Osiadanie i uszkodzenia wraków przy Ryfie Mew wskutek oddziaływania pokrywy lodu

Dr inż. kpt. ż. w. Tadeusz Pastusiak Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny

Po raz pierwszy autor pracy napotkał wraki kutrów rybackich w pobliżu Ryfu Mew na zewnętrznej części Zatoki Puckiej w 1980 roku. Wtedy prowadził prace badawcze na potrzeby realizacji części tematu resortowo-branżowego "Perspektywiczne nawigacyjne zagospodarowanie Zatoki Gdańskiej dla zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi". Ze względu na panujące wówczas specyficzne warunki transformacji polityczno-społecznych w Polsce, zebrane przez autora materiały nie zostały spożytkowane. Biorac pod uwagę upływ 35 lat, powtórzenie podobnych badań umożliwiłoby uzyskanie wiarygodnego materiału porównawczego dotyczącego zmian odnoszących się do samych wraków, ich położenia oraz ich batymetrycznego otoczenia. Celem pomiarów przeprowadzonych w 2015 roku było wstępne rozpoznanie akwenu oraz porównanie współrzędnych pozycji przeszkód znajdujących się w rejonie badawczym uzyskanych różnymi metodami. Założono, że wyniki badań powinny służyć poprawie bezpieczeństwa żeglugi w rejonie Ryfu Mew oraz na akwenach dostępnych dla żeglugi statkami, jachtami, sprzętem rekreacyjnym i udostępnionymi dla rybołówstwa i wedkarstwa morskiego.

W 1980 roku naliczono dwadzieścia trzy przeszkody wystające ponad powierzchnię wody przy średnim poziomie morza. Były to kompletne kadłuby kutrów typu B-12 i B-25 albo ich kadłuby bez nadbudówek, albo bliżej niezidentyfikowane części kadłubów mniejszych jednostek pływających. W 2002 roku pomiary wykonane przez Urząd Morski w Gdyni wykazały 16 przeszkód wraz z ich przybliżoną pozycją geograficzną [8]. Oczekiwano, że w 2015 roku również część ich kadłubów będzie znajdowała się nad powierzchnią wody. Rozpoznanie wstępne akwenu wykazało, że praktycznie nic nie można zauważyć na powierzchni wody przy średnim, a nawet przy niskim poziomie wody. Wyjątek stanowił kokpit okrętu podwodnego, kadłub kutra leżący na burcie oraz jeden ostry element stalowy wzmocnienia kadłuba widoczny przy niskim poziomie wody. Wstępne rozpoznanie informacji przestrzennej dostępnej w internecie za pomocą programu Google Earth na dzień 20.05.2013 pozwoliło zidentyfikować łacznie 30 obiektów (16 obiektów występujacych na liście Urzędu Morskiego z 2002 roku i 14 innych obiektów). Dodatkowo zarejestrowano za pomocą sonaru bocznego 5 obrazów obiektów, które wymagałyby dalszych badań w celu potwierdzenia ich istnienia. Nie wykonano pomiarów części przeszkód zlokalizowanych na bardzo małych głębokościach rzędu 0,4÷1,0 metra. Należy jednak brać pod uwagę, że właśnie przeszkody na tych głębokościach mogą być szczególnie niebezpieczne dla osób pieszych i pływaków, którzy znajdą się w tym rejonie przypadkowo. Ze względu na dużą liczbę niekompletnych informacji należy zaliczyć ten rejon do niezbadanych.

W związku z powyższym rysuje się pierwszy cel badawczy, którym jest ustalenie zagrożenia dla nawigacji powierzchniowej w rejonie Ryfu Mew oraz na akwenach dostępnych dla żeglugi statkami, jachtami, sprzętem rekreacyjnym i na akwenach udostępnionych dla rybołówstwa i wędkarstwa morskiego. Drugim celem badawczym jest ustalenie przyczyn znikania przeszkód pod powierzchnią wody z upływem czasu poniżej średniego poziomu morza, a nawet poniżej niskiego poziomu wody w danym rejonie. Wysunięto hipotezę, że znikanie przeszkód pod powierzchnią wody jest związane z osiadaniem przeszkód w osadach dennych i z występowaniem w rejonie Ryfu Mew na Zatoce Puckiej zalodzenia w sezonach zimowych.

METODA BADAWCZA

W związku z niekompletnymi i rozbieżnymi informacjami dotyczącymi przeszkód w rejonie badawczym oraz niemożliwością zaobserwowania większości przeszkód nad powierzchnia wody zweryfikowano metode pomiarowa. Zamiast mierzyć sondą ręczną otoczenie pierwotnie wynurzonych przeszkód, przeprowadzono zwiad lokalizacyjny za pomocą echosondy pionowej i sonaru bocznego. Głębokości akwenu w otoczeniu przeszkód określono za pomocą echosondy pionowej. Wysokości przeszkód nad dnem morza odczytano na podstawie długości cienia przeszkody. Częstokroć długość cienia przeszkody była z pewnością dłuższa niż zasięg sonaru bocznego. W szczególności, gdy przeszkoda sięgała powierzchni morza lub poziomu zanurzenia przetwornika sonaru bocznego, gdy ograniczeniem był zasięg obrazu sonaru ustawiony na maksimum 25 metrów z każdej burty. Głebokości nad przeszkoda uzyskano głównie na podstawie głębokości zarejestrowanego pingu albo obrazu "papierowego" sondażu. Do analizy wykorzystano od 1 do 11 in-



Rys. 1. Podstawowe wymiary pionowe analizowanych przeszkód podwodnych G_{max} – głębokość maksymalna w otoczeniu przeszkody, G_{min} – głębokość minimalna w otoczeniu przeszkody, G_{-} – minimalna głębokość nad przeszkodą, H_{-} – maksymalna wysokość przeszkody

dywidualnych serii pomiarów wykonanych dla poszczególnych przeszkód. Głębokości przeszkód i dna morza odniesiono do średniego poziomu wody w porcie Jastarnia, jako najbliższego punktu rejestracji poziomu wody od strony zewnętrznej Zatoki Puckiej, czyli tej, gdzie znajdował się rejon badawczy.

Podstawowymi wymiarami pionowymi analizowanych przeszkód podwodnych (rys. 1) przyjętych do analizy była głębokość maksymalna w otoczeniu przeszkody, głębokość minimalna w otoczeniu przeszkody, minimalna głębokość nad przeszkodą i maksymalna wysokość przeszkody. W większości przypadków kadłuby kutrów były ustawione dziobem w kierunku linii brzegowej Ryfu Mew, czyli w kierunku malejących głębokości. Tylko kilka z nich było ustawionych równolegle do linii brzegowej. Ze względu na liczne elementy konstrukcji kadłuba bądź nadbudówki, w tym stalowe maszty, windy kotwiczne, ładunkowe, urządzenia połowowe i polery, największa wysokość przeszkody, najmniejsza głębokość nad przeszkodą i najmniejsza głębokość w otoczeniu przeszkody nie musiały znajdować się w tym samym miejscu (rys. 1). Największa wysokość przeszkody dotyczyła przeważnie dziobnicy, stewy rufowej albo konstrukcji stalowej wyposażenia pokładowego. Przyczyna była przypuszczalnie większa trwałość materiału konstrukcyjnego. Większe wysokości przeszkody zaobserwowano na większych głębokościach otoczenia przeszkody. Głębokości minimalne nad przeszkodą dotyczyły przeważnie dziobnicy, stewy rufowej albo konstrukcji stalowej wyposażenia pokładowego. Ze względu na nierównomierną w przestrzeni lokalizację wystających elementów konstrukcyjnych przeszkód nie można przyjąć lokalizacji głębokości średniej w połowie długości przeszkody.

Przyjęto najmniejszą głębokość nad przeszkoda za wielkość charakteryzującą zagrożenie dla żeglugi i ruchu powierzchniowego. Za wielkości charakteryzujące dno morskie przyjęto głębokość maksymalną w otoczeniu przeszkody, głębokość minimalną w otoczeniu przeszkody, nachylenie bezwzględne i nachylenie względne stoku przybrzeżnego w otoczeniu przeszkody. Powierzchnię zlodzoną morza w sezonie zimowym charakteryzowała grubość warstwy lodu. Wyżej wspomniane cechy środowiska poddano analizie wzajemnych zależności dwuwymiarowych między nimi na zasadzie "jeden z jednym". Do tego celu wykorzystano możliwości programu MS Excel. W następnej kolejności poddano powyższe cechy analizie wzajemnych zależności w przestrzeni trójwymiarowej. Do tego celu zastosowano program komputerowy Table Curve 3D i oferowany przez niego algorytm Bowyera-Watsona [2, 9]. Metoda Bowyera-Watsona jest stosowana w geometrii i umożliwia jak najwierniejsze

przedstawienie serii punktów jako gładkiej powierzchni w przestrzeni trójwymiarowej. Przewidywano również możliwość i celowość rozpatrywania jednocześnie zależności wzajemnych większej liczby cech powiązanych jedną funkcją matematyczną. Powyższe działania miały zapewnić osiągnięcie celu badań i potwierdzenie przedstawionej hipotezy.

WYNIKI

Do analizy wykorzystano przede wszystkim dane pomiarowe zawarte w pracy Pastusiaka [7]. W pierwszej kolejności scharakteryzowano głębokości akwenu, na których są zlokalizowane wraki, dalej nazywane przeszkodami podwodnymi albo krótko – przeszkodami. Głębokości średnie mieszcza się w przedziale od 1,16 do 3,87 m, średnio 2,07 m. Głębokości minimalne mieszczą się w przedziale od 0,97 do 3,73 m, średnio 2,28 m. Natomiast głębokości maksymalne mieszczą się w przedziale od 1,31 do 4,14 m, średnio 2,49 m. Można przyjąć, że poddany badaniom pas przybrzeżny zawiera się pomiędzy głębokościami 0,97 i 4,14 m. Są to więc głębokości płytkich konstrukcji portowych: nabrzeży, pomostów i przystani jachtowych. Na rys. 2 przedstawiono zależności nachylenia dna morza występującego przy przeszkodach podwodnych w funkcji średniej głębokości dna morza G_s w otoczeniu przeszkody. Wyróżniono nachylenie bezwzględne N_{h} określone wzorem (1) i nachylenie względne $N_{\rm w}$ określone wzorem (2).

$$N_b = \Delta G_b = G_{\max} - G_{\min} \tag{1}$$

$$N_w = \frac{N_b}{G_s} \tag{2}$$

gdzie:

 $N_{h} = \Delta G_{h}$ – nachylenie bezwzględne, N_...

 nachylenie względne, głębokość minimalna w otoczeniu przeszkody,

 G_{\min} G_{s} – głębokość średnia w otoczeniu przeszkody,

- głębokość maksymalna w otoczeniu przeszkody. $G_{\rm max}$

Na wykresie (rys. 2) można zauważyć dwa różne trendy nachylenia dna morza. Głębokość graniczna wynosi 3,11 m. Średnie nachylenie bezwzględne przy mniejszych głębokościach wynosi 0,44 m, a przy większych głębokościach jest mniejsza i wynosi 0,33 m. Linia trendu przy mniejszych głębokościach jest jednoznacznie rosnąca. Przy tej samej głębokości granicznej średnie nachylenie względne dla mniejszych głębokości wynosi 0,19 (19%), a dla większych głębokości jest mniejsza i wyno-



Rys. 2. Różnica względna i różnica bezwzględna głębokości dna morza w otoczeniu przeszkody w funkcji głębokości średniej G_s w otoczeniu przeszkody
 – różnica bezwzględna głębokości w otoczeniu przeszkody ΔG_b, …… różnica względna głębokości w otoczeniu przeszkody ΔG_w,
 - srednia wartość różnicy bezwzględnej głębokości, – - średnia wartość różnicy względnej głębokości, – — linia trendu różnicy głębokości bezwzględnej







Rys. 4. Wysokość największa przeszkody nad dnem morza H_p w funkcji głębokości średniej w otoczeniu przeszkody G_s — najmniejsza głębokość nad przeszkodą G_p na małych głębokościach do 3,00 m, — linie ograniczające pas trendu, … najmniejsza głębokość nad przeszkodą G_p na większych głębokościach powyżej 3,00 m, – – średnia wartość najmniejszej głębokości nad przeszkodą

si 0,09 (9%) głębokości średniej. Linia trendu przy mniejszych głębokościach jest jednoznacznie stała – nie wykazuje ani wzrostów, ani spadków. Można więc przyjąć, że zdecydowana większość przeszkód osiadła na dnie na stoku pomiędzy płaską częścią głębszej wody i płytkimi wodami plaży. Zanurzenie jednostek pływających (typu B-12 i B-25), stanowiących badane przeszkody, wynosiło w stanie eksploatacyjnym na dziobie 2,28 m i na rufie 2,58 \div 2,64 m [1]. Można więc przyjąć, że jednostki pływające były osadzone na dnie w jak najpłytszym miejscu dostępnym przy istniejącym w danym momencie poziomie morza. Wahania poziomu morza związane z kierunkami i siłą wiatru mieszczą się przeważnie w przedziale +/- 0,5 m.

Najważniejszym celem badań było ustalenie zagrożenia dla bezpieczeństwa nawigacji, jakie niosą zlokalizowane przy Ryfie Mew przeszkody podwodne. Takie zagrożenie może być istotne w przypadku jachtów żaglowych ze stałym kilem, łodzi motorowych z silnikiem zaburtowym, łodzi rybackiej, żaglówki, deski windsurfingowej albo człowieka swobodnie pływającego w morzu. Osoby zajęte nawigacją nawodną mają nikłe prawdopodobieństwo wykrycia przeszkody przed kontaktem bezpośrednim z taką przeszkodą, czyli przed doznaniem szkód w sprzęcie lub na zdrowiu. Przyjęto, że cechą charakteryzującą zagrożenie dla nawigacji powierzchniowej jest najmniejsza głębokość nad przeszkodą.

Przy obecnej analizie ma zastosowanie również głębokość graniczna wynosząca 3,11 m (rys. 3). Przy mniejszych głębokościach średnia najmniejsza głębokość nad przeszkodą G_p (średnia $G_s = 2,08$ m) jest stała oraz nie zależy od zmiany głębokości średniej dna morza w otoczeniu i wynosi 0,83 m. Średnia naj-

mniejsza głębokość nad przeszkodą G_p przy większych głębokościach (średnia $G_s = 3,67$ m) jest znacznie większa i wynosi 2,4 m. Zastanawiające jest, że przy średnim poziomie morza najmniejsze głębokości przeszkód G_p nad dnem mieszczą się w wyraźnie zaznaczonym przedziale 1,01 m (rys. 4) w strefie mniejszych głębokości średnich w otoczeniu przeszkód G_s . Tendencja jest niezależna od głębokości średnich G_s w otoczeniu przeszkód.

Następnie poddano analizie cechę odwrotną do najmniejszej głębokości nad przeszkodą G_n, którą jest największa wysokość przeszkody nad dnem morza H_{n} . W tym przypadku również ma zastosowanie głębokość graniczna G, wynosząca 3,00 m (rys. 4). Przy mniejszych głębokościach średnia największa wysokość przeszkody H_p wynosi 1,15 m (średnia $G_s = 2,04$ m) i wykazuje jednoznacznie trend rosnący. Średnia największa wysokość przeszkody H_n przy większych głębokościach (średnia $G_{c} = 3,46$ m) jest większa i wynosi 1,72 m. Zastanawiające jest, że przy średnim poziomie morza największe wysokości przeszkód nad dnem mieszczą się w wyraźnie zaznaczonym przedziale 1,05 m (patrz rys. 4: różnica pomiędzy liniami ograniczającymi pas trendu najmniejszej głębokości nad przeszkodą $G_{\rm p}$ na małych głębokościach do 3,00 m) w strefie mniejszych głębokości średnich w otoczeniu przeszkód G. Tendencja jest niezalezna od głębokości średnich G w otoczeniu przeszkód.

Zależności dwuwymiarowe ukazane na rys. 3 i 4 przedstawiono w układzie trójwymiarowym (rys. 5 i 6). Na trzeciej osi przyjęto głębokość minimalną G_{min} , zamiast głębokości średniej, ponieważ zauważono, że dla niej otrzymywano przeważnie bardziej spójne zależności. Jeżeli pominąć cztery próbki z prawej



Rys. 5. Współzależności głębokości minimalnej w otoczeniu przeszkody G_{min} , głębokości maksymalnej w otoczeniu przeszkody G_{mas} i głębokości minimalnej nad przeszkodą G_{p}



Gmin [m]

Rys. 6. Współzależności głębokości minimalnej w otoczeniu przeszkody G_{min} , głębokości maksymalnej w otoczeniu przeszkody G_{max} i wysokości maksymalnej przeszkody nad dnem morza H_{ρ}

dolnej strony płaszczyzny odwzorowania na rys. 6 (największe wartości głębokości minimalnej G_{min}), to jest zauważalna wyraźna tendencja zmian wysokości przeszkody H_p nad dnem morza. Wysokość przeszkody H_p rośnie wraz ze wzrostem głębokości dna morza G_{min} i G_{max} otaczających przeszkodę. W skrajnie dużych głębokościach głębokości G_{min} w przedziale 2,5 ÷ 2,8 m głębokości G_{max} wynoszą 2,9 ÷ 3,8 m. Z wykresu trójwymiarowego wynika, że nachylenie bezwzględne stoku przybrzeżnego N_b zwiększa się wraz ze wzrostem głębokości średniej G_s .

Jeżeli pominąć cztery pomiary dla największych głębokości minimalnych w otoczeniu przeszkody (rys. 7), to niezależnie od głębokości minimalnej G_{min} wysokości przeszkody H_p są rozłożone w całym przedziale głębokości minimalnych G_{min} , czyli sięgają prawie do powierzchni morza. Przeszkody te nie znajdują się na głębokościach minimalnych G_p większych od 2,7 m. Głębokości minimalne nad przeszkodami G_p utrzymują się w pasie ograniczonym wartościami 0,43 i 1,30 m. Większość pomiarów G_p mieści się w przedziale o rozpiętości 0,55 m, od 0,43 do 1,05 m.

Podjęto próbę ustalenia przyczyn znikania przeszkód z nad powierzchni wody. Mogło to być osiadanie w dnie morza albo też niszczenie bądź rozpad konstrukcji przeszkód, albo obie przyczyny jednocześnie. Jednostki pływające typu B-12 miały kadłub drewniany wzmacniany stalą. Jednostki typu B-25 były kon-



Rys. 7. Współzależność głębokości minimalnej nad przeszkodą G_p , wysokości maksymalnej przeszkody nad dnem morza H_p i głębokości minimalnej dna morza w otoczeniu przeszkody G_{min}

strukcji mieszanej albo w późniejszym okresie ich produkcji – ze stali. W pierwszej kolejności należało ustalić wielkość obniżania się kadłuba przeszkody. Na rys. 8 przedstawiono obraz wybranej przeszkody otrzymany podczas pomiarów echosondą pionową wykonanych przez autora pracy w 2015 roku. Na podstawie zapisów ech wyznaczono kształt i wymiary przeszkody (linia biała) oraz linię dna morza w najbliższym otoczeniu przeszkody (linia biała pogrubiona). Wymiary poziome nie są zachowane proporcjonalnie do wymiarów pionowych. Wysokość całkowita kadłuba przeszkody jest zgodna z wymiarami kutrów typu B-12 i B25. Średnia wysokość kadłuba przeszkody H_n ponad poziomem dna morza wynosi 0,70 m. W 1980 roku kadłub tej przeszkody wystawał średnio ponad średni poziom morza tyle, ile w 2015 roku wystawał średnio ponad dno morza. Poziom morza w dniu wykonywania pomiarów w 2015 roku był o 0,17 metra niższy od poziomu morza w dniu wykonywania pomiarów w 1980 roku. Po uwzględnieniu tej różnicy otrzymano, że w 1980 roku kadłub tej przeszkody znajdował się o 2,17 m wyżej. Przyjmując różnicę lat równą 35 lat, otrzymano średnie osiadanie kadłuba przeszkody w dnie morza równe 6,20 cm na rok.

Wymiary przykładowej przeszkody przedstawionej na rys. 8 wskazują, że z pewnością ma miejsce systematyczne osiadanie przeszkód w osadach dennych morza. Pozostaje kwestia zniekształceń albo uszkodzeń górnej części kadłuba przeszkody. Na rys. 9 przedstawiono obraz sonaru bocznego przykładowej przeszkody. Daje się zaobserwować nienaturalne położenie części konstrukcyjnych jednostki pływającej i rozrzucenie ich wkoło kadłuba. Powyższy stan konstrukcji przeszkody powiązano ze znaczną zmiennością wartości największej wysokości przeszkód nad dnem morza wzdłuż wszystkich wartości głębokości otoczenia przeszkód (rys. 4 i 6). Powiązane z tym wydaje się być ograniczenie najmniejszej głębokości nad przeszkodami do średnio 0,83 m, oraz że mieszczą się one w przedziale o rozpiętości rzędu 1,0 m. Wcześniej wykazano (rys. 3 i 5), że głębokości minimalne nad przeszkodami G_p utrzymują się w pasie ograniczonym wartościami 0,43 i 1,30[°]m, a większość pomiarów G_n mieści się w przedziale o rozpiętości 0,55 m od 0,43 do 1,05 m. Wyjątek dotyczy tylko kilku przeszkód. Powyższe wskazuje, że przyczyna zniekształceń albo uszkodzeń górnych części konstrukcji przeszkody jest zlokalizowana w okolicach



Rys. 8. Obraz przeszkody otrzymany z echosondy metodą *downscan imaging* linia biała – odtworzony kształt przeszkody, linia biała pogrubiona – dno morza w otoczeniu przeszkody



Rys. 9. Zniekształcenia i uszkodzenia przeszkody oraz fragmenty konstrukcji rozrzucone wkoło przeszkody. Obraz sonaru bocznego uzyskany przez autora w 2015 roku

poziomu morza. Wywnioskowano, że jest nią występowanie i ruch pokrywy lodu morskiego w sezonach zimowych.

Na podstawie 40-letnich badań wykonanych w latach 1960/61-1999/2000 stwierdzono występowanie w okresie zimowym na polskich jeziorach nadmorskich warstwy lodu o grubości do 0,3 ÷ 0,4, a nawet 0,52 m [4]. Spiętrzenia i zwałowania lodu wywołane wiatrem mogą osiągać tam do 0,5, a nawet 1,5 m wysokości. Jednocześnie stwierdzono wysoka korelacje zjawisk lodowych występujących na tych jeziorach ze zjawiskami lodowymi występującymi w nadmorskich lagunach. Nawiązując do badań Girjatowicza [4], przytoczono opracowanie Klekot [6] zbieżne w czasie z pierwszymi badaniami wraków przy Ryfie Mew wykonanymi przez autora pracy. Klekot [6] wzmiankuje, że w 1970 roku Zatoka Pucka wewnętrzna i płycizny Zatoki zewnętrznej były pokryte lodem stałym do 200 ÷ 300 m odległości od brzegu i grubości do 0,6 m. Ryf Mew i część do niego przyległa od strony Zatoki Puckiej zewnętrznej była pokryta lodem grubości 0,3 m. Pod tym lodem znajdowała się około 1,0 m warstwa śryżu. Sam Ryf Mew stanowił "zwałowisko" kier [6]. Można więc przyjąć, że od początku zalegania przeszkód (wraków) przy Ryfie Mew w sezonie zimowym oddziaływała okresowo warstwa jednolitego lodu o grubości do 0,6 m albo pokrywa lodu grubości 0,3 m i zalegająca pod nią warstwa śryżu o grubości 1,0 m (łączna grubość warstwy lodu 1,3 m), albo zwałowisko lodu o grubości od 0,5 do 1,5 m. Występowanie zwałowisk lodu w rejonie Ryfu Mew potwierdza Girjatowicz [3].

Uogólniając dane z cytowanej literatury, można przyjąć, że maksymalna warstwa lodu miała grubość od 0,6 do 1,5 m. Oznacza to, że na powierzchnię 1 m² kadłuba przeszkody w sezonach zimowych naciskała masa około 0,6 \div 1,5 t lodu. Masy lodu o grubości od 0,6 do 1,5 m przesuwane bocznie siłą oddziaływania wiatrów powodowały znaczne siły boczne i tarcie o konstrukcję przeszkody, przyczyniając się do jej uszkodzenia. W celach ustalenia związku niszczenia konstrukcji przeszkód z lodami pokrywającymi rejon w sezonach zimowych należy rozpatrywać wielkości statystyczne, czyli średnie. Maksymalne wartości występujące okazjonalnie mogły nie mieć kluczowego znaczenia do oceny badanego zjawiska. Do obecnej analizy zjawiska były potrzebne wyniki wieloletnich pomiarów średniej maksymalnej grubości warstwy lodu. Takie wymagania spełniły wyniki badań Girjatowicza [5] z okresu 1946/1947 ÷ 1999/2000. Przedstawiona w pracy Girjatowicza [5] wartość średniej maksymalnej grubości warstwy lodu G_r dla Ryfu Mew wynosi 0,20 m.

Badane wcześniej zależności dwuwymiarowe i trójwymiarowe pomiędzy głębokościami minimalnymi G_{min} , średnimi G_s i maksymalnymi G_{max} dna morza w otoczeniu przeszkód oraz maksymalnej wysokości przeszkody $H_{\rm x}$ i minimalnej głębokości nad przeszkodą G_{x} nie potwierdziły jednoznacznie hipotezy pracy w zakresie przyczyn destrukcji przeszkód przy powierzchni morza. W związku z powyższym zdecydowano się powiązać ze sobą cztery podstawowe wielkości badane (rys. 1) za pomocą wzoru (3). Celem zastosowania tego wzoru jest ustalenie wielkości rezerwy (bądź niedoboru) przestrzeni pionowej ponad wysokością przeszkody H_p i głębokością nad tą przeszkodą G_p oraz jej związku z głębokością akwenu otaczającego przeszkody. Jak podano przy opisie rys. 1, lokalizacja wystających elementów konstrukcyjnych przeszkód nie jest równomierna w przestrzeni. Nie jest więc spełniona zależność $G_{\max} = H_p + G_p$. Przyjęto, że wysokość przeszkody H_p nie zależy od głębokości akwenu i uwzględnia upływ czasu (osiadanie przeszkody w osadach dennych). Przyjęto też, że głębokość nad przeszkodą uwzględnia upływ czasu (osiadanie przeszkody w osadach dennych) odwrotnie do wysokości przeszkody H, oraz uwzględnia destrukcję kadłuba i konstrukcji przeszkody w pobliżu powierzchni wody. Uwzględnienie we wzorze obu tych składowych pionowych eliminuje wpływ upływu czasu na wyniki obliczeń. Jedyną wielkością, jaka zostanie wyeksponowana, będzie przestrzeń pionowa przeszkód, które uległy destrukcji G_d, związana z grubością pokrywy lodowej G, występującej na powierzchni morza w sezonach zimowych.

$$G_{L} \cong G_{d} = G_{\max} - H_{p} - G_{p}$$
(3)

gdzie:

- G_{I} średnia maksymalna grubość warstwy lodu w sezonach zimowych,
- $\vec{G_d}$ głębokość destrukcji konstrukcji posadowionych na dnie zbiornika wodnego,

G_{max} – głębokość maksymalna w otoczeniu przeszkody,

 H_{p} – wysokość maksymalna przeszkody nad dnem zbiornika wodnego,

 G_{p}^{\prime} – głębokość minimalna nad przeszkodą.

Wyniki obliczeń otrzymane z powyższego wzoru przedstawiono na rys. 10 w odniesieniu do głębokości średnich G_{a} w otoczeniu przeszkód. Wybór rodzaju głębokości nie ma wpływu na analizowane składowe pionowe. Spójność zależności grubości warstwy destrukcji G, z głębokością średnią akwenu jest nadzwyczaj wysoka. Wartość średniej grubości warstwy destrukcji G_d dla wszystkich analizowanych przeszkód wynosi 0,19 m, a wartość średniej grubości warstwy destrukcji G_d , z pominięciem jednego znacznie odstającego pomiaru od serii danych wynosi 0,15 m. Należy przyjąć, że to pojedyncze odstępstwo ma inną genezę niż destrukcyjne oddziaływanie lodów. Odchylenie standardowe grubości destrukcji G_d w przypadku wszystkich pomiarów wynosi 0,29 m, zaś z pominięciem jednego odstającego pomiaru - 0,18 m. Jedną z przyczyn rozbieżności wyników powinien być zróżnicowany materiał konstrukcyjny poszczególnych przeszkód. Może być nim drewno, drewno na



Rys. 10. Grubość warstwy lodu G_L w funkcji głębokości średniej w otoczeniu przeszkody G_s • dane punktowe, – – – średnia grubość warstwy lodu

szkielecie stalowym albo stal. Wielkości grubości destrukcji G_d ściśle korelują z podaną przez Girjatowicza [4] wieloletnią średnią największą grubością lodu G, w sezonach zimowych 1946/1947 ÷ 1999/2000, równą 0,20 m. Wyniki obliczeń grubości warstwy destrukcji osiągają praktycznie wartość zerową (sięgają średniego poziomu morza) albo znajdują się poniżej powierzchni morza. Największa liczba pomiarów znajduje się tuż pod powierzchnią morza. W miarę zwiększenia się głębokości pod powierzchnią morza liczba pomiarów maleje. Odpowiada to rozkładowi normalnemu grubości lodów na Zatoce Puckiej w sezonach zimowych [3], gdzie coraz większe grubości lodu są spotykane coraz rzadziej. Rozkład pionowy poszczególnych przeszkód przy Ryfie Mew (rys. 10) jest spójny i potwierdza hipotezę, że przyczyną niszczenia górnych części konstrukcji przeszkód oraz szybkiego osiadania przeszkód w osadach dennych morza jest oddziaływanie warstwy lodu morskiego w sezonach zimowych.

WNIOSKI

Wielkość średniego wieloletniego osiadania przeszkód w osadach dennych przy Ryfie Mew wynosi 6,20 cm na rok. Główną przyczyną niszczenia górnych części konstrukcji przeszkód oraz szybkiego osiadania przeszkód w osadach dennych jest oddziaływanie warstwy lodu w sezonach zimowych. Zjawisko destrukcji konstrukcji wodnych jest ściśle związane i wprost proporcjonalne do średniej maksymalnej grubości lodu występującego na danym akwenie w sezonach zimowych. Otrzymana w wyniku badań wartość średniej grubości warstwy destrukcji wynosi 0,15 m przy odchyleniu standardowym 0,18 m. Wartość ta ściśle koreluje z wieloletnią średnią największą grubością lodu w sezonach zimowych równą 0,20 m. Destrukcja konstrukcji podwodnych sięga średniego poziomu wody albo znajduje się tuż pod powierzchnią wody. W miarę zwiększenia się głębokości pod powierzchnią wody maleje liczba zniszczeń. Szybkość destrukcji zależy od rodzaju materiału, z którego konstrukcja wodna jest zbudowana.

Wyniki przeprowadzonych badań mają znaczenie utylitarne. W zakresie bezpieczeństwa transportu wodnego, żeglugi i rekreacji wodnej można wyznaczyć przedział głębokości i średnią wartość głębokości występowania przeszkód, które pierwotnie znajdowały się nad powierzchnią wody i stwarzają realne zagrożenie dla transportu i ruchu powierzchniowego. W zakresie konstruowania i utrzymania lekkich konstrukcji wodnych (przykładowo pomostów) można obliczyć wartość osiadania fundamentów konstrukcji posadowionych do trzech metrów głębokości pod powierzchnią dna. W ten sposób można przewidzieć liczbe lat bez konieczności przeprowadzenia remontu podwyższającego konstrukcję. Na podstawie przedstawionych wyników pracy można również tak zaprojektować lekkie konstrukcje (przykładowo pomosty albo punkty mocowania pław albo sezonowo demontowanych konstrukcji nawodnych), aby ich najwyżej umieszczone elementy konstrukcyjne znajdowały się poniżej poziomu destrukcji spowodowanej lodem i mogły służyć bezawaryjnie przez wiele lat.

LITERATURA

2. Bowyer A.: Computing Dirichlet tessellations, The Computer Journal, Vol. 24, No. 2, 1981.

3. Girjatowicz J. P.: Zjawiska lodowe u polskiego wybrzeża Bałtyku oraz ich wpływ na żeglugę i rybołówstwo. Akademia Rolnicza w Szczecinie, Rozprawy, Nr. 91, Szczecin, 1983.

4. Girjatowicz J. P.: Ice conditions in coastal lakes of the southern Baltic Sea, International Journal of Limnology, 39 (4), 2003.

5. Girjatowicz J. P.: Katalog zlodzenia i warunków termicznych polskiego wybrzeża, Uniwersytet Szczeciński, Szczecin, 2007.

 Klekot L.: Zatoka Pucka osobliwością hydrologiczną Bałtyku, Oceanologia, Nr. 12, 1980. 7. Pastusiak T.: Sprawozdanie z prac badawczych wraków i obiektów podwodnych w rejonie Rybitwiej Mielizny (Ryf Mew) na Zatoce Puckiej w roku 2015, Załącznik nr 1, 2016.

8. UMOR, 2002. Urząd Morski w Gdyni, 2002. Wraki na Zatoce Puckiej w rejonie Rybitwiej Mielizny (na podstawie pomiarów wykonanych przez Urząd Morski w Gdyni z pokładu jednostki SONAR 2 dnia 22.08.2002 roku), Załącznik nr 1.

9. Watson D. F.: Computing the n-dimensional Delanuay tessellation with application to Voronoi polytopes, The Computer Journal, Vol. 24, No. 2, 1981.