

KATARZYNA LANGE

Katedra Meteorologii i Oceanografii Nautycznej Akademii Morskiej w Gdyni
k.lange@am.gdynia.pl

Kalibracja dawnych map zasięgu lodów morskich w Arktyce z zastosowaniem systemów informacji geograficznej

Zarys treści. Podstawowym materiałem badawczym do analizy zmian w czasie zasięgu lodów morskich w Arktyce są mapy archiwalne. Poprawne przeprowadzenie takich analiz umożliwiają systemy informacji geograficznej (GIS). Autorka omawia problemy kalibracji dawnych map lodowych Arktyki z pierwszej połowy XX wieku, pochodzących z Duńskiego Instytutu Meteorologicznego. Świadomość błędów, które powstają już w momencie określania pozycji statku lub szacowania odległości do obszarów pokrytych lodem rzuca światło na ogólną dokładność danych, jaka jest niezbędna przy wyborze metod rejestracji.

Słowa kluczowe: GIS historyczny, kalibracja map, zasięg lodów morskich, Arktyka

1. Wprowadzenie

Współcześnie trwa debata, czy obserwowane w ostatnich dwóch dekadach znaczne zmniejszanie się pokrywy lodowej w Arktyce (J.C. Comiso i inni 2008, D. Perovich i inni 2012) jest skutkiem globalnego ocieplenia spowodowanego działalnością człowieka, czy jest to, jak twierdzą niektórzy badacze (m.in. P. Chylek i inni 2009), głównie wynik procesów naturalnych o cyklicznym lub quasi-cyklicznym charakterze. Szereg obserwacji satelitarnych lodu morskiego jest zbyt krótki (od 1979 roku) aby móc udzielić odpowiedzi na to pytanie. Chcąc sprawdzić, czy już wcześniej nie dochodziło do podobnych zmian jak obecnie obserwowane, trzeba sięgać do materiałów dokumentujących wielkość zlodzenia w czasach historycznych.

Najwięcej informacji o występowaniu lodów morskich w czasach historycznych dostarczają stare zapisy w dziennikach okrętowych i notatki ówczesnych kapitanów statków nawigujących po wodach Arktyki i Subarktyki oraz opracowane na ich podstawie mapy zasięgu lodów mor-

skich. Mapy te zawierają pierwotne informacje, do których nie wprowadzono później zmian. Na obszarze mórz nordyckich (morza Grenlandzkie, Norweskie i Barentsa; T. Vinje 2001), w szeroko rozumianym rejonie Spitsbergenu, informacji na temat zmian zasięgu lodów morskich w czasach historycznych dostarcza zbiór danych „March through August Ice Edge Positions in the Nordic Seas, 1750–2002” udostępniony przez National Snow and Ice Data Center w Stanach Zjednoczonych (D.V. Divine i C. Dick 2007). Zbiór ten dla lat 1750–1966 bazuje na danych archiwalnych zgromadzonych przez Norwegian Meteorological Institute (NMI). Opis tej części zbioru zawiera praca T. Vinje (2001). Dimitry Divine oraz Chad Dick, opierając się na dawnych mapach, informacjach zawartych w dziennikach okrętowych i zapiskach zgromadzonych w archiwach norweskich opracowali za pomocą programu MatLab mapy zasięgu lodu dla poszczególnych miesięcy, od kwietnia do sierpnia w tych latach, kiedy istniały jakies zapisy (D.V. Divine i C. Dick 2006). Omawiany zbiór danych stał się źródłem dla wielu opracowań dotyczących zmienności warunków lodowych na obszarze mórz nordyckich (m.in. T. Vinje 2001, I. Shapiro, R. Colony i T. Vinje 2003) oraz pozwolił na wyznaczenie okresów rozwoju i zaniku pokrywy lodowej na tym obszarze.

W pierwszej połowie XX wieku liczba dostępnych informacji o występowaniu lodów była w poszczególnych miesiącach bardzo zróżnicowana i nie zawsze pozwalała na precyzyjne wyznaczenie zasięgu lodów, choć czasami była na tyle obszerna, że umożliwiawała nawet określenie zwartości lodu. Jednak w wielu miesiącach informacje na temat występowania

nia na morzach nordyckich lodów morskich zgromadzone w NMI są bardzo wyrzawkowe i nie pozwalają na wyznaczenie ciągłego zasięgu lodów na tym obszarze.

W 2011 roku Danish Meteorological Institute (DMI) udostępnił zbiór zeskanowanych, archiwalnych map pokrywy lodowej sporządzanych corocznie w tym instytucie na podstawie informacji o zasięgu lodu zawartych w dziennikach okrętowych (Nautisk Meteorologisk Aarbog) i zapiskach zgromadzonych w duńskich zbiorach. Mapy te były opracowane dla kilku miesięcy sezonu ciepłego – okresu, w którym w pierwszej połowie XX wieku w rejony arktyczne wpływały statki rybackie, zajmujące się połowem wielorybów i fok. Zbiór „Arctic Sea ice data collected by DMI 1893–1961” zawiera mapy dla kwietnia, maja, czerwca, lipca i sierpnia (<http://brunnur.vedur.is/pub/trausti/lkort/>), przy czym nie dla każdego roku dostępne są mapy z wszystkich wymienionych miesięcy.

Już zgrubne porównanie map z kolekcji DMI z dotychczas znanymi informacjami o zasięgu lodów na morzach nordyckich znajdującymi się w zbiorze D.V. Divine'a i C. Dicka (2006, 2007) pozwala postawić tezę, że mapy duńskie mogą uszczegółowić posiadaną wiedzę na temat przebiegu skraju lodów, a zatem i powierzchni lodów w sektorze atlantyckiej Arktyki, dlatego też przystąpiono do ich opracowania.

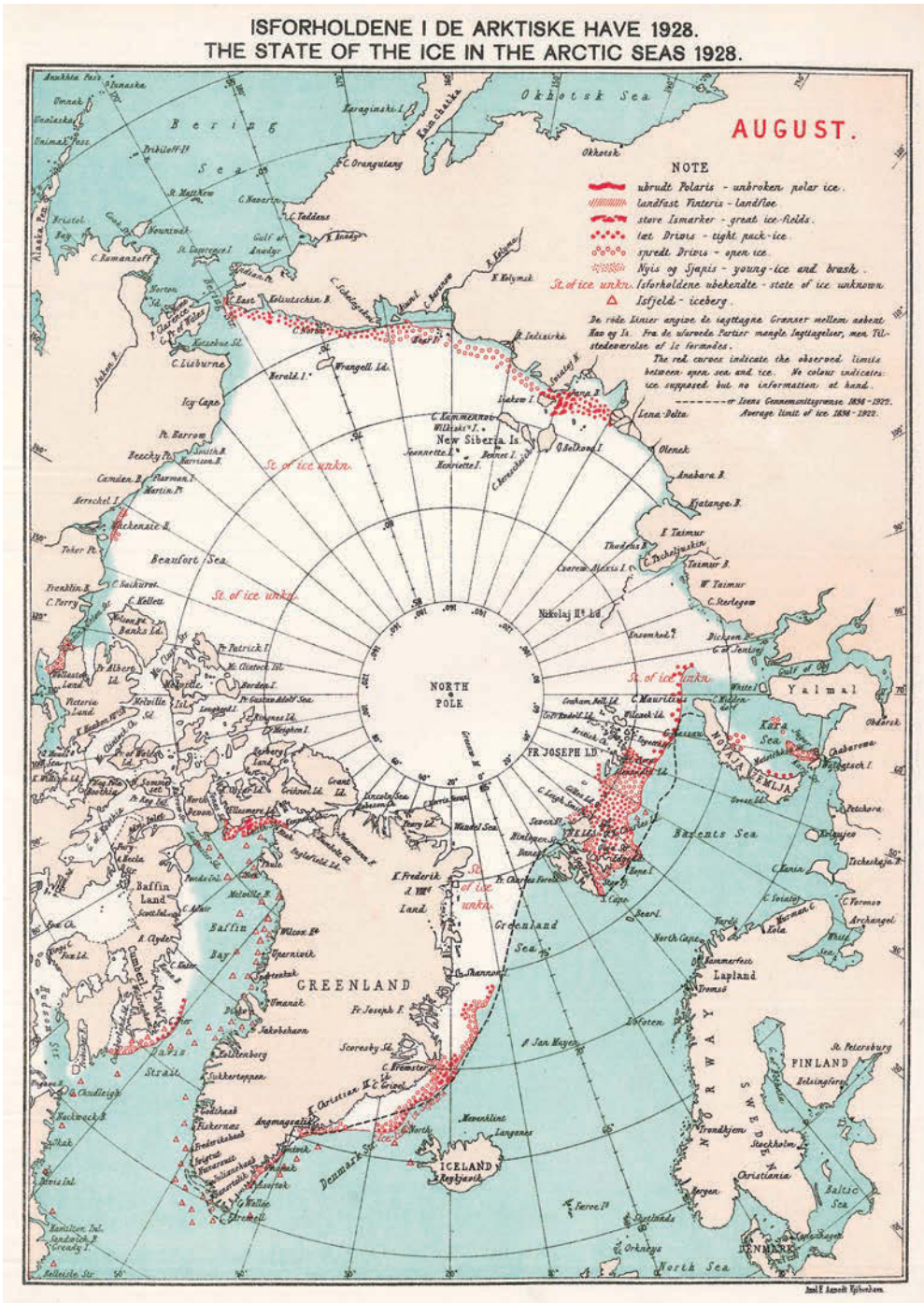
Warunkiem koniecznym do rzetelnego przeprowadzenia takiego opracowania jest dokładne dopasowanie map archiwalnych do współczesnych materiałów kartograficznych oraz oszacowanie błędu takiego dopasowania (A. Affek 2012). Do pracy z takimi archiwalnymi danymi konieczna jest odpowiednia rejestracja dawnych map we współczesnym układzie współrzędnych. W tym celu najlepiej jest wykorzystać możliwości, jakie dają systemy informacji geograficznej (GIS). Najważniejszym etapem takiej pracy jest przekształcenie dawnej mapy z postaci papierowej lub pliku graficznego do postaci cyfrowej w formacie wektorowym. Należy tu postawić pytanie, czy zasady kalibracji (w programie ArcGIS nazwanej „nadaniem georeferencji”, czyli rejestracji rastra w układzie współrzędnych za pomocą punktów kontrolnych – J. Urbański 2011), stosowane w tej procedurze w odniesieniu do dawnych map przedstawiających obszary lądowe, będą możliwe do wykorzystania lub prawidłowe w odniesieniu do map morskich.

2. Metody kalibracji map

W systemach informacji geograficznej proces rejestracji zeskanowanych map opiera się na wyznaczeniu formuły transformacji na podstawie znajomości współrzędnych pewnej liczby punktów kontrolnych w tych samych miejscach powierzchni Ziemi na skanie i na mapie. Najczęściej stosuje się transformacje: podobieństwa lub Helmerta (*similarity*), afiniczną (*affine*), projekcyjną (*projective*) oraz elastycznego dopasowania (*rubbersheeting*). Pierwsze trzy transformacje są określane przez formuły, które przeliczają współrzędne każdego punktu obiektów wektorowych do nowych współrzędnych. Transformacja afiniczna w porównaniu z transformacją Helmerta daje dodatkowo możliwość zmiany kształtu obiektów poprzez ich nachylenie. Transformacja projekcyjna wykorzystywana jest do rejestracji obrazów wektorowych pozyskiwanych ze zdjęć lotniczych. *Rubbersheeting*, czyli transformacja elastycznego dopasowania, nie tworzy uniwersalnej formy, dokonuje natomiast przekształceń lokalnie na podstawie przeprowadzonych połączeń punktów kontrolnych. Metoda ta ma zastosowanie do transformacji obiektów wektorowych, otrzymanych ze skanów wcześniej poddanych georeferencji (J. Urbański 2011). Transformacja typu *rubbersheetingu* jest zalecana do stosowania przy kalibracji map dawnych (P. Podobniak 2009). Przykładami zastosowania tej metody są kalibracje dawnych map Tokio (E. Shimizu, T. Fuse 2003) oraz delty Padu (G. Bitelli, S. Cremonini, G. Gatta 2009). Uzyskane przez cytowanych autorów wyniki wskazują, że jest to rzeczywiście dobra metoda w odniesieniu do map nieopartych na osnowie geodezyjnej. Na mapach tych musi się jednak znajdować duża liczba obiektów, których wzajemne względne położenie jest przedstawione prawidłowo.

3. Kalibracja map lodowych DMI

Na początku XX wieku rozpoznanie wybrzeży Arktyki było bardzo słabe. Z tego względu na archiwalnych mapach pokrywy lodowej ze zbioru Danish Meteorological Institute szczególność konturów lądów jest niewielka (ryc. 1). Powoduje to duże trudności ze znalezieniem charakterystycznych punktów dowiązania. Liczba wyrazistych przylądków, charakterystycznych skał przybrzeżnych lub szczytów górskich,



Ryc. 1. Mapa lodowa ze zbioru Duńskiego Instytutu Meteorologicznego dla sierpnia 1928 r. (<http://brunnur.vedur.is/pub/trausti/Iskort/>)

Fig. 1. Map of ice from the Danish Meteorological Institute set for August 1928. (<http://brunnur.vedur.is/pub/trausti/Iskort/>)

które oznaczone są na wszystkich mapach ze zbioru DMI, jest bardzo mała. W takiej sytuacji do kalibracji omawianej serii map zastosowano metodę afiniczną, która nie wymaga dużej liczby punktów dowiązania (minimum cztery).

Proces dowiązania w GIS może opierać się na warstwie wektorowej (*shapefile*) punktowej, liniowej lub poligonowej. Rejestracja map lodowych ze zbioru DMI została przeprowadzona w programie ArcGis 10.0 za pomocą zestawu narzędzi o nazwie *georeferencing*. W zależności od typu warstwy, do której dowiązywano był skan mapy archiwalnej, rejestracji dokonywano trzema metodami:

- współrzędnych punktowych,
- AOI (dowiązania do rogów obszaru zainteresowania),
- dowiązania znanej treści mapy (za pomocą warstwy liniowej lub poligonowej).

Zastosowanie metody współrzędnych punktowych wiąże się ze znajomością dokładnych współrzędnych geograficznych na skanie. Sytuacja taka występuje, gdy np. mapa ma rysowaną siatkę geograficzną (lub krzyże) i można odczytać współrzędne w miejscu krzyżowania się równoleżników i południków. Duże znaczenie ma tu dokładność siatki i grubość linii. Wybiera się kilka lub kilkanaście (w zależności od dokładności, jaką chce się uzyskać) równomiernie rozmieszczonych punktów i wprowadza ich współrzędne do nowego pliku tekstowego w ArcGis o nazwie *dBase table*. Następnie za pomocą funkcji *display XY* określa się dla *X* wartość długości geograficznej, dla *Y* wartość szerokości geograficznej oraz odpowiedni układ współrzędnych, tworząc w ten sposób punktową warstwę tymczasową (plik *shapefile*, zakończony wyrażeniem *event*). Plik ten należy wyeksportować do nowej warstwy. Opisana procedura pozwala na zmianę układu współrzędnych z geograficznego (jeśli taki początkowo zastosowano) na jeden z predefiniowanych (*predefined*). W tym przypadku zastosowano układ polarny-stereograficzny. Posiadając warstwę punktów można dowiązać odpowiadające sobie punkty ze skanu do punktów warstwy wektorowej. Główną trudnością, jaka pojawiła się przy tego typu rejestracji omawianych archiwalnych map lodowych, był brak pokrywania się linii brzegowej. Mogło to wskazywać na nieprecyzyjny rysunek siatki geograficznej skanu, spowodowany zniekształceniami powstałymi podczas skanowania. Innym powodem braku pokrycia linii brzegowej

skanu i warstwy referencyjnej mogło być początkowo słabe rozpoznanie wybrzeży Arktyki. Duńskie mapy lodowe, choć obejmowały ten sam obszar, różniły się nieco między sobą dokładnością. Początkowo treść lądowa map była bardzo niepewna, z czasem położenie wielu rozpoznanych obiektów obciążone było coraz mniejszym błędem. Im bliżej 1956 roku, tym mapy i siatki geograficzne były bardziej precyzyjnie narysowane. Pomimo tego, dodanie większej liczby punktów kontrolnych nie eliminowało nienakładania się linii brzegowej. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie metody współrzędnych punktowych do kalibracji map lodowych ze zbioru DMI jest ograniczone i może być obciążone dużym błędem.

Metoda dowiązania do obszaru zainteresowania (*area of interest*) polega na dowiązaniu skanu w rogach prostokąta, w którym zawiera się treść mapy. Niezbędna do tego jest znajomość układu współrzędnych, w którym została sporządzona mapa oraz współrzędnych rogów interesującego nas obszaru. Odwzorowanie stereograficzne archiwalnych map lodowych ze zbioru DMI i umiejscowienie treści mapy wyklucza możliwość szczytania współrzędnych rogów mapy. Metodę dowiązania można jednak zastosować, jeśli ograniczy się ją do najbardziej skrajnych punktów skrzyżowań siatki geograficznej. W takim przypadku, podobnie jak w pierwszej metodzie, można wprowadzić współrzędne najbliższe rogom mapy i współrzędne skrzyżowań siatki, a następnie wyświetlić punkty i je połączyć. W ten sposób można utworzyć poligon AOI, który będzie służył do rejestracji kolejnych skanów. Niestety, w przypadku archiwalnych map lodowych ze zbioru DMI, prawy górny róg mapy uniemożliwia odczytanie takich współrzędnych i dokonanie poprawnej kalibracji.

Trzecia z możliwych metod rejestracji – dowiązania znanej treści mapy – wymaga znajomości układu geograficznego, w jakim została opracowana mapa oraz istnienia warstwy liniowej lub poligonowej odzwierciedlającej np. przebieg linii brzegowej i granic państw na skanie mapy archiwalnej. W analizowanym przypadku zastosowana została wektorowa warstwa mapy świata, którą przetransformowano za pomocą narzędzia o nazwie *Project* do układu współrzędnych polarnych (odwzorowanie stereograficzne). Istotnym krokiem w omawianej metodzie jest zmiana układu

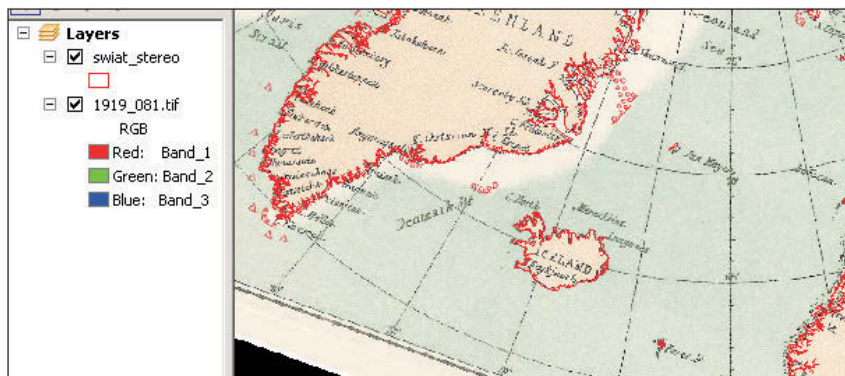
współrzędnych na docelowy, a następnie dowiązanie odpowiadających sobie miejsc na skanie i warstwie liniowej lub wektorowej. Przy stosowaniu tej metody należy pamiętać o wybraniu najbardziej charakterystycznych miejsc dowiązania, czyli punktów kontrolnych stanowiących najbardziej trwale elementy w krajobrazie (J. Urbański 2011, P. Podobnikar 2009). Archiwalne mapy lodowe ze zbioru DMI przedstawiają z treści lądowej jedynie linię brzegową, na której można wyróżnić tylko nieliczne punkty charakterystyczne, takie jak np. wyraźnie zaznaczające się przylądki i wyspy. Aby dokonać rejestracji omawianych map lodowych metodą dowiązania znanej treści mapy wybrano cztery punkty, dla których średni błąd kwadratowy *RMS* (*root mean square error*) był najmniejszy. Punkty te były rozmieszczone mniej więcej równomiernie na mapie. Dowiązanie skanu mapy na podstawie czterech charakterystycznych przylądków dało oczekiwany efekt rejestracji. Metoda dowiązania znanej treści mapy, w przeciwieństwie do wcześniejszych, pozwoliła na nałożenie się linii brzegowej na skanie i na warstwie wektorowej, do której była dowiązywana (ryc. 2).

jednak pytanie, czy istnieje konieczność podniesienia jakości rejestracji przy tego typu danych, jakimi są mapy lodowe ze zbioru DMI?

Zdaniem A. Affeka (2012) proces kalibracji map nieopartych na osnowie geodezyjnej wymaga dobrej znajomości terenu objętego zasięgiem mapy i jego historii. W przypadku archiwalnych map zasięgu lodów morskich niezbędne jest zatem poznanie metod ustalania pozycji statku w tamtych czasach.

Mapy lodowe ze zbioru DMI powstawały na podstawie danych z dzienników okrętowych różnego rodzaju statków. Ponieważ statek określał położenie granicy lodów względem swojego położenia poprzez dokonanie namiarów i szacowanie odległości od granicy lodu, kluczowym zagadnieniem jest błąd, z jakim była określana pozycja (współrzędne geograficzne) statku. Należy uświadomić sobie, że techniki ustalania położenia w końcu XIX i pierwszej połowie XX wieku były całkowicie odmienne od stosowanych obecnie (przełom XX i XXI wieku) – radionawigacyjnych i satelitarnych.

Istniały dwie techniki określania pozycji – terestryczna, którą stosowano w przypadku, gdy statek znajdował się w zasięgu widocz-



Ryc. 2. Nałożenie się po kalibracji linii brzegowych skanu i warstwy wektorowe w programie ArcGis 10.0

Fig. 2. Overlap shorelines from scanned map and vector layer after the calibration in ArcGis 10.0

Satysfakcjonująca wizualnie rejestracja archiwalnych map lodowych pozwala na digitalizację zasięgu występowania lodów. Posiadanie wektorowej warstwy sczytanej ze skanu pozwala na zastosowanie kolejnej metody rejestracji, która mogłaby zwiększyć dokładność kalibracji danych, czyli metody *rubbersheetingu*. Powstaje

ności lądu oraz astronomiczna, którą stosowano w przypadku, gdy statek znajdował się poza zasięgiem tej widoczności.

Terestryczne określanie pozycji polegało na wykonywaniu namiarów kompasowych na charakterystyczne punkty wybrzeża o znanych współrzędnych geograficznych. Były to naj-

częściej przyładki, charakterystyczne skały przybrzeżne, szczyty górskie itp., a na obszarach zamieszkałych – znaki nawigacyjne, latarnie morskie, charakterystyczne budowle. Wykonując kilka (zazwyczaj nie mniej niż trzy) namiary kompasowe na takie obiekty, a następnie zamieniając je na kontrnamiary¹ i rysując je na mapie nawigacyjnej jako proste wychodzące z tych punktów, uzyskiwano przecięcie tych prostych (linii pozycyjnych) w ograniczonym obszarze. W obszarze przecięcia linie pozycyjne tworzyły trójkąt (lub wielokąt) błędu. Punkt centralny wewnątrz trójkąta błędu wyznaczał najbardziej prawdopodobną pozycję statku (J. Giertowski, W. Meissner 1969). Jak widać z tego opisu, stosowana metoda stanowiła praktycznie znane z topografii „wcięcie wprzód”.

Dokładność tak wyznaczonej pozycji względem obiektów, na które brano namiary była duża, określał ją błąd graficzny. Jeśli jednak mapa zawierała błędy w określeniu współrzędnych tych punktów, były one automatycznie przenoszone na pozycję statku. Mapy obszarów polarnych w owych czasach nie były zbyt dokładne, ponadto – ze względu na różny stopień poznania linii brzegowej – ich dokładność nie była jednolita w czasie i przestrzeni².

W przypadku, kiedy statek znajdował się poza zasięgiem widoczności lądu, pozycję statku wyznaczano metodą astronomiczną. W Arktyce, gdzie żegluga odbywała się w okresie dnia polarnego i nie było można określić pozycji z gwiazd, pozostawało tylko Słońce. Pozycję (szerokość i długość geograficzną) można było wyznaczyć jedynie w momencie, gdy Słońce znajdowało się w kulminacji. Odbywało się to przez pomiar wysokości Słońca i rejestrację czasu momentu kulminacji (za pomocą chronometru okrętowego). Taka pozycja,

jeśli została wykonana prawidłowo była dokładna, w granicach $\pm 1\text{--}2$ mil morskich (A. Ledóchowski 1972). Przykrycie Słońca przez chmury w momencie kulminacji uniemożliwiało określenie pozycji. Ponieważ zachmurzenie w Arktyce latem jest duże, uzyskanie pozycji tą metodą było często niemożliwe.

Położenie statku po uzyskaniu pozycji było określane zliczeniowo. Polegało to na narysowaniu na mapie kursu statku od ostatniej obserwowanej pozycji i odcięciu na nim przebytej drogi. Tę ostatnią szacowano z pomierzonej prędkości i upływu czasu od momentu ustalenia ostatniej pozycji. Pomiar kierunku ruchu statku (kurs kompasowy) był teoretycznie dość dokładny ($\pm 2^\circ$), jednak nie uwzględniał występującego dryfu i znosu powodowanego przez parcie wiatru na statek i działania prądu, jeśli ten ostatni był nieznan. Pomiar prędkości statku obarczony był dużym błędem, rzędu 1 węzła (1852 m/godzinę), wobec prymitywnego przyrządu do pomiaru prędkości (log deszczułkowy, a dopiero od lat 1910–1920 log Walkera). W rezultacie błąd położenia statku narastał w funkcji czasu i w funkcji pogarszających się warunków hydrometeorologicznych (J. Giertowski, W. Meissner 1969).

Większość pozycji, z których oznaczano położenie skraju lodu ze statków, to były pozycje zliczone; na dodatek dochodziły błędy wyjściowe, wynikające z niedokładności wyznaczenia położenia linii brzegowej. Praktycznie błędy położenia granicy lodów charakteryzowały się dużym rozproszeniem. Oszacowanie średniej wartości błędu położenia granicy lodów za pomocą metod statystycznych w takiej sytuacji nie jest możliwe. Znając dokładność wyznaczania przebiegu linii brzegowej przez statki przy wykonywaniu map morskich, można jednak przyjąć, że błąd taki przeciętnie nie przekraczał ± 15 mil morskich, jedynie w wyjątkowych przypadkach mógł być większy (J. Giertowski, W. Meissner 1969). Nie należy zatem przypisywać nadmiernego znaczenia kwestiom dokładności wyznaczenia położenia granicy lodów na dawnych mapach ze zbioru DMI. Oznacza to, że zastosowanie metody *rubber-sheetingu* jest w tym momencie zbędne.

4. Wnioski

Stosowanie zaawansowanych metod kalibracji nie zawsze jest konieczne, czy też moż-

¹ Kontrnamiar = namiar kompasowy + 180° . Namiar kompasowy – określenie kierunku wyrażonego w stopniach względem kierunku północy magnetycznej na dany punkt. Wartość ta była poprawiana o błąd deklinacji magnetycznej i dewiację. Dewiacja – błąd wskazań kompasu magnetycznego powodowany przez własne pole magnetyczne statku.

² Opracowywane mapy lodowe ze zbiorów DMI, zwłaszcza starsze, sprzed lat dwudziestych XX wieku zawierają liczne błędy – przedstawiają linie brzegowe nieistniejących wysp (np. Ziemię Aleksandra II), niektóre punkty charakterystyczne mają znaczne przesunięcia względem ich rzeczywistego położenia itp. Wynikało to ze słabego poznania geografii tych krain.

liwe ze względu na dokładność treści mapy. Szczególną wartość mają informacje pozwalające odtworzyć proces powstawania dawnych map oraz stopień poznania poszczególnych regionów geograficznych. Stosowane w pierwszej połowie XX wieku urządzenia pozwalały na określenie pozycji statku z dokładnością około 15 mil morskich. W przypadku kalibracji map lodowych ze zbioru DMI najbardziej wiarygodnymi punktami dowiązania są przyładki oraz wszelkiego rodzaju wyraźne załomy lądu, dające możliwość jednoznacznego wielokrotnego dowiązania w procesie kalibracji. Stosowanie metod opartych na dowiązaniu do licznych punktów nie ma sensu, jeżeli liczba wiarygodnych punktów dowiązania jest niewielka. W początku XX wieku za dobrze poznane można uznać jedynie południowe wybrzeża Grenlandii, Spitsbergen, Nową Ziemię oraz wybrzeża Norwegii i Rosji.

Przy analizowaniu dawnych map zasięgu lodu morskiego należy zwrócić uwagę na występujące na tych mapach liczne błędy, które wynikały m.in. z takich aspektów jak:

- błędy uśrednienia – statki określały swoją przybliżoną pozycję oraz odległość do lodu, następnie punkty wyznaczające skraj lodu były łączone z miejscami gdzie podobne pomiary, dostrzegając lód, wykonywały inne statki;

- błąd czasowy – pomiary na różnych statkach wykonywane były w różnych dniach miesiąca;

- błędy położenia – im bliższej 1956 roku, tym mapy są dokładniejsze; postępowało coraz bardziej szczegółowe poznanie obszaru, prowadzono coraz bardziej precyzyjne prace kartograficzne;

- zmienne w czasie błędy urządzeń pomiarowych stosowanych w pierwszej połowie XX wieku.

Zatem wymienione błędy sprawiają, że w przypadku archiwalnych map lodowych ze zbioru DMI stosowanie metody *rubbersheetingu* do uzyskania poprawy jakości rejestracji nie wydaje się być konieczne. Wystarczający jest proces dowiązania najbardziej charakterystycznych punktów występujących zarówno na skanie jak i na mapie wektorowej świata w formacie *shapefile*.

Literatura

- Affek A., 2012, *Kalibracja map historycznych z zastosowaniem GIS*. W: *Źródła kartograficzne w badaniach krajoznawstwa kulturowego*. „Prace Komisji Krajoznawstwa Kulturowego” Nr 16, s. 48–62.
- Bitelli G., Cremonini S., Gatta G., 2009, *Ancient map comparisons and georeferencing techniques: A case study from the Po River Delta (Italy)*. „e-Perimetry” Vol. 4, no. 4, s. 221–233.
- Chylek P., Folland C.K., Lesins G., Dubey M.K., Wang M., 2009, *Arctic air temperature change amplification and the Atlantic Multidecadal Oscillation*. „Geophysical Research Letters” Vol. 36, L14801, doi:10.1029/2009GL038777.
- Comiso J.C., Parkinson C.L., Gersten R., Stock L., 2008, *Accelerated decline in the Arctic sea ice cover*. „Journal of Geophysical Research” Vol. 35, L01703, doi:10.1029/2007GL031972.
- Divine D.V., Dick C., 2006, *Historical variability of sea ice edge position in the Nordic Seas*. „Journal of Geophysical Research” Vol. 111, C01001, doi:10.1029/2004JC002851.
- Divine D.V., Dick C., 2007, *March through August ice edge positions in the Nordic Seas, 1750–2002*. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. <http://dx.doi.org/10.7265/N59884X1>
- ESRI, 2013, *ArcGIS 10 Desktop Help*. ArcGIS Resource Center.
- Giertyński J., Meissner W., 1969, *Podstawy nawigacji*. Gdańsk: Wydawn. Morskie.
- Leńdowski A., 1972, *Astronawigacja*. Gdańsk: Wydawn. Morskie.
- Perovich D., Meier D., Tschud M., Gerland S., Richter-Menge J., 2012, *Sea ice*. W: *Arctic Report Card 2012*, <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>
- Podobnikar P., 2009, *Georeferencing and quality assessment of Josephine survey maps for the mountainous region in the Triglav National Park*. „Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica” Vol. 44, no. 1, s. 49–66.
- Shapiro I., Colony R., Vinje T., 2003, *April sea ice extent in the Barents Sea, 1850–2001*. „Polar Research” Vol. 22, no. 1, s. 5–10.
- Shimizu E., Fuse T., 2003, *Rubber-sheeting of historical maps in GIS and its application to landscape visualization of old-time cities: focusing on Tokyo of the past*. W: *Proceedings of the 8th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, 11A-3, CD-ROM.
- Urbański J., 2011, *GIS w badaniach przyrodniczych*. Gdańsk: Wydawn. Uniwersytetu Gdańskiego.
- Vinje T., 2001, *Anomalies and trends of sea-ice extent and atmospheric circulation in the Nordic Seas during the period 1864–1998*. „Journal of Climate” Vol. 14, no. 3, s. 255–267.

Georeferencing of Old Maps of Sea-ice Range in the Arctic Using GIS

S u m m a r y

Key words: historical GIS, georeferencing, sea ice edge, the Arctic

Archival maps of the region form the base material for the research of changes of the Arctic ice range in time. Correct and accurate analyses are possible thanks to using Geographic Information Systems (GIS). This study is about problems with georeferencing old maps of Arctic ice from the first half of the twentieth century, acquired from the Danish Meteorological Institute (DMI). Awareness of errors in determining the ship's position or estimating the distance to ice-covered areas sheds light on the overall accuracy of the data, which is essential for the selection of a method of registration – in this case ArcGIS, version 10.0 using the georeferencing toolbar. The reason for using the affine method and problems with map registration have been discussed. The methods of registration taken into account for the purpose of this work have been divided, according to the type of layer to which the scan was knotted, into the following:

- Method of point coordinates,
- AOI method (linking the area of interest to the corners)
- A method of linking the known content of the map (using linear or polygon shapefile).

The most precise fit of the coastline has been achieved by using the method of linking the known contents of the map. The use of advanced calibration methods is not always necessary or possible due to the accuracy of the contents of the map. The information which helps recreate the process of creation of old maps and the degree of knowledge of various geographical regions at the time is of special significance. The tools used in the first half of the twentieth century made it possible to determine vessel positions with an accuracy of approximately 15 nautical miles. For calibrating the maps from DMI, the most reliable points to connect will be headlands and any kind of sharp edges of the land, giving the opportunity for clear multiple links in the process of georeferencing (calibration). Using methods based on linking multiple points is not valid if the amount of reliable link points is too small. In the early twentieth century, the only well known areas were the south coast of Greenland, Spitsbergen, Novaya Zemlya, the coast of Norway and Russia. When analyzing old maps of sea ice, we have consider numerous errors resulting from such imperfections as averaging errors, timing errors, location errors, time varying errors of measuring devices used in the first half of the 20th century, and others.

Translated by author