

TADEUSZ PASTUSIAK  
Katedra Nawigacji, Akademia Morska w Gdyni  
tadeusz.pastusiak@wp.pl

## **Morskie mapy elektroniczne standardu S-411 i ich przydatność w nawigacji do oceny warunków zlodzenia Oceanu Arktycznego**

**Z a r y s t r e ś c i.** Pod koniec XX wieku rozpoczęto prowadzenie badań stanu pokrywy lodowej dróg wodnych, rzek, jezior, mórz i oceanów metodami teledetekcji satelitarnej. Pojawiło się dużo źródeł informacji w różnych formatach plików. Nie została jeszcze dokonana ocena porównawcza ich użyteczności. W procesie badawczym opracowano syntetyczny wskaźnik jakości źródła informacji wiążący rozdzielczość mapy, opóźnienie czasowe udostępnienia pliku i jakość funkcjonalności dla użytkownika. Odzwierciedla on dobrze jakość użytkową map i pozwala dokonać ich porównania. Różnice jakościowe treści map mają względnie mały wpływ na łączną ocenę źródła informacji. Rozdzielczość map jest z reguły akceptowalna. Największy wpływ na jakość treści mapy na potrzeby bieżącego planowania trasy statku w lodach ma jej aktualność.

Spośród wszystkich badanych źródeł najwyższą jakość mają mapy regionalne w formacie GIF wydawane przez NWS/NOAA, mapy generalne Oceanu

Arktycznego w formacie NetCDF wydawane przez OSI SAF i mapy generalne Oceanu Arktycznego w formacie GRIB-2 wydawane przez NCEP/NOAA. Wśród nich są mapy zawierające informację o jakości przedstawianego parametru. Wśród map zawierających wszystkie trzy podstawowe cechy pokrywy lodowej (koncentrację kry, grubość lodu i rozmiary poziome kry) liderem są mapy wektorowe w formacie GML, które są nowym standardem elektronicznych map wektorowych dla żeglugi statków w lodach.

Planując uruchomienie żeglugi komercyjnej na zalewach, rzekach i kanałach wskazane jest publikowanie map zlodzenia w przyjętym przez Międzynarodową Organizację Hydrograficzną standardzie elektronicznych map na potrzeby żeglugi statków w lodach S-411.

**S ł o w a k l u c z o w e:** mapy zlodzenia, standard IHO S-411, bezpieczeństwo transportu wodnego, Północna Droga Morska

### **1. Wstęp**

Pod koniec XX wieku rozpoczęto prowadzenie badań zlodzenia dróg wodnych, rzek, jezior, mórz i oceanów metodami teledetekcji satelitarnej. Pod pojęciem zlodzenia należy rozumieć pokrycie obszarów wodnych (mórz, jezior, rzek) lodem, zaś pod pojęciem pokrywy lodowej warstwę lodu znajdującą się na powierzchni wodnej. Pojawiały się coraz dokładniejsze metody pomiarowe. Systematycznie wzrastała liczba źródeł informacji swobodnie dostępnych w Internecie. Jednocześnie wykorzystywano wiele form zapisu danych. Niektóre z nich mają ograniczone zastosowanie ze względu na brak powszechnie dostępnych i łatwych

w obsłudze programów użytkowych i aplikacji mobilnych. W tym samym czasie były wprowadzane do użytkowania na statkach mapy elektroniczne i standaryzowane systemy nawigacyjne ECDIS<sup>1</sup>. Pierwsze proste programy mogły przedstawiać na tle mapy pozycję GPS jako kolejną warstwę informacyjną. Kolejne programy zawierały coraz więcej warstw informacyjnych. W następnej więc kolejności pojawiły się programy ECS. Tylko programy spełniające normy Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IHO 2000/1) mogły nazywać się ECDIS. Więcej informacji o systemach zobrazowania morskich

<sup>1</sup> Wykaz akronimów podano na końcu artykułu.

map i informacji nawigacyjnych można przeczytać w pracy A. Weinritza (2009).

Na początku stosowano rastrowe mapy nawigacyjne RNC, czyli georeferencyjne skanowane mapy papierowe. Są one wypierane przez wektorowe mapy elektroniczne ENC. Dopiero w roku 2014 opracowano standard elektronicznych map wektorowych zlodzenia na wodzie w formacie Geography Markup Language GML (IHO JCOMM 2014) do obrazowania w systemach nawigacyjnych jako kolejnej warstwy informacyjnej. Od początku 2016 roku są dostępne mapy kolejnych regionów Arktyki i Antarktyki. Dotychczas stosowane nawigacyjne programy GPS, ECS i ECDIS nie obsługują plików GML. Nielicznym wyjątkiem jest GIS-owski Qgis dostępny dla wielu systemów operacyjnych dla komputerów osobistych oraz Global Mapper, który jest w stanie wskazać pozycję i podstawowe parametry ruchu statku z odbiornika GPS podłączonego do komputera. W chwili obecnej załogi statków muszą posługiwać się dodatkowym oprogramowaniem GIS. Taki program, szczególnie gdy jest w stanie zobrazować pozycję statku na tle mapy zlodzenia, nabiera statusu programu uzupełniającego i wspomagającego oficjalnie uznane podstawowe mapy i systemy nawigacyjne wymagane konwencją SOLAS (<http://www.admiralty.co.uk/Pages/FAQ-Industry-Facts.aspx> oraz <http://www.amsa.gov.au/navigation/resources/ecdis/documents/ecdisuse.pdf>, dostęp 20.02.2016).

Ze względu na powszechne użytkowanie telefonów komórkowych, smartfonów i tabletów, między innymi pod systemem operacyjnym Android, pojawia się pytanie o dostępność oprogramowania GIS, GPS i ECS umożliwiającego wizualizowanie mapy zlodzenia szerokiej grupie użytkowników, m.in. entuzjastów sportów wodnych i na lodzie oraz wędkarzy podlodoowych. Wizualizacja zlodzenia rzek i wykorzystywanych komercyjnie dróg wodnych wydaje się być użyteczna szczególnie dzięki urządzeniom powszechnie stosowanym do pobierania plików map z Internetu, a następnie wizualizujących je we własnym oprogramowaniu wspomagającym nawigację.

Na tle powyższych faktów i pytań pojawia się główny cel pracy, jakim jest porównanie jakości informacyjnej map zlodzenia w nowym standardzie IHO (2014) z dotychczas powszechnie dostępnymi mapami w innych formatach.

## 2. Metoda badawcza

W przekonaniu autora użytkownicy map „ładowych” (np. topograficznych) przywykli, że dokładność pozycji zamieszczonego obiektu na mapie jest wysoka (do 20 lub kilku metrów, a nawet kilkunastu centymetrów w przypadku GPS bez poprawiania dokładności pozycji za pomocą DGPS albo triangulacji teodolitem) i nie wymaga specjalnych rozważań. Z tego powodu zwrócono w pracy uwagę na problemy niskiej precyzji danych i bardzo złej dokładności pozycji elementów treści map uzyskanych metodami teledetekcji satelitarnej na przykładzie źródeł danych różnych producentów i źródeł przedstawionych w różnych formatach plików. Pojęcie dokładności pozycji jest powszechnie stosowane w geodezji, a jego „odwróceniem” jest pojęcie „rozmycia” pozycji HDOP. Na potrzeby obecnej pracy zdecydowano się stworzyć „porównywalny” ze znaczeniem dla geodezji „wskaźnik rozmycia pozycji  $D'$ ”.

Praca badawcza opiera się na analizie jakościowej wybranych źródeł informacji. Do analizy zostały wykorzystane mapy reprezentujące wszystkie podstawowe formaty plików ogólnodostępnych w Internecie. Oceniana była użyteczność treści, skala i opóźnienie czasowe udostępniania map. Wyniki badań jakościowych zostały przedstawione w tabelach i na wykresach.

### 2.1. Kryteria oceny źródeł informacji lodowych

Metoda badawcza oceny jakościowej przyjęta w tej pracy była już wcześniej zastosowana przez autora (T. Pastusiak 2015a). W pierwszej kolejności ustalono cechy źródeł określające ich przydatność do oceny możliwości przejścia trasy statku w lodzie i wyznaczenia trasy podróży. W celu porównania źródeł informacji o zróżnicowanym charakterze przyjęto skalę stanów względnych w przedziale od 0 do 1 (R. Kolman 1994).

Informacje dotyczące zlodzenia mogą być przekazywane głosem przez radiostację, na papierze wydruków faksymilowych, na papierze w postaci otwartego tekstu lub w postaci plików w formatach TXT, BMP, GIF, JPG, JPG2000, TIFF, PNG, EPS, GEOTIFF, NetCDF, GRIB1, GRIB, GRB, GRIB2, HDF, SIGRID-3, SHAPE-FILE (SHP, SHX, DBF), KML, KMZ albo GML.

Niektórzy producenci kompresują dodatkowo powyższe pliki w formatach GRB.GZ, ZIP albo TAR.

Większość źródeł informacji lodowej nie podaje skali mapy. W celu porównania dokładności pozycji przedstawianych parametrów w różnych typach plików wprowadzono pojęcie rozdzielczości, czyli minimalnej identyfikowalnej jednostki odniesienia (odległości). Minimalną identyfikowalną jednostkę odniesienia jest w przypadku:

- map o jednoznacznie określonej tradycyjnej skali mapy, plików wektorowych (SIGRID-3, KML, KMZ, GML), obrazów graficznych rastrowych i ich przetworzeń wektorowych (BMP, JPG, PNG, GIF, TIF, EPS, PDF, itp.) – długość najkrótszego odcinka przybliżającego łuk izolinii o najmniejszym zaobserwowanym promieniu wyrażona w metrach;

- plików siatkowych (GRIB, NetCDF, HDF) – długość boku pojedynczego oczka siatki (gridu);

- plików rastrowych (BMP, JPG, PNG, GIF, TIF) z siatką uśrednionych informacji nie pokrywającą się z południkami i równoleżnikami – długość boku pojedynczego oczka siatki (gridu) jaka została podana przez producenta.

Przyjęto, że dostępność skali rozpatrywanej informacji (tab. 1) oraz zrozumiałość legendy

mapy (tab. 2) ułatwia określenie konkretnej wartości w stosunku do wartości granicznych i zwiększa precyzję oceny sytuacji poprzez uniknięcie błędu przydzielenia wartości.

Skalę typu pliku  $Q_3$  (tab. 3) opracowano przyjmując za kryterium jakości użyteczność i łatwość bezpośredniego zastosowania w ocenie możliwości pokonania lodów oraz do przetwarzania danych w programach użytkowych i aplikacjach mobilnych. Skala odzwierciedla również pracochłonność zastosowania źródła danych w procesie komputerowej oceny możliwości pokonania lodów.

Dla oceny wiarygodności (jakości) informacji nawigacyjnych na mapach morskich wprowadzono wskaźnik stref wiarygodności „Zones of Confidence” (IHO 2014/2, T. Pastusiak 2011). Przyjęto, że kryterium wiarygodności określonego parametru zlodzenia  $Q_4$  będzie poziom dostępności informacji o jakości parametru zlodzenia. Znajomość jakości tego parametru umożliwi podjęcie decyzji wyznaczania trasy z uwzględnieniem wiarygodności wartości parametru, a nie tylko wartości parametru (tab. 4).

Pliki są osiągalne w pewnym odstępie czasu po momencie, na który zostały wydane. Przykładowo, plik zawierający dane na godzinę

Tab. 1. Wskaźnik dostępności skali (legendy)  $Q_1$

L.p.	Określenie	Wartość wskaźnika $Q_1$
1	Skala informacji nie jest dostępna w pliku źródłowym	0,0
2	Skala informacji nie jest dostępna w pliku źródłowym, jest natomiast dostępna w cyfrowej części informacyjnej / na stronie / w publikacji dotyczącej danego pliku źródłowego	0,5
3	Skala informacji jest dostępna w pliku źródłowym	1,0

Tab. 2. Wskaźnik zrozumiałości skali (legendy)  $Q_2$

L.p.	Określenie	Wartość wskaźnika $Q_2$
1	Skala nie jest zrozumiała jednoznacznie albo brak odnośnika	0,000
2	Skala MIZ znacznie uproszczona względem precyzyjnie określonej (WMO 2004/1, 2004/2)	0.333
3	Skala SIGRID-3 (WMO 2007) nieznacznie uproszczona względem precyzyjnie określonej (WMO 2004/1, 2004/2)	0,667
4	Skala informacji precyzyjnie określona (WMO 2004/1, 2004/2) w przyjętych jednostkach o skoku nie większym niż wartość jednostkowa	1,000

Tab. 3. Wskaźnik typu pliku  $Q_3$ 

L.p.	Określenie	Wartość wskaźnika $Q_3$
1	Graficzny rastrowy albo inny bez siatki współrzędnych geograficznych i bez georeferencji	0,000
2	Tekstowy ze współrzędnymi pozycji albo pozycje odniesione do regionu opisanego w innym dokumencie (otwarty tekst)	0,143
3	Graficzny rastrowy z siatką współrzędnych geograficznych	0,286
4	Graficzny wektorowy z siatką współrzędnych geograficznych	0,429
5	Graficzny rastrowy, georeferencyjny	0,572
6	Wektorowy albo siatkowy, georeferencyjny	0,715
7	Tekstowy alfanumeryczny zawierający pozycje geograficzne jako nieuporządkowana / złożona seria danych	0,858
8	Tekstowy alfanumeryczny zawierający pozycje geograficzne w tym albo w innym pliku jako uporządkowana / prosta seria danych	1,000

Tab. 4. Wskaźnik dostępności informacji o jakości opisywanego parametru  $Q_4$ 

L.p.	Określenie	Wartość wskaźnika $Q_4$
1	Brak informacji o jakości parametru	0,0
2	Brak informacji o jakości parametru w pliku zawierającym opisywany parametr ale jest dostępna w osobnym źródle informacji	0,5
3	Informacja o jakości parametru dostępna w pliku zawierającym opisywany parametr	1,0

odniesienia 00:00 w dniu dzisiejszym jest udostępniony użytkownikom po upływie kilku godzin, kilku dni, a nawet po upływie kilku tygodni lub miesięcy po upływie daty i godziny odniesienia. W pracy przyjęto wskaźnik rozmycia pozycji  $D$  nawiązujący do rozdzielczości mapy  $R$ , liczby godzin opóźnienia  $A_1$  udostępnienia mapy w Internecie w stosunku do godziny, dla której mapa została opracowana i liczby godzin  $A_2$  do udostępnienia kolejnej mapy. Rozdzielczość i opóźnienie dotyczą różnych jednostek i nie ma możliwości bezpośredniego porównania zależności występujących między nimi. Przyjęto, że opóźnienia  $A_1$  i  $A_2$  liczone w godzinach będą wyrażone drogą, jaką będą dryfowały lody w czasie  $A_1$  i  $A_2$  z umowną jednostajną nieznaną prędkością w stosunku do spotykanej w Arktyce w przypadkach ekstremalnie szybkiego dryfu lodów zagrażającego bezpieczeństwu statków

(T. Pastusiak, A. Styszyńska 2013) i wynoszącą 0,5 węzła czyli 0,9 kilometra na godzinę (wzór 1).

$$D = \sqrt[2]{R^2 + D_1^2 + D_2^2} \quad (1)$$

gdzie:

$D$  – rozmycie pozycji [km],

$R$  – rozdzielczość mapy [km],

$D_1$  – droga umowna, jaką będą dryfowały lody z umowną prędkością 0,926 kilometra na godzinę w czasie  $A_1$  [km],

$D_2$  – droga umowna, jaką będą dryfowały lody z umowną prędkością 0,926 kilometra na godzinę w czasie  $A_2$  [km].

## 2.2. Wskaźnik całkowity jakości źródła informacji

Za pomocą opisanych w podrozdziale 2.1 metod oceny źródeł informacji określono war-

Tab. Cechy źródeł informacji o pokrywie lodowej; C – koncentracja kry lodowej, S – wiek (grubość) lodu, F – wymiary poziome kry lodowej; źródła z o numerach 1, 2 i 3 wykazują sezonową zmienność treści mapy

Z	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>4</sub> (Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub> )	Q <sub>4</sub> (Q <sub>1</sub> -Q <sub>3</sub> )	R	A <sub>1</sub> [godziny]	A <sub>2</sub> [godziny]	D <sub>1</sub> [km]	D <sub>2</sub> [km]	D	Q <sub>s</sub>	N	Nazwa i typ pliku	Producent	Treść mapy	Data (map) content
1	1	0,667	0,286	0	0,49	0,65	0,5	24	408	22	377	378	0,13	1	JPG	p66.jpg	AARI (PLANETA)	C, S, F (dominated by seasonal changes in content)
2	1	0,667	0,286	0	0,49	0,65	5,0	192	744	178	688	711	0,07	1	GIF	20151117.gif	AARI (ESIMO)	C, S, F (seasonal changes in content)
3	0,5	0,667	0,715	0	0,47	0,63	0,8	192	744	178	688	711	0,07	4	SHP	aari_arc_20151117_pl.a. zip (shp, shx, dbf, prj)	AARI (ESIMO)	C, S, F (seasonal changes in content)
4	1	0,667	0,286	0	0,49	0,65	55,6	13	3	12	3	57	0,86	1	JPG	(any saved raster format)	AARI	C
5	0,5	1,000	1,000	0	0,63	0,93	55,6	21	24	19	22	63	1	6	TXT	1006.txt	AARI	C
6	1	1,000	0,715	1	0,93	0,91	10,0	5	24	5	22	25	3,72	7	NetCDF	ice_conc_nh_poiste- re-100_mul- ti_201511161200.nc	OSI SAF (met.no)	C
7	1	0,667	0,286	0	0,49	0,65	1,7	3	24	3	22	22	2,23	1	JPG	general_20151116.png	NIS (met.no)	C
8	0,5	0,667	0,715	0	0,47	0,63	0,6	3	24	3	22	22	2,14	2	SHP_MIZ	chart_ice (shp, shx, dbf, prj)	NIS (met.no)	C
9	1	1,000	0,715	0	0,68	0,91	9,3	12	24	11	22	26	2,62	7	GRIB	seaiice.t00z.5min.grib.grib2	NOAA, NCEP	C
10	1	1,000	0,715	0	0,68	0,91	27,8	4	6	4	6	29	2,34	7	GRIB	gfs.t00z.pgrib2.0p25.t000 (grib2)	NOAA, NCEP	C
11	1	0,667	0,429	0	0,52	0,7	3,9	24	168	22	155	157	0,33	1	PDF	chukcurrentcolor.pdf	NIC	C, S, F
12	0,5	0,667	0,715	0	0,47	0,63	0,2	24	168	22	155	157	0,3	4	SHP	chuk151117.zip (shp, shx, dbf, prj)	NIC	C, S, F
13	0,5	0,333	0,715	0	0,39	0,52	1,0	17	24	16	22	27	1,44	2	SHP (MIZ)	nic_miz2015324nc_pl.a. zip (shp, shx, dbf, prj)	NIC	C (MIZ)
14	0,5	0,333	0,715	0	0,39	0,52	1,0	16	24	15	22	27	1,44	3	KMZ (MIZ)	arctic_2015316.kmz	NIC	C (MIZ)
15	1	1,000	0,286	1	0,82	0,76	3,8	4	24	4	22	23	3,57	1	GIF	PTCA89.gif, PTCO89.gif	NWS, NOAA	C
16	0,5	0,667	0,715	0	0,47	0,63	0,2	12	168	11	155	155	0,3	5	GML	S411_ARCTIC160218. zip (gml, xml)	NIC	C, S, F

tości wskaźników charakteryzujących te źródła (tab. 5). Przyjmując, że poszczególne wskaźniki danego źródła informacji są jednakowo ważne, otrzymano wzór 2 na wartość całkowitego wskaźnika oceny źródła informacji równą średniej arytmetycznej ze wszystkich wskaźników indywidualnych  $Q_{i4}$ . Tak otrzymany wskaźnik oceny jakościowej źródła umożliwia porównanie jakości poszczególnych źródeł informacji. Należy zaznaczyć, że ten wskaźnik charakteryzuje tylko łatwość korzystania z treści informacyjnej zawartej w pliku źródłowym przez użytkownika. Ze względu na małą liczbę źródeł posiadających informację o jakości prezentowanego parametru zastosowano w analizie również wskaźnik  $Q_{i3}$  dla trzech wskaźników cząstkowych  $Q_1$ ,  $Q_2$  i  $Q_3$ .

$$Q_{i4} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4}{4} \quad (2)$$

gdzie:

$Q_i$  – wskaźnik całościowy jakości źródła informacji,

$Q_1$  – wskaźnik dostępności skali parametru,

$Q_2$  – wskaźnik zrozumiałości skali parametru,

$Q_3$  – wskaźnik typu pliku,

$Q_4$  – wskaźnik dostępności informacji o jakości parametru.

Wzór 1 dotyczy parametrów przestrzeni geograficznej, a wzór 2 dotyczy jakości użytkowej map zlodzenia. W celu powiązania obu cech o charakterze jakościowym za pomocą czynnika odzwierciedlającego wielkość mierzalną przestrzeni geograficznej przyjęto wzór 3 syntetyzujący oba wskaźniki:

$$Q_s = \frac{100 \cdot Q_i}{D} \quad (3)$$

gdzie:

$Q_s$  – wskaźnik syntetyczny jakości źródła informacji (mapy) [km],

$Q_i$  – wskaźnik jakości źródła informacji dla  $Q_1$ ,  $Q_2$  i  $Q_3$ ,

$D$  – wskaźnik rozmycia pozycji [km].

Należy podkreślić, że opracowane przez autora i przedstawiane w artykule wskaźniki są nowatorskim rozwiązaniem, umożliwiającym przeprowadzenie analizy nierozpatrywanego dotychczas nowego problemu. Z podobnych powodów J.P. Girjatowicz (1983, 1985) opracował wskaźnik stopnia surowości zim.

### 3. Charakterystyka badanych źródeł informacji

Istnieje w Internecie wiele ogólnodostępnych źródeł informacji o stanie zlodzenia. Do analizy wybrano takie pliki, które zgłasza WMO albo IHO do zastosowania w żegludze (WMO 2000, 2005, 2010/1, 2010/2; IHO 2014/1) albo dobrze charakteryzują cechy danej grupy źródeł informacji i jednocześnie mają najlepszą rozdzielczość. Znaczna liczba źródeł informacji została szeroko opisana we wcześniejszej pracy T. Pastusiaka (2015b). Większość z analizowanych w tym artykule źródeł jest rozpowszechniana w systemie GMDSS albo na stronie internetowej JCOMM. Są to:

1. Mapy koncentracji kry, wieku i formy lodu oraz wielu innych szczegółowych informacji dla wybranych regionów Oceanu Arktycznego w formacie rastrowym JPG (<http://www.bsis-ice.de/IcePortal/Metareas.html>, dostęp 22.02.2016). Mapy są opracowywane tematycznie odpowiednio do potrzeb odbiorców informacji.

2. Mapy koncentracji albo wieku lodu na Oceanie Arktycznym w formacie rastrowym GIF (<http://www.aari.ru/projects/ecimo/index.php?im=100>, dostęp 22.02.2016). W sezonie letnim mapy zawierają analizę koncentracji kry lodowej, a w sezonie zimowym analizę wieku lodu. Mapy są kompilowane na podstawie analizy informacji satelitarnej (w paśmie widzialnym, podczerwieni i radarowym) oraz raportów ze stacji brzegowych i statków. Dane są zbierane w okresie 2–5 dni i po uśrednieniu wydawane w każdy czwartek.

3. Mapy koncentracji, wieku i form lodu na Oceanie Arktycznym w formacie wektorowym ESRI Shapefile (<http://www.aari.ru/projects/ecimo/index.php?im=100>, dostęp 22.02.2016). W sezonie letnim zawierają one analizę koncentracji, wieku i formy lodu. Wtedy informacje o koncentracji lodu są zawsze opisywane, informacje o formie lodu są przedstawiane często, natomiast informacje o wieku lodu są przedstawiane sporadycznie. W sezonie zimowym mapy zawierają analizę wieku lodu.

4. Mapy obliczeniowe prognozy koncentracji lodu na Oceanie Arktycznym w postaci izol linii w formacie rastrowym (<http://ocean8x.aari.nw.ru/index.php?id=600&model=3>, dostęp 22.02.2016). Mapy są kompilowane na podstawie obliczeniowego modelu procesu łącznej dynamiki mas wody i lodu. Prognoza obejmuje od 00 do

144 godzin ze skokiem co trzy godziny od daty i godziny odniesienia.

5. Mapy obliczeniowe prognozy wielu parametrów hydrologiczno-meteorologicznych na Oceanie Arktycznym w formacie tekstowym alfanumerycznym TXT. (<http://www.aari.ru/projects/ecimo/>, dostęp 22.02.2016). Opisywana jest koncentracja, zwieranie, prędkość i kierunek wiatru, prądu morskiego, dryfu lodu. Mapy są skompilowane na podstawie obliczeniowego modelu procesu łącznej dynamiki mas wody i lodu. Prognoza obejmuje od 1 do 6 dni od daty i godziny odniesienia ze skokiem jednodobowym.

6. Mapy koncentracji lodu na Oceanie Arktycznym w formacie siatkowym NetCDF (<ftp://osisaf.met.no/archive/ice/conc>, dostęp 22.02.2016). Skala koncentracji kry na wyeksportowanym pliku rastrowym (za pomocą programu HDF Explorer) nie jest jednoznacznie zrozumiała. Na obrazie rastrowym brakuje linii współrzędnych geograficznych. Istnieje możliwość odczytu pozycji geograficznej i pozostałych parametrów pokrywy lodowej w programie HDF Explorer albo po eksportowaniu serii danych z pliku NetCDF do prostego pliku w formacie TXT, CSV, XLSX albo pliku o złożonej konstrukcji danych TXT, PRN, CSV, XLSX.

7. Mapy koncentracji kry lodowej na europejskiej części Oceanu Arktycznego w formacie rastrowym JPG z siatką współrzędnych (<ftp://ftp.dnmi.no/projects/icecharts>, dostęp 22.02.2016). Źródłami opracowania informacji są mapy o wysokiej rozdzielczości 75–150 metrów, dzięki czemu umożliwiają określenie warunków lodowych w fiordach i cieśninach o szerokości nawet tylko kilku kilometrów.

8. Mapy koncentracji kry lodowej na europejskiej części Oceanu Arktycznego w formacie wektorowym ESRI Shapefile (<ftp://ftp.dnmi.no/projects/icecharts>, dostęp 22.02.2016). Uwagi są takie same jak w przypadku poprzedniego źródła informacji.

9. Mapy siatkowe koncentracji kry lodowej na Oceanie Arktycznym w formacie GRIB (<http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/omb/prod/>, dostęp 22.02.2016). Brak informacji o źródłach opracowania tych map. Rozdzielczość siatki map wynosi 5 minut szerokości geograficznej i 5 minut długości geograficznej.

10. Mapy siatkowe analizy i prognozy koncentracji lodu od 00 do 384 godzin na Oceanie Arktycznym w formacie GRIB2. Zawierają in-

formacje o wielu parametrach hydrologiczno-meteorologicznych (<ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/gfs/prod/>, dostęp 22.02.2016). Brak informacji o źródłach opracowania tych map. Rozdzielczość siatki map wynosi 0,25° szerokości geograficznej i 0,25° długości geograficznej.

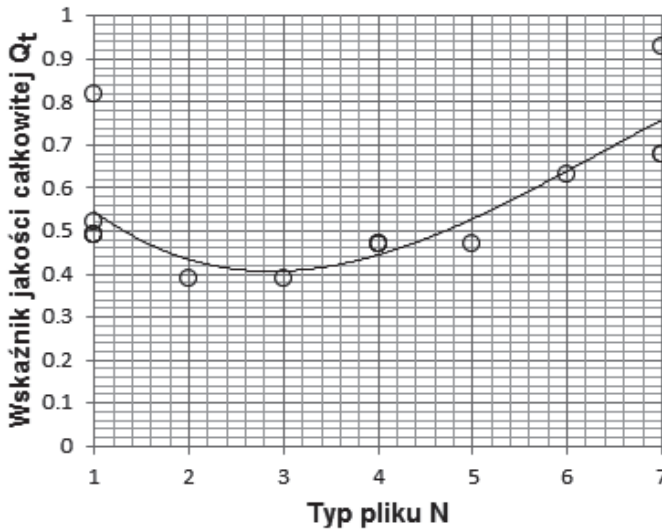
11. Mapy koncentracji kry, wieku i formy lodu wybranych regionów Oceanu Arktycznego z siatką współrzędnych w formacie wektorowym (<http://www.bsis-ice.de/IcePortal/Metareas.html>, dostęp 22.02.2016). Siatka współrzędnych geograficznych w odwzorowaniu biegunowym stereograficznym nie jest przedstawiona precyzyjnie. Białe równoleżniki i południki nie są widoczne na białym tle mapy wolnej od informacji i sprawiają trudności odczytu dokładnej pozycji parametru zlodzenia.

12. Mapy analizy koncentracji kry, wieku i formy lodu wybranych regionów Oceanu Arktycznego w formacie wektorowym ESRI ([http://www.natice.noaa.gov/products/weekly\\_products.html](http://www.natice.noaa.gov/products/weekly_products.html), dostęp 22.02.2016).

13. Mapy koncentracji kry lodowej w uproszczonej skali Mariginal Ice Zone na Oceanie Arktycznym w formacie wektorowym z przywiązaną pozycją ESRI Shapefile ([http://www.natice.noaa.gov/products/daily\\_products.html](http://www.natice.noaa.gov/products/daily_products.html), dostęp 22.02.2016). Mapy są opracowywane na podstawie różnych źródeł o rozdzielczości większej niż 50 metrów na piksel. Analitycy NIC przeprowadzają niezbędną, poprawiającą rozdzielczość interpretację tych źródeł zobrazowań dla prawidłowego rozpoznania rozciągłości konturów granic lodu. Misją NIC jest dostarczanie najwyższej jakości regularnych, dokładnych produktów i usług związanych z potrzebami strategicznymi, operacyjnymi i taktycznymi USA zgodnymi z zakresem rejonu odpowiedzialności.

14. Mapy koncentracji kry lodowej w uproszczonej skali Mariginal Ice Zone na Oceanie Arktycznym w formacie wektorowym z przywiązaną pozycją KMZ ([http://www.natice.noaa.gov/products/kml\\_daily.html](http://www.natice.noaa.gov/products/kml_daily.html), dostęp 22.02.2016). Uwagi są takie same jak w przypadku poprzedniego źródła informacji.

15. Mapy faksymilowe GMDSS analizy i 120-godzinnej prognozy koncentracji i grubości lodu w regionie Morza Czukockiego i Cieśniny Beringa w formacie GIF z siatką współrzędnych geograficznych, (<http://weather.noaa.gov/pub/fax/PTCA89.gif> i <http://weather.noaa.gov/pub/fax/PTCO89.gif>, dostęp 22.02.2016).



Ryc. 1. Wartości wskaźnika jakości całkowitej  $Q_t$  dla kolejnych grup źródeł informacji N: 1 – pliki graficzne rastrowe, 2 – pliki wektorowe typu ESRI Shapefile z uproszczonym zakresem informacji (MIZ), 3 – pliki wektorowe typu KMZ z uproszczonym zakresem informacji (MIZ), 4 – pliki wektorowe ESRI Shapefile z rozbudowanym zakresem informacji (SIGRID-3), 5 – pliki wektorowe typu GML według standardu S-411, 6 – pliki tekstowe z uporządkowaną serią danych, 7 – pliki siatkowe typu GRIB albo NetCDF

16. Mapy wektorowe analizy koncentracji kry, grubości lodu, rozmiarów kry lodowej dla wybranych regionów w formacie GML ([http://www.bsis-ice.de/IcePortal/ILP\\_S411.shtml](http://www.bsis-ice.de/IcePortal/ILP_S411.shtml)). Brak informacji o źródłach opracowania danych.

Wyżej omówione właściwości źródeł informacji poddano analizie wzajemnych zależności.

#### 4. Ocena wybranych źródeł informacji

Analizując cząstkowe wskaźniki jakości składające się na wskaźnik całkowity jakości  $Q_t$  (tab. 5) zauważono, że wskaźniki  $Q_1$  i  $Q_2$  mają tendencję odwrotnie proporcjonalną do wskaźnika  $Q_3$ . Tylko dla plików tekstowych TXT z uporządkowaną serią danych i plików siatkowych typu GRIB albo NetCDF te trzy wskaźniki mają zgodną tendencję. Wpłynęło to na wyższą wartość wskaźnika całkowitego jakości  $Q_t$  dla tych dwóch grup plików.

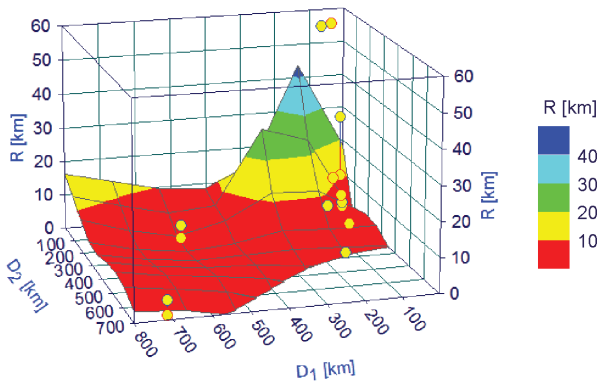
Okolo połowa źródeł informacji cechuje się niską wartością rozmycia pozycji geograficznej parametru zlodzenia  $D$ . Pod pojęciem rozmycia pozycji rozumie się sumę rozdzielczości źródła  $R$  oraz umownego dryfu pokrywy lodowej  $D_1$  i  $D_2$ . Dotyczy to źródeł w całym prze-

dziale jakości ogólnej  $Q_t$ . Tylko niektóre źródła wykazują się dużą wartością rozmycia pozycji  $D$ . Cechują się one niską jakością całkowitą  $Q_t$ .

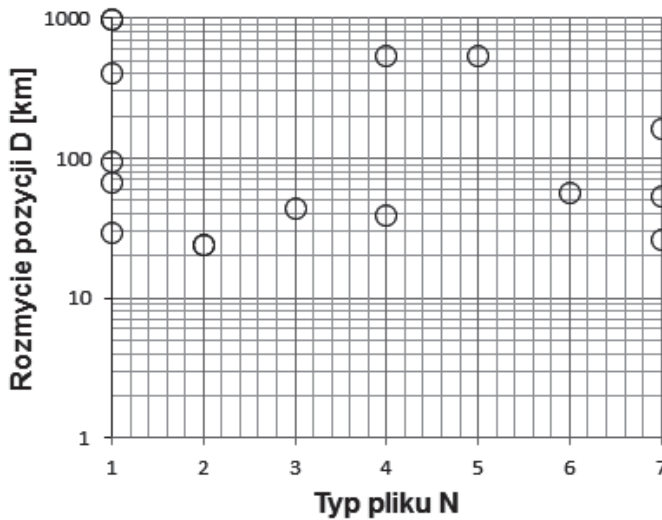
Tylko niektóre źródła z grupy 1 (pliki graficzne rastrowe) i 7 (pliki siatkowe typu NetCDF) posiadają informacje dotyczące wiarygodności wartości przedstawianego parametru zlodzenia (ryc. 1). To spowodowało znaczną rozpiętość wartości wskaźnika jakości całkowitej  $Q_t$  wewnątrz tych grup. Jeżeli pominie się wpływ wiarygodności na jakość całkowitą źródła, to krzywa trendu wskazuje porównywalną jakość większości źródeł informacji z grup od 1 do 5. Nieco obniżoną wartość wskaźnika jakości  $Q_t$  mają pliki wektorowe typu ESRI Shapefile oraz pliki wektorowe typu KMZ z uproszczonym zakresem informacji (MIZ). Zauważalnie wyższą jakość posiadają pliki tekstowe z uporządkowaną serią danych oraz pliki siatkowe typu GRIB i NetCDF.

Większość źródeł cechuje się rozdzielczością  $R$  mniejszą od jednego kilometra (ryc. 2). Nieliczne źródła posiadają rozdzielczość między 1 i 10 kilometrów. Tylko dwa z badanych źródeł informacji posiadają rozdzielczość 5–10 razy większą (gorszą). Znacznie większy wpływ





Ryc. 2. Współzależność umownego dryfu lodu  $D_1$  i  $D_2$  oraz rozdzielczości źródeł informacji lodowej  $R$

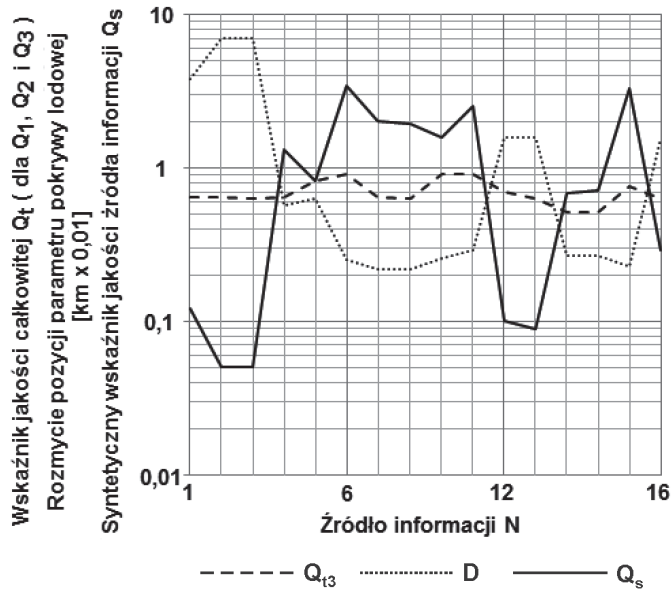


Ryc. 3. Wartości rozmycia pozycji  $D$  dla kolejnych grup źródeł informacji  $N$ : 1 – pliki graficzne rastrowe, 2 – pliki wektorowe typu ESRI Shapefile z uproszczonym zakresem informacji (MIZ), 3 – pliki wektorowe typu KMZ z uproszczonym zakresem informacji (MIZ), 4 – pliki wektorowe ESRI Shapefile z rozbudowanym zakresem informacji (SIGRID-3), 5 – pliki wektorowe typu GML według standardu S-411, 6 – pliki tekstowe z uporządkowaną serią danych, 7 – pliki siatkowe typu GRIB albo NetCDF

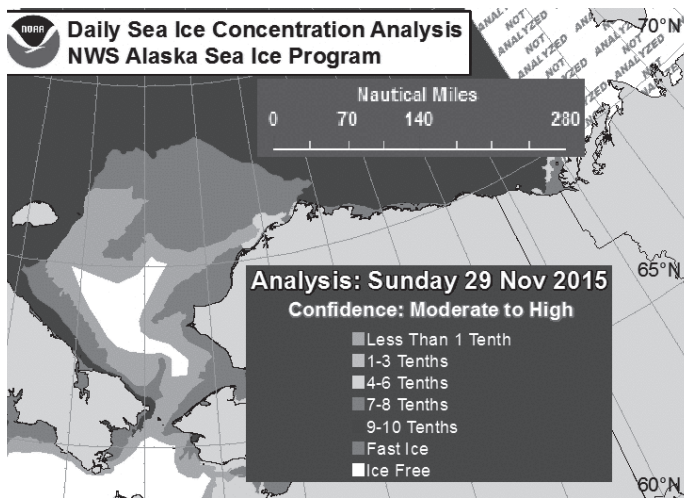
na rozmycie pozycji ma umowny dryf lodu wynikający z opóźnienia czasowego udostępnienia odbiorcom źródła danych. Najniższe wartości rozpoczynają się od 10 kilometrów. Znaczna liczba źródeł cechuje się wartością umownego dryfu lodu  $D$  powyżej 30 kilometrów. Należy przyjąć, że źródła informacji o wartości umownego dryfu lodu powyżej 100 kilometrów nie mają praktycznego zastosowania do celów planowania trasy statku w lodach dla bieżącej

nawigacji. W celu wyobrażenia sobie powyższych zależności obliczono czas podróży statku odpowiadający rozmyciu pozycji (10, 30, 100 km) dla prędkości 20 kilometrów na godzinę. Tak obliczony czas podróży statku wynosi odpowiednio: 0,5 godziny, 1,5 godziny i 5 godzin.

Rozmycie pozycji  $D$  uwzględniające rozdzielczość  $R$ , drogę umowną  $D_1$  związaną z opóźnieniem  $A_1$  udostępnienia pliku w Internecie oraz drogę umowną  $D_2$  związaną z opóźnie-



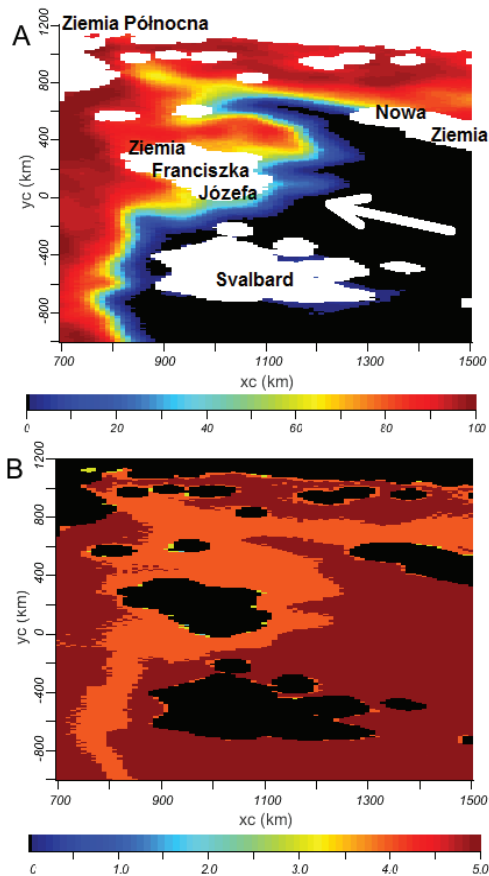
Ryc. 4. Wskaźniki kompleksowe  $Q_{t3}$ ,  $D$  i  $Q_s$  źródeł informacji o numerach od 1 do 16



Ryc. 5. Mapa regionalna w odwzorowaniu biegunowym stereograficznym Nr 15 w formacie GIF wydawana przez NWS/NOAA

niem  $A_2$  udostępnienia kolejnego pliku mieści się przeważnie między wartościami 10 i 100 kilometrów (ryc. 3). Istnieją źródła informacji spośród plików graficznych rastrowych i plików wektorowych ESRI Shapefile z rozbudowanym zakresem informacji według standardu

SIGRID-3, które znacznie przekraczają wartość 100 kilometrów. Nie mają one wartości użytkowej do celów planowania podróży w lodach. Za wyjątkiem plików tekstowych zawierających uporządkowaną serię wielu danych, w pozostałych grupach można wyselekcjono-



Ryc. 6. Mapa generalna Oceanu Arktycznego w odwzorowaniu biegunowym stereograficznym Nr 6 w formacie NetCDF wydawana przez OSI SAF: A – koncentracja kry, B – wiarygodność parametru; zobrazowanie programem *ncBrowse*

wać pliki o rozmyciu pozycji *D* w przedziale od 10 do 53 kilometrów.

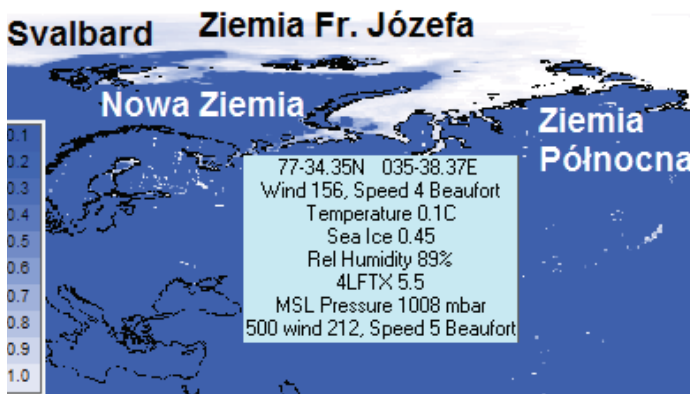
Najlepszym źródłem powyższych analiz będzie źródło posiadające najmniejsze rozmycie pozycji *D* i największą wartość wskaźnika jakości  $Q_B$ . Oczekuje się, że syntetyczny wskaźnik jakości takiego źródła informacji  $Q_S$  również powinien posiadać najwyższe wartości. Powyższe wskaźniki zostały przedstawione na wspólnym wykresie (ryc. 4). W pierwszej kolejności oceniono wszystkie źródła informacji. Najlepszymi źródłami okazały się mapy regionalne Nr 15 w formacie GIF wydawane przez NWS/NOAA (ryc. 5), a następnie mapy gene-

ralne Arktyki Nr 6 w formacie NetCDF wydawane przez OSI SAF (ryc. 6) i mapy generalne Oceanu Arktycznego Nr 10 w formacie GRIB-2 wydawane przez NCEP/NOAA (ryc. 7). Dwie z tych map (Nr 15 i 6) zawierają informacje o jakości przedstawianego parametru zlodzenia. Zajęły one wysoką lokatę, pomimo że ten parametr nie był tu oceniany. W następnej kolejności znajdują się mapy regionalne Nr 7 w formatach JPG i ESRI Shapefile Nr 8 wydawane przez NIS, mapy generalne Oceanu Arktycznego w formacie GRIB Nr 9 i GRIB-2 Nr 10 wydawane przez NCEP/NOAA oraz mapy rastrowe Nr 4 wydawane przez AARI, przedstawiające wiele parametrów pokrywy lodowej dla Oceanu Arktycznego.

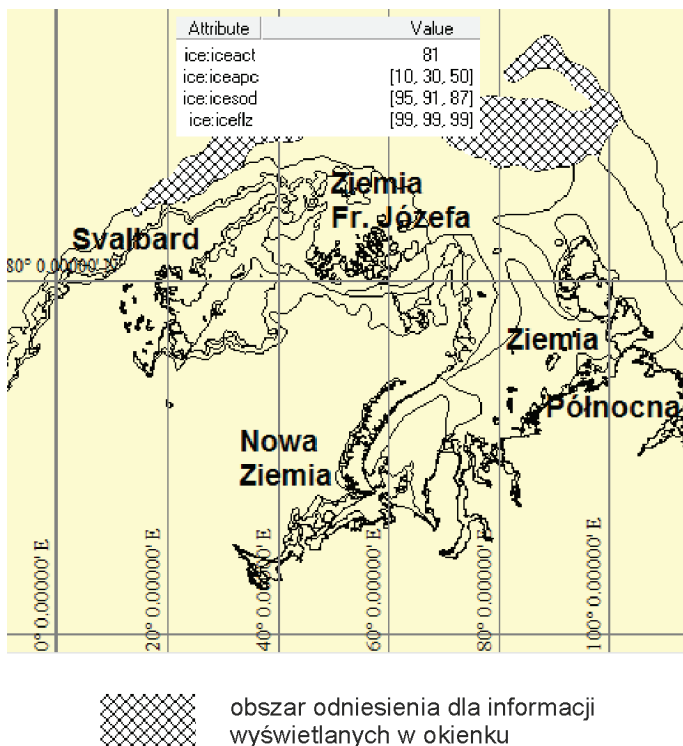
W następnej kolejności oceniono mapy obejmujące treścią pełny zakres informacji (koncentrację kry, wiek lodu i rozmiary poziome kry lodowej) i reprezentowane nielicznie przez źródła Nr 1, 2, 3, 11, 12 i 16. Źródła Nr 2, 3, 11 i 12 zostały odrzucone ze względu na bardzo duże wartości rozmycia pozycji *D* (ryc. 6). W takiej sytuacji liderami zostały mapy generalne Oceanu Arktycznego Nr 16 w formacie GML wydawane przez BSH/NIC (ryc. 8), a następnie mapy regionalne dla Arktyki Rosyjskiej w formacie JPG Nr 1 o znacznie niższej wartości syntetycznego wskaźnika jakości  $Q_S$  wydawane przez AARI.

## 5. Wnioski

W procesie badawczym opracowano syntetyczny wskaźnik jakości źródła informacji wiążący wszystkie wskaźniki jakości. Odzwierciedla on dobrze jakość użytkową map i pozwala dokonać ich porównania. Spośród wszystkich badanych źródeł najwyższą wartość syntetycznego wskaźnika jakości uzyskały mapy regionalne w formacie GIF wydawane przez NWS/NOAA, mapy generalne Oceanu Arktycznego w formacie NetCDF wydawane przez OSI SAF i mapy generalne Oceanu Arktycznego w formacie GRIB-2 wydawane przez NCEP/NOAA. Najwyższe pozycje w tej grupie uzyskują mapy, których producenci zaopatrują je w informację o jakości przedstawianego parametru. Wysoką pozycję otrzymują również mapy siatkowe typu GRIB i NetCDF. Liczba map zawierająca wszystkie trzy podstawowe cechy zlodzenia (koncentrację kry, grubość lodu



Ryc. 7. Mapy generalne Oceanu Arktycznego w układzie geograficznym Nr 10 w formacie GRIB-2 wydawane przez NCEP/NOAA. Zobrazowanie programem *BallGate GRIB Weather File Viewer Professional*



Ryc. 8. Mapa generalna Oceanu Arktycznego standardu S-411 w odwzorowaniu Merkatora Nr 16 w formacie GML wydawana przez NIC; zobrazowanie programem *Global Mapper*

i rozmiary poziome kry) jest niewielka. Najlepszym źródłem w tej grupie okazały się mapy wektorowe w formacie GML, które są nowym

standardem elektronicznych map wektorowych dla żeglugi statków w lodach. Jest on formatem i usługą wymiany danych GIS do opisu

informacji przestrzennych. Umożliwia stosowanie programów *open source* i pobieranie danych z serwerów zewnętrznych. Obecnie nie wszystkie programy komercyjne na to pozwalają. Morskie systemy obrazowania elektronicznych map i informacji nawigacyjnych ECDIS jeszcze nie obsługują standardu S-411 w formacie GML jako kolejnej warstwy informacyjnej.

Różnice jakościowe treści map wydają się mieć mniejszy wpływ na łączną ocenę źródła informacji, niż to wynika z niepewności pozycji opisywanego parametru. Rozdzielczość map z reguły jest akceptowalna. Największy wpływ na jakość treści (syntetyczny wskaźnik jakości) mapy dla potrzeb bieżącego planowania trasy statku w lodach ma jej aktualność. Opóźnienie udostępnienia mapy użytkownikom w stosunku do daty i godziny odniesienia jak również odstęp czasu pomiędzy kolejnymi wydaniem map ma największe znaczenie dla jakości użytkowej informacji. Opóźnienia mogą uczynić mapy wręcz bezużytecznymi dla bieżących potrzeb żeglugi w lodach.

Opóźnienie czasowe udostępniania informacji o pokrywie lodowej na potrzeby żeglugi na zalewach i zatokach morskich oraz jeziorach i śródlądowych drogach wodnych, w tym rzekach i kanałach w Polsce i w Europie nie powinno być większe niż 24 godziny. W takim odstępie czasu są publikowane mapy o naj-

wyższej wartości syntetycznego wskaźnika jakości dla rejonu Oceanu Arktycznego.

### Lista akronimów

AARI – Arctic and Antarctic Research Institute  
 BSH – Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie  
 DGPS – Differential Global Positioning System  
 ECDIS – Electronic Chart Display and Information System  
 ECS – Electronic Chart System  
 ENC – Electronic Navigational Charts  
 ESIMO – ЕСИМО, Единая Система Информации об обстановке в Мировом Океане  
 GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System  
 GPS – Global Positioning System  
 HDOP – Horizontal Dilution of Precision  
 IENC – Inland Electronic Navigational Charts  
 IHO – International Hydrographic Office  
 JCOMM – Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology  
 MIZ – Marginal Ice Zone  
 NCEP – National Centers for Environmental Prediction  
 NIC – US National Ice Center  
 NIS – National Ice Service  
 NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration  
 NWS – National Weather Service  
 OSI SAF – Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility  
 RNC – Raster Navigational charts  
 SOLAS – International Convention for the Safety of Life at Sea  
 WMO – World Meteorological Organization

### Literatura

- Girjatowicz J.P., 1983, *Stopień surowości zim i możliwość jego przewidywania na podstawie niektórych zjawisk fenologiczno-przyrodniczych*. „Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Szczecinie” Nr 103, s. 65–73.
- Girjatowicz J.P., 1985, *Atlas zlodzenia wód polskiego wybrzeża Bałtyku*. Szczecin: Akademia Rolnicza w Szczecinie, 27 s.
- IHO, 2000/1, *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, S-57*. Monaco, 435 s.
- IHO, 2000/2, S-57 Appendix A, IHO Object Catalogue. Monaco, 248 s.
- IHO, 2012, *Symbols, abbreviations and terms used on charts, INT 1 (French version)*. 132 s.
- IHO, 2013, *Regulations for International (INT) Charts and Chart Specifications of the IHO, S-4*. 435 s.
- IHO, 2014/1, *Ice Information Product Specification. JCOMM S-411*. Monaco, 47 s.
- IHO, 2014/2, *Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, S-57, Supplementary Information for the encoding of S-57*. Monaco, 24 s.
- Kolman R., 1994, *Poradnik dla doktorantów i habilitantów*. Bydgoszcz: Oficyna Wydawnicza Ośrodka Postępu Organizacyjnego, 295 s.
- Malicki J., Turchin A.N., Valeur H.H., 1987, *Baltic multilingual list of sea-ice terms, Marine meteorology and related oceanographic activities*. Report No. 18, WMO/TD No. 160, World Meteorological Organization.
- Pastusiak T., 2011, *Ship's navigational safety in the Arctic unsurveyed regions*. W: Maritime Navigation and Safety at Sea Transportation. Miscellaneous problems in maritime navigation, transport and shipping. Red. A. Weintrit, T. Neumann, London: CRC Press Taylor & Francis Group, s. 59–64.
- Pastusiak T., 2015a, *Navigation infrastructure of the Northern Sea Route*. „Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin” No. 44 (116), s. 74–82.
- Pastusiak T., 2015b, *Ship's route planning in ice infested areas of Northern Svalbard following ice charts made by remote sensing methods*. W: Mar-

- itime Navigation and Safety at Sea Transportation. Miscellaneous problems in maritime navigation, transport and shipping. Red. A. Weintrit. London: CRC Press, s. 181–192.
- Pastusiak T., Styszyńska A., 2013, *Intensywny dryf lodu w rejonie wyspy Wrangla, zjawiska z nim związane i konsekwencje dla bezpieczeństwa żeglugi*. „Problemy Klimatologii Polarnej” Nr 23, s. 191–204.
- Weintrit A., 2009, *The Electronic Chart Display and Information System (ECDIS), An operational handbook*. CRC Press/Balkema, 1101 s.
- WMO, 2000, *Sea-Ice Information Services in the World*. Edition 2000, WMO No. 574, Geneva, 75 s.
- WMO, 2004a, *WMO Colour Code Standards*. WMO/ TD No. 1215, JCOMM Technical Report No. 24, 14 s.
- WMO, 2004b, *WMO Sea-Ice Nomenclature Terminology*. WMO/OMM/BMO No. 259, Volume 1, Edition 1970–2004, 7 s.
- WMO, 2005, *Sea-Ice Information Services in the World*. Edition 2005, WMO No. 574, 100 s.
- WMO, 2007, *SIGRID-3: A Vector Archive Format for Sea Ice Charts*. WMO/TD No. 1214, 2004 (with revisions by ETSI-III, March 2007), JCOMM Technical Report No. 23.
- WMO, 2010/1, *Manual on Codes, International Codes*. Volume I (Annex II to WMO Technical Regulations), Part A—Alphanumeric Codes, WMO No. 306, 462 s.
- WMO, 2010/2, *Sea-Ice Information Services in the World*. Edition 2010, WMO No. 574, Geneva, 92 s.

## Nautical electronic maps of S-411 standard and their suitability in navigation for assessment of ice cover condition of the Arctic Ocean

### Summary

The research on the ice cover of waterways, rivers, lakes, seas and oceans by satellite remote sensing methods began at the end of the twentieth century. There was a lot of data sources in diverse file formats. It has not yet carried out a comparative assessment of their usefulness. A synthetic indicator of the quality of data sources binding maps resolution, file publication time delay and the functionality for the user was developed in the research process. It reflects well a usefulness of maps and allows to compare them. Qualitative differences of map content have relatively little impact on the overall assessment of the data sources. Resolution of map is generally acceptable. Actuality has the greatest impact on the map content quality for the current vessel's voyage planning in ice.

The highest quality of all studied sources have the regional maps in GIF format issued by the NWS / NOAA, general maps of the Arctic Ocean in NetCDF format issued by the OSI SAF and the general maps of the Arctic Ocean in GRIB-2 format issued by the

NCEP / NOAA. Among them are maps containing information on the quality of presented parameter. The leader among the map containing all three of the basic characteristics of ice cover (ice concentration, ice thickness and ice floe size) are vector maps in GML format. They are the new standard of electronic vector maps for the navigation of ships in ice.

Publishing of ice cover maps in the standard electronic map format S-411 for navigation of vessels in ice adopted by the International Hydrographic Organization is advisable in case is planned to launch commercial navigation on the lagoons, rivers and canals. The wide availability of and exchange of information on the state of ice cover on rivers, lakes, estuaries and bays, which are used exclusively for water sports, ice sports and ice fishing is possible using handheld mobile phones, smartphones and tablets.

**Keywords:** ice cover maps, standard IHO S-411, safety of water transport, Northern Sea Route