IV Akademia Kartografii i Geoinformatyki
„Modelowanie czasoprzestrzenne”
Wrocław 22-24 maja 2024 r.

BADANIE SEZONOWEJ ZMIENNOŚCI POZIOMU MORZA, TEMPERATURY I ZASOLENIA WOKÓŁ WYBRZEŻA AFRYKI

mgr inż. Magdalena Idzikowska

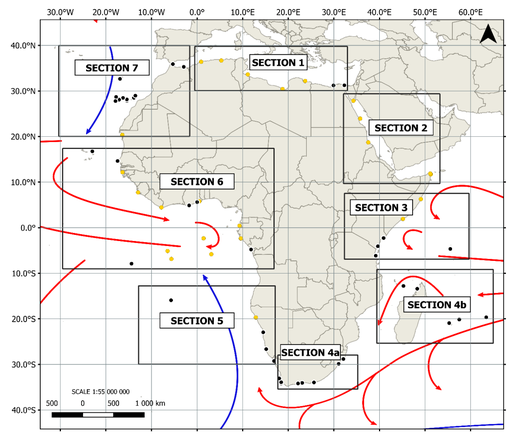
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Geoinżynierii,
Katedra Geoinformacji i Kartografii
ul. Prawocheńskiego 15, 10- 720 Olsztyn
E-mail: magdalena.idzikowska@uwm.edu.pl

WPROWADZENIE

Średni globalny poziom morza *(ang. Global Mean Sea Level)* wzrasta o ponad 3 mm w skali rocznej. Obszary przybrzeżne bardzo silnie odczuwają skutki zmian klimatycznych, a mimo to skupiają największą gęstość populacji ludzkiej. Z tego powodu obserwacje prędkości zmian poziomu wód są konieczne dla zrównoważonego rozwoju i bezpieczeństwa stref brzegowych. Satelitarne pomiary altimetryczne umożliwiają monitorowanie prędkości zmian poziomu wód, a także ich mechanizmów napędowych. Dostarczają wysokiej jakości szeregi czasowe z niemalże globalnym pokryciem. W połączeniu z obserwacjami mareograficznymi *(ang. tide gauge)* pozwalają również na wyznaczenie pionowych ruchów skorupy ziemskiej. Celem niniejszego badania jest analiza prędkości zmian poziomu morza, prędkości zmian zasolenia oraz temperatury w punktach rozmieszczonych wzdłuż całego wybrzeża Afryki. Na badanym obszarze przeanalizowano również liniowe tendencje prędkości wiatrów.

OBSZAR BADAWCZY

Analizę prędkości zmian poziomu morza oraz badanie zmian temperatury i zasolenia przeprowadzono wokół całego wybrzeża Afryki, wykorzystując obserwacje pochodzące z altimetrii satelitarnej. Obszar badań obejmuje 47 stacji mareograficznych, rozmieszczonych wokół całego wybrzeża. Aby zapewnić równomierne pokrycie punktów obserwacyjnych, do analizy dodatkowo włączono 24 punkty pośrednie. Dla wszystkich punktów pozyskano surowe szeregi anomalii poziomu morza. Obszar badań podzielono na siedem sekcji, uwzględniając położenie punktu oraz kierunek i rodzaj prądów morskich.



Rys. 1. Lokalizacja stacji i podział obszaru badań na sekcje. Stacje mareograficzne (czarne kropki), punkty pośrednie (żółte kropki). Czerwone strzałki - prądy ciepłe, niebieskie strzałki prądy zimne. Źródło prądów oceanicznych: dostępna warstwa wektorowa z zasobów firmy ESRI.

DANE I METODY

DANE

Obserwacje wykorzystane w badaniu pochodzą z bezpłatnych i ogólnodostępnych zasobów Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) oraz NOAA Physical Sciences Laboratory:

- *Global Ocean Gridded L4 Sea Surface Heights And Derived Variables Reprocessed 1993 Ongoing* (SEALEVEL_GLO_PHY_L4_MY_008_047) – szeregi czasowe dziennych anomalii zmian poziomu morza w okresie: 01/01/1993 – 31/12/2021, rozdzielczość przestrzenna: 0.25° x 0.25°;
- *Global Ocean Ensemble Physics Reanalysis* (GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_031) – szeregi czasowe miesięcznych zmian zasolenia oraz zmian temperatury, w okresie: 01/01/1993 – 31/12/2021, rozdzielczość przestrzenna: 0.25° x 0.25°;
- Długoterminowe, średnie, miesięczne prędkości wiatrów (NCEP-NCAR Reanalysis 1 - vwnd.mon.ltm.1991-2020.nc), rozdzielczość przestrzenna 2.50° x 2.50°.

Produkty altimetryczne są odpowiednio skorygowane i zwalidowane przez dystrybutorów o efekty atmosferyczne i procesy geofizyczne. Informacje na temat poprawek dostępne są na portalach branżowych w ogólnodostepnych dokumentach informacyjnych dotyczących jakości danych (https://data.marine.copernicus.eu/products).

METODY

Badania dotyczą 29-letniej analizy prędkości zmian poziomu morza, prędkości zmian zasolenia oraz temperatury w punktach rozmieszczonych wzdłuż całego wybrzeża Afryki. Początkowo, wyznaczono położenie punktów pośrednich, aby zapewnić równomierne pokrycie i odpowiednie zagęszczenie względem stacji mareograficznych. Bazując na surowych szeregach anomalii poziomu morza (SLA) z wykorzystaniem założeń regresji wielorakiej (w pełnym zakresie danych SLA) utworzono modele addytywne i wygenerowano liniowe trendy zmian poziomu morza oraz liniowe trendy zmian zasolenia i temperatury. Dla pełnych zakresów szeregów czasowych SLA wyznaczono trendy zmian poziomu morza, wykorzystując założenia analizy Fouriera:

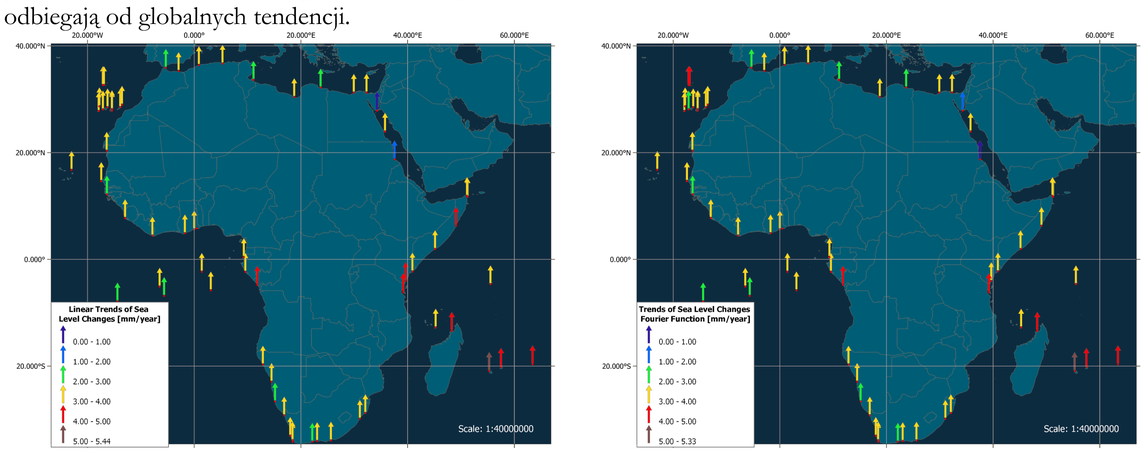
$$f_F(t) = a + bt + \sum_{i=1}^{n} A_i \cos(\omega_i t - \varphi_i)$$

$$A_i = \sqrt{\left[\frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i sin\left(\frac{2\pi}{n}th\right)\right)\right]^2 + \left[\frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i cos\left(\frac{2\pi}{n}th\right)\right)\right]^2}$$

Oznaczenia: *fF(t)* funkcja Fouriera; a - odchylenie; b - trend; t – czas; n – długość szeregu czasowego; h - wartość harmoniczna (n/365 dla amplitud rocznych, 2n/365 dla amplitud półrocznych, n/6792.65 dla amplitud 18.61-letnich (Węzłowy Cykl Księżyca))
A1, A2, A3 - amplitudy roczne, półroczne i 18.61 - letnie
φ1, φ2, φ3 – fazy roczne, półroczne i 18.61- letnie
ω1, ω2 ω3 - roczna, półroczna i 18.61-letnia częstotliwość kątowa

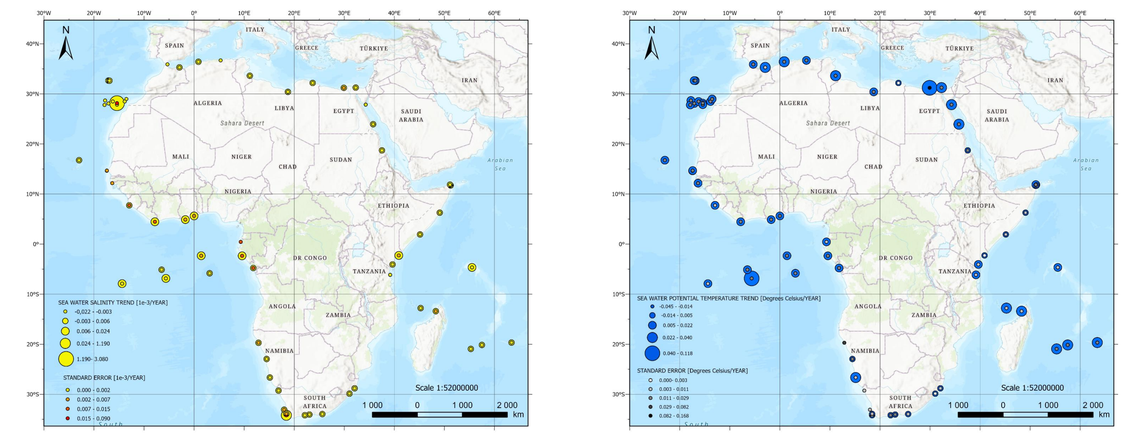
REZULTATY

W wyniku przetwarzania danych pochodzących z altimetrii satelitarnej, uzyskano regionalne tempo wzrostu poziomu morza wokół całego afrykańskiego wybrzeża w latach 1993–2022. Otrzymane wartości znacznie odbiegają od globalnych tendencji.



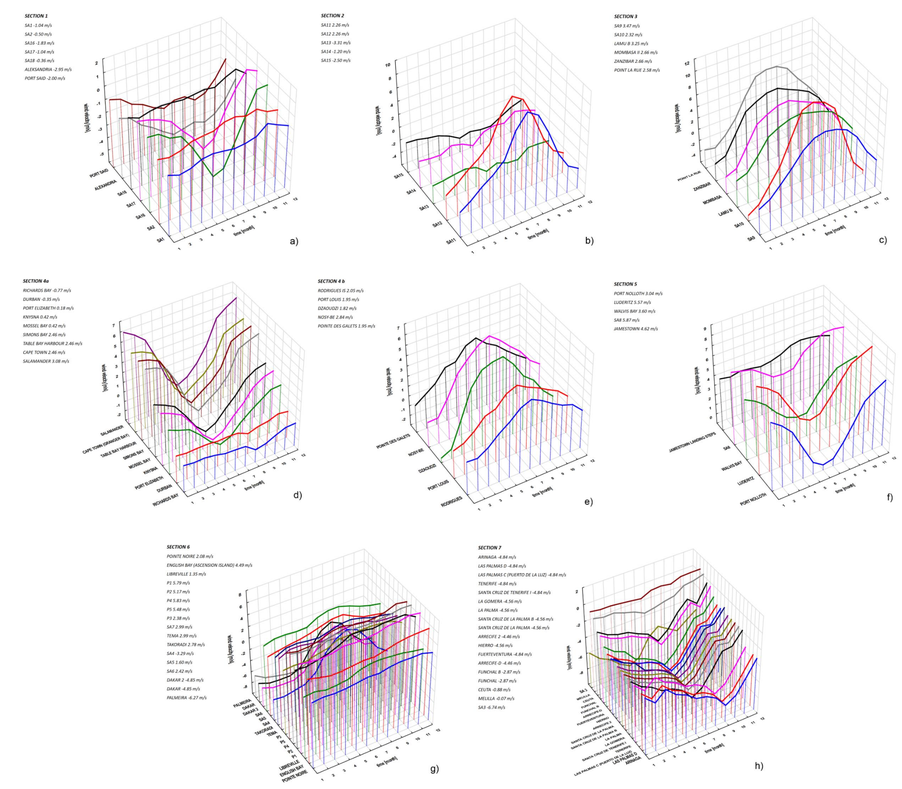
Rys. 2. Wartości liniowych trendów zmian poziomu morza oraz wartości trendów zmian poziomu morza z zastosowaniem funkcji Fouriera

W obu przypadkach trendy zmian poziomu morza mieszczą się w przedziale 2.48 - 5.50 mm/rok, a błędy tych zmian nie przekraczają 0.10 mm/rok. Trendy poniżej 2.00 mm/rok są widoczne w rejonie Morza Czerwonego. Wysokie wartości trendów występują na wschodnim wybrzeżu, gdzie występują wyłącznie ciepłe prądy morskie.



Rys. 3. Trendy liniowe zmian zasolenia oraz wartości zmian temperatury

Wartości trendów zmian zasolenia na całym wybrzeżu Afryki dla większości punktów mieszczą się w zakresie do +/-0.020 PSU/rok. W pojedynczych stacjach występują nieliczne skoki: TEMA (0.024 +/- 0.005 PSU/rok), LIBREVILLE (-0.022 +/- 0.014 PSU/rok), SIMONS BAY (1.19 +/- 0.09 PSU/rok), LAS PALMAS D (3.08 +/- 0.05 PSU/rok). Ujemne wartości przeważają w północno-zachodniej części. W regionie Morza Czerwonego trendy zmian zasolenia są zbliżone do 0.00 PSU/rok. Największe zmiany w temperaturze wody morskiej występują w regionie Aleksandrii i Mozambiku. Pojedyncze skoki w wartościach można zauważyć na pojedynczych stacjach. Najmniejsze wartości są widoczne na południu kontynentu.



Rys. 4. Średnie prędkości wiatrów w latach 1991-2020 w każdej sekcji.

WNIOSKI

W wyniku przetwarzania altimetrycznych szeregów czasowych otrzymano prędkości zmian poziomu morza, zasolenia i temperatury w punktach rozmieszczonych wokół całego wybrzeża Afryki. Regionalne tempo wzrostu poziomu morza nie przekracza 6.00 mm w skali roku, a błędy mieszczą się w przedziale do 0.10 mm/rok. Trendy poniżej 2.00 mm/rok są widoczne w rejonie Morza Czerwonego. Największe wartości trendów znajdują się w sekcji numer 3 oraz 4b, gdzie występują wyłącznie ciepłe prądy morskie. We wskazanych sekcjach prędkości wiatrów utrzymują tendencję rosnącą w okresie czerwiec – sierpień i sięgają ponad 5 m/s. W sekcji 4a,5,7 gdzie tendencje wiatrów maleją w okresie letnim trendy zmian poziomu morza mieszczą się w zakresie 2.00-4.00 mm/rok. W punktach, w których tendencja wzrostowa zmian poziomu morza jest najniższa, prędkości wiatrów są ujemne (około -2.00 m/s). Można zatem stwierdzić, że większa tendencja wzrostowa występuje na obszarach, gdzie prędkości wiatrów są większe. W zatokach, ujściach rzek i płytkich obszarach wiatry znad brzegu mogą wywołać znaczny wzrost trendów, a wpływ słodkiej wody może zmieniać gęstość wody i wpływać na wielkość poziom morza. Wartości trendów zmian zasolenia na całym wybrzeżu Afryki dla większości punktów mieszczą się w zakresie do +/-0.020 PSU/rok. Ujemne trendy przeważają w północno-zachodniej części kontynentu. Największe zmiany w temperaturze wody występują w regionie Aleksandrii i Mozambiku, najmniejsze są widoczne na południu kontynentu. Zmiany poziomu morza przedstawione w tym badaniu ujawniają nieoczekiwane wartości trendów, prawdopodobnie będące wynikiem zróżnicowanych procesów lokalnych i regionalnych. Stanowi to prawdziwy postęp w porównaniu z tym, co wykazuje istniejąca literatura. Konieczne są dalsze badania, aby wyjaśnić zaobserwowane tendencje. Dotychczas opracowany materiał może stanowić wartościowe źródło informacji dla różnorodnych analiz geoprzestrzennych.