

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

Spójność danych przedstawianych na współczesnych mapach stanu pokrywy lodowej w Arktyce

Zarys treści. Informacje o stanie pokrywy lodowej, stanowiące treść map lodowych, są ważne dla prowadzenia bezpiecznej nawigacji i efektywnej ekonomicznie aktywności człowieka w regionach polarnych. Z biegiem lat zmieniały się metody uzyskiwania informacji od naziemnej do teledetekcji satelitarnej. Metody opracowywania mogą być całkowicie automatyczne na podstawie algorytmów wypracowanych przez lata doświadczeń lub wspomagane dodatkowo przez doświadczonych profesjonalistów. Treść niektórych obecnie spotykanych powszechnie map

jest kompilowana z wykorzystaniem mieszanych metod. W pracy przeanalizowano spójność pozycji geograficznych treści map lodowych z punktu widzenia ich użyteczności do planowania trasy statku w lodach. Wyniki tej pracy pozwalają na wyznaczenie trasy i zaplanowanie podróży statków w lodach na podstawie treści badanych map lodowych odpowiednio do klasy lodowej statków.

Słowa kluczowe: treść map lodowych, standard S-411, teledetekcja satelitarna, bezpieczeństwo transportu morskiego, żegluga w lodzie

1. Wstęp

Informacje o stanie pokrywy lodowej, stanowiące treść map lodowych, są ważne dla prowadzenia bezpiecznej nawigacji i efektywnej ekonomicznej działalności człowieka w rejonach polarnych. Z upływem lat zmieniały się metody pozyskiwania informacji (A.R. Mahoney i in. 2008, <https://earthdata.nasa.gov/user-resources/remote-sensors>, dostęp 5.03.2016). Od roku 1933 prowadzone są obserwacje wzrokowe z meteorologicznych stacji polarnych, ze statków i z lodowego rozpoznania lotniczego. Pierwotne rozpoznanie lotnicze opierało się na obserwacjach wzrokowych, od roku 1951 wykorzystywano zdjęcia fotograficzne. W latach 1964–1990 stosowano rejestracje instrumentalne, a w latach 1968–1992 metody radarowe SLAR. W latach 1953–1972 wykonywano pomiary za pomocą pław projektu DARMS, zaś od roku 1979 w ramach projektu IABP. Badania pokrywy lodowej metodami teledetekcji satelitarnej rozpoczęto w roku 1966 w paśmie widzialnym, od roku 1972 w paśmie podczerwieni, a od roku 1996 metodami SAR. Metoda

SAR wydaje się obecnie zapewniać najlepszą rozdzielczość, która w ostatnich latach sięga już 50 metrów. Jednak jakość informacji przedstawianej na mapach zlodzenia była znacznie lepsza jeżeli proces analizy danych źródłowych był kontrolowany i poprawiany przez doświadczonych analityków. Najlepsze rezultaty uzyskiwano poprzez dodatkową weryfikację automatycznie otrzymanych danych z obserwacjami naziemnymi.

Pierwotną formą przekazu informacji był przekaz głosem. Następnie mapy papierowe rozpowszechniano drogą kablową (naziemną) albo radiową za pośrednictwem urządzeń faksymilowych. Później mapy papierowe zapisywano w postaci cyfrowych plików rastrowych w formatach BMP, GIF, JPG, JPG2000, TIFF, PNG, PDF, EPS. Następnie produkowano cyfrowe georeferencyjne mapy rastrowe typu GeoTIFF i GeoPDF.

Równolegle powstawały mapy siatkowe (gridowe) i wektorowe. W plikach siatkowych typu GRIB informacja punktowa dotyczy pozycji geograficznej (długość i szerokość geograficzna) albo umownej siatki (współrzędne X i Y). W pli-

kach siatkowych typu NetCDF zawarta jest dodatkowa informacja o jakości i wiarygodności. W plikach siatkowych typu HDF informacja o współrzędnych pozycji jest zawarta w osobnych plikach. Podstawowym zobrazowaniem informacji siatkowych jest mozaika oczek o zdefiniowanych wymiarach boków. Skala wartości cechy pokrywy lodowej jest skokowa. Programy służące do wizualizacji plików siatkowych mogą interpolować wartości pomiędzy poszczególnymi oczkami. Sposób interpolacji może nie być podany do wiadomości użytkownika. Tak otrzymana skala ciągła cechy pokrywy lodowej jest tylko interpolacją wykonywaną przez oprogramowanie i nie odzwierciedla stanu rzeczywistego.

Pliki wektorowe typu ERSI Shape (SHP, SHX, DBF, PRJ) oraz KMZ zawierają informację przestrzenną o stanie pokrywy lodowej. Seria punktów o zdefiniowanych współrzędnych geograficznych charakteryzuje pole o wspólnej wartości cechy pokrywy lodowej. Za pomocą programu komputerowego można uzyskać podgląd do bardziej szczegółowych informacji (ryciny 3 i 6). Pliki typu ERSI Shape mogą mieć narzucony standard treści według normy SIGRID, SIGRID-2 lub SIGRID-3 w kolejnych wersjach 1, 2 i 3 (WMO 2007). Można przyjąć, że aktywnie rozwijający się standard S-411 (IHO 2014) elektronicznych map nawigacyjnych stanu pokrywy lodu morskiego w formacie GML jest kontynuacją rozwoju i standaryzacji map pokrywy lodowej na wodzie. Poprzednia praca autora o podobnym charakterze (T. Pastusiak 2015) obejmowała inny istniejący od roku 2009 zestaw map, a pliki wektorowe w standardzie SIGRID-3 były w wersji 1. Przeprowadzono badania dla tego samego regionu Arktyki na północ od Svalbardu. Region badawczy objął obszar ograniczony współrzędnymi od 75°N do 85°N i długości geograficznej od 0°E do 70°E. Nie wszystkie pliki są publikowane codziennie. W celu zachowania zgodności czasu przeanalizowano pliki wydane w dniu 25.03.2016. Odstępstwem jest jeden plik publikowany w dniu 23 lutego 2016 oraz jeden plik rastrowy wydany raz na miesiąc (z dnia 2 lutego 2016).

Celem pracy jest ocena spójności informacji o współrzędnych pozycji cech pokrywy lodu morskiego zawartych na współczesnych mapach dostępnych w Internecie. W trakcie badań planuje znaleźć odpowiedź na kilka pytań:

1. Jaka jest dokładność pozycji przedstawianych przez źródła informacji?

2. Czy pozycja geograficzna wartości cechy pokrywy lodowej i granice koncentracji kry lodowej zawarte w różnych formach przekazu i zapisu danych są spójne?

3. Jakie miejsce wśród dotychczas istniejących źródeł danych zajmuje nowy standard IHO S-411 map stanu pokrywy lodowej w formacie GML (IHO 2014) przeznaczonych do nawigacji statków w lodach?

Najczęściej opisywanym rodzajem informacji dotyczącej stanu pokrywy lodowej jest koncentracja, czyli stopień pokrycia morza lodem. Jest ona obrazowana zarówno w pełnej dziesięciostopniowej skali dyskretnej albo ciągłej, w postaci uproszczonej skali Marginal Ice Zone (MIZ) albo w postaci granicy lodu o określonej zwartości. Największe zainteresowanie stanem koncentracji lodu wynika ze specyfiki strefy MIZ. Granica występowania lodu wskazuje obszary dostępne dla statków (bez klasy lodowej). Z reguły odnosi się ona do 10–15 % koncentracji lodu. Obszary o koncentracji lodu od 0 do 60 % służą do żeglugi statkom o różnej klasie lodowej (T. Pastusiak 2010). Statki o najłagodniejszych wzmocnieniach kadłuba (klasy lodowej L4) mogą zgodnie z przepisami bezpieczeństwa pływać w lodach o koncentracji od 10 do 30%. Statki o średnich wzmocnieniach kadłuba (klasy lodowej L3 do L1 i klasy UL) mogą pływać w lodach o koncentracji od 40 do 60%. Regiony o koncentracji lodu od 70 % w górę kwalifikują się do żeglugi dla lodołamaczy i statków z wysoką klasą lodową w asyście lodołamaczy.

W strefie MIZ poszukiwane są możliwości wydłużenia sezonu nawigacyjnego istotnego ze względu na transport towarów i eksploatację zasobów naturalnych morza i stref brzegowych pod wodą i na lądzie. Ponieważ granica koncentracji 80% jest częściej spotykana niż granica 70%, przyjęto do badań granicę koncentracji rzędu 80%. Dlatego w trakcie analizy zwrócona została szczególna uwaga na granice koncentracji kry lodowej na poziomie 15, 40 i 80%.

2. Charakterystyka badanych źródeł informacji

Spośród wielu dostępnych w Internecie źródeł informacji o stanie pokrywy lodowej wybrano

takie pliki, które przyjmuje WMO albo IHO do zastosowania w żegludze (WMO 2000, 2005, 2010/1, 2010/2; IHO 2014). Większość z nich 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 dotyczących wybranych regionów Oceanu Arktycznego projektu ESIMO (ryc. 1) w formacie rastrowym GIF (<http://www.bsis-ice.de/lce-Portal/Metareas.html>, dostęp 16.03.2016). Są one opracowywane na podstawie informacji satelitarnej (w paśmie widzialnym, podczerwieni i radarowym) oraz raportów ze stacji arktycznych i brzegowych oraz ze statków. Dane są zbierane przez 2–5 dni, a po uśrednieniu wydawane w każdy czwartek, który jest datą odniesienia;

2. Mapy koncentracji, wieku i form lodu na Oceanie Arktycznym AARI w formacie wektorowym georeferencyjnym typu ESRI Shape (<http://www.aari.ru/projects/ecimo/index.php?im=100>, dostęp 25.02.2016). Szczegóły publikacji są takie same jak wyżej opisane;

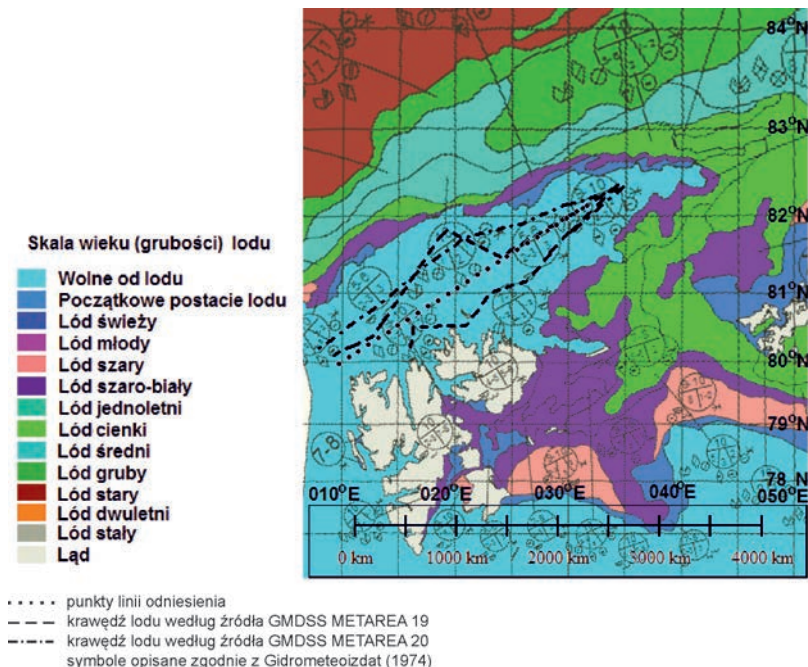
3. Mapy obliczeniowe prognozy (ryc. 2) koncentracji lodu na Oceanie Arktycznym AARI

w postaci izolinii w formacie rastrowym (<http://ocean8x.aari.nw.ru/index.php?id=600&model=3>, dostęp 25.02.2016);

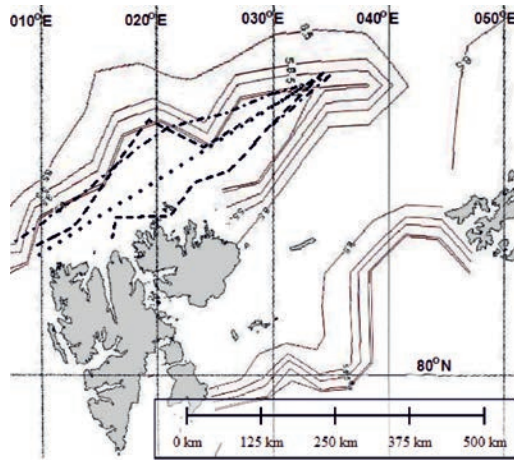
4. Mapy wieku lodu na Oceanie Arktycznym projektu PLANETA w formacie rastrowym JPG (<http://planet.iitp.ru/index1.html>, dostęp 22.02.2016). Do opracowania tych map używa się automatycznej klasyfikacji obiektów (analiza klastrów) z wielospektralnych danych satelitarnych z satelity Severyanin za pomocą obrazów SAR;

5. Mapy koncentracji kry lodowej w europejskiej części Oceanu Arktycznego NIS (ryc. 3) w formacie wektorowym georeferencyjnym typu ESRI Shape (<ftp://ftp.dnmi.no/projects/ICEMAR/general>, dostęp 28.02.2016). Są one opracowywane na podstawie obrazów SAR europejskich i kanadyjskich satelitów RADARSAT i ENVISAT w rozdzielczości 75–150 metrów. Rozdzielczość przestrzenna tych map jest równa 1000 m;

6. Mapy koncentracji lodu na Oceanie Arktycznym OSI SAF w formacie siatkowym georeferencyjnym typu GRIB (ryciny 4 i 5) w rozdzielczości siatki 0,25° szerokości geograficznej na 0,25° długości geograficznej (<ftp://ftp.dnmi.no/projects/icecharts>, dostęp 26.02.2016). Są one

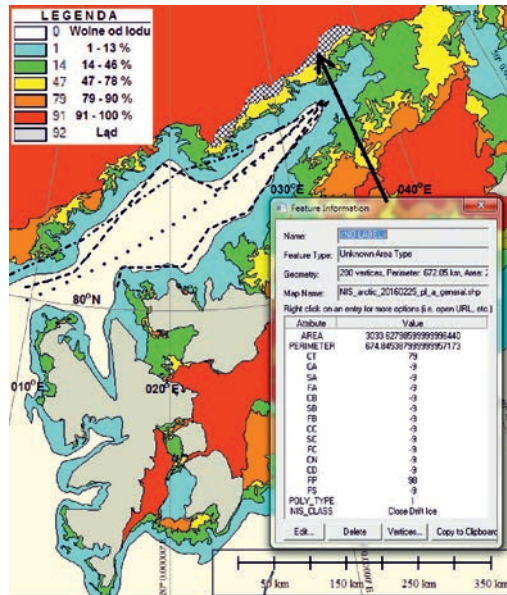


Ryc. 1. Mapa lodu morskiego projektu ESIMO



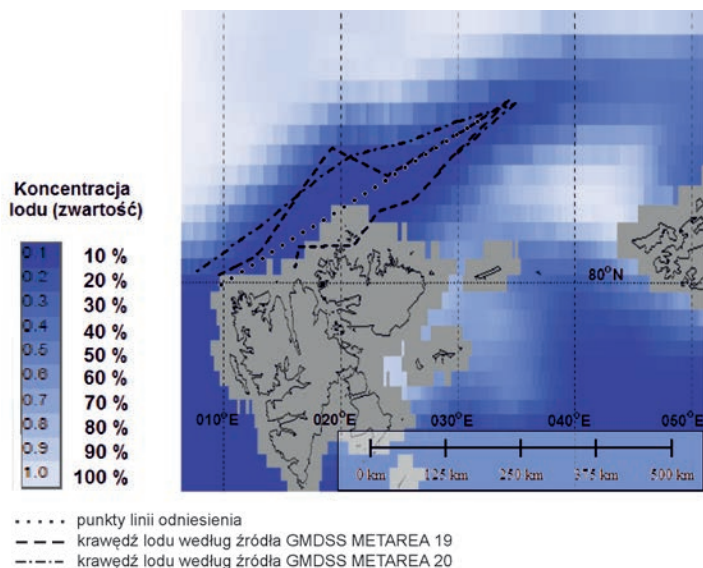
- punkty linii odniesienia
- - - - - krawędź lodu według źródła GMDSS METAREA 19
- · - · - krawędź lodu według źródła GMDSS METAREA 20

Ryc. 2. Mapa obliczeniowa koncentracji lodu morskiego AARI

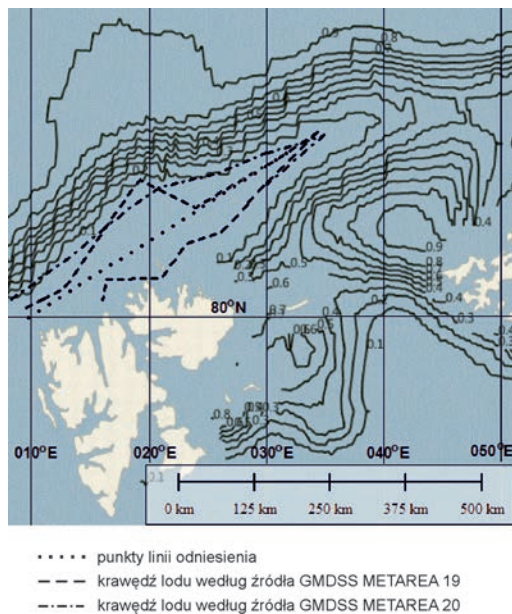


- punkty linii odniesienia
- - - - - krawędź lodu według źródła GMDSS METAREA 19
- · - · - krawędź lodu według źródła GMDSS METAREA 20
- ▨ obszar odniesienia dla informacji wyświetlanych w oknie

Ryc. 3. Mapa lodu morskiego NIS



Ryc. 4. Mapa koncentracji lodu morskiego w formacie GRIB (wizualizacja za pomocą programu *BallGate GRIB Weather File Viewer Professional*)



Ryc. 5. Mapa koncentracji lodu morskiego w formacie GRIB (wizualizacja za pomocą programu *Meteo Explorer*)

obliczane ze skorygowanych temperatur barwowych SSMIS, stosując powiązanie algorytmem state-of-the-art;

7. Mapy siatkowe koncentracji kry lodowej na Oceanie Arktycznym NOAA w formacie georeferencyjnym typu GRIB w rozdzielczości siatki 5 minut szerokości geograficznej na 5 minut długości geograficznej (<http://nomads.ncep.noaa.gov/pub/data/nccf/com/omb/prod/>, dostęp 25.02.2016). Są one wykonane na podstawie automatycznej analizy koncentracji lodu z redukcją efektów pogodowych (filtrowaniem). Kolejno stosowano informacje satelitarne SSMR, SSML, AMSR-E, SSML-S, AMSR2 z przetwarzaniem danych na podstawie programów Team 1 albo Team 2;

8. Mapy koncentracji kry lodowej w uproszczonej skali Marginal Ice Zone na Oceanie Arktycznym NIC w formacie wektorowym georeferencyjnym typu ERSI Shape (http://www.natice.noaa.gov/products/daily_products.html, dostęp 25.02.2016). Są one zestawione z różnych źródeł o lepszej rozdzielczości niż 50 metrów na piksel. Źródła informacji obejmują (ale nie wyłącznie) ENVISAT, OLS DMSP, AVHRR i RADARSAT. Analitycy przeprowadzają niezbędną interpretację obrazów, która zwiększa wartość tych źródeł dla prawidłowej identyfikacji zasięgu krawędzi lodu;

9. Mapy granicy 40% koncentracji kry lodowej na Oceanie Arktycznym NSIDC MASIE w formacie wektorowym georeferencyjnym typu ESRI Shape w rozdzielczości siatki 1 kilometr na 1 kilometr (<http://nsidc.org/data/G02186>, dostęp 30.03.2016). Przy tworzeniu tych map wykorzystuje się różnorodne źródła danych, takich jak MODIS, AVHRR-VIS, GOES, SEVIRI, MTSAT, AMSR-E, SSM / I, AMSU oraz obrazy SAR z RADARSAT-2, ERS-2, ALOS, PALSAR i ASAR. W przypadku braku bezpośrednich danych satelitarnych wykorzystywane są również mapy koncentracji lodu i krawędzi lodu z USA, Kanady, Norwegii, Danii, Rosji, Niemiec, Szwecji i Japonii. Są one opracowywane przez analityków przeszkolonych w interpretacji zobrazowania uzyskanego z teledetekcji satelitarnej i klimatycznych map lodu morskiego;

10. Mapy granicy lodu przekazywane przez system GMDSS (ryciny 1–6) otwartym tekstem drogą radiową albo satelitarną dla regionu METAREA 19 (<http://weather.gmdss.org/>, dostęp 25.02.2016);

11. Mapy granicy lodu przekazywane przez system GMDSS (ryciny 1–6) otwartym tekstem drogą radiową albo satelitarną dla rejonu METAREA 20 (<http://weather.gmdss.org/>, dostęp 25.02.2016);

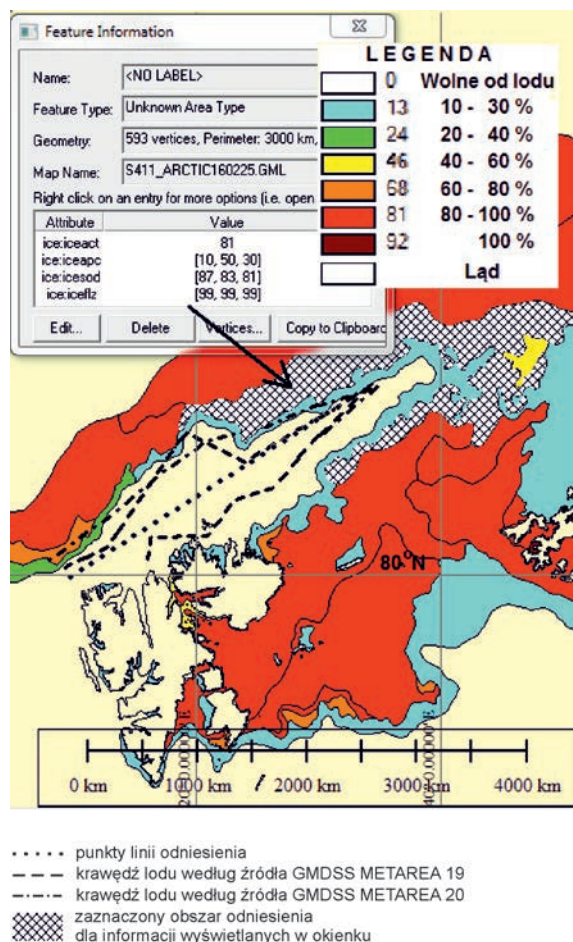
12. Mapy wektorowe analizy koncentracji kry, grubości lodu, rozmiarów kry lodowej NIC dla wybranych regionów Oceanu Arktycznego standardu S-411 (ryc. 6) w formacie georeferencyjnym typu GML (http://www.bsis-ice.de/IcePortal/ILP_S411.shtml, dostęp 25.02.2016). Uprzednio publikowane mapy tego producenta były oparte na analizie i integracji wszystkich dostępnych danych dotyczących warunków lodowych, w tym pogody i informacji oceanograficznych, obserwacji wizualnych z brzegu, statków i samolotów, z radarów lotniczych, zdjęć satelitarnych (RADARSAT, ENVISAT, MODIS, GMM) i danych klimatycznych.

W celu zapoznania się bliżej z metodami opracowywania map można skorzystać z przykładowych prac T. Eltoft i in. 2011, R. Erzaty i in. 2007, C.R. Jackson i J.R. Apel 2004, P. Rozman i in. 2011, G. Spreen i in. 2006 i H. Sumata i in. 2014.

3. Ocena spójności danych na mapach złodzenia

Przyjęto, że kryterium dokładności pozycji prezentowanych przez źródła informacji jest odchylenie standardowe dla charakterystycznych punktów na badanych mapach. Wyznaczono jeden punkt na Svalbardzie i jeden na Ziemi Franciszka Józefa. Odchylenie standardowe pozycji wyniosło 2,0 km. Jako kryterium porównywania informacji o stanie pokrywy lodowej przyjęto odległość poszczególnych granic stanu lodu od linii odniesienia przebiegającej przez środek strefy wolnej od lodu w badanym regionie dla wyznaczonych 26 punktów.

Krawędź występowania lodu ze źródła GMDSS dla regionu METAREA 19 wydawanego przez NIS wykazuje najniższe odległości względem wszystkich pozostałych grup informacji. Biuletyn METAREA 19 zastrzega się, że podana granica lodu nie służy do nawigacji. Można jednak przyjąć, że właśnie to źródło informacji wskazuje początek możliwości napotkania wszelkich postaci lodu. Wyznacza więc granice bezpiecznej nawigacji dla statków nie przystosowanych konstrukcyjnie do żeglugi



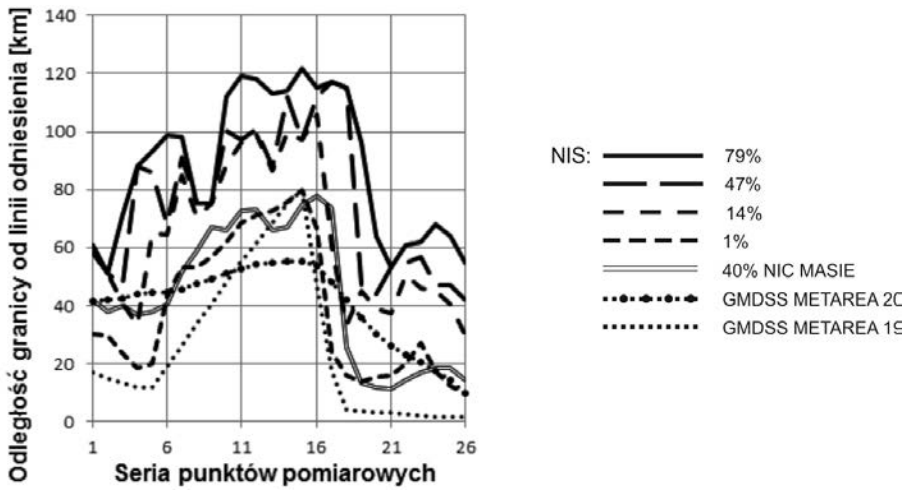
Ryc. 6. Mapa lodu morskiego w formacie GML standardu S-411

w lodzie i stawia nawigatora po najbezpieczniejszej stronie. Krawędź występowania lodu jest spójna z granicami koncentracji obrazowanymi na mapie NIS. Na rycinie 7 daje się zauważyć prawidłową sekwencję odległości poszczególnych granic. Natomiast krawędź lodu GMDSS dla regionu METAREA 20 wydawana przez AARI jest wyraźnie wygładzona. Linia MASIE dla koncentracji lodu 40% jest niespójna z danymi NIS, ponieważ pokrywa się z linią 1% koncentracji (NIS).

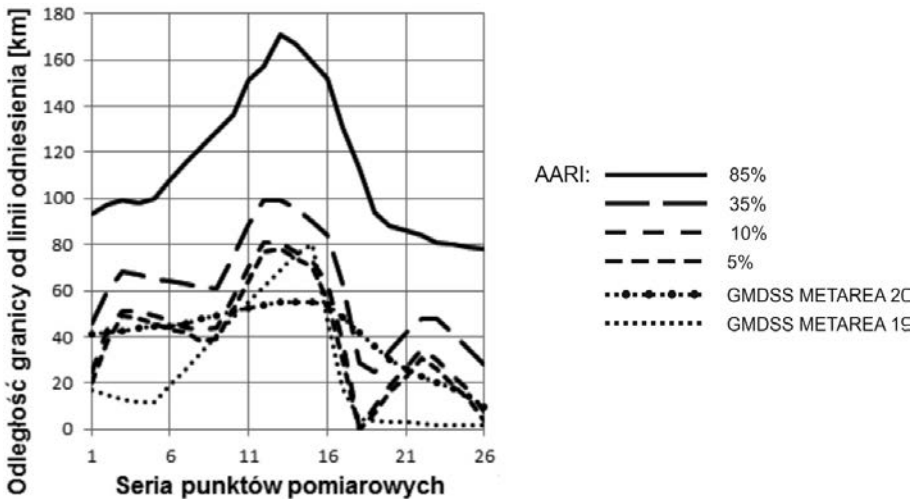
Przebieg krawędzi lodu wydawanej przez NIS dla regionu GMDSS METAREA 19 jest spójna z granicami koncentracji obrazowanymi na mapie obliczeniowej AARI. Na rycinie 8 daje

się zauważyć prawidłową sekwencję odległości poszczególnych granic. Natomiast krawędź lodu GMDSS dla regionu METAREA 20 wydawana przez AARI jest wyraźnie wygładzona i spójna z granicami 5 i 10% koncentracji obliczeniowych AARI. Jej linia trendu przebiega pomiędzy liniami trendu dla 5 i 10% koncentracji.

Przebieg krawędzi lodu wydawanej przez NIS dla regionu GMDSS METAREA 19 jest również spójna z granicami koncentracji obrazowanymi na mapie nowego standardu S-411. Na rycinie 9 zauważa się prawidłową sekwencję odległości kolejnych granic. Krawędź lodu GMDSS dla regionu METAREA 20 wydawana przez AARI jest wyraźnie wygładzona. Jej linia



Ryc. 7. Odległości granic od linii odniesienia (opracowanie własne)

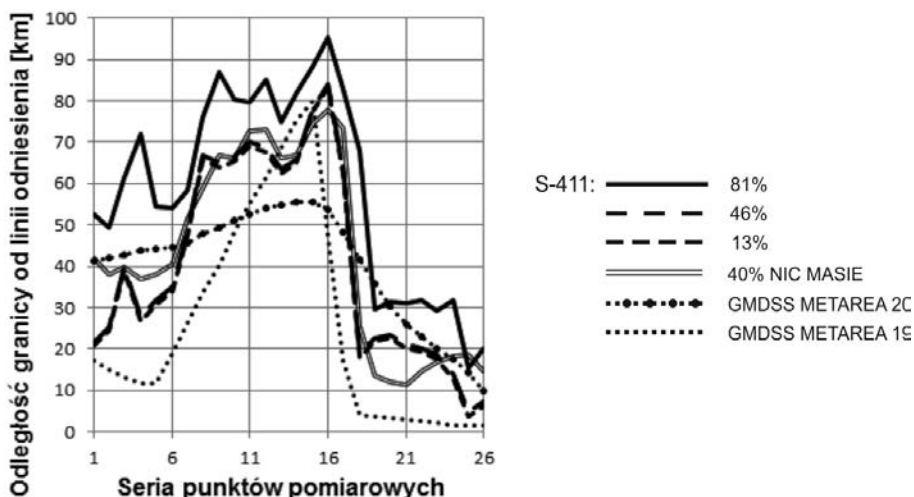


Ryc. 8. Odległości granic od linii odniesienia (opracowanie własne)

trendu jest zbieżna z linią trendu MASIE dla 40% koncentracji. Linia MASIE jest zbieżna z linią 46% koncentracji na mapie standardu S-411.

Linie jednakowej koncentracji plików typu GRIB wydawanych przez OSI SAF i NIC są zbieżne w grupach 10%, 40% i 80% koncentracji lodu. Grupy 10% i 80% nie są zbieżne z innymi źródłami. Tylko grupa o koncentracji 40% jest zbieżna z granicą 79% plików wydawanych przez NIS.

Bardzo wysoką zbieżność odległości wykazują granice początku występowania lodów większości źródeł (GMDSS METAREA 20, NIS 1%, AARI obliczeniowe 5%, NIC MIZ 13%, S-411 13%, S-411 46%, AARI obliczeniowe 10%, MASIE 40%). Pokrywanie się granic koncentracji lodu w średniej odległości 40,4 km (dla średnich odległości od 38,3 do 43,4 km) oraz pokrywanie się granic koncentracji 13 i 46% dla źródła S-411 sugeruje, że pas lodu o kon-



Ryc. 9. Odległości granic od linii odniesienia (opracowanie własne)

centracji od 1 do 46% zajmuje bardzo małą szerokość. W rzeczywistości szerokość tego pasa wynosi średnio 22,9 km przy odchyleniu standardowym 9,7 km (od 9,2 km do 49,2 km). Wydaje się, że źródło GMDSS dla regionu METAREA 20 wydawane przez AARI reprezentuje właśnie tę grupę i granicę koncentracji lodu 13%.

Granice źródeł NIC MIZ i S-411 dla wartości 13% i 81% są zbieżne. Można przypuszczać, że wynika to z opracowywania przez tego samego producenta (NIC). W rzeczywistości szerokość pasa dla koncentracji 13% wynosi średnio 3,5 km przy odchyleniu standardowym 3,4 km (od 0,7 km do 13,3 km). Szerokość pasa o koncentracji 81% wynosi średnio 9,2 km przy odchyleniu standardowym 9,1 km (od 0,2 km do 35,3 km). Można przyjąć, że pliki NIC MIZ obrazują uproszczoną skalę koncentracji w celu wskazywania położenia strefy MIZ. Znacznie szerszy zakres skali koncentracji reprezentują pliki S-411.

Granica lodu jednorocznego na mapach PLANETA mieści się w strefie MIZ o koncentracji od 13 do 81%. Należy jednak zaznaczyć, że granica lodu tego źródła ma odmienną linię trendu niż wszystkie pozostałe linie granic. Przebieg tej granicy nie jest w pełni zbieżny z granicami wieku (grubości) lodu ze źródła pochodzącego od innego producenta (AARI).

Granica lodu jednorocznego o grubości od 0,1 do 0,3 metra (AARI) jest zbieżna z przebiegiem i średnią wartością granic koncentracji lodu 81% na mapach NIC MIZ i S-411. Odchylenie granicy lodu jednorocznego o grubości 0,1 do 0,3 metra (AARI) od średniej odległości dla koncentracji 81% (NIC MIZ i S-411) wynosi średnio 5,9 km przy odchyleniu standardowym 5,9 km (od 0,7 km do 23,3 km). Przebiega ona poza strefami lodów przedstawianymi przez linie GMDSS METAREA 19, NIS 1%, NIC MIZ 13%, S-411 13%, S-411 46% i MASIE 40%.

Granica lodu wieloletniego o grubości 0,3 do 2,0 metra (AARI) jest zbieżna z granicą koncentracji 79% przedstawianą w pliku NIS. Jej średnia odległość od linii odniesienia jest większa o 5 km od linii 79% koncentracji (NIS). Również jej odległość wzdłuż linii odniesienia jest przeważnie większa od linii 79% (NIS). Można więc przyjąć, że strefa lodów wieloletnich jest poza strefą MIZ przedstawianą przez źródła GMDSS, MASIE, NIC MIZ i S-411. Zasada jest spełniona również dla granicy koncentracji lodu do 47% przedstawianej przez źródła NIS oraz granic koncentracji lodu 5 i 10% przedstawianych przez mapę obliczeniową AARI.

Jeżeli rozpatrywać skłonność źródeł danych do wykrywania lokalnych zmian stanu pokrywy lodowej to najwyższą „czułość” wykazują pliki

Tab. 1. Szerokość pasa granic w wyznaczonych przedziałach strefy MIZ

Przedział koncentracji [%]	Średnia szerokość pasa [km]	Odchylenie standardowe średniej [km]	Minimalna szerokość pasa [km]	Maksymalna szerokość pasa [km]
00 – 85	103,7	13,4	81,4	123,2
00 – 14	51,7	17,6	27,9	108,7
35 – 47	47,5	13,6	33,3	96,1
79 – 85	72,0	13,8	54,0	105,3

NIS a następnie AARI obliczeniowe koncentracji lodu. Mniejszą „czułość” wykazują mapy NIS MIZ, AARI (ESRI Shape) i S-411. Najmniejszą „czułością” wydają się charakteryzować pliki typu GRIB. Przyjęto, że przyczyną jest przyjęta przez producenta rozdzielczość opracowywania danych i rozdzielczość pozyskiwanych danych z wykorzystywanych źródeł teledetekcji satelitarnej. Więcej na ten temat w pracach T. Eltoft i in. 2011, R. Erzaty i in. 2007, C.R. Jackson i J.R. Apel 2004, P. Rozman i in. 2011, G. Spreen i in. 2006 oraz H. Sumata i in. 2014.

W poprzedniej pracy autora (T. Pastusiak 2015) na podstawie obserwacji naziemnych z pokładu statku stwierdzono najwyższą zgodność z warunkami rzeczywistymi danych zawartych w plikach koncentracji lodu w formacie JPG wydawanych przez NIS i regionalnych mapach elips lodowych w formacie PDF wydawanych przez NIC. Te ostatnie nie są już publikowane. Nieznacznie mniejszą spójność wykazywały pliki z uproszczoną skalą NIC MIZ. Obecnie analizowany plik NIS wykazuje się bardzo urozmaiconym przebiegiem linii granicznych. Zbieżne z tymi przebiegami są granice zobrazowane za pomocą plików S-411 i AARI (ESRI Shape). Ich przebieg wydaje się być jednak bardziej zgeneralizowany. Granice przedstawione na mapie NIC MIZ są również zbieżne z granicami na mapie NIS. Zawierają jednak tylko dwie wartości skali, a przez to ich treść jest znacznie ograniczona.

Średnia szerokość pasa zajmowanego przez analizowane granice lodu jest rzędu 100 km (tabela 1). Pasy zajmowane przez granice z dolnego przedziału strefy MIZ dla statków o średnich klasach wzmocnień lodowych wynoszą średnio 50 km. Pas linii ograniczających ze-

glugę statków o wysokich klasach wzmocnień lodowych jest rzędu aż 70 km. Nawigator mający podjąć decyzję dotyczącą wyboru trasy w lodach jest postawiony przed faktem niejednoznaczności. Nie wiadomo, która z map obrazuje stan faktyczny. Rozbieżności dotyczą od 1,5 do 6,7 godziny płynięcia statku z przeciętną prędkością 18,5 kilometra na godzinę (10 węzłów).

4. Wnioski

Badane mapy zlodzenia posiadają częstość linii graniczne dla różnych wartości odniesienia. Stąd maksymalna szerokość pasów poszczególnych granic strefy Mariginal Ice Zone jest rzędu 100 kilometrów. Pomimo tego udało się ustalić wzajemne zależności granic koncentracji, wieku i grubości lodu na poszczególnych mapach stanu zlodzenia. Wyniki tej pracy pozwalają na wyznaczenie trasy i zaplanowanie podróży statków w lodach odpowiednio do ich klasy wzmocnień lodowych kadłuba.

Średni błąd kwadratowy pozycji na analizowanych mapach wynosi +/- 2,0 km. Średnie położenia granic wykazują spójność za wyjątkiem map OSI SAF i NIS typu GRIB, które wydają się wskazywać zaniżone wartości koncentracji. Zbieżne są granice źródeł NIC MIZ i S-411 dla wartości 13% i 81%. Zbieżne są również granice 40% MASIE i 46% S-411.

Przebieg krawędzi lodu wydawanej przez NIS dla regionu GMDSS METAREA 19 jest spójna z granicami koncentracji obrazowanymi na mapach NIS, obliczeniowych AARI i nowego standardu S-411. Wydaje się, że obrazuje on dobrze granice regionu, gdzie statek może napotkać jakiegokolwiek formy lodu. Krawędź lodu GMDSS dla regionu METAREA 20 wydawana przez AARI jest wyraźnie wygładzona, spójna

z granicami 5 i 10% koncentracji obliczeniowych AARI. Wydaje się, że źródło GMDSS dla regionu METAREA 20 wydawane przez AARI reprezentuje granice od 1 do 46% wszystkich źródeł informacji i średnio granicę koncentracji lodu 13%.

Granica lodu jednorocznego o grubości od 0,10 do 0,30 metra (AARI) jest zbieżna z przebiegiem i średnią lokalizacją granic koncentracji lodu 81% na mapach NIC MIZ i S-411. Przebiega ona poza strefami lodów przedstawianymi przez linie GMDSS 19, NIS 1%, NIC MIZ 13%, S-411 13%, S-411 46% i MASIE 40%. Granica lodu wieloletniego o grubości od 0,30 do 2,00 metra (AARI) jest zbieżna z granicą koncentracji 79% przedstawianą w pliku NIS. Jest ona poza strefą MIZ przedstawianą przez źródła GMDSS, MASIE, NIC MIZ, S-411, poza granicą koncentracji lodu do 47% przedstawianej przez źródła NIS oraz poza granicami koncentracji lodu 5 i 10% przedstawianych przez mapę obliczeniową AARI.

Literatura

Eltoft T., Lavergne T., Dinussen F., Ivanova N., Sandven S., Similä M., Eriksson L., Borenäs K., Lindberg A., Håkansson B.I., Saldo R., Buus-Hinkler J., Dierking W., Douleris A., Lavergne T., Mäkynen, Cheng B., Similä M., Hughes N., Berg A., Buus-Hinkler J., Ivanova N., Dierking W., 2011, *Nordic Workshop on Radar Remote Sensing of Sea Ice*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden 11 & 12 January, 2011, ftp://sidads.colorado.edu/pub/projects/noaa/iicwg/business/Nordic_WS_Proceedings.pdf, dostęp 5.03.2016; 58 s.

Erzaty R., Girard-Arduin F., Croize-Fillon D., 2007, *Sea ice drift in the central Arctic using the 89 GHz brightness temperatures of the advanced microwave scanning radiometer. Users manual*. Laboratoire d'Océanographie Spatiale, Département d'Océanographie Physique et Spatiale, IFREMER: 20.

Gidrometeoizdat, 1974, *Nomenklatura morskich kart, uslownyje oboznaczenija dla ledowych kart (Номенклатура морских карт, условные обозначения для ледовых карт)*, 77 s.

IHO, 2014, *Ice Information Product Specification, JCOMM S-411*, Monaco, 47 s.

Jackson C.R., Apel J.R., 2004, *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual*. Washington: Department of Commerce, <http://www.sarusersmanual.com>, dostęp 5.03.2016.

Mahoney A.R., Barry R.G., Smolyanitsky V., Fetterer F., 2008, *Observed sea ice extent in the Russian Arctic,*

Akronimy

AARI – Arctic and Antarctic Research Institute
 DARMS – Drifting Automatic Radio Meteorological System
 GMDSS – Global Maritime Distress and Safety System
 IABP – International Arctic Buoy Programme
 IHO – International Hydrographic Office
 JCOMM – Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology
 MASIE – Multisensor Analyzed Sea Ice Extent
 METAREA – Geograficzny obszar morski ustanowiony w celu koordynowania transmisji morskich informacji meteorologicznych
 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
 OSI SAF – Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility
 SLAR – Side Looking Airborne Radar
 WMO – World Meteorological Organization

1933–2006. „Journal of Geophysical Research” Vol. 113, C11005, doi: 10.1029/2008JC004830.

Pastusiak T., 2010, *Znak lodowy jako element bezpieczeństwa statków w rejonach polarnych*. „Prace Wydziału Nawigacyjnego Akademii Morskiej w Gdyni” T. 25, s. 61–70.

Pastusiak T., 2015, *Ship's route planning in ice infested areas of northern Svalbard following ice charts made by remote sensing methods. W: Activities in navigation. Marine navigation and safety of sea transportation*. CRC Press, Balkema book, s. 181–192.

Rozman P., Hölemann J.A., Krumpfen T., Gerdes R., Köberle C., Lavergne T., Adams S., Girard-Arduin F., 2011, *Validating satellite derived and modelled sea-ice drift in the Laptev Sea with in situ measurements from the winter of 2007/2008*. „Polar Research” Vol. 30 (2011), <http://www.polarresearch.net/index.php/polar/article/view/7218>, dostęp 5.03.2016.

Spreen G., Kern S., Stammer D., 2006, *Utilization of multiple satellite sensors to estimate sea ice volume flux through Fram Strait, in Arctic sea ice thickness: past, present & future*. W: P. Wadhams & G. Amanatidis (red.), *Climate Change and Natural Hazards*. Series 10, European Commission, Brussels, EUR 22416, http://spreen.info/docs/Spreen-ETAI-2006_EU-Book_ArcticSeaIceThickness.pdf, dostęp 5.03.2016, s. 176–192.

- Sumata H., Lavergne T., Girard-Ardhuin F., Kimura N., Tschudi M.A., Kauker F., Karcher M., Gerdes R., 2014, *An intercomparison of Arctic ice drift products to deduce uncertainty estimates*. „Journal of Geophysical Research of Oceans” 119, s. 4887–4921, doi: 10.1002/2013JC009724. http://olga.majling.eu/ICE/Sumata-2014-An%20intercomparison%20of%20SIP_r.pdf, dostęp 03.2016, 35 s.
- WMO, 2000, *Sea-Ice Information Services in the World*. Edition 2000, WMO, No. 574.
- WMO, 2004/1, *WMO Colour Code Standards*. WMO/TD, No. 1215, JCOMM Technical Report No. 24, 14 s.
- WMO, 2004/2, *WMO Sea-Ice Nomenclature Terminology*. WMO/OMM/BMO, No. 259, Vol. 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. Geneva, 75 s.
- WMO, 2010/1, *Manual on Codes, International Codes*. Vol. 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.

Consistency of data presented on modern maps of ice cover in the Arctic

Summary

Information about the condition of ice cover on surface of the water, which are the content of map, are important for carrying out safe navigation and efficient economic activity in the polar regions. Methods of mapping can be fully automated on the basis of developed through years of experience algorithms or additionally supported by experienced professionals. The content of some of those now commonly encountered maps is compiled on the basis of mixed methods. In this work geographic positions of ice maps content are analyzed taking into consideration their usefulness for planning ship's voyage in ice. The results of this work allow using the contents of studied maps for determining the ship's route in ice and voyage planning of the ship in ice according to her hull strengthening.

The ice maps often have boundary lines for different values of reference. The maximum width of the strips of each boundary line within the Marginal Ice Zone is 100 km. The mean square error of position of the analyzed maps is +/- 2.0 km. Average locations of boundaries are consistent except for GRIB type maps of the OSI SAF and NIS, which seem to indicate

much lower value of ice floe concentration. The NIC MIZ maps and S-411 standard maps are consistent for 13% and 81% concentration. The 40% limits on MASIE maps and 46% limits of concentration on S-411 standard maps are also consistent. The course of ice edge issued by the NIS for the GMDSS METAREA, 19 region visualizes well the boundaries of the area where a ship might encounter any form of ice. Information of the GMDSS METAREA 20 region issued by the AARI represents the average of the limits 1 to 46% of all sources of information, and on average the 13% limit of ice concentration. The one-year old ice limit with thickness of 0.10 to 0.30 meters on the AARI map is consistent with course and average location of boundaries of 81% ice concentration on the NIC MIZ map and S-411 standard map. The multi-year old ice limit of thickness from 0.30 to 2.00 meters on the AARI map is coincident with the 79% limit of concentration displayed on the NIS map.

Keywords: ice map content, S-411 standard, remote sensing, safety of sea transport, ice navigation

Niniejszy tekst jest tłumaczeniem artykułu: T. Pastusiak, *Consistency of data presented on modern maps of ice cover in the Arctic*. „Polish Cartographical Review” Vol. 48, 2016, no. 2, pp. 55–66, DOI: 10.1515/pcr-2016-0005. W przypadku cytowania należy podawać wersję pierwotną.