

Magdalena KAUP, Dorota ŁOZOWICKA

## ZNACZENIE I WPŁYW ANALIZ PRZYCZYNOWO-SKUTKOWYCH NA POPRAWĘ BEZPIECZEŃSTWA PASAŻERSKIEJ ŻEGLUGI ŚRÓDLĄDOWEJ

### Streszczenie

Prezentowany artykuł dotyczy wpływu analiz przyczynowo-skutkowych na poprawę bezpieczeństwa pasażerskiej żeglugi śródlądowej. Przedstawiono w nim znaczenie diagramu Ishikawy w ocenie sytuacji nadzwyczajnych. Na przykładzie katastrofy śródlądowego statku pasażerskiego "Bułgaria", w sposób graficzny wyszczególniono poszczególne przyczyny i podprzyczyny oraz ich wzajemne relacje, które miały istotny wpływ na przebieg zdarzenia. Ponadto dokonano analizy możliwości ewentualnej ewakuacji ze statku „Bułgaria”, w której wyznaczono możliwe czasy i drogi ewakuacji pasażerów ze statku. Analiza to pozwoliła przede wszystkim na wyznaczenie tych czynników, których można było uniknąć, a poprzez to zmniejszyć lub całkowicie wyeliminować tragiczne skutki.

### WSTĘP

Trendy i kierunki rozwoju pasażerskiej żeglugi śródlądowej są ściśle powiązane ze współczesnymi standardami społeczno-gospodarczymi. Odzwierciedlają one istniejące potrzeby całego społeczeństwa na określone rodzaje usług zarówno w celach transportowych, jak i turystycznych.

Dokonujący się postęp zarówno techniczno-technologiczny, jak i organizacyjny, sprzyja tendencjom wzrostowym w wybranych relacjach przewozowych w żegludze śródlądowej. Jednak specyfika infrastruktury śródlądowej, a przede wszystkim ograniczone parametry dróg wodnych powodują, że realizowane przewozy pasażerskie mają różną formę i narażone są w różnym stopniu na szereg zagrożeń o charakterze bezpośrednim lub pośrednim.

Ze względu na postęp techniczny, po drogach wodnych porusza się coraz więcej nowych i dobrze wyposażonych jednostek pasażerskich, przy czym nie w każdym państwie czy regionie. Istnieje wiele państw, w których eksploatowana jest przestarzała flota, co powoduje większe ryzyko wystąpienia awarii lub wypadku.

Z roku na rok podwyższane są standardy bezpieczeństwa, wydawanych jest coraz więcej dokumentów zaostrzających przepisy, jednak wciąż zdarza się zbyt duża liczba wypadków, która pochłania wiele ofiar i często z powodu błędów, których można było uniknąć, na co wskazują wydane przez organa żeglugi śródlądowej orzeczenia.

Celem artykułu jest przedstawianie analizy przyczynowo-skutkowej wypadku śródlądowej jednostki pasażerskiej, z wykorzystaniem diagramu Ishikawy na przykładzie wypadku statku pasażerskiego Bułgaria, a także wyznaczenie możliwych czasów i dróg ewakuacji pasażerów ze statku. Analiza to pozwoliła na wskazanie podstawowych przyczyn i podprzyczyn wypadku, a przede wszystkim tych czynników (błędów), których można było uniknąć, a poprzez to zmniejszyć lub całkowicie wyeliminować pewne skutki.

### 1. ZNACZENIE ANALIZY PRZYCZYNOWO-SKUTKOWEJ W OCENIE SYTUACJI NADZWYŻAJNYCH NA DROGACH WODNYCH ŚRÓDLĄDOWYCH

W analizie bezpieczeństwa jedną z powszechnie stosowanych metod jest analiza przyczynowo-skutkowa. Pozwala ona, na podstawie zaistniałych zdarzeń, określić wiele istotnych aspektów bezpieczeństwa wybranego obiektu podczas jego eksploatacji, i tym samym wpływa na podniesienie wydajności innych, pozostałych

obiektów tej samej klasy. Diagram Ishikawy jest graficzną analizą wpływu różnych czynników oraz ich wzajemnych relacji. Wyróżnia on kategorie przyczyn (zgodnie z zasadą 5M+E) takie jak: człowiek (Man), materiał (Material), sprzęt/maszyna (Machine), stosowana metoda (Method), zarządzanie (Management), środowisko/otoczenie (Environment). Do każdego analizowanego problemu należy dostosować odpowiedni zestaw kategorii przyczyn. Wstępnie metodę tę wykorzystywano do ustalenia i określenia zależności pomiędzy wymaganiami klienta firmy a jakością danego gotowego produktu, w celu ustalenia jego podstawowych cech. Ze względu, iż diagram ten porządkuje w logiczny sposób przyczyny lub czynności problemu, a także ustala jego chronologię jest on przydatnym narzędziem w ocenie bezpieczeństwa wszelkiego rodzaju obiektów i procesów. Analizy tego typu wykorzystywane są przede wszystkim w ogólnie pojętym zarządzaniu jakością [4].

Analiza przyczynowo-skutkowa stosowana jest do określenia i ustalenia kolejności występowania poszczególnych czynników wpływających na określoną sytuację i powodujących skutki. Daje ona możliwość pokazania wzajemnych powiązań pomiędzy nimi, aby można było zbadać każdy problem i o każdym stopniu szczegółowości. Pozwala odpowiedzieć na pytanie dlaczego doszło do zaistnienia danej sytuacji i jakie przyniosła ona skutki.

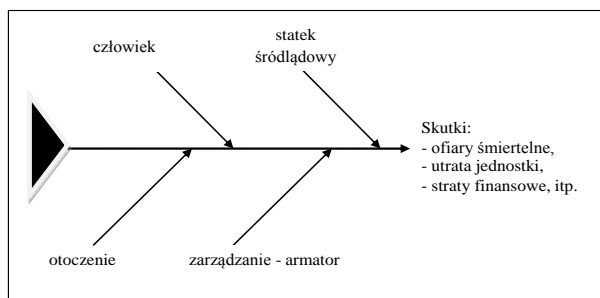
W pasażerskiej żegludze śródlądowej istnieje wiele rodzajów zagrożeń. Należą do nich zagrożenie techniczne, nawigacyjne, eksploatacyjne, warunki hydro-meteorologiczne czy błędy ludzkie. Szerzej na ten temat opisane jest w publikacjach Łozowickiej D. i Kaup M [2,3].

Zastosowanie analizy przyczynowo-skutkowej do oceny wypadków statków śródlądowych wydaje się właściwym rozwiązaniem. Ogólnie wiadomym jest, iż żegluga śródlądowa jest jedną z najbardziej bezpiecznych i przyjaznych środowisku gałęzi transportu, to jednak każdego roku odnotowuje się szereg incydentów czy wypadków z udziałem jednostek pasażerskich i towarowych. Na rysunku 1 przedstawiono główne źródła wypadków w żegludze śródlądowej, którymi mogą być człowiek, jednostka śródlądowa, niewłaściwe zarządzanie jednostką przez właścicieli lub armatora, jak również czynniki otoczenia.

Dzięki tej analizie można wskazać najczęstsze powody tych wypadków, którymi są:

- nieszanowanie przepisów i aktów prawnych,
- zły stan techniczny jednostki,
- niewłaściwe wyposażenie jednostki w środki ratownicze i ratunkowe,

- brak profesjonalizmu członków załogi,
- nietrzeźwość członków załogi i/lub pasażerów,
- trudne warunki hydro-meteorologiczne,
- błędy nawigacyjne,
- zdarzenia losowe, itp..



Rys. 1. Zestawienie przyczyn wystąpienia wypadku w żegludzie śródlądowej [opracowanie własne]

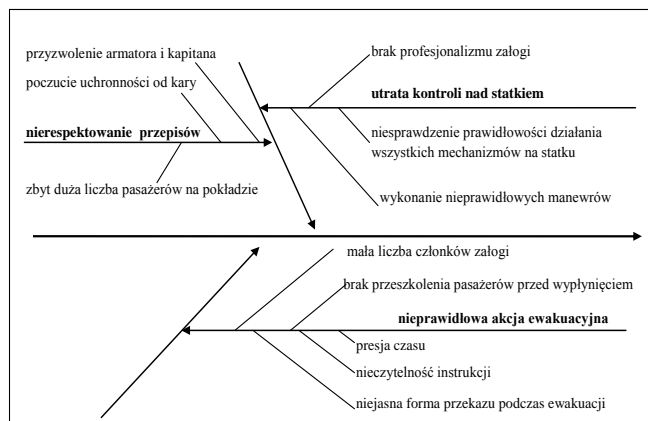
Czytelność, przejrzystość i łatwość analizy oraz procedura jej tworzenia pozwala na proste i szybkie wyodrębnienie szeregu czynników sprawczych i ich kolejności, a także wskazanie relacji pomiędzy nimi i skutków jakie wywołały.

Jednak klasyfikacja poszczególnych przyczyn do właściwych grup lub podgrup może stanowić niemały problem, a w sytuacji kiedy analizowany przypadek jest bardzo złożony nie zawsze używa się przejrzystości i czytelności diagramu.

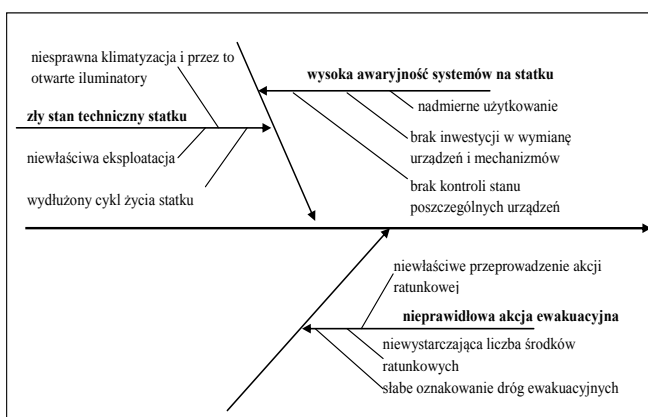
## 2. ZASTOSOWANIE DIAGRAMU ISHIKAWY DO ANALIZY KATASTROFY STATKU PASAŻERSKIEGO "BULGARIA"

Spośród wypadków statków pasażerskich, które miały miejsce na europejskich śródlądowych drogach wodnych do analizy wybrano wypadek statku "Bulgaria", ze względu na jego spektakularny charakter.

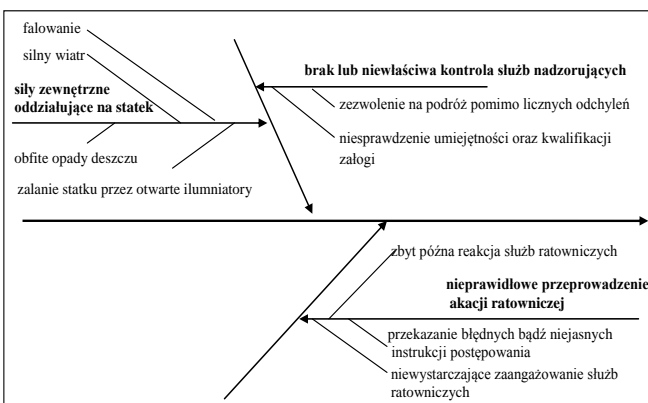
Poddana analizie sytuacja nadzwyczajna miała miejsce na rzece Wołga w lipcu 2011 roku. Doszło wówczas do zatonięcia statku pasażerskiego, na pokładzie którego znajdowało się 201 pasażerów i członków załogi. Sytuacja miała miejsce podczas sztormu, kiedy to przez otwarte iluminatory (27 na lewej burcie, 11 na prawej burcie), które znajdowały się poniżej pokładu głównego, wdarła się woda powodując utratę stateczności i zatonięcie jednostki. Iluminatory te były otwarte z powodu niesprawnej klimatyzacji. W wyniku wypadku utracono jednostkę i uratowano zaledwie 79 osób. Na wystąpienie i przebieg całego zdarzenia miało wpływ wiele różnych czynników. Poniżej, z wykorzystaniem diagramu Ishikawy, przedstawiona zostanie szczegółowa analiza głównych przyczyn, które doprowadziły i których można było uniknąć w przypadku tego zdarzenia. Do głównych przyczyn wypadku należy zaliczyć: błędy załogi, zły stan techniczny jednostki i złe warunki pogodowe. Na rysunkach 2, 3 i 4 przedstawiono czynniki, które doprowadziły do wypadku statku "Bulgaria".



Rys. 2. Przyczyny i podprzyczyny wypadku "Bulgarii" z winy załogi [opracowanie własne]



Rys. 3. Przyczyny i podprzyczyny wypadku "Bulgarii" pochodzące z jednostki śródlądowej [opracowanie własne]



Rys. 4. Przyczyny i podprzyczyny wypadku "Bulgarii" w wyniku wpływu otoczenia [opracowanie własne]

Analizując zaistniały wypadek najważniejsze jest odnalezienie tych czynników, które w największym stopniu przyczyniły się do powstania sytuacji nadzwyczajnej. Diagram Ishikawy charakteryzuje się tym, że poszczególnym przyczynom można nadać wagi. Jednakże w tym wypadku trudno jest stwierdzić, który z tych czynników jest ważniejszy i miał zdecydowanie większy wpływ na spowodowanie tego wypadku.

Wypadek śródlądowego statku pasażerskiego "Bulgaria" przyniósł ogromne straty finansowe (np. koszty akcji ratowniczej, koszty ubezpieczenia), materialne (utrata jednostki) i przede wszystkim ludzkie. Przypadek ten ukazuje, iż popełniono wiele błędów, pozwalając na eksploatację tej jednostki. Była ona niestety słabej konstrukcji, z niesprawnym wyposażeniem i niewłaściwą liczbą środków ratunkowych. Ponadto brak profesjonalizmu załogi i niewłaściwa

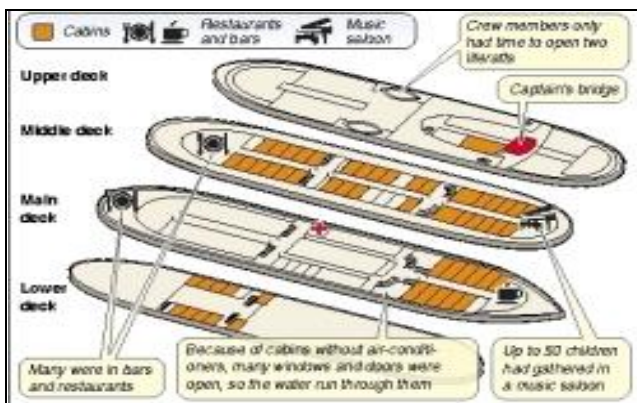
ewakuacja pasażerów dodatkowo zwiększyły skalę skutków. Uniknięcie tych błędów nie było zadaniem trudnym, jednak wymagało większego zaangażowania służb i organów kontroli oraz wykonania pewnych inwestycji na remont i wymianę odpowiednich mechanizmów i urządzeń. Zdarzeń losowych czy wpływu sił natury niestety nie można przewidzieć, ale można próbować zniwelować ich niszczący wpływ i skutki, przede wszystkim poprzez odpowiednie zarządzanie jednostką, czego w tym przypadku zabrakło.

### 3. ANALIZA MOŻLIWOŚCI EWAKUACJI ZE STATKU PASAŻERSKIEGO „BUŁGARIA”

Przedstawiona w poprzednich rozdziałach analiza wykazała, że możliwe było uniknięcie wielu czynników sprawczych. Jednakże niekorzystny zbieg okoliczności doprowadził do tak dużej liczby ofiar śmiertelnych. Wiadomym jest, że nie jest możliwe całkowite wyeliminowanie zagrożeń a przez to uniknięcie awarii i wypadków. W związku z tym, oprócz przeprowadzania działań w kierunku poprawy bezpieczeństwa, należy jednocześnie uczyć postępowania w przypadku zaistnienia sytuacji niebezpiecznej. Ważna jest tu wiedza o ratownictwie i umiejętność przeprowadzenia przez załogę ewentualnej ewakuacji. Należy zatem dążyć do poprawy systemów i środków ewakuacyjnych na statkach (w tym zapewnienie odpowiedniej ilości środków ratunkowych, tworzenie procedur ewakuacyjnych, właściwe oznakowanie dróg ewakuacyjnych oraz konstrukcyjne zapewnienie ich odpowiedniej przepustowości).

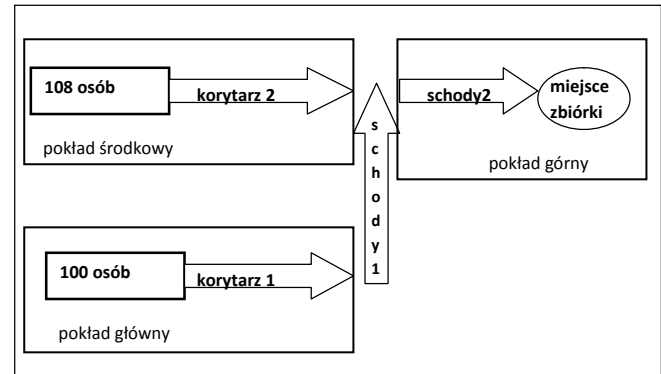
Poniżej przedstawione zostaną możliwości ewakuacji ze statku „Bułgaria”. W tym celu wykorzystano metodę do obliczania czasu ewakuacji dla szybkich jednostek pasażerskich (HSC) zalecaną przez IMO. Jest to metoda opisana w okólniku MSC/CIRC 1166 [1]. Oprócz odpowiednich wymagań dotyczących środków ewakuacji, drogi ewakuacyjne w pasażerskich jednostkach szybkich muszą być sprawdzane na podstawie analizy ewakuacji już we wczesnej fazie projektowania, w zgodzie z Międzynarodowym Kodeksem Bezpieczeństwa jednostek szybkich. Metoda została wybrana ze względu na podobieństwo konstrukcji (a w szczególności rozplanowanie dróg ewakuacyjnych) na jednostkach szybkich oraz śródlądowych statkach pasażerskich [2].

Obiektem analizy jest jednostka, który została zbudowana w 1955 roku w słowackiej stoczni w Komarnie. Statek posiadał następujące wymiary główne: długość całkowita  $L_c=80,2$  m, szerokość  $B=12,5$  m, zanurzenie  $T=1,9$  m. Na pokładzie mogło przebywać 120 osób. W momencie katastrofy na statku znajdowało się 208 osób. Na rysunku 5 przedstawiono poglądowy schemat rozplanowania poszczególnych pokładów.



Rys. 5. Poglądowy schemat rozplanowania pokładów statku pasażerskiego „Bułgaria”[6]

W pierwszym kroku analizy należy założyć początkowe rozmieszczenie ludzi na poszczególnych pokładach, a następnie przedstawić rozplanowanie dróg ewakuacyjnych jako hydrauliczny system, w którym drogi ewakuacyjne mogą symbolizować rurociągi i klatki schodowe, zawory- drzwi i ogólnie pojęte przeszkody natomiast zbiorniki są traktowane jako miejsca użytku publicznego. Załóżmy, że pasażerowie są rozlokowani w strefie pasażerskiej na dwóch pokładach (100 osób na głównym pokładzie oraz 108 na środkowym). Na górnym pokładzie znajdują się miejsca zbiórki i środki ratunkowe (rys. 6).



Rys. 6. Schemat możliwości ewakuacji statku „Bułgaria” [opracowanie własne]

Tab.1. Charakterystyka elementów dróg ewakuacyjnych [opracowanie własne]

Element	L [m]	W <sub>c</sub> [m]	F <sub>s</sub> [osoba/(m/s)]	S [m/s]	F <sub>c</sub> [osoba/s]	N [osoba]
korytarz1	10	4	1,3	0,67	0,871	100
korytarz 2	40	4	1,3	0,67	0,871	108
schody 1	4,5	3,5	0,88	0,44	0,387	100
schody 2	4,5	3,5	0,88	0,44	0,387	208

gdzie:  
 L- długość drogi ewakuacyjnej [m],  
 W<sub>c</sub> –szerokość drogi ewakuacyjnej [m],  
 S – prędkość osób [m/s],  
 F<sub>c</sub> – obliczony przepływ ludzi przez dany element drogi ewakuacyjnej w jednostce czasu [osoba/s],  
 F<sub>s</sub> – specyficzny przepływ ludzi przez dany element drogi ewakuacyjnej w jednostce czasu z uwzględnieniem szerokości drogi ewakuacyjnej [osoba / (m/s)].

Wartość F<sub>s</sub> i S została zaczerpnięta z tabeli 2. Wartość F<sub>c</sub> obliczono za pomocą wzoru (1).

$$F_c = F_s \times W_c \quad (1)$$

Tab.2. Wartość prędkości S [5]

Lp.	Typ drogi ewakuacyjnej	Prędkość osób S (m/s)	Specyficzny przepływ F <sub>s</sub> (osoba/(m/s))
1.	Schody w dół	0,55	1,1
2.	Schody w górę	0,44	0,88
3.	Korytarze, drzwi	0,67	1,3

Gdzie:

t<sub>f</sub> – czas przejścia grupy osób o liczebności N przez dany element drogi ewakuacyjnej [s],  
 t<sub>w</sub> –czas dojścia pojedynczej osoby daną drogą ewakuacyjną do miejsca zbiórki [s].

Czas t<sub>w</sub> jest iloczynem długości drogi ewakuacyjnej oraz prędkości osoby podanej w tabeli 2.

Czas t<sub>f</sub> oblicza się dla każdego elementu drogi ewakuacyjnej używając do tego celu wartości F<sub>s</sub> oraz W<sub>c</sub> z wykorzystaniem wzoru (2).



$$t_F = N / F_c \quad (2)$$

**Tab. 3.** Obliczenia czasów  $t_F$  oraz  $t_w$  [opracowanie własne]

Lp.	Element	L [m]	$F_c$ [osoba/s]	N [osoba]	S [m/s]	$t_w$ [s]	$t_F$ [s]
1.	korytarz 1	10	0,871	100	0,67	15	115
2.	korytarz 2	40	0,871	108	0,67	15	124
3.	schody 1	4,5	0,387	100	0,44	10	258
4.	schody 2	4,5	0,387	208	0,44	10	537

Do dalszych obliczeń całkowitego czasu ewakuacji  $t_F$  przyjmuje się największą z otrzymanych wartości. W założonym scenariuszu 100 pasażerów przechodzi schodami z pokładu głównego na pokład środkowy i dołącza do 108 przychodzących z holu. Następnie wszyscy przemieszczają się główną klatką schodową na pokład górny do miejsc zbiórek.

Całkowity czas ewakuacji  $t_F$  jest sumą czasu  $t_F$  (maksymalnego) oraz  $t_w$  (dla najdłuższej drogi ewakuacyjnej). Dla rozważanego przykładu wynosi on 562 s (ponad 9 min).

Otrzymany wynik należy potraktować orientacyjnie. Jest to czas, jaki mógłby zostać uzyskany w warunkach idealnych, czyli bez uwzględnienia przechyłu statku, ruchu przeciwbieżnego, czy też szeroko pojętego czynnika ludzkiego (różna kondycja psychiczna i fizyczna ewakuujących się, wystąpienie paniki, zachowań irracjonalnych itp.).

Wiadomym jest jednak, że w przypadku katastrofy statku "Bulgaria", nie było idealnych warunków. Czynniki sprawczymi były przede wszystkim złe warunki atmosferyczne i błędy ludzkie, co pokazała przedstawiona analiza przyczynowo-skutkowa. Wiedza dotycząca właściwej ewakuacji ze statku, zarówno członków załogi, jak i pasażerów, przyczyniłaby się w dużej mierze do zmniejszenia liczby ofiar. Krótkie przeszkolenie pasażerów przed wypłynięciem statku i zastosowanie prawidłowej ewakuacji pasażerów przyniosło by zdecydowanie lepsze efekty.

## PODSUMOWANIE

Zwiększenie poziomu bezpieczeństwa pasażerskiej żeglugi śródlądowej staje się dużym wyzwaniem w obliczu wzrastającej liczby użytkowników oraz niskim poziomem rozbudowy i modernizacji infrastruktury portów i dróg wodnych, a także przestarzałych jednostek śródlądowych. Na szczęście w wielu krajach Europy prowadzona jest polityka gospodarcza i transportowa w zakresie żeglugi śródlądowej, która spełnia wszelkie oczekiwania społeczeństwa pod względem jakości usług i poziomu bezpieczeństwa.

Rezultatem przeprowadzonej w artykule analizy jest określenie podstawowych, możliwych do uniknięcia czynników sprawczych wypadku śródlądowego statku pasażerskiego "Bulgaria" oraz możliwości uniknięcia pewnych skutków, przy odpowiednio przeprowadzonej ewakuacji ze statku.

Analiza potwierdza ponownie największy wpływ czynnika ludzkiego na zajście i przebieg wypadku, zarówno przed (np. wydanie dokumentów potwierdzających zdolność statku do odbycia podróży z pasażerami na pokładzie) i podczas eksploatacji (nieprzebranie obowiązków przepisów prawnych) oraz przeprowadzania akcji ratowniczej. W momencie niedopełnienia obowiązków i niespełnienia wymagań, jakie są stawiane właścicielom jednostek pasażerskich, załozce i służbom odpowiedzialnym za nadzór nad przygotowaniem i bezpieczną eksploatacją, narażeni są wszyscy uczestnicy rejsu i ich bagaż, ewentualnie przewożony ładunek oraz środowisko.

## BIBLIOGRAFIA

1. International Maritime Organisation (IMO), Guidelines for a simplified evacuation analysis of high-speed passenger craft, MSC Circular n. MSC/Circ.1166. 27-th June 2005.
2. Kaup M., Łozowicka D.: Analysis of risk passengers and evaluation of the possibility of evacuation of high speed crafts, Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin, 39(111) 2014, Szczecin 2014.
3. Kaup M., Łozowicka D., Analysis of cause-and-effect of accidents of passenger ships in the Baltic Sea, Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie 44 (116), 2015.
4. Kindlarski E., Wykresy Ishikawy i Pareto: Charakterystyka metod, przykłady praktycznych zastosowań do analizy problemów jakościowych, OWPW, Warszawa 1993.
5. SFPE Fire protection Engineering Handbook, 2nd edition NFPA, 1995.
6. <http://tassgraphics.ru/item?id=24580>, dostęp z dn. 10.09.2015.

## THE IMPORTANCE AND IMPACT OF CAUSE AND EFFECT ANALYSIS FOR IMPROVING THE SAFETY OF INLAND PASSENGER WATER TRANSPORT

### Abstract

The article concerns the impact of causal analysis to improve the safety of inland passenger shipping. It presents an importance of Ishikawa's diagram in assessing of emergency situations. Based on example of catastrophe of inland passenger ship "Bulgaria", the various causes are graphically presented and their relations, which have had a significant impact on this event. In addition, an analysis of the possibility of a evacuation from the ship "Bulgaria" is done, which sets of the possible times and evacuation routes of passengers from the ship. Analysis is allowed on the determination of these factors, which could have been avoided, and thus reduce or eliminate some consequences.

Autorzy:

dr inż **Magdalena Kaup** – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Techniki Morskiej i Transportu, Katedra Logistyki i Ekonomiki Transportu, al. Piastów 41, 71-065 Szczecin, e-mail: mkaup@zut.edu.pl

dr inż. **Dorota Łozowicka** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Instytut Nawigacji Morskiej, ul. Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, e-mail: d.lozowicka@am.szczecin.pl