

Dominik Wontor

Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia

Ocena dokładności pomiaru wysokości ciał niebieskich w zależności od stanu ostrości widnokręgu

Streszczenie - Pomiary wysokości ciał niebieskich oparte są o właściwe „sprowadzanie” ich obrazów do linii widnokręgu morskiego. Umiejętność określenia aktualnego stanu widnokręgu jest przydatna podczas dokonywania pomiarów wysokości ciał niebieskich. Opracowanie zawiera opis typowych błędów związanych z pomiarami, poprawek stosowanych w procesie redukcji zmierzonej wysokości ciał niebieskich, wysokościowej metody określania astronomicznej linii pozycyjnej, a także rezultaty badań nad oceną stanu ostrości widnokręgu, która ma istotny wpływ na dokładność określania pozycji obserwowanej.

Słowa kluczowe:

pomiar wysokości ciał niebieskich, poprawki redukcyjne, ostrość widnokręgu

Wstęp

Trudności pojawiające się podczas wykonywania pomiarów wysokości ciał niebieskich związane są z prawidłowym „sprowadzeniem” ich obrazów do linii widnokręgu morskiego. Znaczące błędy pomiarowe często są efektem „zamazania” czy też brakującej wyraźnej linii widnokręgu, a to wpływa najbardziej na ocenę dokładności pomiaru wysokości ciał niebieskich. Ostrość linii widnokręgu jest pojęciem nieściśłym, względnym, a jego subiektywne określanie dotychczas opierało się na kilkustopniowej skali typu: ostry, wyraźny, niewidoczny. Nasuwa się więc stwierdzenie, że ostrość widnokręgu morskiego, która ma istotny wpływ na dokładność określania pozycji obserwowanej, można określić na podstawie błędu średniego pomiaru poprawki indeksu na linię widnokręgu.

W celu sprawdzenia postawionej hipotezy dokonano licznych pomiarów wysokości różnych ciał niebieskich takich jak: Słońce, Księżyc, gwiazdy nawigacyjne w odniesieniu do wód Morza Bałtyckiego. Opis błędów występujących podczas określania wysokości ciał niebieskich zawarto w rozdziale pierwszym niniejszego artykułu. Druga część pracy traktuje o poprawkach stosowanych w procesie redukcji zmierzonej wysokości wybranych ciał niebieskich. Kończącą część pracy stanowią wysokościowa metoda astronomicznej linii pozycyjnej, realizacja tematu pracy oraz wnioski wysnute na drodze jej powstawania.

1. Błędy występujące podczas określania wysokości ciał niebieskich

Określenie wysokości ciała niebieskiego prawie zawsze obarczone jest błędami. Dotyczy to zarówno samego pomiaru jak i obserwacji. W konsekwencji otrzymane, zmierzone wartości mogą różnić się od tych rzeczywistych. Dokonujący pomiaru musi liczyć się z faktem, że każdy przyrząd pomiarowy ma jakieś niedokładności. Kolejne utrudnienie stanowi niedoskonałość zmysłów prowadzącego obserwację. Ostatecznie określenie wysokości ciała niebieskiego zależne jest również od wybranej przez nawigatora metody oraz techniki pomiaru. Wyróżniamy trzy grupy błędów: grube, systematyczne oraz przypadkowe.

Źródłem powstawania błędów grubych (omyłek) przede wszystkim jest nieuważne prowadzenie obserwacji. Wynikać to może z roztargnienia obserwatora lub po prostu braku odpowiedniej wprawy, kwalifikacji. Pojawienie się tego rodzaju błędów może również zostać wywołane wadliwą pracą lub uszkodzeniem urządzenia pomiarowego. W związku z tym, iż omyłki mogą przybierać wartości względnie duże są one łatwo wykrywalne.

Podczas gdy z łatwością da się określić błędy grube, o tyle znacznie trudniej sprecyzować powstawanie błędów przypadkowych. Druga kategoria błędów, o której mowa, albowiem zależna jest nie tylko od panujących podczas pomiarów wa-

runków hydrometeorologicznych ale i od niedoskonałości zmysłów obserwatora. Zdefiniowanie, który z danych elementów ma największy wpływ na powstawanie błędów przypadkowych i ich wielkości jest niemalże niemożliwe i wynika z zależności układu obserwator – instrument.

Ostatnim wyróżnionym czynnikiem jest grupa błędów systematycznych. Istnieją dwa powody, przez które generowane są błędy systematyczne. Pierwszy to niedoskonałość przyrządów pomiarowych czyli tzw. błędy instrumentalne. Drugi stanowi niedoskonałość zmysłów obserwatora. Obserwatorzy posiadają różną rozdzielczość oka ludzkiego, inne wyczucie (refleks) podczas dokonywania pomiarów. To wszystko rzutuje na popełnianie nieświadomych błędów przez mierzącego. W literaturze fachowej uznaje się to za błędy osobowe.

2. Poprawki stosowane podczas redukcji zmierzonej wysokości ciał niebieskich

Zaznajomienie z klasyfikacją błędów i źródłem ich występowania rzutuje na chęć uwolnienia się od nich przy ostatecznym określaniu pozycji. Nieścisłości wynikające z tzw. obiektywnych warunków obserwacji można wyeliminować stosując odpowiednie poprawki do redukcji zmierzonej wysokości ciał niebieskich. Ze względu na znaczenie i słuszność zastosowania wybranych poprawek podzielono je na dwie grupy: standardowe – powszechnie stosowane oraz ponadstandardowe, których zastosowanie pozostaje w decyzji nawigatora. Pierwsze dotyczą obniżenia widnokregu, refrakcji atmosferycznej, paralaksy geocentrycznej oraz rozmiarów kątowych Słońca i Księżyca. Grupa druga natomiast wynika z innych zjawisk występujących na Ziemi takich jak: refrakcja terestryczną, falowanie powierzchni morza, refrakcja atmosferyczna wynikająca ze wzniesienia oczu obserwatora, spłaszczenie Ziemi, augmentacja tarczy Księżyca. Szczegółowy opis każdej poprawki oraz zależności na podstawie których można określić ich wartości, a zatem i ich znaczenie podczas określania pozycji obserwatora zawarty został w pracy dyplomowej autora artykułu [18].

3. Określanie astronomicznej linii pozycyjnej metodą wysokościową

Określanie przebiegu astronomicznej linii pozycyjnej na mapie w teorii metodą wysokościową ma charakter wielowymiarowy. Metoda ta bowiem znajduje zastosowanie w momencie posiadania wyników pomiarów wysokości wybranego ciała niebieskiego dla dowolnego momentu ich re-

jestracji. Ostatecznie z łatwością można połączyć samo wykreślanie składowych elementów astronomicznej linii pozycyjnej (dalej: a.l.p.) z pozycją na mapie morskiej. Współrzędne geograficzne pozycji przyjętej przez obserwatora w tym przypadku mogą stanowić pozycję zliczoną lub też pozycję kontrolną np. uzyskaną z odbiornika GPS. Dzięki takim kryteriom cała procedura określenia wysokościowej astronomicznej linii pozycyjnej staje się zrozumiałą i wygodną dla nawigatora. Idea zamyka się w dwóch czynnościach. Pierwsza to odśzukanie położenia punktu charakterystycznego, przez jaki przechodzi linia pozycyjna. Natomiast druga to wyznaczenie kierunku na środek a.l.p. jako okręgu identycznych wysokości ciała niebieskiego, dla którego linia ta stanowi prostopadłą.

Podstawowym parametrem do określenia wysokościowej linii astronomicznej jest pozycja przyjęta przez obserwatora (np. zliczona). Jednak w ostatecznym rozrachunku potrzeba jeszcze dwóch innych parametrów. Pierwszy to różnica wysokości astronomicznych mierzonego ciała niebieskiego (Δh). Różnicę tę można uzyskać z równania, w którym to porównuje się wartość obserwowaną otrzymaną z pomiaru sekstantem i wysokości zliczonej wybranego ciała niebieskiego. Przy czym wysokość zliczona obliczana jest na podstawie twierdzeń trygonometrii sferycznej. Azymut (A), stanowiący drugi parametr, to inaczej otrzymywany poprzez przekształcenie współrzędnych równikowych na współrzędne horyzontalne namiar rzeczywisty ciała niebieskiego.

4. Ocena dokładności pomiaru wysokości ciał niebieskich w zależności od stanu ostrości widnokregu

Cel niniejszej pracy został zrealizowany w oparciu o przeprowadzenie serii pomiarów wysokości wybranych ciał niebieskich przy panujących w okresie ich trwania różnych warunkach oświetleniowych i hydrometeorologicznych oraz opracowanie wnikliwej analizy otrzymanych wyników. Metody badawcze jakie zostały przyjęte do realizacji postawionego celu niniejszej pracy to: obserwacja zarysu linii widnokregu – w różnych warunkach atmosferycznych – w porze dziennej oraz nocnej, metoda eksperymentalna polegająca na zmianie wysokości wzniesienia oczu obserwatora, metoda indywidualnych przypadków względem wybranych ciał niebieskich (dalej: c.n.) oraz analiza statystyczna zebranych danych pomiarowych.

Określenia wartości błędu pomiaru wysokości sekstantem można dokonać w sposób praktyczny, tj. za pomocą pomiaru poprawki indeksu na linię widnokregu. Autor niniejszego artykułu, podobnie jak niegdyś rosyjski uczoney Rachowiecki

[16], dokonał wielu pomiarów wysokości wybranych przez siebie c.n., na podstawie których wykazał dalej dużą korelację między błędem średnim pomiaru poprawki indeksu na linię widnokregu a błędem średnim pomiaru wysokości. Opracowanie wyników jego pracy dla różnych warunków obserwacji przedstawiono na rys. 1.

Kończącym efektem empirycznego badania technik pomiarowych i błędów im towarzyszących jest wzór na obliczenie błędu średniego pomiaru wysokości:

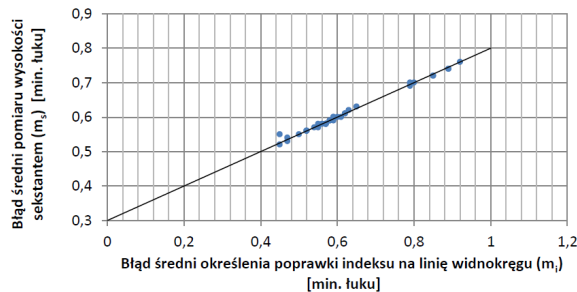
$$m_s = \pm(k + 0,5 \cdot m_i) \quad (1)$$

gdzie:

m_i – błąd średni określenia poprawki indeksu na linię widnokregu;

k – wartość empiryczna zależna od rozdzielczości oka ludzkiego (średnio 0,3);

0,5 – współczynnik nachylenia prostej [16].



Rys. 1: Korelacja między błędem średnim pomiaru poprawki indeksu na linię widnokregu a błędem średnim pomiaru wysokości Słońca, Księżyca oraz gwiazd nawigacyjnych.

Źródło: Opracowanie własne.

Zgodnie z zależnością 1, na podstawie której stworzono wykres, im mniejsza wartość błędu średniego pomiaru wysokości sekstantem (m_s) tym bardziej dokładny jest pomiar, a w konsekwencji z większą dokładnością określa się pozycję obserwatora. Z wykresu wynika również, że im większa wartość tego samego błędu średniego stanu widnokregu można określić jako zły, niewyraźny czy niewidoczny.

Podsumowanie

1. Dokładność wykreślonej na mapie astronomicznej linii pozycyjnej w największej mierze zależy od staranności i precyzji wykonania pomiaru wysokości ciał niebieskich sekstantem;
2. Prawidłowe sprowadzenie obrazu mierzonego ciała niebieskiego do linii widnokregu uwarunkowane jest stanem jego ostrości;
3. Na podstawie wyznaczonego błędu średniego poprawki indeksu na linię widnokregu można określić wartość błędu średniego pomiaru wysokości sekstantem;

4. Szerokość pasa linii pozycyjnej w znacznym stopniu zależy od dokładności pomiaru wysokości ciał niebieskich sekstantem.

Literatura

- [1] *The Nautical Almanac 2016*.
- [2] Krasawcew B., Gołubiew G. Nakłonieje widimogo gorizonta ważnaja poprawka moirechodnoj astronomii. *Morskoj Flot*, 8, 1965.
- [3] K. Borchardt. *Astronawigacja*. Oficyna Wydawnicza Miniatura, Gdynia, 2007.
- [4] W. Djakonow. *Moriechodnaja astronomi*. Oficyna Wydawnicza Miniatura, Leningrad, 1963.
- [5] L. Hasse. Temperature and difference corrections for the dip of the horizon. *Journal of the Institute of Navigation*, 17, 1964.
- [6] M. Jurdziński, Z. Szczepanek. *Astronawigacja*. Wydawnictwo Morskie, Gdańsk, 1978.
- [7] K. Kazanski. Naklonieje widimogo gorizonta wa znaja poprawka moirechodnoj astronomii. *Morskoj Flot*, 2, 1966.
- [8] W.T. Kondraszichin. *Tieorija oszibok i jejo primienienije k zadaczam sudowo zdienija*. Moskwa, 1964.
- [9] A. Ledóchowski. *Astronawigacja*. Wydawnictwo Morskie, Gdynia, 1966.
- [10] J. Meeus. *Astronomical algorithms*. Willmann-Bell, Inc., 1998.
- [11] J. Mietelski. *Astronomia w geografii*. PWN, Warszawa, 1979.
- [12] D. Żołnieruk. Analiza dokładności metod określania pozycji okrętu z obserwacji ciał niebieskich. Praca magisterska, Akademia Marynarki Wojennej, 1990.
- [13] D. Żołnieruk. *Astronawigacja cz. I. Wprowadzenie do astronawigacji. Pomoce astronawigacyjne*. Wydawnictwo Akademickie AMW, Gdynia, 2008.
- [14] D. Żołnieruk. *Astronawigacja cz. II. Zastosowanie metod astronomicznych w nawigacji*. Wydawnictwo Akademickie AMW, Gdynia, 2014.
- [15] B. Peterson. Some observation of refraction at low altitudes and of astronomical position and line accuracy. *Journal of the Institute of Navigation*, 5, 1952.
- [16] A. Rachowieckij. Słuczajnyje oszibki izmierenija wysot swietiel na morije. *Morskoj Flot*, 1965.
- [17] H. Sadler, W. Scott. Refraction at low altitudes. *Journal of the Institute of Navigation*, 1960.
- [18] D. Wontor. Ocena dokładności pomiaru wysokości ciał niebieskich w zależności od stanu ostrości widnokregu. Praca magisterska, Akademia Marynarki Wojennej, 2017.

Rating accuracy of altitude measurement depending on the state of the horizon

Abstract - Altitude measurements are based on the appropriate reduce the images of celestial bodies to the line of the horizon at sea. The ability to determine the current state of the horizon appears to be useful while measure of altitude is carried on. The thesis contains a description of the typical altitude measurement errors, sextant altitude corrections, methodology of astronomical altitude positional line, as well as research of an assessment state of the sea horizon which has a significant impact to accuracy observed position.

Keywords:

altitude measurement, altitude corrections, state of the sea horizon
