

*Witold Cieślakiewicz, Aleksandra Dudkowska*

**DOKŁADNOŚĆ MODELOWANIA WYBRANYCH  
PARAMETRÓW METEOROLOGICZNYCH  
DLA OBSZARU POŁUDNIOWEGO BAŁTYKU  
– ANALIZA PORÓWNAWCZA NA TLE POMIARÓW**

---

***THE ACCURACY OF SOME METEOROLOGICAL  
PARAMETERS MODELING  
FOR THE SOUTHERN BALTIC SEA AREA  
– A COMPARATIVE STUDY***

**Streszczenie**

W ramach projektu PROZA w Instytucie Oceanografii UG prowadzone są prace nad uruchomieniem zintegrowanego modelu falowo-prądowego dla obszaru Morza Bałtyckiego. Wykorzystywane w tym celu modele falowy WAM i prądowy POM zasilane są danymi z numerycznych prognoz pogody modelu Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS), działającego w ICM. Dokładność prognoz parametrów meteorologicznych wpływa bezpośrednio na prognozy falowania i prądów morskich. Oceniono dokładności wyników modeli numerycznych krótkoterminowych prognoz pogody COAMPS oraz Unified Model (UMPL), działających w ICM dla dwóch lokalizacji na polskim wybrzeżu Morza Bałtyckiego. Dla dwóch badanych lokalizacji (Łeba i Hel) z największą dokładnością prognozowana jest temperatura powietrza ( $r > 90\%$ ), natomiast prognozy prędkości, a zwłaszcza kierunku wiatru cechuje mniejsza dokładność ( $r < 85\%$ ).

**Słowa kluczowe:** numeryczna prognoza pogody, COAMPS, UMPL, temperatura powietrza, kierunek i prędkość wiatru

***Summary***

*As part of PROZA project at the Institute of Oceanography, University of Gdańsk, work is being carried out on launching an integrated wave-current model*

*for the Baltic Sea region. Wave WAM and current POM models used for this purpose, are supplied with data from numerical weather forecasts from the Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS) model operating at ICM. The accuracy of forecasts of meteorological parameters directly impacts the forecasts of wind wave and sea current fields. The accuracy of results of short term weather forecasts generated by COAMPS and Unified Model (UMPL) operating at ICM, was assessed for two locations on the coast of Baltic Sea in Poland. For the two studied locations (Łeba and Hel), air temperature is forecasted with highest accuracy ( $r > 90\%$ ), and wind direction and velocity forecasts are characterized by lower accuracy ( $r < 85\%$ )*

**Key words:** numerical weather forecast, COAMPS, U MPL, air temperature, wind direction, wind velocity

## WSTĘP

Zjawiska falowo-prądowe zachodzące w Morzu Bałtyckim są uwarunkowane w dużej mierze przez stan atmosfery. Modelowanie prądów morskich i falowania wymaga znajomości warunków meteorologicznych — przede wszystkim prędkości i kierunku wiatru, ale także temperatury powietrza, ciśnienia atmosferycznego i wielu innych parametrów meteo. Jakość prognoz pogody ma więc znaczący wpływ na wyniki modelowania stanu morza.

W ramach projektu PROZA do modelowania warunków hydrodynamicznych Morza Bałtyckiego używamy prognoz modelu Coupled Ocean-Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS) [Hodur, 1997; Jakubiak i Hodur 2011]. Model COAMPS zlokalizowany na obszar pokrywający Polskę i Morze Bałtyckie działa w Interdyscyplinarnym Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego Uniwersytetu Warszawskiego (ICM) od 2008 roku. W ICM, od 1997 roku, stosuje się operacyjnie model Unified Model for Poland Area (UMPL) [Herman-Iżycki i in. 2002]. Weryfikację poprawności prognoz z tych modeli na obszarze Morza Bałtyckiego przeprowadza się na bieżąco w ICM w oparciu o dane z wybranych stacji synoptycznych z terenu Polski. W prezentowanej pracy szczególny nacisk położono na obszar polskiego wybrzeża Bałtyku. Dane obserwacyjne z lat 2009-2010, pochodzące ze stacji meteorologicznych w Łebie i na Helu, porównano z prognozami modeli COAMPS i U MPL. W pracy zaprezentowano wyniki analizy statystycznej odnotowanych różnic między wartościami modelowanymi i obserwowanymi.

## METODY I OPIS BADAŃ

Dane obserwacyjne pochodzą ze stacji meteorologicznych w Łebie (54°45'N 17°32'E) oraz Helu (54°36'N 18°49'E) z lat 2009 i 2010.

W latach 2009-2010 dla obszaru Europy Środkowej prognozy modelu U MPL były generowane cztery razy na dobę, z wyprzedzeniem do 48 godzin,

a prognozy modelu COAMPS cztery lub dwa razy na dobę, z wyprzedzeniem do 84 godzin. Dla dowolnego momentu z tego okresu, pierwsze dostępne dane modelowe pochodzą z prognoz do 6 godzin lub do 12 godzin. Na potrzeby niniejszych badań skonstruowano szeregi czasowe w odstępach godzinnych, składające się z pierwszej dostępnej prognozy dla danego punktu siatki.

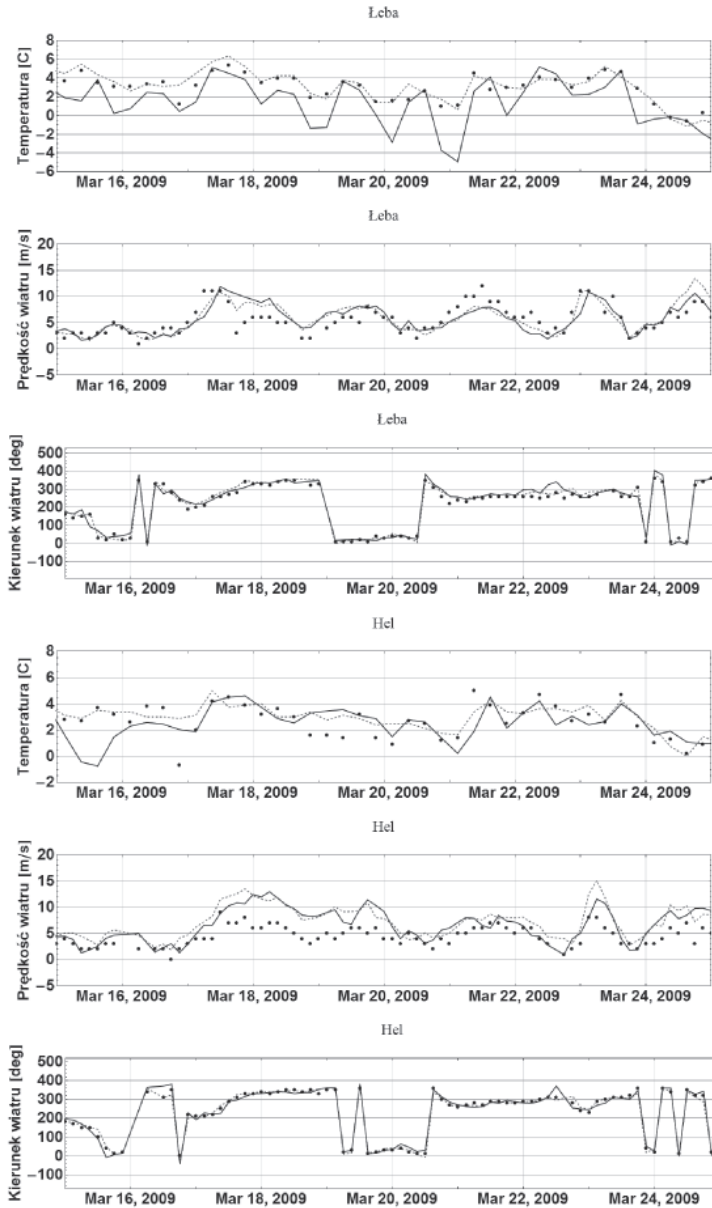
Dane obserwacyjne pochodzą z punktów o zadanych współrzędnych geograficznych ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ), które w ogólności nie pokrywają się z węzłami siatek COAMPS i UMPL. Siatka modelu UMPL ma poziomą rozdzielczość około 4 km. W celu porównania z danymi obserwacyjnymi wybrano dane z punktu siatki UMPL leżącego najbliżej punktu ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ), jeśli to możliwe — położonego na lądzie, według maski modelu.

Parametry prognozowane modelem COAMPS dostępne są w postaci pól na siatce 13 km  $\times$  13 km. W celu porównania szeregów czasowych prognozowanych przez COAMPS, z danymi obserwacyjnymi dla punktu o znanych współrzędnych geograficznych ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ), konieczna jest interpolacja wyników modelu. Dane modelowe są usytuowane na regularnej siatce, dlatego też do otrzymania wyniku w danym punkcie geograficznym zastosowano metodę najbliższych sąsiadów. Dla punktu o współrzędnych geograficznych ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ) wybrano punkty siatki modelu, które odpowiadają współrzędnym ( $|\lambda - \varepsilon|$ ,  $|\varphi - \varepsilon|$ ), gdzie  $\varepsilon$  jest parametrem określającym dokładność dopasowania. W tym przypadku użyto parametru  $\varepsilon = 0.07\sigma$ . Dla tak wybranych punktów siatki wyznaczono średnie wartości parametrów: temperatury powietrza  $T$  oraz składowych  $U$  i  $W$  prędkości wiatru, które stanowią interpolowane parametry w punkcie ( $\lambda$ ,  $\varphi$ ). Na podstawie składowych prędkości wiatru  $U$  i  $W$  wyznaczono prędkość  $V$  oraz kierunek wiatru  $\theta \in (0, 360^\circ)$  w badanych punktach.

Dane ze stacji pogodowych są odczytywane w nieregularnych kilkugodzinnych odstępach czasowych. Dane z modeli podawane są regularnie co godzinę. W celu porównania danych z szeregów modelowych wybrano dane tylko dla tych chwil, które są dostępne w szeregach empirycznych.

Dane  $U$  i  $W$  z badanych modeli dotyczą prędkości wiatru na poziomie 10 m, i zostały przetransformowane do poziomu 2 m według formuły (1) [Farrugia 2003], która pozwala wyznaczyć prędkość wiatru  $V$  na wysokości  $h$ , przy znanej prędkości wiatru referencyjnej  $V_r$  na wysokości  $h_r$ :

$$V = V_r \left( \frac{h}{h_r} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (1)$$



**Rysunek 1.** Fragmenty analizowanych szeregów czasowych. Dane obserwacyjne ze stacji pogodowych (kropki), dane prognostyczne z modelu COAMPS (ciągła, czarna linia) oraz modelu UMPL (czerwona, przerywana linia)

**Figure 1.** Fragments of the analysed time series. Observational data from weather stations(dots), the prognostic data from models: COAMPS (solid black line) and the UMPL (red dotted line)

W celu porównania kierunków wiatru obserwowanych  $\theta_{\text{obs}}$  z modelowanymi  $\theta_{\text{modC}}$  i  $\theta_{\text{modUM}}$  (odpowiednio modelami COAMPS i UMPL) wyznaczono różnice kierunków  $\Delta\theta_{\text{obs-C}} = \theta_{\text{obs}} - \theta_{\text{modC}}$ ,  $\Delta\theta_{\text{obs-UM}} = \theta_{\text{obs}} - \theta_{\text{modUM}}$  dla danych chwil. Różnice kierunków większe niż  $180^\circ$  nie są związane z dużą rozbieżnością między  $\theta_{\text{obs}}$  a  $\theta_{\text{mod}}$ , a tylko z przekroczeniem granicy  $0-360^\circ$ .  $\Delta\theta_{\text{obs-C}}$  i  $\Delta\theta_{\text{obs-UM}}$  zostały przekształcone tak, że  $\Delta\theta_{\text{obs-C}}, \Delta\theta_{\text{obs-UM}} \in [-180^\circ, 180^\circ]$ , według formuły (2) [Van Doorn i in. 2000].

$$\forall |\Delta\theta_{\text{obs-mod}}| > 180^\circ : \Delta\theta \rightarrow \Delta\theta - \frac{\Delta\theta}{|\Delta\theta|} 360^\circ \equiv \Delta\theta_c \quad (2)$$

Na podstawie skorygowanych różnic  $\theta^{\Delta\theta_c}$  odtworzone zostały szeregi czasowe modelowanych kierunków wiatru:  $\{\theta_{\text{modC}}\}_t$  i  $\{\theta_{\text{modUM}}\}_t$ .

Przy zastosowaniu wyżej opisanej metodologii skonstruowano 18 szeregów czasowych: T, V i  $\theta$  z danych obserwacyjnych (meteo) i modelowych (COAMPS i UMPL) dla Łeby oraz Helu, których fragmenty są przedstawione na rys. 1.

W celu oszacowania dokładności prognoz wszystkich szeregów czasowych wyliczono klasyczne miary sprawdzalności: współczynnik korelacji  $r$ , średni błąd kwadratowy  $RMSE$ , współczynnik rozrzutu  $ScInd$  oraz różnicę średnich  $Bias$ . Wskaźniki te wyznaczono na podstawie formuł (3–6), gdzie  $\{x_i\}$  oznacza szereg czasowy obserwowany, a  $\{y_i\}$  modelowany.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}_i)(y_i - \bar{y}_i)}{\sqrt{(\sum (x_i - \bar{x}_i)^2)(\sum (y_i - \bar{y}_i)^2)}} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y_i - x_i)^2}{n}} \quad (4)$$

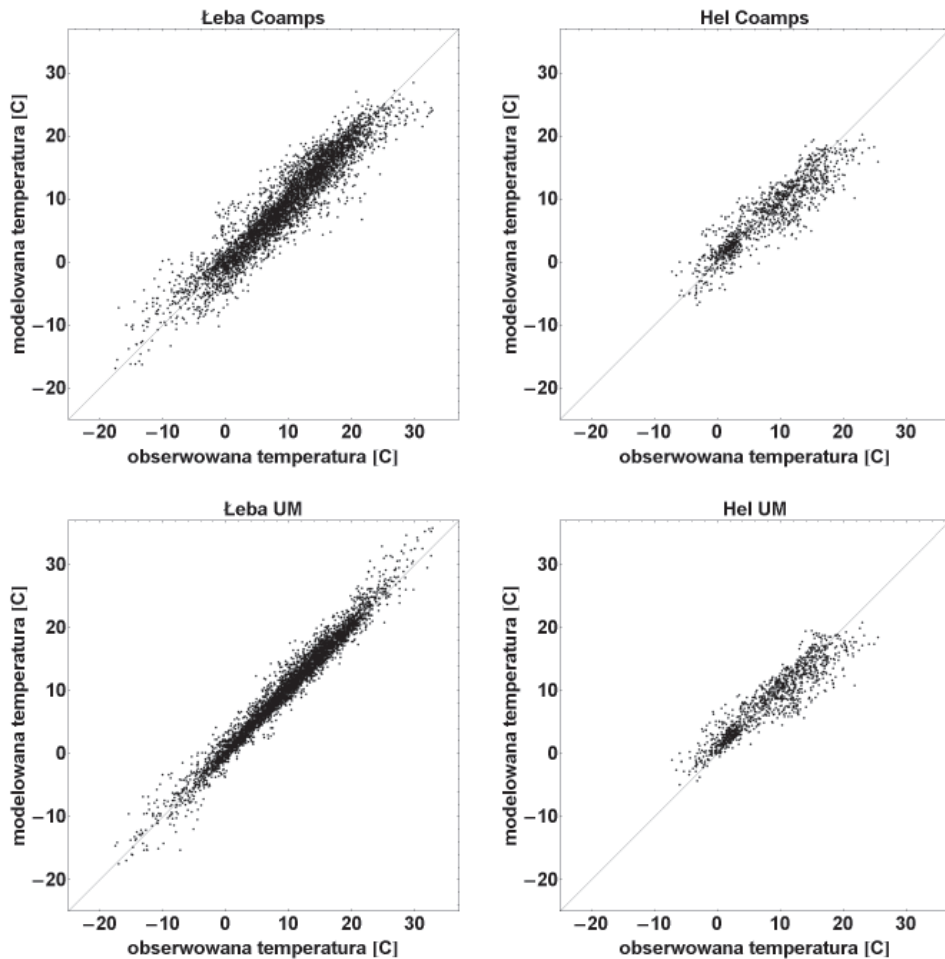
$$ScInd = \frac{RMSE}{\bar{x}_i} \quad (5)$$

$$Bias = \bar{y}_i - \bar{x}_i \quad (6)$$

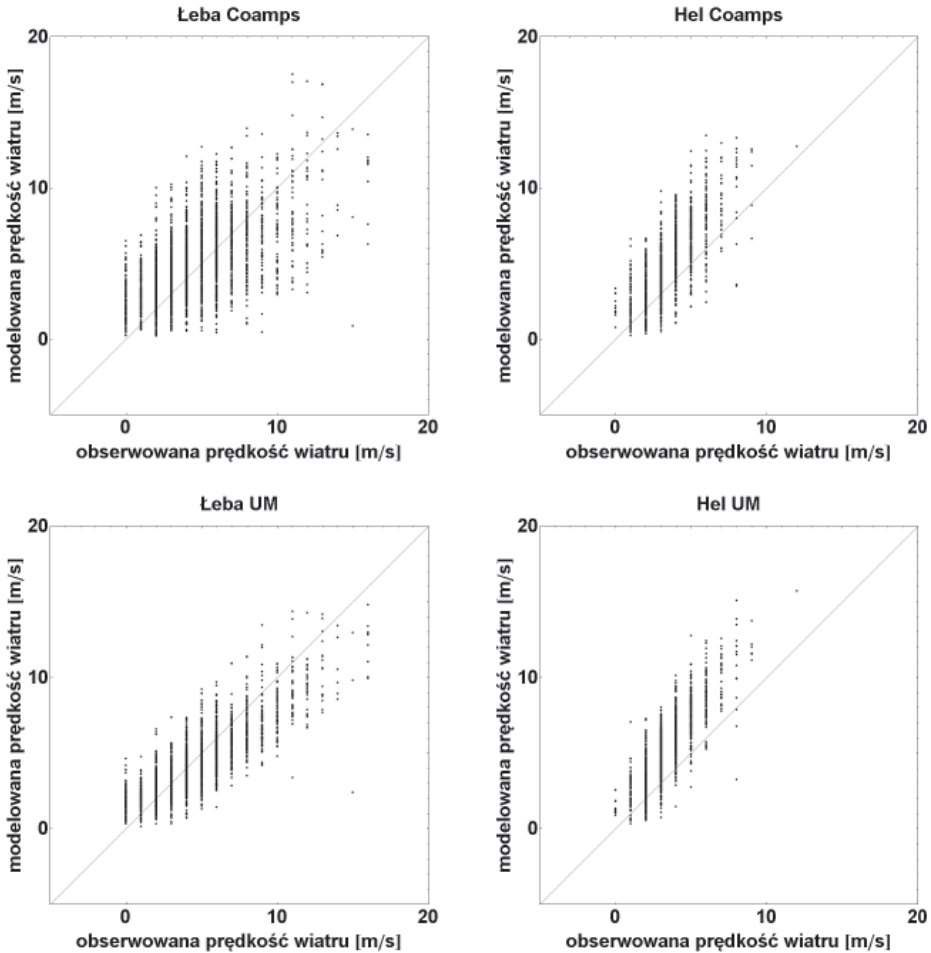
## WYNIKI BADAŃ

Zależności między danymi obserwowanymi (meteo) a modelowymi (COAMPS i UMPL) przedstawiono na diagramach korelacji (rys. 2–4). Wskaźniki statystyczne określające stopień dopasowania danych obserwowanych i modelowanych zestawiono w tabeli 1 oraz przedstawiono na rys. 5.

Dla prognoz temperatury powietrza współczynniki korelacji dla obu lokalizacji i modeli są zbliżone i wynoszą powyżej 95% dla Łeby i powyżej 91% dla Helu, z niewielkim ( $< 1^{\circ}\text{C}$ ) niedoszacowaniem w przypadku modelu COAMPS i przeszacowaniem w przypadku modelu UMPL. Średnie błędy kwadratowe są mniejsze niż  $3^{\circ}\text{C}$ , a współczynniki rozrzutu mniejsze niż 33%. Wszystkie wskaźniki wskazują na nieco dokładniejsze prognozy modelu UMPL.



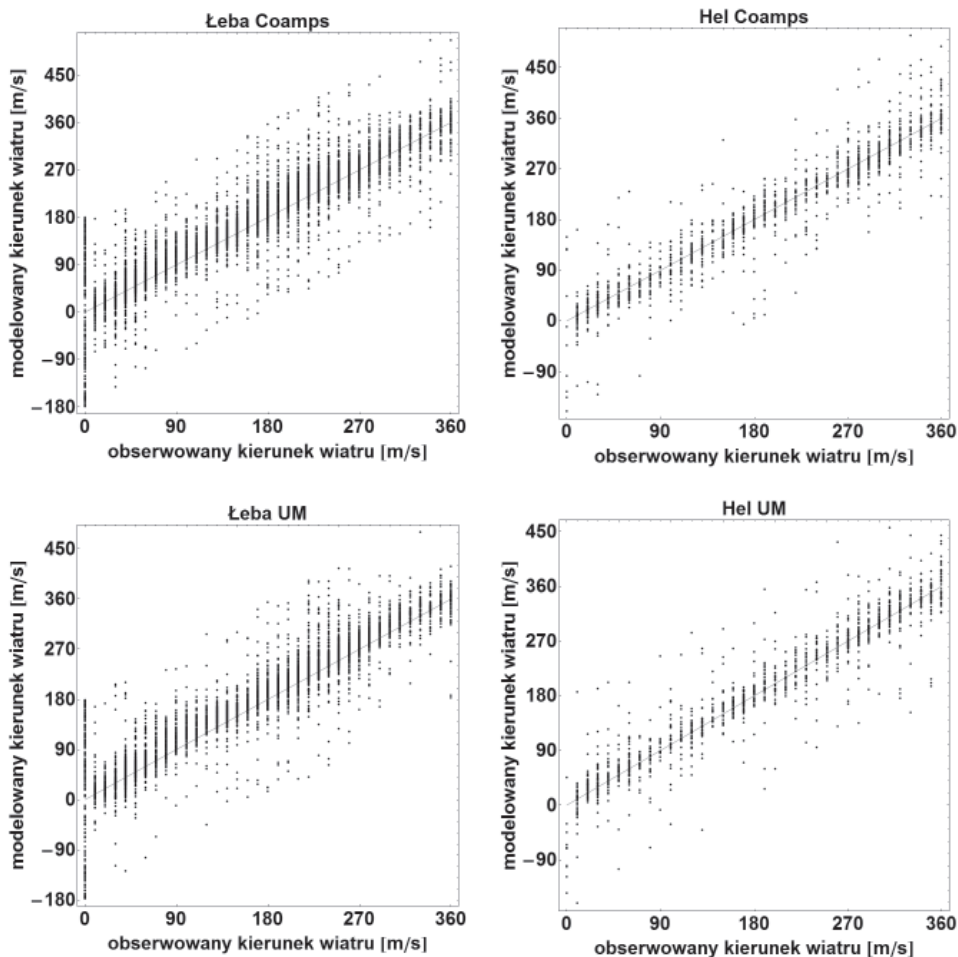
**Rysunek 2.** Diagramy korelacji dla temperatury powietrza między danymi obserwacyjnymi i progностycznymi  
**Figure 2.** Scatter plots of air temperature for observational and prognostic data



**Rysunek 3.** Diagramy korelacji dla prędkości wiatru między danymi obserwacyjnymi i prognostycznymi

**Figure 3.** Scatter plots of wind speed for observational and prognostic data

Dla prognoz prędkości wiatru współczynniki korelacji są bardziej zróżnicowane — wyższa korelacja (około 83%) jest dla prognoz UMPL w obu lokalizacjach, w porównaniu z prognozami COAMPS (około 73%). Średnie błędy kwadratowe są mniejsze niż ok. 2 m/s, a współczynniki rozrzutu większe niż 35%.



**Rysunek 4.** Diagramy korelacji dla kierunku wiatru między danymi obserwacyjnymi i prognostycznymi. Dane prognostyczne zostały skorygowane według procedury opisanej w pracy

**Figure 4.** Scatter plots of wind direction for observational and prognostic data. Prognostic data have been corrected using a procedure described in this paper

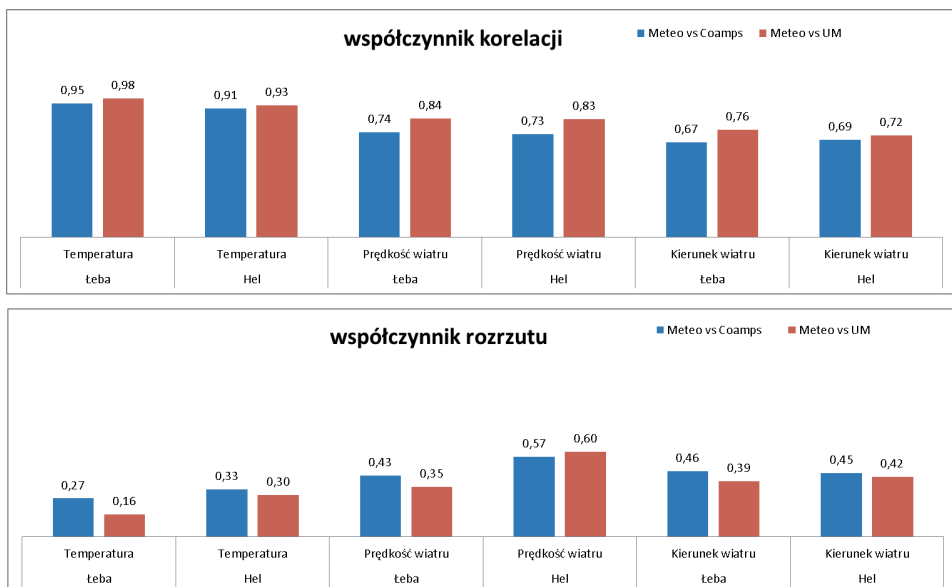
Prognozy kierunku wiatru mają współczynniki korelacji rzędu 67%-76%. W przypadku tych prognoz zwraca uwagę duży średni błąd kwadratowy powyżej  $60^{\circ}$ .

Wszystkie parametry wskazują na nieco dokładniejsze prognozy modelu UMPL, w porównaniu z prognozami według modelu COAMPS.



**Tabela 1.** Współczynniki RMSE oraz Bias dla wszystkich badanych grup danych  
**Table 1.** RMSE and Bias for all the tested data groups

Parametr lokalizacja	Badany okres	RMSE		Bias	
		Meteo vs COAMPS	Meteo vs UMPL	Meteo vs COAMPS	Meteo vs UMPL
		[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
Temperatura powietrza	Łeba 01.01.2009 31.12.2010	2,6	1,5	-0,5	0,6
	Hel 01.01.2009 14.07.2009	2,8	2,4	-0,6	0,04
Prędkość wiatru	Łeba 01.01.2009 14.07.2009	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]
	Hel 01.01.2009 31.12.2010	1,92	1,57	0,15	-0,37
Kierunek wiatru	Łeba 01.01.2009 14.07.2009	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]
	Hel 01.01.2009 31.12.2010	1,97	2,09	0,16	1,56
Kierunek wiatru	Łeba 01.01.2009 14.07.2009	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]
	Hel 01.01.2009 31.12.2010	79,6	62,3	14,92	12,52
Kierunek wiatru	Łeba 01.01.2009 14.07.2009	[deg]	[deg]	[deg]	[deg]
	Hel 01.01.2009 31.12.2010	85,4	80,0	-10,01	-1,55



**Rysunek 4.** Współczynniki korelacji i rozrzutu dla wszystkich badanych grup danych  
**Figure 4.** Correlation coefficients and scatter indices for all the tested data groups

## BIBLIOGRAFIA

- Farrugia R. N., *The wind shear exponent in a Mediterranean island climate*, Renewable Energy, 28 2003, 647-653
- Herman-Iżycki, L., Jakubiak B., Nowiński K., Niezgodka B., *UMPL — numerical weather prediction system for operational applications [in:] Research works based on the ICM's UMPL numerical weather prediction system results*, Wyd. ICM, Warszawa, 2002, 14-27.
- Hodur, R.M., *The Naval Research Laboratory Coupled Ocean-Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS)*, Mon. Wea. Rev., 125, 1997, 1414–1430.
- Jakubiak, B. and Hodur, R.M., *Experiments with a land-surface model coupled to a high-resolution NWP system*, Proc. "Earth Observation for Land-Atmosphere Interaction Science", Frascati, Italy, 3–5 November 2010. ESA SP-688, 2011, 6.
- Van Doorn E., Dhruva B., Sreenivasan K.R. and Cassella V. *Statistics of wind direction and its increments*. Phys. Fluids, 12, 6, 2000, 1529-1534.

Dr hab. Witold Cieřlikiewicz, prof. UG

Dr Aleksandra Dudkowska

Uniwersytet Gdański, Instytut Oceanografii

Al. Marszałka Piłsudskiego 46

81-378 Gdynia, Poland

Tel: +48 58 5236827, Direct: +48 58 5236875, Fax: +48 58 5235531

Email: ciesl@ug.edu.pl

Tel: +48 58 5236827, Direct: +48 585236879, Fax: +48 58 5235531

e-mail: a.dudkowska@ug.edu.pl

Recenzent: Prof. dr hab. Jacek Źarski