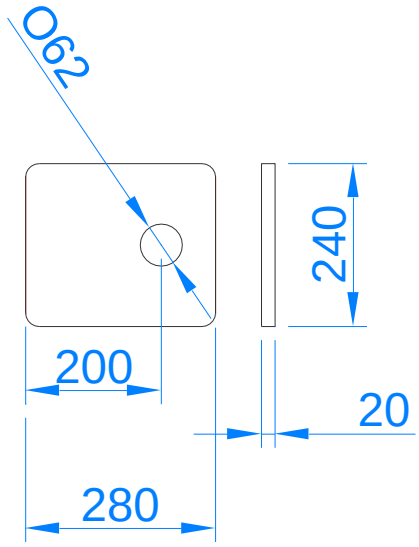
Poprzeczny moment gnący: $BM_y = F_y \cdot l = 3.63 \cdot 242 = 878.5$ kN·cm`

Tab. Obciążenia w rurze.

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Rozciąganie	$\sigma_t = \frac{F}{A}$	11.84	14.10	**OK**
2	Zginanie - y	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	4.72	15.51	**OK**
3	Von Mises	$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{By})^2}$	16.56	17.62	**OK**

Użyta rura spełniała wymagania wytrzymałości dla założonych obciążeń.

Wytrzymałość płyt policzkowych rury



Rys. Płyty policzkowe

Parametry płyt policzkowych:

Kąt odchylenia poprzecznego policzków 0.5°

Powierzchni przekroju: A = 40 cm^2

Poprzeczny wskaźnik przekroju: W_y = 150.48 cm^3

Siła poprzeczna: Fy =31.4 kN

Poprzeczny moment gnący: $BM_y = F_y \cdot = 31.4 \cdot 20 = 628$ kN·cm

Tab. Naprężenia w płytach policzkowych rury.

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Rozciąganie	$\tau_t = \frac{F}{2A}$	7.36	14.10	OK
2	ścinanie	$\tau_s = \frac{Fy}{A}$	0.78	9.40	OK
3	Zginanie -y	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	4.17	15.51	OK
4	Von Mises	$\sqrt{(\tau_t + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot \tau^2}$	11.61	17.62	OK

Wytrzymałość płyt policzkowych ze względu na siły działające w mocowaniu była spełniona przy poziomym kącie pracy do 0.5°.

W czasie rejsu kąty odchylenia pracy odciągu przekraczały znacznie dopuszczalne obciążenie, co powodowało wyginanie płyt policzkowych.

Wytrzymałość otworów w płytach policzkowych rury

Dynamiczne obciążenie robocze: Fd = 659.2 kN/2 = 329.6 kN

Średnica trzpienia: D_P = 6.0 cm

Średnica otworu: D_H = 6.2 cm

Grubość płyty: t = 2.0 cm

Powierzchnia styku z trzpieniem: $A_{BE} = \frac{\pi}{4} \cdot D_P \cdot t = 9.42$ cm^2

Powierzchni ścinania: $A_{SPF} = 2 \cdot A_{SP}$ = 19.6 cm^2

Powierzchni przekroju nad otworem: A_{SP} = 9.8 cm^2

Powierzchni przekroju A-A: $A_{A\text{-}A}$ = 35.6 cm^2

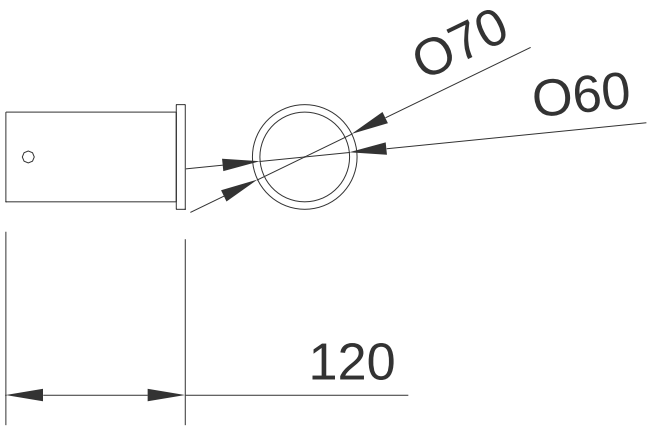
Tab. Naprężenia w otworze mocującym trzpienia

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium	55% MSL 323kN
1	Naprężenia stykowe	$\sigma_{BE} = \frac{Fd}{A_{BE}}$	34.99	21.50	**Not OK**	20.99
2	Ścinanie	$\tau_{sp} = \frac{Fd}{A_{SPF}}$	16.82	9.40	**Not OK**	10.09
3	Rozciąganie A-A	$\sigma_{tAA} = \frac{Fd}{A_{AA}}$	9.26	10.58	OK	2.73
4	Hertz		78.73	58.75	**Not OK**	58.39
	$\sigma_H = \sqrt{\frac{Fd \cdot E \cdot (D_H - D_P)}{\pi \cdot (1 - v^2) \cdot t \cdot D_H \cdot D_P}}$					
W ostatniej kolumnie powyższej tabeli przedstawiono dla maksymalne MSL, dla którego element mocowania spełnia wymagania wytrzymałości						

Naprężenia w otworze płyt policzkowych rury przekraczają dopuszczalne naprężenia robocze (179%). Dopuszczalne obciążenie (MSL) oka płyty nie powinno przekraczać 323 kN.

Wytrzymałość trzpienia i zawleczki trzpienia

W systemie mocowania przewidziano 16 trzpieni mocujących cześc rurową z płytami dolnymi i górnymi.



Rys. Trzpień mocujący

Materiał:	Stal S355
Średnica trzpienia:	∅ 60 mm.
Powierzchnia przekroju:	A = 28.27 cm^2
Siła ścinająca:	F = 588.6 kN
Naprężenie ścinające:	τ = 10.41 kN/cm^2 < naprężenie dopuszczalne 13.8 kN/cm^2

Trzpień wytrzymuje obciążenia dla MSL mocowania 60 t

Trzpień był zabezpieczony przed wysunięciem za pomocą zawleczki giętej ze stali.

Wytrzymałość zawleczki została sprawdzona przy założeniu kata odchylenia poprzecznego 0.5°.

Średnica:	d = 0.5 cm
Powierzchnia przekroju:	A = 0.20 cm^2
Poprzeczny moment gnący:	$BM_y = F_y \cdot l = 3.63 \cdot 242 = 878.5$ kN·cm
Shearing force:	Fy =31.4 kN

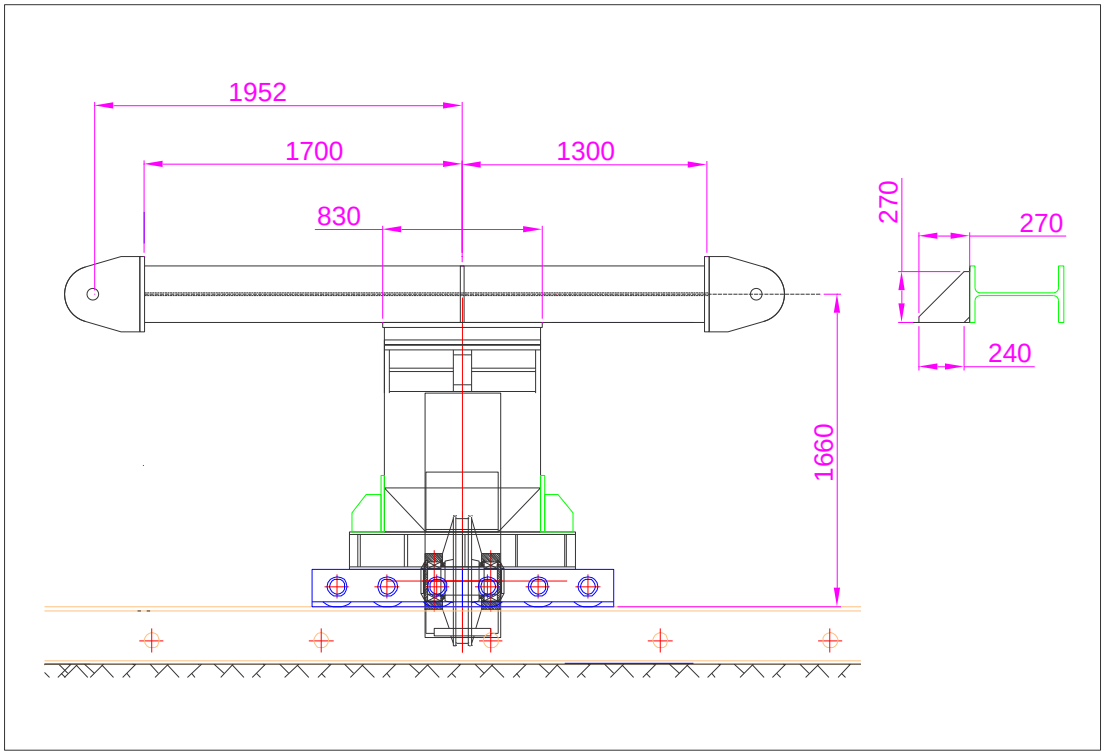
$$\sigma_{sp} = \frac{Fy}{A_{SPF}} = \frac{31.4}{0.20} = 157\ kN/cm^2$$

Dziesięciokrotne przekroczenie wartości dopuszczalne siły tnącej oznacza, że zawleczka nie mogła zablokować rozchylania się policzków mocowania rurowego. Zawleczka mogła być ścięta lub wciągnięta do środka otworu jeśli otwór był powiększony.

Po przeprowadzonej analizie głównego systemu mocowania określono bezpieczne obciążenie robocze systemu na 200 kN

Wytrzymałość belki mocującej

W głównym systemie mocowania żurawia użyte były cztery belki mocujące jego podwozie.

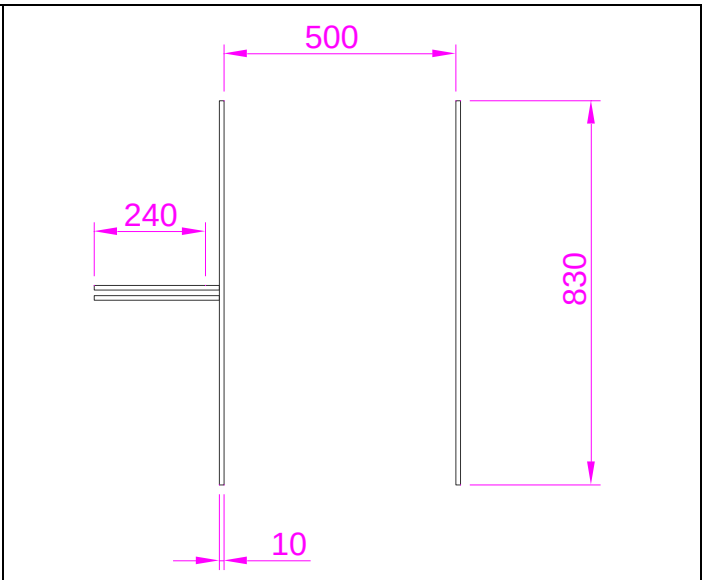


Rys. Poprzeczne belki mocujące

Belka poprzeczna mocująca podwozie żurawia została zespolona z podwoziem żurawia za pomocą spoiny o deklarowanym wymiarze 10 mm.

Do belek mocujących dołożono węzłówki trójkątne (Oznaczenie SL 2 na rysunku mocowania) o wymiarach: 300×300×12 mm.

Tab. Parametry wytrzymałości spoiny belki mocującej

Wymiary		
Grubość spoiny	a	10 mm
Długość spoiny ciągłej	l	214 cm
Powierzchnia spoiny	A_W	214 cm^2
Wzdłużny wskaźnik przekroju spoiny	Wl	5015 cm^3
Poprzeczny wskaźnik przekroju spoiny	Wt	2296 cm^3
Wskaźnik przekroju na skręcanie	WO	4980 cm^3
Wzdłużny wskaźnik przekroju całej konstrukcji mocującej	WL	464270 cm^3
Poprzeczny przekroju całej konstrukcji mocującej	WT	226709 cm^3

Projektowe siły i momenty działające na spoinę łączącą belkę z podwoziem żurawia zostały obliczone dla obciążenia projektowego 60 t.

Siła całkowita przenoszona przez cały system mocowania MSL = 60 t w każdym z kierunków:

- Siła wzdłużna: 1664.8 kN
- Siła poprzeczna: 1664.8 kN
- Siła pionowa: 3329.6 kN

Momenty gnące działające na 1 belkę:

- Wzdłużny: 62.43 kNm
- Poprzeczny: 62.43 kNm
- Moment skręcający belkę: MT = 707.55 kNm

Tab.Weryfikacja wytrzymałości spoiny belki mocującej dla obciążenia projektowego 60 t

Nr.	Parametr wytrzymałości	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Ściskanie	$\sigma_t = \frac{2 \times F_V}{A}$	3.33	14.10	OK
2	Ścinanie wzdłużne	$\tau_{sx} = \frac{F_L}{A}$	1.94	9.40	OK
3	Ścinanie poprzeczne	$\tau_{sy} = \frac{F_T}{A}$	1.94	9.40	OK
4	Skręcanie	$\tau_{St} = \frac{M_T}{W_O}$	14.20	9.40	Not OK
5	Zginanie wzdłużne	$\sigma_{Bx} = \frac{BM_x}{W_x}$	1.24	15.51	OK
6	Zginanie poprzeczne	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	2.72	15.51	OK
7	Von Mises		26.09	17.62	**Not OK**
	$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_{Bx} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\tau_{sx}^2 + \tau_{sy}^2 + \tau_{st}^2)}$		148%		

Spoina mocująca nie spełnia wymagań wytrzymałości dla obciążenia projektowego (148%) .

Mocowanie żurawia zgodnie według zaleceń DNV-ST-N001

Przyspieszenia

Parametry ruchów pontonu w podróży z Gdyni do Szczecina oparte o przypadek 6 (Case 6) zaleceń *DNV-ST-N001, 2021, Table 11-1 Default motion criteria (ASD/WSD approach)*:

- Rodzaj podróży: nieograniczona czasowo (34.5 godz.)
- Długość pontonu mniejsza od 76 m (L = 60.0 m)
- Szerokość pontonu mniejsza od 23.0 m (B = 20.0 m)
- Stosunek L/B większy od 2.50 (3.00)
- Współczynnik pełnotliwości kadłuba CB > 0.90 (0.92)
- Okres kołysań wzdłużnych i poprzecznych 10s

- Amplituda kołysań wzdłużnych i poprzecznych 25°
- Nurzanie z przyspieszeniem 0.2 g
- Wiatr: 14.3 m/s
- Wysokość metacentryczna: GM’ = 21.433 m
- Współczynnik tarcia: $\mu_F = 0.1$

Przyspieszenia obliczono wg. Przepisów DNV dla założonych powyżej parametrów ładunku. Przyspieszenia i siły nie zawierają komponentu oddziaływania fal na przewożony ładunek. Komponent sił związany z wiatrem jest przewymiarowany. W rzeczywistości siła działania wiatru jest mniejsza.

Otrzymane wyniki przyspieszeń są takie porównywalne jak przedstawiono w Raporcie LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23.

W obliczeniach sił i momentów przyjęto współczynnik niepewności masy ładunku 1.06. Masa ładunku przyjęta do obliczeń 254.4 t (2495.7 kN)

Do analizy przyjęto, że ładunek jest zabezpieczany tylko przez system mocowania (8 szt.).

Pionowy kąt pracy mocowania $\alpha = 45°$.

Siły zabezpieczające ładunek określono dla obciążenia roboczego mocowania MSL 60 t (według Raportu LST.SRM.EBE_R01_2022.08.23).

W obliczeniach nie uwzględniono dodatkowych stoperów spawanych pomiędzy konstrukcją podwozia żurawia a pokładem pontonu ze względu na brak informacji o długości i grubości spoin, jak również niepewności, co do ich jakości.

Tab. Przyspieszenia działające na ładunek

Przyspieszenia całkowite (ruch pontonu i działanie wiatru)			
Kierunek	**Oznaczenie**	**Wartość**	
		g	m/s^2
Wzdłużne	a_l	0.506	4.964
Poprzeczne	a_t	0.832	8.162
Pionowe maksymalne	a_{vmax}	1.238	12.145
Pionowe minimalne	a_{vmin}	0.694	6.808

Wytrzymałość systemu mocowania

- Wartości sił przesuwających i momentów przewracających wykonano w oparciu o metody zawarte w CSS Code Anex 13 (MSC.1/Circ.1623).
- Wartości sił zabezpieczających i momentów zapobiegających przewracaniu wykonano w oparciu o metody zawarte w CSS Code Anex 13 (MSC.1/Circ.1623).
- Współczynnik bezpieczeństwa przyjęto SF = 1.35.
- Obliczenia stopnia zabezpieczenia ładunku wykonano dla projektowanego MSL mocowań 60 t (LC = 436.0 kN) i uzyskanego z analizy wytrzymałości mocowania MSL = 20 t (LC = 145.3 kN).
- Wartości sił i momentów są wyliczone dla całego systemu mocowania.
- W obliczeniach uwzględniono działanie wiatru, nie uwzględniono oddziaływania wody na pokładzie.

Ładunki wielkogabarytowe wytwarzają dodatkowy moment wywracający przez ich bezwładność obrotową w stosunku do przyspieszenia obrotowego statku w kołysaniach poprzecznych lub wzdłużnych. Dodatkowy moment przewracający jest niezależny od miejsca umieszczenia ładunku na statku i zawsze dodatni, czyli intensyfikujący moment przeradzający. Zjawisko to wymaga dodatkowych środków zabezpieczających i dlatego powinno być uwzględnione w analizie przewracania wielkogabarytowych jednostek ładunkowych (MSC.1/Circ.1623).

Dodatkowy poprzeczny moment bezwładności masy

Dla ładunku o szerokości (w) i wysokości (h), gdzie ($w^2 + h^2$) > 50 m^2, do zwykłego momentu przewracającego Fy · a należy dodać dodatkowy moment wywracający k · J wynikający z bezwładności obrotowej ładunku.

Wartość masowego momentu bezwładności została określona z zależności:

$$J = m \cdot \left(\frac{w^2 + h^2}{12}\right) [tm^2]$$

gdzie:

k – zwrotne przyspieszenie kątowe: $k = \frac{36 \cdot GM}{B^2} \left[\frac{1}{s^2}\right]$,

B – szerokość jednostki, [m],

GM – wysokość metacentryczna, [m].

Dodatkowy wzdłużny moment bezwładności masy

Dla ładunku o długości (l) oraz wysokości (h), gdzie ($l^2 + h^2$) > 50 m^2, do zwykłego momentu przewracającego Fx·a należy dodać dodatkowy moment wywracający k · J wynikający z bezwładności obrotowej ładunkowego.

Wartość masowego momentu bezwładności została określona z zależności:

$$J = m \cdot \left(\frac{l^2 + h^2}{12}\right) [tm^2]$$

gdzie:

k – zwrotne przyspieszenie kątowe: $k = \frac{25}{L} \left[\frac{1}{s^2}\right]$

L – długość jednostki, [m].

Tab. Siły działające na ładunek i siły zabezpieczające przesuwanie (MSL 60 t)

	Wzdłużne [kN]		Poprzeczne [kN]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Siła działająca na ładunek	FSL	1262.8	FST	2076.34
Siła zabezpieczająca od mocowań i tarcia	FLS	1418.2	FTS	1418.2
Stopień zabezpieczenia		112%		68%
Kryterium	**Zabezpieczenie skuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Tab.Momenty działające na ładunek i momenty przeciwdziałające przewracaniu (MSL 60 t)

	Wzdłużne [kNm]		Poprzeczne [kNm]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Moment przewracający	M_{TLF}	17300.4	MTTF	28446.6
Moment przewracający bezwładności	M_{TLI}	85338,5	M_{TTI}	92412,2
Całkowity moment przewracający	M_{TL}	**102638,9**	M_{TT}	**120858,8**
Moment przeciwdziałający przewracaniu	MTLS	29388.3	MTTS	14774.2
Stopień zabezpieczenia		29%		12%
Kryterium	**Zabezpieczenie nieskuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Tab. Siły działające na ładunek i siły zabezpieczające przesuwanie (MSL 20 t)

	Wzdłużne [kN]		Poprzeczne [kN]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Siła działająca na ładunek	FSL	1262.8	FST	2076.34
Siła zabezpieczająca od mocowań i tarcia	FLS	472.7	FTS	472.7
Stopień zabezpieczenia		38%		23%
Kryterium	**Zabezpieczenie nieskuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Tab. Momenty działające na ładunek i momenty przeciwdziałające przewracaniu (MSL 20 t)

	Wzdłużne [kNm]		Poprzeczne [kNm]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Moment przewracający [kNm]	M_{TLF}	17300.4	MTTF	28446.6
Moment przewracający bezwładności [kNm]	M_{TLI}	85338,5	M_{TTI}	92412,2
Całkowity moment przewracający [kNm]	M_{TL}	**102638,9**	M_{TT}	**120858,8**
Moment przeciwdziałający przewracaniu	MTLS	18456.1	MTTS	8388.7
Stopień zabezpieczenia		18%		7%
Kryterium	**Zabezpieczenie nieskuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Momenty przewracające uwzględniające moment bezwładności masy zostały obliczone według zaleceń rezolucji MSC.1/Circ.1623 Amendments to the Code of Safe Practice for Cargo Stwage and Securing (CSS Code)[21]. Efektywną wysokość ładunku przyjęto 46,8 m (wysokość konstrukcji żurawia w czasie transportu)

Wytrzymałość mocowania dla rzeczywistych warunków pogodowych

Ocenę wytrzymałości przeprowadzono dla warunków pogodowych panujących na akwenie rejsu. Dane uzyskano z Dziennika Okrętowego holownika Odys oraz prognoz pogodowych na dzień rejsu. Analizę wytrzymałości mocowania żurawia na pontonie przeprowadzono dla dwóch przypadków kołysań poprzecznych i wzdłużnych pontonu oraz dwóch wysokości fal. Wartości okresów kołysania wzdłużnego i poprzecznego zostały określone na podstawie przepisów: DNV-RU-SHIP Pt.3 Ch.4 (2022).

Stan I został określony dla maksymalnych parametrów kołysania pontonu i wielkości fali. Stan II został określony dla minimalnych parametrów kołysania pontonu i wielkości fali. Okres

[21] MSC.1/*Circ.*1623 Amendments to the Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing (CSS Code) Załącznik do Kodeksu Bezpiecznych Praktyk Sztauowania i Mocowania Ładunków (Kodeks CSS) – określa międzynarodowy standard prawidłowego sztauowania i zabezpieczenia ładunków w celu promowania bezpieczeństwa na morzu, jak i podczas załadunku i rozładunku.

kołysania poprzecznego dla pontonu został przyjęty w stanie II, jako równoważny okresowi fali o długości 60 m na Bałtyku Południowym.

Kąty kołysania wzdłużnego i poprzecznego określono na podstawie wysokości i długości fali.

Parametry pogodowe i parametry ruchów pontonu wytrzymałości mocowania w rzeczywistych warunkach pogodowych, – STAN I:

- Wiatr NNE 4°B (v = 8 m/s)
- Kąt kursowy fali wiatru 120°·
- Wysokość fali 1.5 m
- Amplituda kołysania wzdłużnego 5°
- Amplituda kołysania poprzecznego 5°
- Okres kołysań wzdłużnych 5.9 s
- Okres kołysań poprzecznych 3.9 s

Parametry pogodowe i parametry ruchów pontonu wytrzymałości mocowania w rzeczywistych warunkach pogodowych – STAN II:

- Wiatr NNE 4°B (v = 8 m/s)
- Kąt kursowy fali wiatru 120°·
- Wysokość fali 1.2 m
- Amplituda kołysania wzdłużnego 2°
- Amplituda kołysania poprzecznego 2.3°
- Okres kołysań wzdłużnych 5.9 s
- Okres kołysań poprzecznych 6.2 s

Tab. Przyspieszenia działające na ładunek STAN I i STAN II

Przyspieszenia całkowite (ruch pontonu i działanie wiatru)					
Kierunek	**Oznaczenie**	**Wartość**			
		STAN I		**STAN II**	
		g	m/s^2	g	m/s^2
Wzdłużne	a_l	0.280	2.747	0.115	1.130
Poprzeczne	a_t	0.502	4.925	0.128	1.252
Pionowe maksymalne	a_{vmax}	1.271	12.469	1.230	12.062
Pionowe minimalne	a_{vmin}	0.721	7.073	0.769	7.546

W poniższych tabelach przedstawiono analizę obciążeń w głównym systemie mocowania dla istniejących warunków pogodowych oraz dla wyznaczonego bezpiecznego obciążenia roboczego (MSL = 20 t).

Tab. Siły działające na ładunek i siły zabezpieczające przesuwanie STAN I

	Wzdłużne [kN]		Poprzeczne [kN]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Siła działająca na ładunek STAN I	FSL	698.8	FST	1252.8
Siła zabezpieczająca od mocowań i tarcia	FLS	652.7	FTS	652.7
Stopień zabezpieczenia		93%		52%
Kryterium	**Zabezpieczenie nieskuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Tab. Momenty działające na ładunek i momenty przeciwdziałające przewracaniu STAN I

	Wzdłużne [kNm]		Poprzeczne [kNm]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Całkowity moment przewracający	M_{TL}	94911,9	M_{TT}	109575.9
Moment przeciwdziałający przewracaniu	MTLS	18961.4	MTTS	8590.9
Stopień zabezpieczenia		20%		8%
Kryterium	**Zabezpieczenie nie skuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Dla założonych kołysań wzdłużnych i poprzecznych o wielkości 5° mocowanie jest całkowicie nieskuteczne.

Tab. Siły działające na ładunek i siły zabezpieczające przesuwanie STAN II

	Wzdłużne [kN]		Poprzeczne [kN]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Siła działająca na ładunek	FSL	287.0	FST	318.4
Siła zabezpieczająca od mocowań i tarcia	FLS	664.7	FTS	664.7
Stopień zabezpieczenia		232%		209%
Kryterium	**Zabezpieczenie skuteczne**		**Zabezpieczenie skuteczne**	

Tab. Momenty działające na ładunek i momenty przeciwdziałające przewracaniu STAN II

	Wzdłużne [kNm]		Poprzeczne [kNm]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Całkowity moment przewracający	M_{TL}	89275,6	M_{TT}	96774.8
Moment przeciwdziałający przewracaniu	M_{TLS}	19864.5	M_{TTS}	8952.1
Stopień zabezpieczenia		22%		9%
Kryterium	**Zabezpieczenie nieskuteczne**		**Zabezpieczenie nieskuteczne**	

Dla założonych kołysań wzdłużnych 2° i poprzecznych o wielkości 2.3° mocowanie jest nieskuteczne w odniesieniu do momentów przewracających.

Zastosowany system mocowania o rzeczywistym MSL 20 t nie zabezpieczał ładunku w rzeczywistych warunkach pogodowych dla przewracania w żadnym z kierunków.

Wytrzymałość spoiny mocującej belkę do podwozia żurawia

W poniższych tabelach przedstawiono analizę obciążeń spoiny belki mocującej do podwozia żurawia dla założonych stanów I i II.

Tab. Siły działające na ładunek i siły zabezpieczające przesuwanie – STAN I

	Wzdłużne [kN]		Poprzeczne [kN]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Siła całkowita działająca na ładunek	F_L	698.8	F_T	1252.8
Siła tarcia	F_F	179.9	F_F	179.9
Siła działająca na mocowanie	F_L’	518.9	F_T’	1073.8

Tab. Momenty przewracające działające na ładunek – STAN I

	Wzdłużne [kNm]		Poprzeczne [kNm]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Całkowity moment przewracający	M_{TL}	94911,9	M_{TT}	109575.9
Moment masowy przeciwdziałający przewracaniu	M_{ML}	13495.3	M_{MT}	5398.1
Moment działający na mocowanie	M_{TL}’	81416.6	M_{TT}’	104177.8

Moment skręcający belkę: MTo = 220.53 kNm

Tab. Weryfikacja wytrzymałości spoiny belki mocującej dla obciążenia projektowego rzeczywistego – STAN I

Nr.	**Parametr wytrzymałości**	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Ściskanie od momentu wzdłużnego	$\sigma_{tl} = \frac{M_{TL}'}{W_L}$	17.54	14.10	Not OK
2	Ściskanie od momentu poprzecznego	$\sigma_{tt} = \frac{M_{TT}'}{W_T}$	45.95	14.10	Not OK
3	Ścinanie wzdłużne	$\tau_{sx} = \frac{F_L'}{A}$	0.61	9.40	OK
4	Ścinanie poprzeczne	$\tau_{sy} = \frac{F_T'}{A}$	1.25	9.40	OK
5	Skręcanie	$\tau_{So} = \frac{M_{TO}}{W_O}$	1.11	9.40	OK
6	Zginanie wzdłużne	$\sigma_{Bx} = \frac{BM_x}{W_x}$	0.39	15.51	OK
7	Zginanie poprzeczne	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	1.75	15.51	OK
8	Von Mises		65.70	17.62	Not OK
	$\sqrt{(\sigma_{tl} + \sigma_{tt} + \sigma_{Bx} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\tau_{sx}^2 + \tau_{sy}^2 + \tau_{st}^2)}$				
			Not OK	**373%**	

Tab. Siły działające na ładunek i siły zabezpieczające przesuwanie – STAN II

	Wzdłużne [kN]		Poprzeczne [kN]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Siła całkowita działająca na ładunek	F_L	287.0	F_T	318.4
Siła tarcia	F_F	192.0	F_F	192.0
Siła działająca na mocowanie	F_L’	95.0	F_T’	126.4

Tab. Momenty przewracające działające na ładunek – STAN II

	Wzdłużne [kNm]		Poprzeczne [kNm]	
	Oznaczenie	Wartość	Oznaczenie	Wartość
Całkowity moment przewracający	M_{TL}	89275.6	M_{TT}	96774.8
Moment masowy przeciwdziałający przewracaniu	M_{ML}	14398.4	M_{MT}	5759.3
Moment działający na mocowanie	M_{TL}’	74877.2	M_{TT}’	91015.5

Moment skręcający belkę: MTo = 161.5 kNm

Tab. Weryfikacja wytrzymałości spoiny belki mocującej dla obciążenia projektowego rzeczywistego – STAN II

Nr.	**Parametr wytrzymałości**	Wzór	Wartość uyskana [kN/cm^2]	Wartość wymagana [kN/cm^2]	Kryterium
1	Ściskanie od momentu wzdłużnego	$\sigma_{tl} = \frac{M_{TL}'}{W_L}$	16.13	14.10	Not OK
2	Ściskanie od momentu poprzecznego	$\sigma_{tt} = \frac{M_{TT}'}{W_T}$	40.15	14.10	Not OK
3	Ścinanie wzdłużne	$\tau_{sx} = \frac{F_L'}{A}$	0.44	9.40	OK
4	Ścinanie poprzeczne	$\tau_{sy} = \frac{F_T'}{A}$	0.59	9.40	OK
5	Skręcanie	$\tau_{So} = \frac{M_{TO}}{W_O}$	0.81	9.40	OK
6	Zginanie wzdłużne	$\sigma_{Bx} = \frac{BM_x}{W_x}$	0.07	15.51	OK
7	Zginanie poprzeczne	$\sigma_{By} = \frac{BM_y}{W_y}$	0.83	15.51	OK
8	Von Mises	*	57.21	17.62	Not OK
*) $\sqrt{(\sigma_{tl} + \sigma_{tt} + \sigma_{Bx} + \sigma_{By})^2 + 3 \cdot (\tau_{sx}^2 + \tau_{sy}^2 + \tau_{st}^2)}$					
			Not OK	**324%**	

Spoina mocująca belkę nie spełnia wymagań wytrzymałości dla obciążeń rzeczywistych. Obciążenia są przekroczone 3.24 razy.