

## ANALIZA PRZYCZYN AWARII OZNAKOWANIA NAWIGACYJNEGO

*W referacie przedstawiono awarie oznakowania nawigacyjnego na Zatoce Gdańskiej, które miały miejsce w 2014 roku. Wyznaczono ich dostępność jako miarę awaryjności systemu nawigacyjnego. Przedstawiono również funkcje systemu monitorowania oznakowania nawigacyjnego Urzędu Morskiego w Gdyni.*

### WSTĘP

Korzystanie z oznakowania nawigacyjnego jest jednym ze sposobów prowadzenia żeglugi, a jednocześnie jednym z działań podejmowanych przez administrację morską dla regulowania efektywnego i bezpiecznego ruchu jednostek pływających na swoich akwenach morskich. Pod pojęciem „oznakowanie” rozumie się również sygnały radiowe lub świetlne przeznaczone do celów nawigacyjnych, jak na przykład systemy pozycjonowania czy nabieżniki laserowe.

Oznakowanie nawigacyjne stałe i pływające stosuje się dla wskazania m.in. bocznych krawędzi torów wodnych lub kanałów, przeszkód naturalnych lub innych przeszkód nawigacyjnych, akwenów specjalnych, innych obiektów ważnych dla bezpieczeństwa żeglugi. Dla ułatwienia identyfikacji rodzaju potencjalnego zagrożenia znaki nawigacyjne muszą spełniać wymagania określone przez Organizację IALA i przepisy krajowe dotyczące m.in. kształtu znaku nawigacyjnego, jego koloru, kształtu i koloru znaku szczytowego, oznaczeń literowych i cyfrowych, koloru i rytmu światła. Znaki nawigacyjne umieszcza się najczęściej w celu wskazywania zagrożeń niewidocznych na powierzchni morza, stąd wszelkie niesprawności oznakowania nawigacyjnego takie jak niewłaściwa pozycja znaku, zmiana jego wyglądu, brak światła lub zmieniona charakterystyka świecenia mogą doprowadzić do niebezpiecznych zdarzeń a nawet katastrof.

Znak nawigacyjny to zespół urządzeń, konstrukcji i systemów elektrycznych i elektronicznych. Na system oznakowania nawigacyjnego składa się wiele różnego typu znaków. Mimo podejmowanych przez administrację morską działań, bezawaryjne funkcjonowanie systemu oznakowania nawigacyjnego jest w praktyce niemożliwe z uwagi na złożoność samego systemu jak i wpływ czynników niezależnych od człowieka. Niniejsza analiza wykorzystuje dane dotyczące niedostępności urządzeń oznakowania nawigacyjnego w obszarze administrowanym przez Urząd Morski w Gdyni w okresie (1-3 lata) pozwalającym na ocenę zjawisk powtarzalnych i incydentalnych.

Liczba ogólna znaków nawigacyjnych stałych i pływających, administrowanych przez Urząd Morski w Gdyni i inne podmioty wynosi obecnie 377.

### 1. ZNAKI NAWIGACYJNE

Znaki nawigacyjne i systemy oznakowania podzielone są na kategorie (1 - 3) odpowiadające ważności znaku dla bezpieczeństwa żeglugi.

- Do kategorii 1 zaliczone zostały systemy oraz znaki nawigacyjne, których funkcjonowanie jest niezbędne dla stworzenia opty-

malnych warunków żeglugi na podejściach do portów o podstawowym znaczeniu dla gospodarki narodowej.

- Kategorię 2 tworzą systemy i znaki nawigacyjne, które są ważnym elementem infrastruktury podejścia do portów innych, niż zaliczonych do kategorii 1,
- Kategoria 3 przypisana została systemom i znakom nawigacyjnym, których istnienie uznane zostało za konieczne dla należytego funkcjonowania infrastruktury podejścia do małych portów i przystani. [1]

Podział ilościowy znaków na kategorie przedstawia się następująco: kategoria 1. – 66 znaków, kategoria 2. – 100 znaków, kategoria 3. – 211 znaków.

Dostępność znaku definiujemy jako stosunek czasu bezawaryjnej pracy do całkowitego czasu. Ponieważ dla naprawy nie zawsze można dotrzeć na miejsce awarii w dowolnym czasie, to czas przerwy może być długi i wynosić nawet wiele dni, dlatego statystyczne przedstawienie danych może sugerować znacznie gorszą sytuację niż jest w rzeczywistości. Pojęcie awarii nie zawsze oznacza niedostępność oznakowania nawigacyjnego. Niesprawności elementów systemu oznakowania nawigacyjnego mogą w różnym stopniu wpływać na bezpieczeństwo żeglugi. Np. dryfująca pława nie tylko nie ostrzega przed niebezpieczeństwem ale może wprowadzać dodatkowe ryzyko dla żeglugi wprowadzając w błąd co do miejsca występowania zagrożenia, podobnie jak zmieniona charakterystyka świecenia znaku nawigacyjnego, która może spowodować jego błędną identyfikację i niewłaściwą ocenę położenia jednostki pływającej. Z drugiej strony, przepalenie się pojedynczej żarówki lub rozładowanie się akumulatora przy zapewnieniu technologii dublujących lub rezerwowych nie ogranicza podstawowych funkcji znaku nawigacyjnego i nie wpływa bezpośrednio na ryzyko negatywnych zdarzeń. Każdorazowo, więc awaria urządzenia nawigacyjnego musi być rozpatrywana w kontekście skutków dla podstawowych funkcji znaku nawigacyjnego. Przykładowo służby Bazy Oznakowania Nawigacyjnego UMG wykonują prace serwisowe związane zarówno z awariami jak i planowanymi (profilaktycznymi) działaniami w odniesieniu do znaków nawigacyjnych. Zestawienie ilościowe wykonanych czynności w roku 2014 obrazuje poniższa tabela 1.

Z przykładowego zestawienia wynika, że sumaryczna liczba awarii elementów oznakowania nawigacyjnego wynosiła 146 podczas, gdy w tym samym czasie liczba awarii skutkujących brakiem możliwości pełnienia podstawowych funkcji przez znak nawigacyjny i wymagających wydania ostrzeżeń nawigacyjnych wynosiła tylko 23.

## 1.1. Uszkodzenia mechaniczne znaków nawigacyjnych lub ich urządzeń.

Zestawienie powyższe potwierdza charakter zidentyfikowanych wcześniej grup problemów i wskazuje na powtarzalność awarii w odniesieniu do niektórych znaków nawigacyjnych. Odnotowano przykładowo 7 awarii pławy przegubowej „N10”, głównie z powodu niedoskonałości układu zasilania lampy nawigacyjnej, a jednocześnie brak tego rodzaju problemów na innych pławach przegubowych tego samego typu po dokonanej modernizacji ich konstrukcji i wyposażenia, 7 awarii pławy „HL-S” gdzie przyczyną były brak światła (spalone żarówki, rozładowane akumulatory) jak również zerwania z kotwicy, 5 awarii pławy „MG-B” z podobnych przyczyn, powtarzające się awarie pław w Porcie Północnym w okresie zimowym wyniku niewystarczającej wydajności ogniów foto-galwanicznych lamp autonomicznych typu Carmanah 701 w warunkach oświetlenia dla tej szerokości geograficznej, itp.[7].

## 2. DOSTĘPNOŚĆ URZĄDZEŃ

Statystyki awarii powodujących zaprzestanie pełnienia zasadniczych funkcji przez znaki nawigacyjne prowadzone są w Urzędzie Morskim w Gdyni z wykorzystaniem elektronicznego Systemu Wymiany Informacji Bezpieczeństwa Żeglugi (SWIBŻ), który w module „AtoN” umożliwia automatyczne obliczanie wskaźników dostępności pojedynczych znaków i grup znaków za dowolny okres. Podstawą obliczeń są wprowadzane czasy awarii (niedostępności) i określenie typu dysfunkcji („całodobowa” lub „nocna”, uwzględniająca tylko ciemną porę doby) [4].

Obliczenia wykonywane są na podstawie metodyki IALA zawartej w **IALA Recommendation O-130 On Categorization and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation, Edition 1, December 2004** [6].

Dostępność oznakowania obliczana jest ze wzoru:

$$A = \frac{T\{t\} - T\{d\}}{T\{t\}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

- A - dostępność,
- T{t} - czas funkcjonowania urządzenia lub systemu AtoN,
- T{d} - łączny czas dysfunkcji powodujących utratę parametrów eksploatacyjnych AtoN.

Dla pojedynczego znaku nawigacyjnego powyższy wzór stosuje się bezpośrednio, wprowadzając czas funkcjonowania i czas dysfunkcji, natomiast obliczając dostępność systemu AtoN, należy czas funkcjonowania T{t} pomnożyć przez ilość znaków nawigacyjnych, wchodzących w skład danego systemu, natomiast czas dysfunkcji T{d} jest sumą czasu wszystkich awarii w systemie.

Przykładowy wynik obliczeń dostępności oznakowania za okres 2012 – 2015 w rozbiciu na kategorie ilustruje poniższa tabela 2.

Narzędzie statystyczne umożliwia też m.in. analizę awaryjności pojedynczych znaków nawigacyjnych, którego przykład pokazuje tabela 3.

Dla poprawnego funkcjonowania systemu oznakowania nawigacyjnego bardzo istotne są czynniki wpływające na dostępność znaków nawigacyjnych. Należą do nich m.in.:

- planowane (profilaktyczne) czynności obsługowe,
- szybkość reakcji w przypadku wystąpienia niesprawności,
- systemy rezerwowe dla zasadniczych instalacji i urządzeń,
- jakość (niezawodność) urządzeń instalowanych na znakach nawigacyjnych.

Dla skuteczności działań planowych i awaryjnych podejmowanych przez służby oznakowania nawigacyjnego bardzo ważna jest bieżąca informacja o stanie pracy znaku nawigacyjnego i jego kluczowych urządzeń, co wymaga efektywnego systemu monitoringu, co najmniej w stosunku do najważniejszych znaków nawigacyjnych.

Tab. 1. Zestawienie napraw znaków nawigacyjnych w 2014 roku[5]

Miesiąc m-c	Wymiana żarówki		Wymiana blyskacza		Wymiana akumulatora		Wymiana lampy		Obsługa / naprawa agregatu		Naprawa instalacji elektrycznych		Instalacja urządzeń na pławach		Przeeglądy ON /pław/		Prace warsztatowe przygotowanie urządzeń nawigacyjnych		Inne	
	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A	P	A
1		5	1		2	2	2	7	1		1	2	1		1				1	1
2	1	10			1	2	1		1		8	1	1		4		1		1	4
3	2	12			1	2			3		7	3	7	2	7	2	4	1	4	
4	4										1	2	10		9				8	
5	1	4			1	1					4		7		3	1	7		1	
6	1	6			3		2	1	2		1	1	1	1	2		8	2	8	
7		4	3		1	3	1		3	1	3	7	3	1	1		2		2	1
8		5		1	2		1				2	2					5			1
9	5	7			1		2	1	1			1	1	1	10	4	3		3	
10		2							1	1	5				8		5		4	
11		11					4				4				2	1	2			
12		4				1		1			3	4	3	1	2		5		1	
<b>Razem</b>	<b>14</b>	<b>70</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>39</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>6</b>	<b>49</b>	<b>8</b>	<b>42</b>	<b>3</b>	<b>33</b>	<b>7</b>

P – Planowane  
A – Awaria

**Tab. 2.** Dostępność oznakowania za okres 2012 – 2015

Awaria od:		Urząd:	Grupa:	Kategoria:	Aton:	 
2012-01-01 00:01		Grupuj	Sumuj	Grupuj	Sumuj	
Awaria do:		Urząd:	Grupa:	Kategoria:	Aton:	
2015-06-30 23:59		UMGDY_STATIC				
Urząd:	Kategoria:	Aton-ów w wierszu:	Aton-ów w wierszu z awarią:	Suma czasu trwania awarii:	Ile awarii:	Dostępność (%):
UMGDY_STATIC 1		66	22	2167h 35m 31s	43	99.893 %
UMGDY_STATIC 2		100	33	4604h 14m 58s	65	99.850 %
UMGDY_STATIC 3		211	34	4656h 4m 23s	54	99.928 %

**Tab.3.** Analiza awaryjności znaku nawigacyjnego

Awaria od:		Urząd:	Grupa:	Kategoria:	Aton:	 
2012-01-01 00:01		Grupuj	Grupuj	Grupuj	Grupuj	
Awaria do:		Urząd:	Grupa:	Kategoria:	Aton:	
2015-06-30 23:59		UMGDY_STATIC				
Urząd:	Grupa:	Kategoria:	Aton:	Suma czasu trwania awarii:	Ile awarii:	Dostępność (%):
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	1	plawa N10	565h 3m 31s	7	98.156 %
UMGDY_STATIC	HEL	2	plawa HL-S	233h 7m 39s	7	99.239 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK PORT PÓLNOCNY	1	plawa P-5	225h 20m 29s	5	99.265 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK PORT PÓLNOCNY	2	Basen Paliw Płynnych nr 1 - światło zielone	48h 6m 18s	5	99.843 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK PORT PÓLNOCNY	2	plawa MG-B	328h 17m 10s	5	98.929 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK PORT PÓLNOCNY	3	plawa P-23	86h 0m 21s	5	99.719 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	1	plawa N8	361h 33m 22s	4	98.820 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	2	plawa 4 (Górki Zach.)	129h 40m 46s	4	99.577 %
UMGDY_STATIC	KUŹNICA	3	plawa 2	552h 35m 5s	4	98.197 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	1	plawa N2	105h 58m 38s	3	99.654 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	1	plawa N7	155h 14m 53s	3	99.493 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	2	GÓRKI ZACH. - światło wejściowe zielone	393h 44m 7s	3	98.715 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	2	plawa 1 (Górki Zach.)	153h 57m 58s	3	99.498 %
UMGDY_STATIC	GDAŃSK NOWY PORT	2	plawa 2 (Górki Zach.)	82h 48m 2s	3	99.730 %
UMGDY_STATIC	GDYNIA	3	plawa OR-1	769h 48m 8s	3	97.488 %
UMGDY_STATIC	JASTARNIA	2	światło wejściowe zielone	55h 5m 39s	3	99.820 %
UMGDY_STATIC	KUŹNICA	3	plawa 1	542h 11m 16s	3	98.231 %
UMGDY_STATIC	WŁADYSŁAWOWO	2	plawa WŁA	253h 40m 36s	3	99.172 %

System monitoringu powinien być niezawodny i dostarczać ciągłych informacji takich jak:

- kontrola aktualnego napięcia,
- kontrola pozycji GPS znaku nawigacyjnego,
- informacji o statusie świecenia lampy,
- informacja o stanie żarówki i innych urządzeń.

System monitoringu powinien umożliwiać też statystyczną analizę usterkowości urządzeń poszczególnych typów.

### 3. DOSTĘPNOŚĆ MIARĄ AWARYJNOŚCI SYSTEMU RADIONAWIGACYJNEGO

Zgodnie z wymaganiami IMO oraz IALA, systemy naziemne poszerzające funkcjonalność GNSS powinny podlegać ocenie pod względem awaryjności poprzez obliczanie dostępności ich sygnałów dla użytkowników morskich. Także zaleceniem e-navigation jest funkcja integrity, a więc funkcja samooceny urządzeń i systemu, jest ona równie ważna jak inne parametry operacyjne systemu.

Na potrzeby radionawigacyjne polskiej administracji morskiej pracuje system transmisji poprawek DGPS-PL oparty o dwie stacje brzegowe Rozewie i Dziwnów nadające sygnały w reżimie ciągłym tj. (365dni/24h).

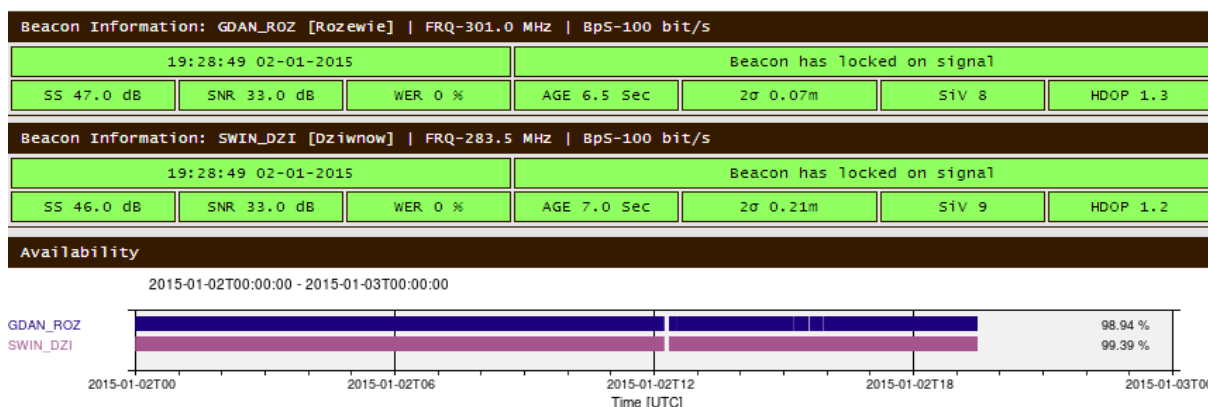
Głównymi zaletami dla których powstają systemy sieciowe ze zdalnym monitorowaniem, są:

- zwiększenie dokładności i dostępności wyznaczenia pozycji w morskich aplikacjach nawigacyjnych uzyskanych na podstawie poszerzonej, wielkoobszarowej informacji o pracy systemu (monitory zdalne),
- wzrostu wymagań eksploatacyjnych użytkowników ustalanych przez IALA, IMO dla systemów morskich o statusie operacyjnym,
- powszechność usług telekomunikacyjnych (IT) skutkuje zwiększeniem obsługiwanego obszaru przez różnicowe systemy DGNSS,
- centralizacja nadzoru i wymóg działania integralności oraz okresowej oceny dostępności systemów nawigacyjnych.[3]

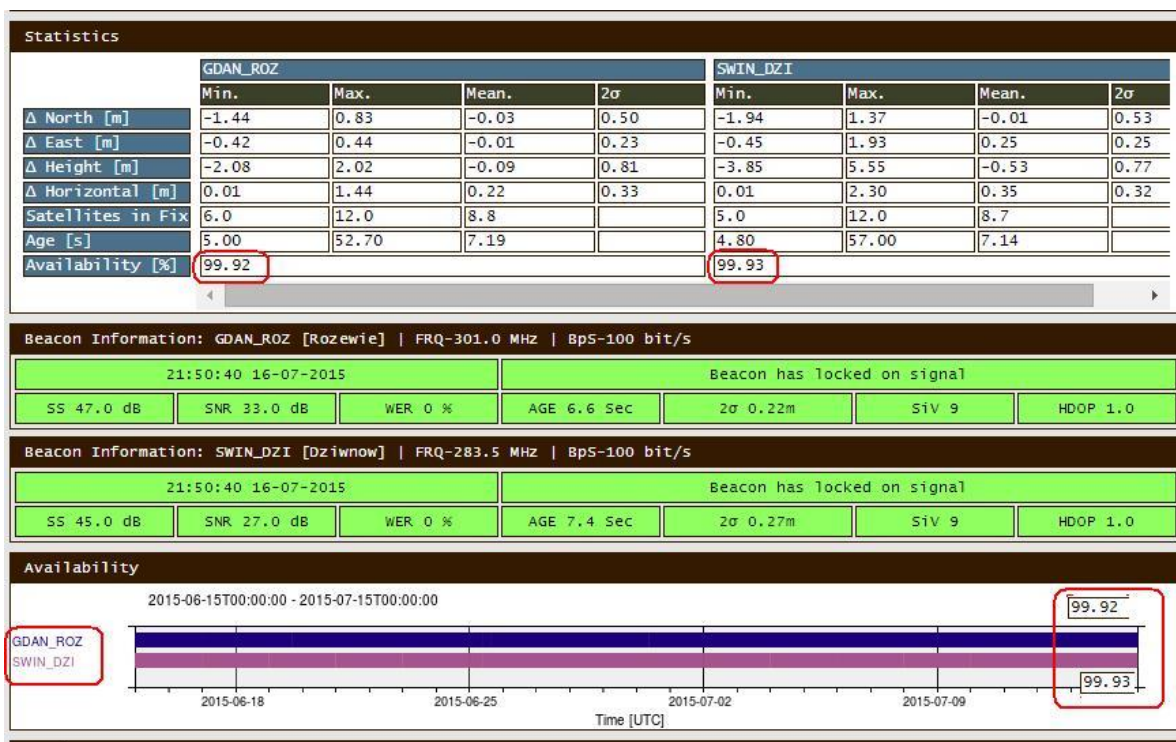
Wymagania oceny sygnału w eterze i jego dostępności stworzyły konieczność wprowadzenia przez UMG systemu monitorującego pracę krajowych stacji radionawigacji. Bazuje on na 4+1 (pięciu) odbornikach pomiarowych:

- 2 - dla rejonu Zatoki Gdańskiej (Port Gdynia i Port Północny),
- 2 - Wybrzeża Środkowego (Jarosławiec),
- 1 - dla toru wodnego dolnej Odry i Zatoki Pomorskiej (w Świnoujściu).[2]

Rekomendacja IALA R-121 zawiera zalecenie ustanowienia dwóch stref dostępności pracy systemu DGNSS. Na wodach o dużym ryzyku nawigacyjnym 99,97%, oraz na pozostałych akwenach: 99,80% (co odpowiada 17,5h usterek na rok). Uzyskiwane przez DGPS-PL jako lokalnego systemu referencyjnego parametry dokładności i dostępności pracy spełniają wymagania wszystkich faz nawigacji według dyrektywy IMO A.915(22) zawierając się w przedziale: 99,88 do 99,90 w okresach 30 dni.



**Rys. 1.** Sposób przedstawiania parametrów pozycji i dobowej (krótkoterminowej) dostępności sygnałów DGPS – 2 monitor: w Gdańsku 98,94% i Świnoujściu 99,39%



**Rys. 2.** Parametry oceny pozycji i 30 dniowej dostępności sygnałów DGPS

Dane z niezależnych 2 monitorów:

- w Gdańsku dla RS Rozewie dostępność wynosi 98,94% .
- w Świnoujściu dla RS Dziwnów dostępność wynosi 99,39%.[8]

## WNIOSKI

Analiza awarii oznakowania nawigacyjnego pozwala wyodrębnić kilka kategorii zdarzeń skutkujących zaprzestaniem lub znacznym ograniczeniem pełnionych przez znak nawigacyjny funkcji:

1. Nie są możliwa pełna eliminacja zdarzeń zerwania i przesunięcia z pozycji pław, z uwagi na siły działające na nie w czasie silnych sztormów lub przesuwania się pokrywy lodowej. Zdarzenia tego rodzaju są także następstwem kolizji jednostek pływających ze znakami nawigacyjnymi. Częściowym rozwiązaniem tego problemu jest stosowanie technologii mających na celu wzmocnienie konstrukcji i osprzętu (kotwice, łańcuchy, połączenia, itp.) znaków nawigacyjnych szczególnie narażonych na podobne zdarzenia. Dla znaków o szczególnym znaczeniu, jeśli warunki na to pozwalają, należy rozważyć możliwość zmiany typu z pływającego na stały lub na znak typu „spar buoy”.
2. Awarie wynikające z rozładowania akumulatorów lamp autonomicznych wskazują, że warunki oświetlenia na obszarze Zatoki Gdańskiej wymagają wyboru lamp w wariantcie z wydajniejszym systemem zasilania, jeśli znaki nawigacyjne mają być eksploatowane w reżimie całorocznym.
3. Przepalenia żarówek, awarie regulatorów, błyskaczy, itp. wymagają oceny czy niesprawności te wynikają z akceptowalnych norm eksploatacyjnych czy też należą do typu lub partii urządzeń o podwyższonym współczynniku awaryjności, co powinno eliminować je z dalszych zakupów.
4. Awarie świateł w wyniku uszkodzeń mechanicznych przez przepływające jednostki są trudne do uniknięcia. Częściowa eliminacja tego typu zdarzeń jest możliwa poprzez wybór urządzeń o wzmocnionej konstrukcji oraz korektę pozycji wystawienia znaku nawigacyjnego, jeśli kolizje powtarzają się i wynikają z utrudnionego manewrowania statków.
5. Dewastacja i kradzieże urządzeń nawigacyjnych, chociaż sporadyczne, wskazują na konieczność stosowania zabezpieczeń

utrudniających dostęp do tych elementów lub ich nieuprawniony demontaż.

## LITERATURA

1. Chintoan-Uta M.: Operational use of satellite SAR at EMSA, SEASAR Workshop – ESRIN, Frascati Jan. 2010.
2. IALA Recommendation O-130 On Categorization and Availability Objectives for Short Range Aids to Navigation, Edition 1, December 2004.
3. IALA Guidelines on Remote Monitoring and Control of Aids To Navigation” No 1008, 1998
4. IALA, Recommendation A-126; The Use of the Automatic Identification System (AIS) in Marine Aids to Navigation Services, edition 1.3, 2007.
5. Koncepcja techniczna e-Navigation w systemach oznakowania nawigacyjnego i radionawigacji morskiej w ramach projektu „Zintegrowany system oznakowania nawigacyjnego z elementami e Navigation” – prace przygotowawcze. Umowa Urzędem Morskim w Gdyni Nr ON/745/08/MD/2015.
6. <http://www.emsa.europa.eu>
7. <http://www.escort-sys.com>
8. <http://www.umgdy.gov.pl>

### Causes damage of navigational marks analysis

*Paper presents damage of navigational marks on Gulf of Gdansk in 2014 year. Accessibility was calculated like measure navigational system damage. Function of navigational marks monitoring system due to Gdynia maritime office was shown in the paper to.*

Autorzy:

**mgr inż Wojciech Pałka** – Urząd Morski w Gdyni, e-mail: [Wojciech.palka@umgdy.gov.pl](mailto:Wojciech.palka@umgdy.gov.pl)

**dr hab inż. Tadeusz Stupak** – Akademia Morska w Gdyni, Katedra Nawigacji, e-mail: [t.stupak@wn.am.gdynia.pl](mailto:t.stupak@wn.am.gdynia.pl)