

Institute of Oceanography Gdańsk University

Jan Jędrasik

Walidacja modelu hydrodynamicznego

Modelowane obszary z zaznaczonymi stacjami obserwacyjnymi



Miary statystyczne zastosowane do weryfikacji modelu

- Wielkości porównywane:
y wartości modelowane (MOD) i x obserwowane (OBS)
- Różnice pomiędzy nimi $\Delta xy = y - x$ określono jako **błąd modelu**
- Różnice pomiędzy średnimi $Q_m = \overline{\Delta xy} = \bar{y} - \bar{x}$ przyjęto za
obciążenie bezwzględne modelu
- Uśredniony kwadrat tej różnicy oznacza **średni błąd kwadratowy** $E_{rs} = \overline{(\Delta xy)^2}$
- Iloczyn standaryzowanych wielkości (OBL) $S_y = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{N}}$ i (OBS) $S_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$ wyraża **współczynnik korelacji**

$$r = \frac{\overline{(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}}{S_x \cdot S_y} = \frac{\text{cov}(x, y)}{S_x \cdot S_y} = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x \cdot S_y}$$

- Średni błąd kwadratowy wyraża $E_{rs} = \overline{(\Delta xy)^2} = \text{var}(\Delta xy) + Q_m^2$ po rozwinięciu

$$\text{var}(\Delta xy) = \frac{1}{N} \Sigma (y - x)^2 =$$

$$\circ = \frac{1}{N} \Sigma (y - \bar{y})^2 + \frac{1}{N} \Sigma (x - \bar{x})^2 - \frac{2}{N^2} \Sigma (y - \bar{y}) \cdot (x - \bar{x}) = S_y^2 - 2rS_xS_y + S_x^2$$

- dodaniu i odjęciu r^2 oraz uporządkowaniu wyraża związek ze współczynnikiem korelacji w postaci

$$E_{rs} = S_x^2 \left[(1 - r^2) + \left(\frac{S_y}{S_x} - r \right)^2 + \frac{Q_m^2}{S_x^2} \right]$$

- Drugi człon w nawiasie oznaczmy $C^2 = \left(\frac{S_y}{S_x} - r \right)^2$ jako **obciążenie warunkowe** równania opisujące współzależność między błędem modelu i jego symulacją
- Trzeci człon równania wyraża **obciążenie bezwarunkowe** $B^2 = \frac{Q_m^2}{S_x^2}$ zdefiniowane jako stosunek obciążenia bezwzględnego do odchylenia standardowego obserwacji

- Wyrażenie E_{rs} podzielone przez S_x^2 z oznaczeniem $1 - \frac{E_{rs}}{S_x^2} = E$ oznacza współczynnik determinacji lub efektywności $E = r^2 - C^2 - B^2$ nazywany współczynnikiem Nasha i Suttcliff'a (Węglarczyk, 1998)

Jeżeli nie ma żadnych obciążeń, to jest on równy kwadratowi współczynnika korelacji. Obciążenia wyników modelu obniżają wartości współczynnika efektywności, który wskazuje realnie na charakter symulacji.

- Relacja współczynnika korelacji z **całkowitym błędem kwadratowym** $E_{rc} = \frac{\sqrt{E_{rs}}}{x}$ prowadzi do współzależności tzw. **specjalnego współczynnika korelacji**

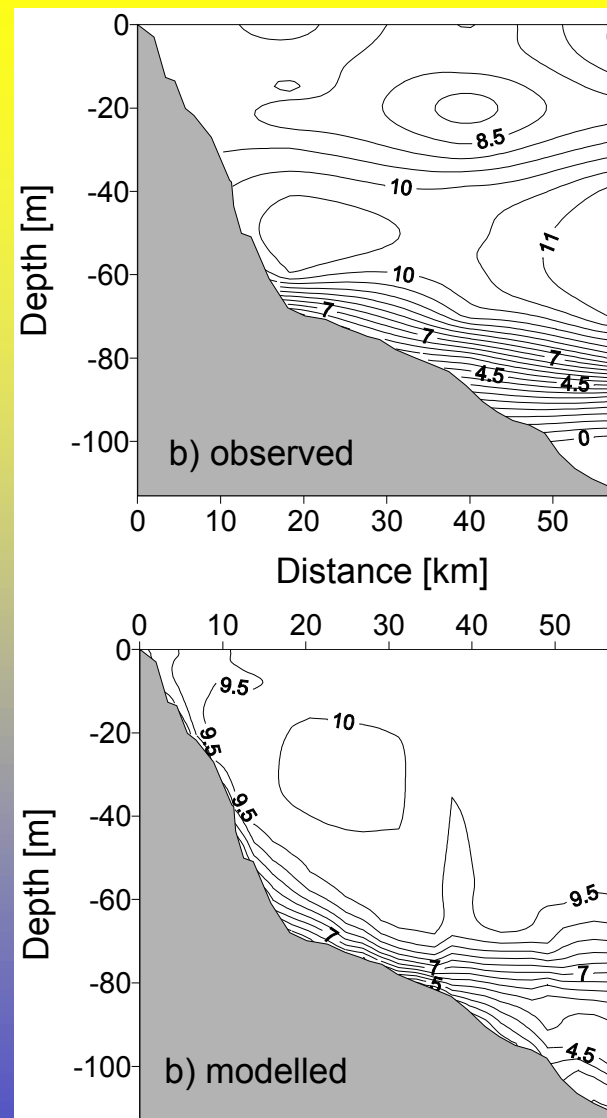
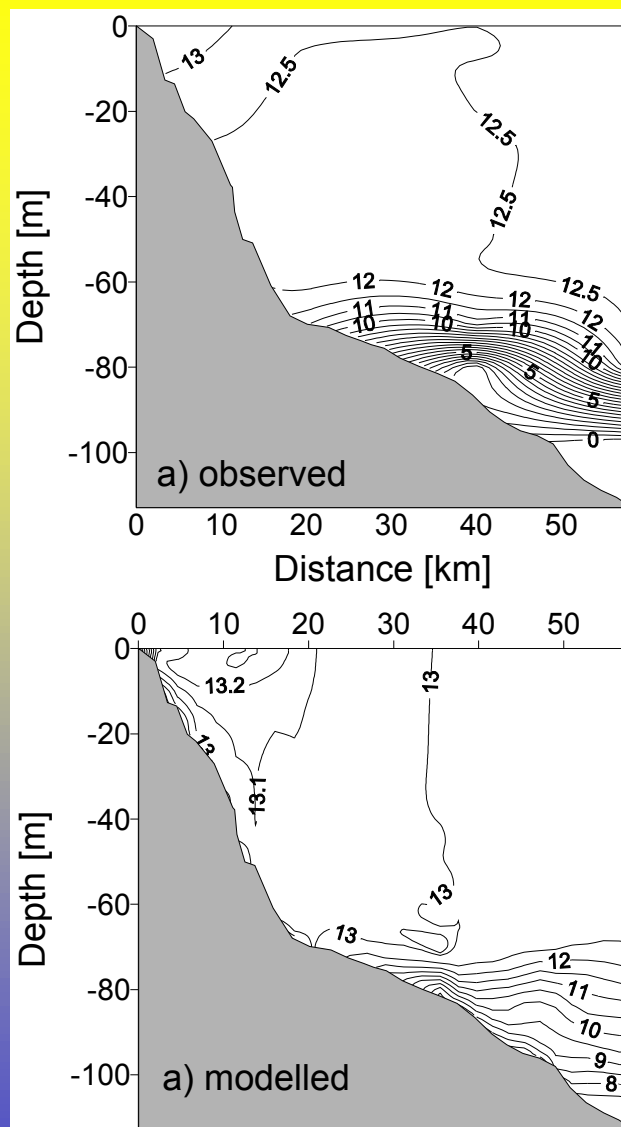
R_s względem E_{rc} w postaci $R_s = 1 - \frac{E_{rc}}{S_x^2 + \bar{x}^2}$

Współczynnik ten jest równy jedności gdy średni błąd kwadratowy jest równy zero, a jego wartość maleje ze wzrostem E_{rc} .

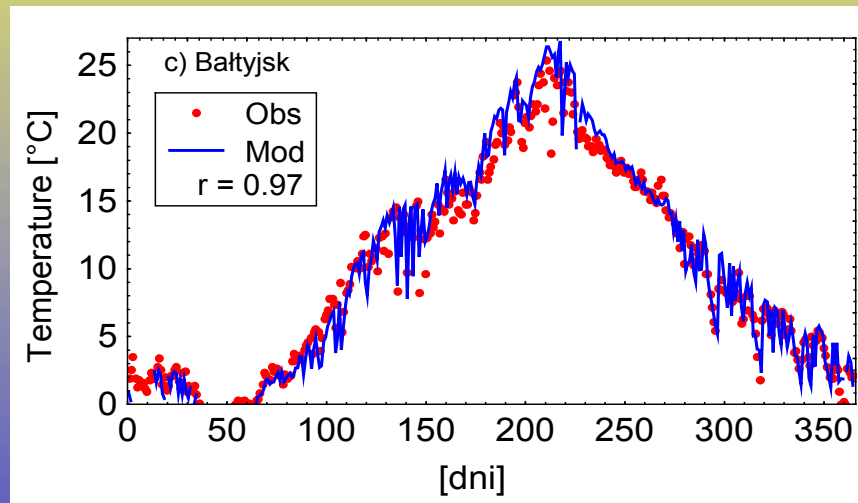
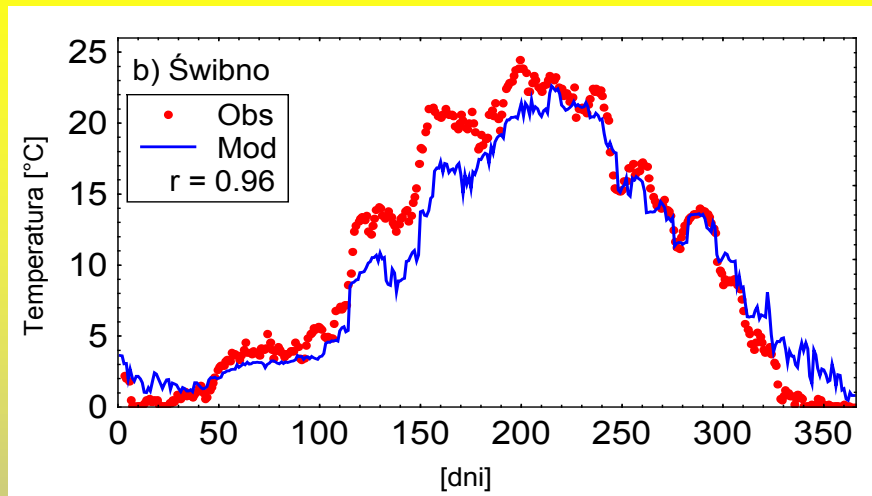
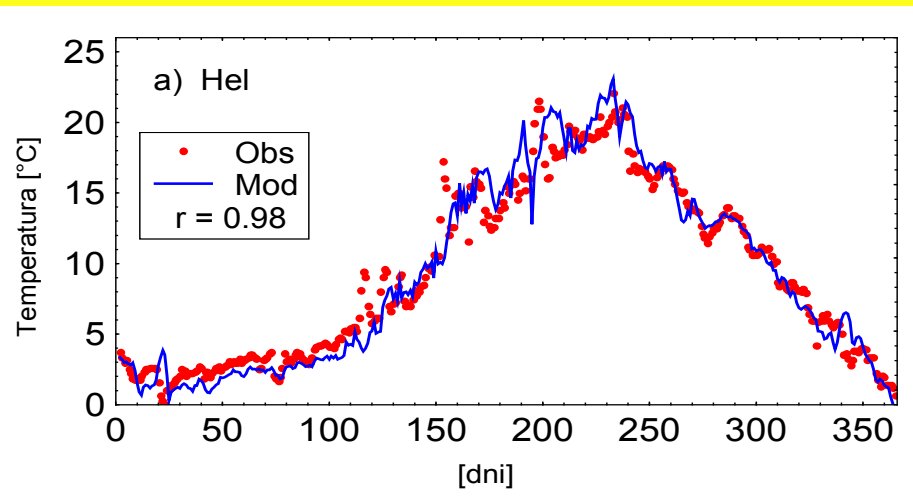
- **Błąd procentowy symulacji modelu** $\delta = \frac{y - x}{x - x_{\min}} \cdot 100\%$

Klasy dokładności symulacji dla przedziałów procentowych błęd według Mayera (1979):

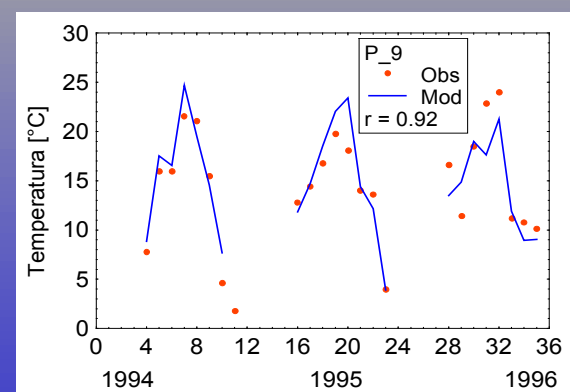
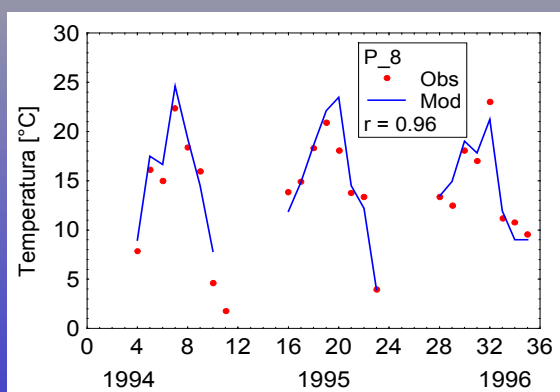
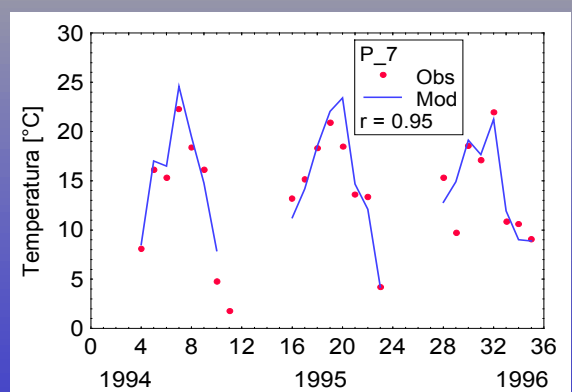
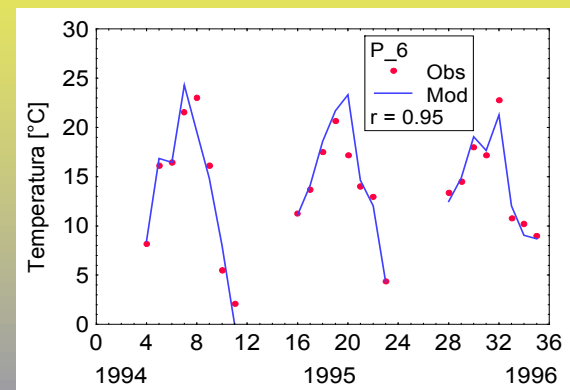
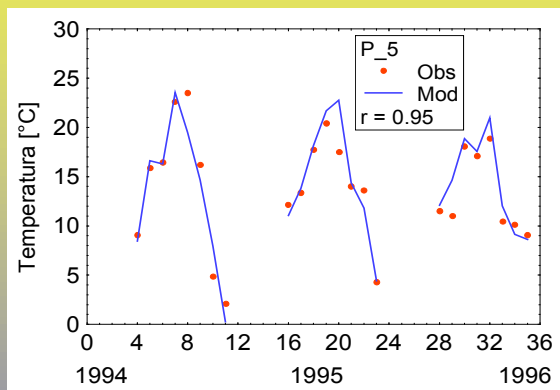
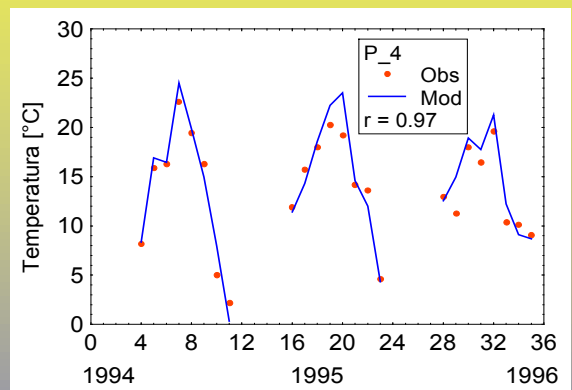
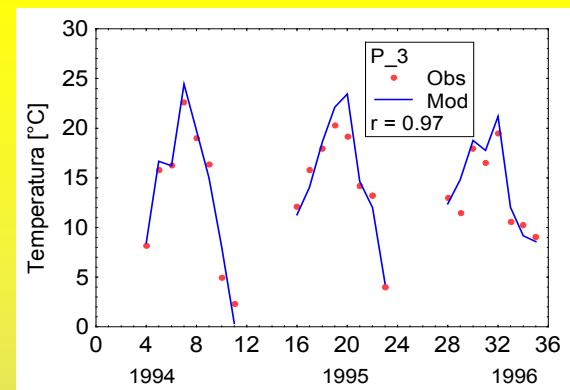
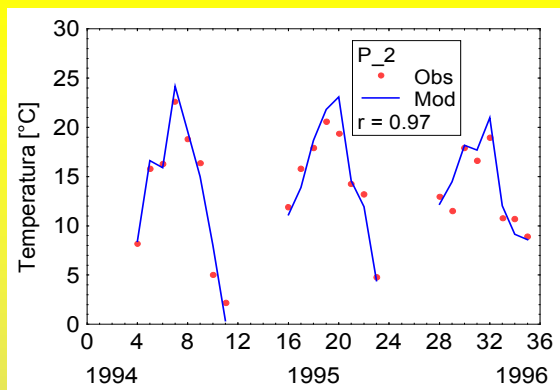
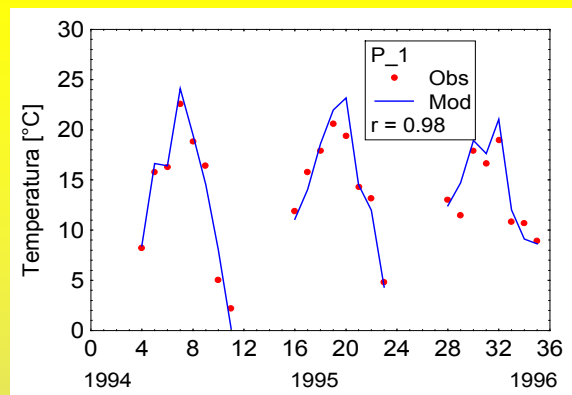
| | |
|-------------------------|--------------------------|
| bardzo dobra | $\delta < 10\%$, |
| dobra | $10\% < \delta < 20\%$, |
| dostateczna | $20\% < \delta < 30\%$ |
| nie do przyjęcia | $\delta > 30\%$. |



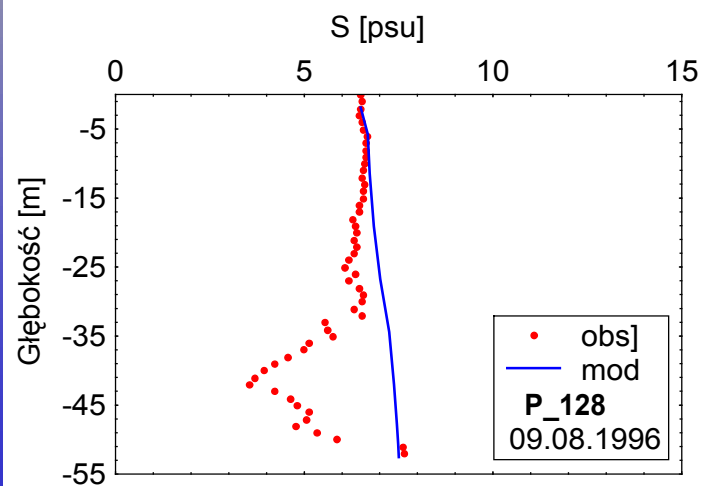
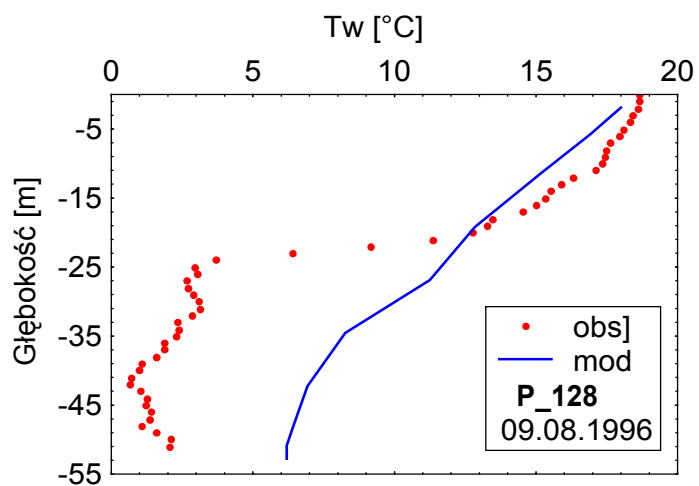
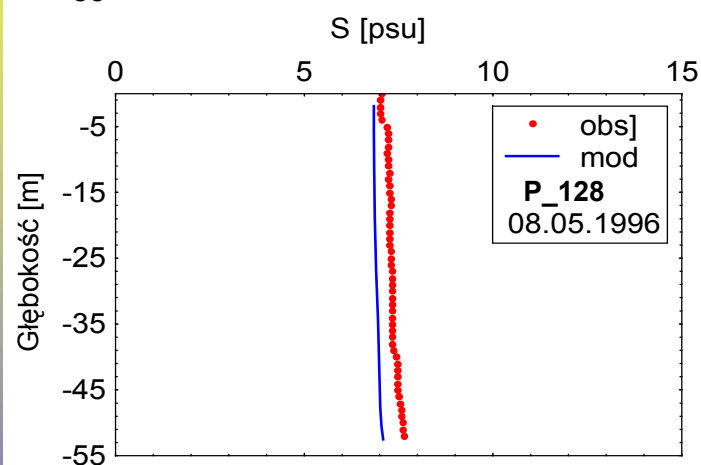
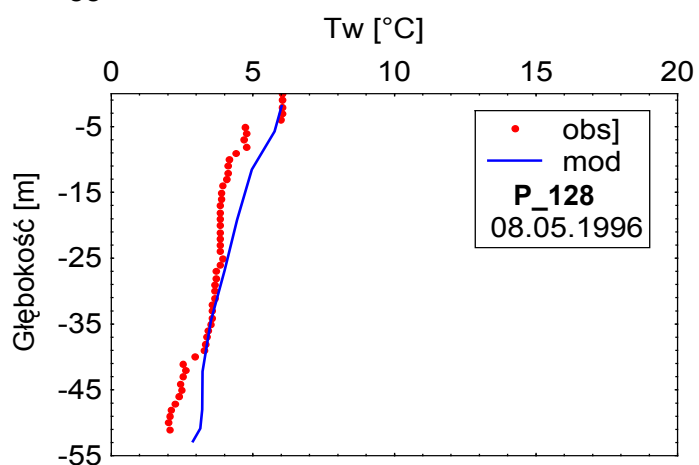
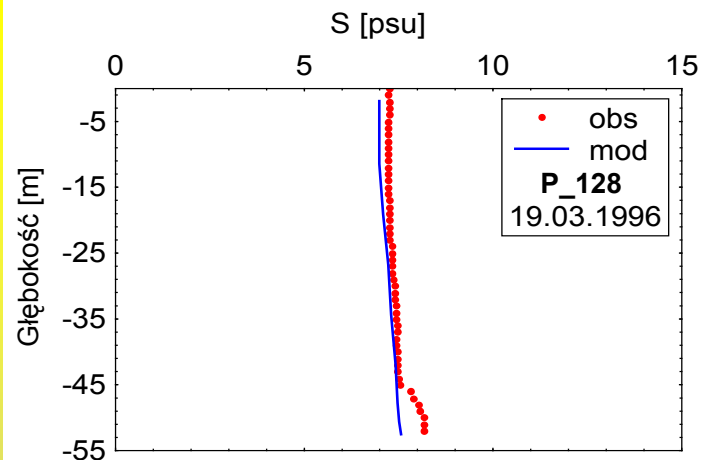
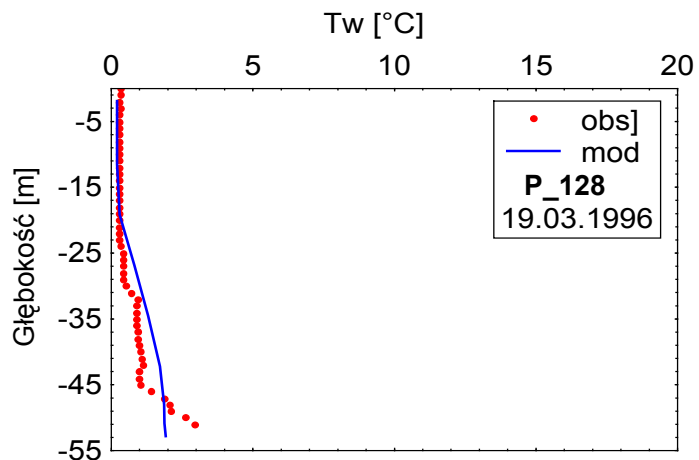
Obserwowane i modelowane rozkłady tlenu rozpuszczonego $O-O_2$ w przekroju od ujścia Wisły do stacji P1 poprzez P110 i P116 a) 4 marca 1995 b) 8 sierpnia 1995

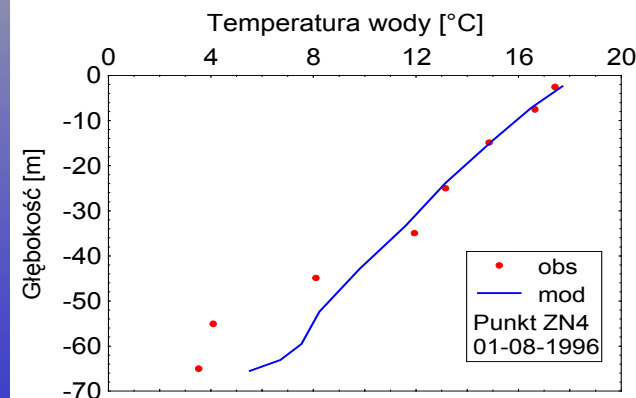
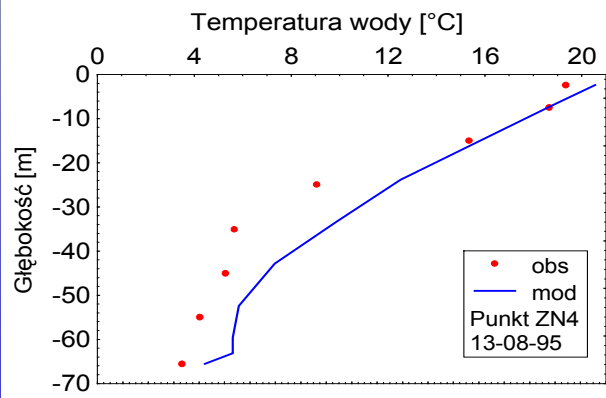
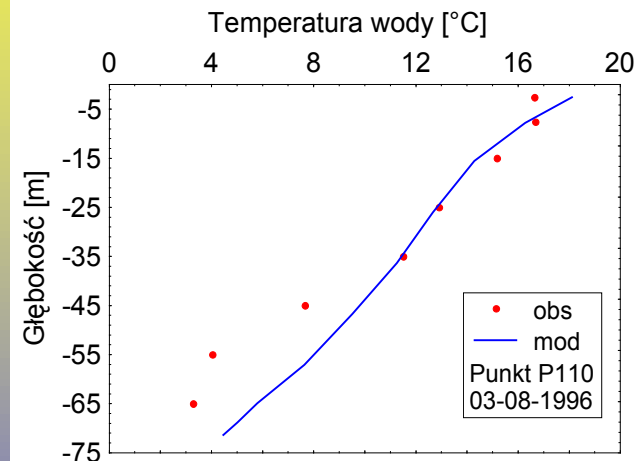
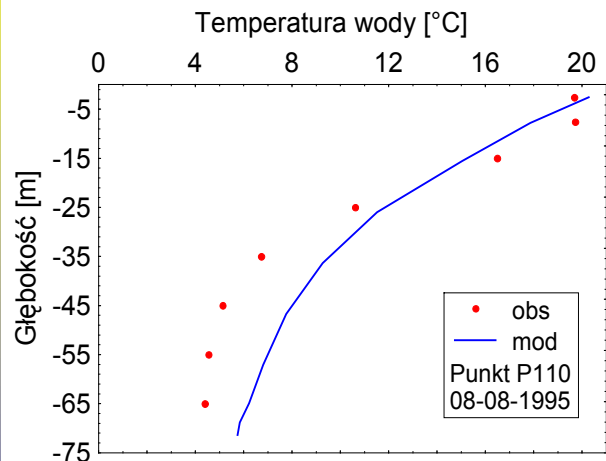
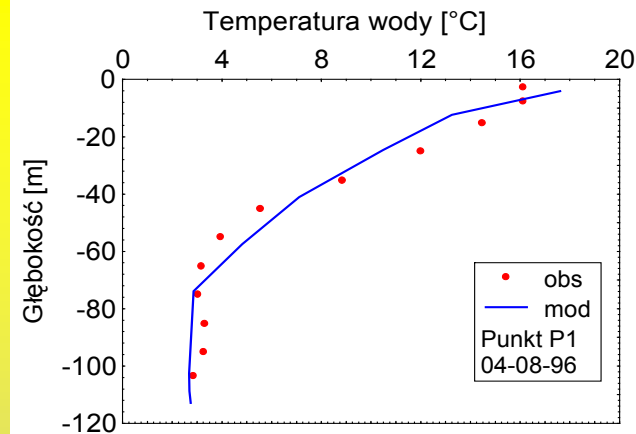
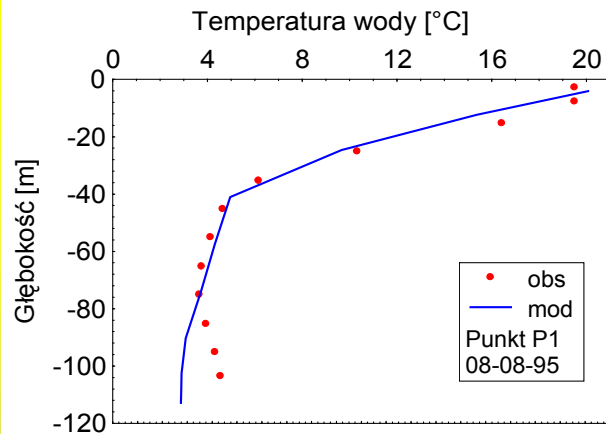


Przebieg temperatury wody powierzchniowej obserwowanej i modelowanej na stacjach brzegowych w a) Helu i b) Świbnie, w 1995 oraz w Bałtyjsku w roku 1994

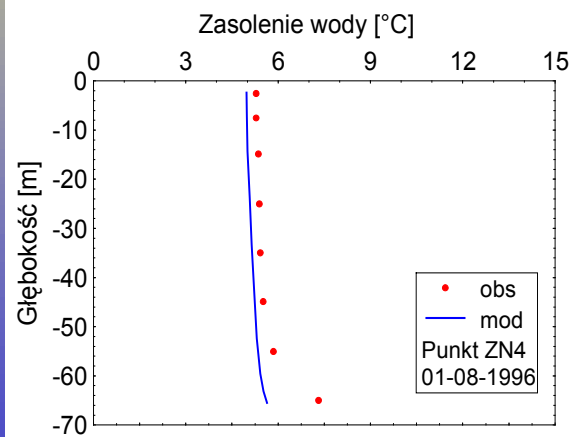
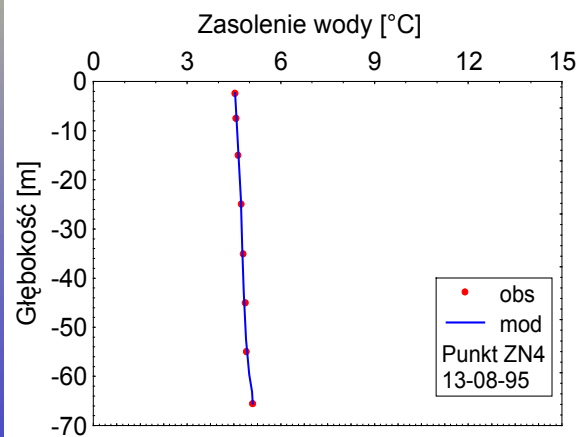
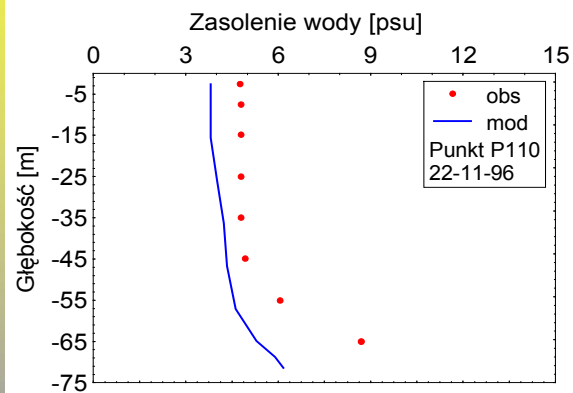
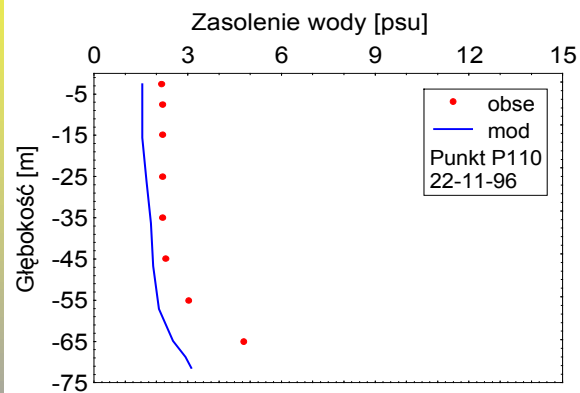
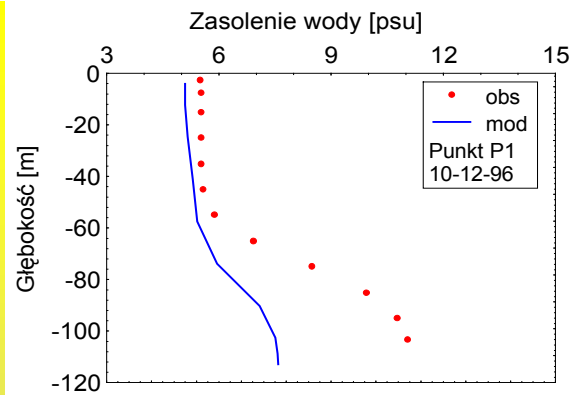
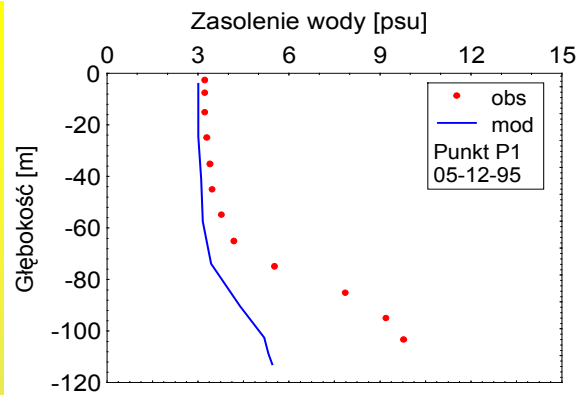


Przebieg obserwowanej (OBS) i modelowanej (MOD) temperatury wody powierzchniowej w punktach 1-10 Zalewu Wiślanego za okres 1994-96





Modelowane i obserwowane pionowe rozkłady temperatury wody w wybranych punktach Zatoki Gdańskiej: P1, P110, ZN4 w sezonie letnim 1995_96



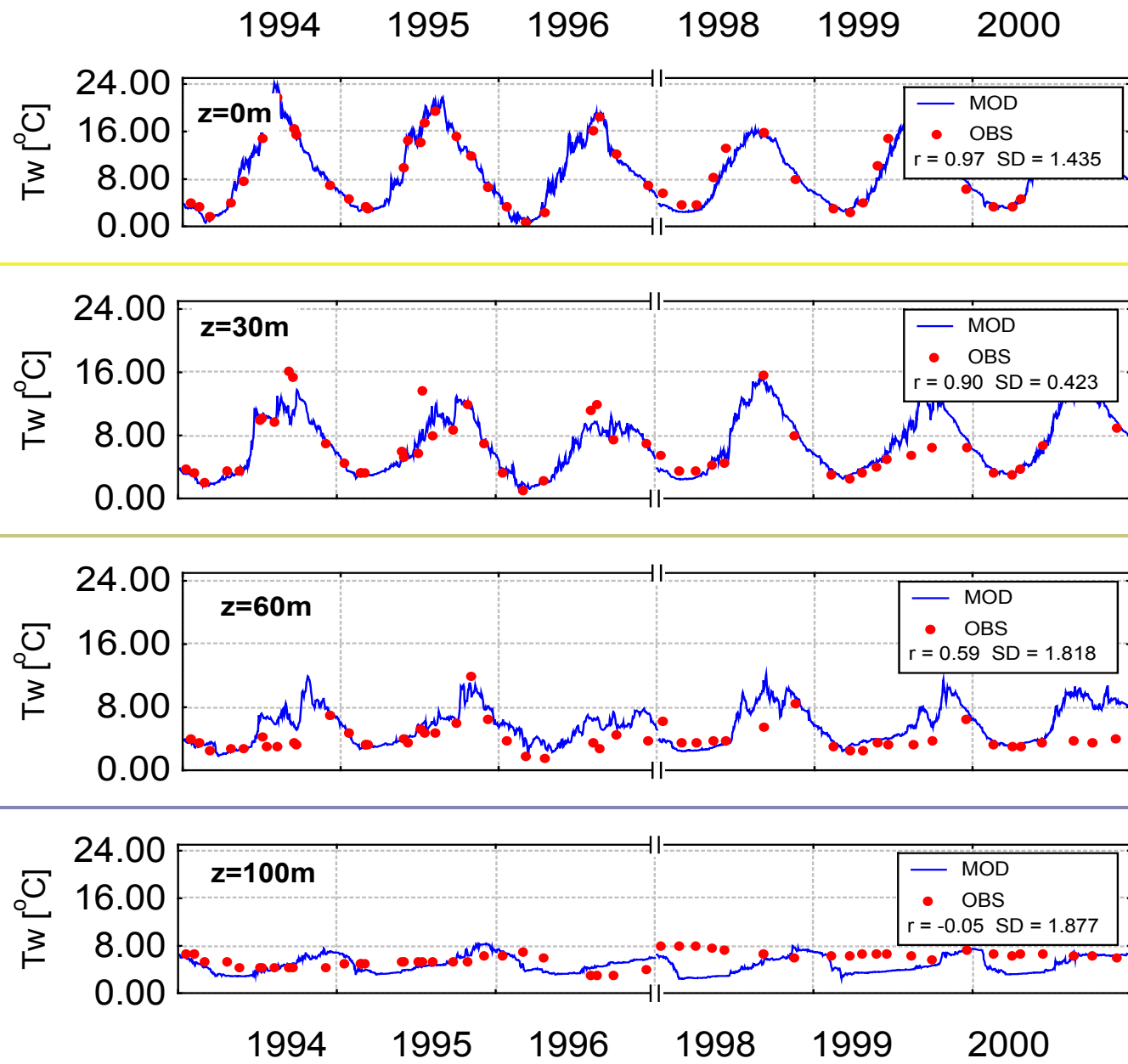
Modelowane i obserwowane pionowe rozkłady zasolenia w wybranych punktach Zatoki Gdańskiej: P1, P110, ZN4 w sezonach jesiennych 1995_96

Tabela 1. Współczynniki korelacji i odchylenia standardowe dla temperatur wody i zasolenia w punktach obserwacyjnych Zatoki Gdańskiej w okresie 1994-1996

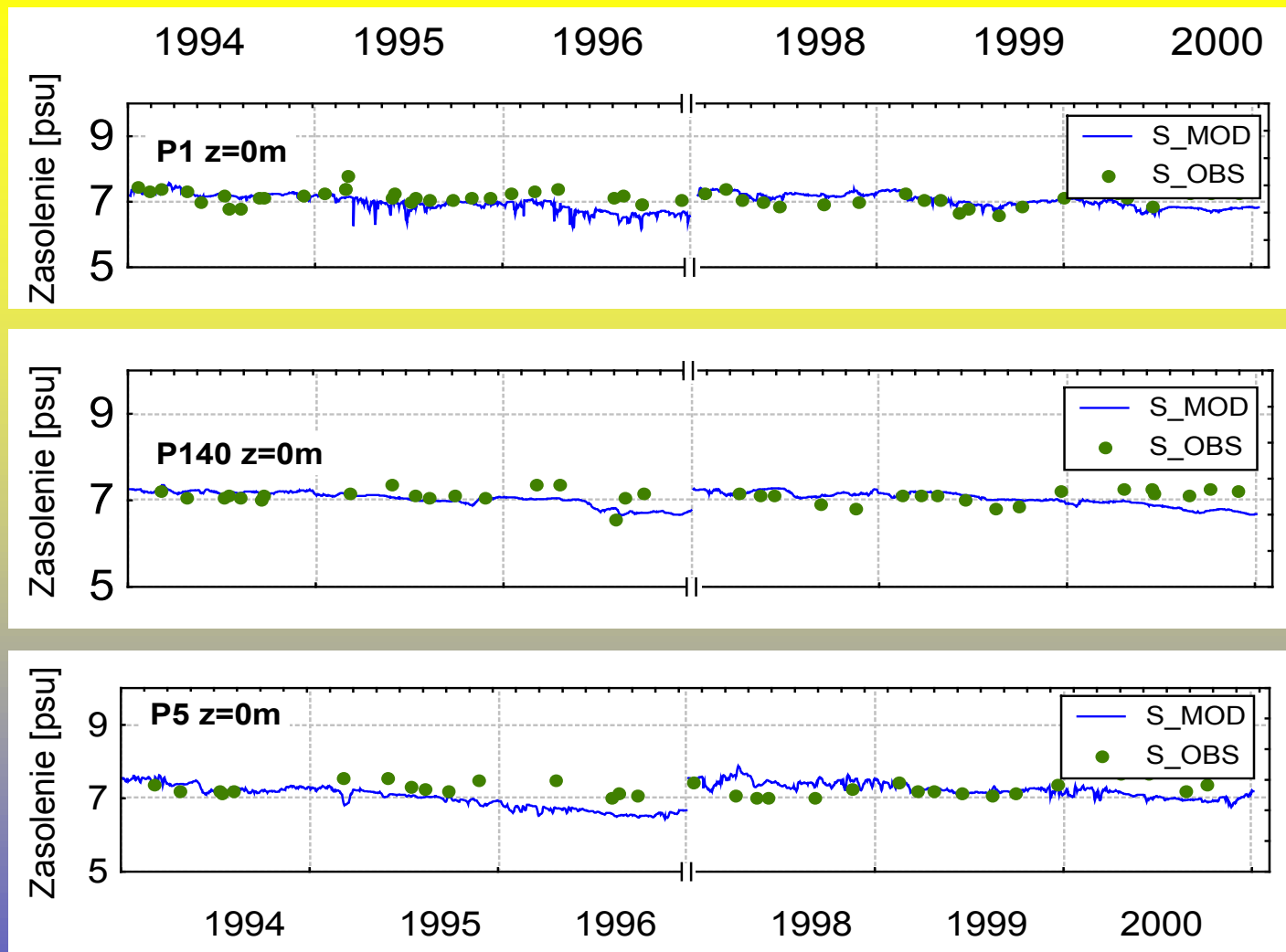
| Stacja | T _w | | S | | Liczba obserwacji |
|--------|----------------|------|------|------|-------------------|
| | R | SD | R | SD | |
| P101 | 0.51 | 0.06 | 0.38 | 0.02 | 52 |
| P104 | 0.65 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 81 |
| P110 | 0.42 | 0.06 | 0.31 | 0.01 | 121 |
| P116 | 0.83 | 0.03 | 0.18 | 0.01 | 111 |
| ZN4 | 0.43 | 0.02 | 0.84 | 0.01 | 127 |
| ZN2 | 0.82 | 0.26 | 0.69 | 0.07 | 71 |
| NP | 0.35 | 0.07 | 0.65 | 0.02 | 40 |
| K | 0.84 | 0.08 | 0.61 | 0.02 | 55 |
| R4 | 0.58 | 0.04 | 0.45 | 0.01 | 50 |
| P63 | 0.68 | 0.03 | 0.52 | 0.08 | 50 |

Tabela 2. Współczynniki korelacji i odchylenia standardowe dla temperatur wody i zasolenia na stacjach obserwacyjnych Basenu Gdańskiego w okresie 1994-2000

| Stacja | T _w | | S | | Liczba obserwacji |
|--------|----------------|------|-------|------|-------------------|
| | R | SD | R | SD | |
| P1 | 0.888 | 1.69 | 0.876 | 1.10 | 394 |
| P140 | 0.964 | 1.44 | 0.725 | 0.35 | 180 |
| P5 | 0.925 | 1.75 | 0.951 | 1.57 | 320 |



Przebieg powierzchniowej zmienności obserwowanych i modelowanych temperatur wody T_w na Głębi Gdańskiej, stacja P1 z = 0 m z = 30 m z = 60 m z = 100 m w okresie 1994 – 2000



Przebieg powierzchniowej zmienności obserwowanych (OBS) i modelowanych (MOD) wartości zasolenia na Głębi Gdańskiej stacja P1, Basenie Gdańskim stacja P140, Basenie Bornholmskim stacja P5, w okresie 1994 – 2000

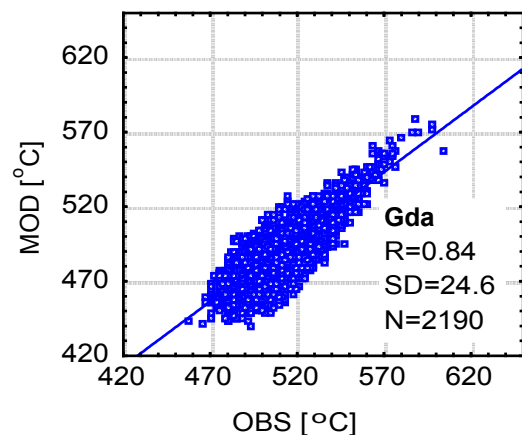
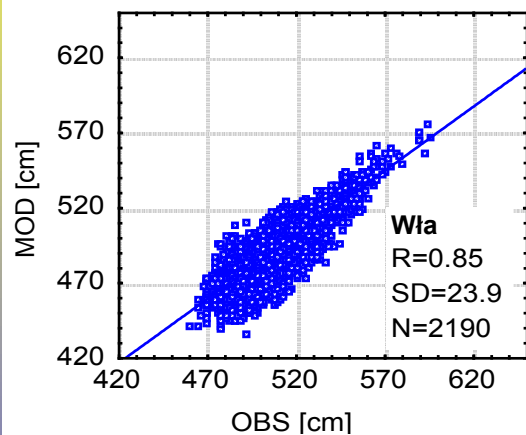
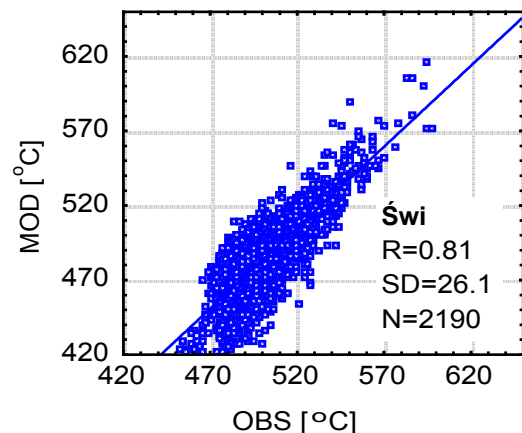


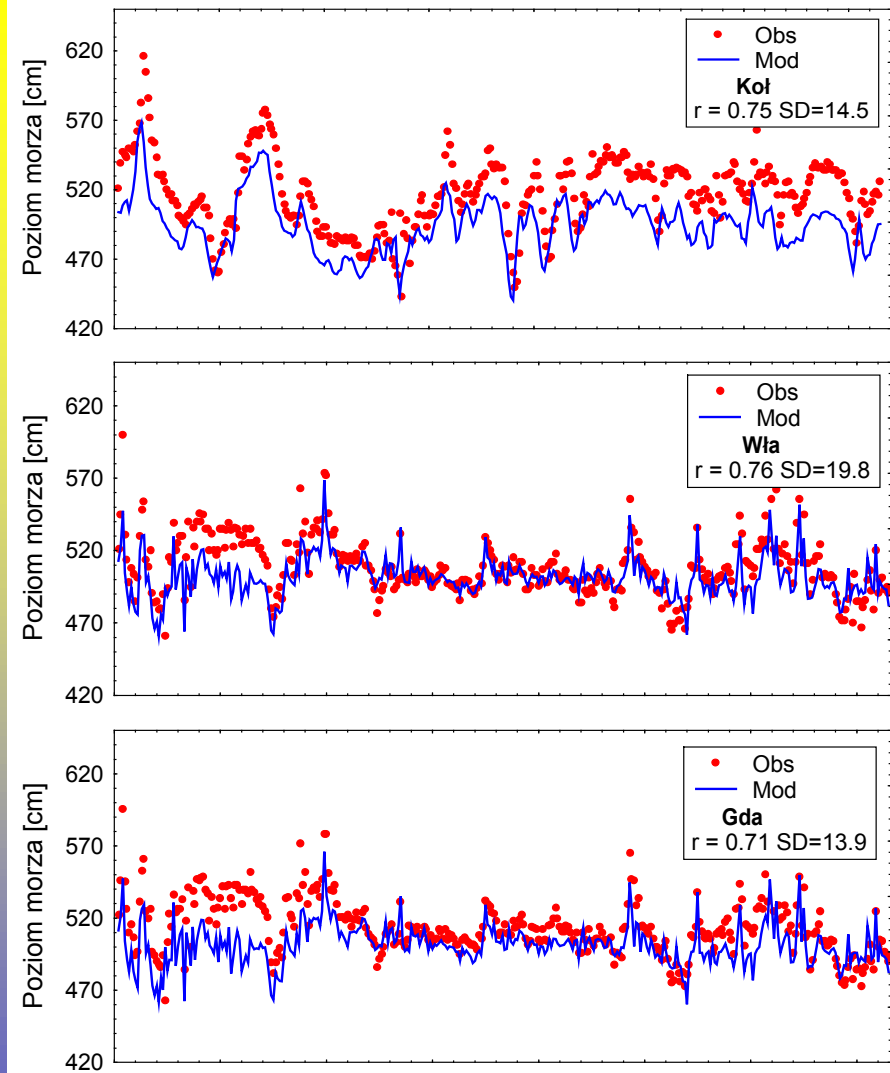
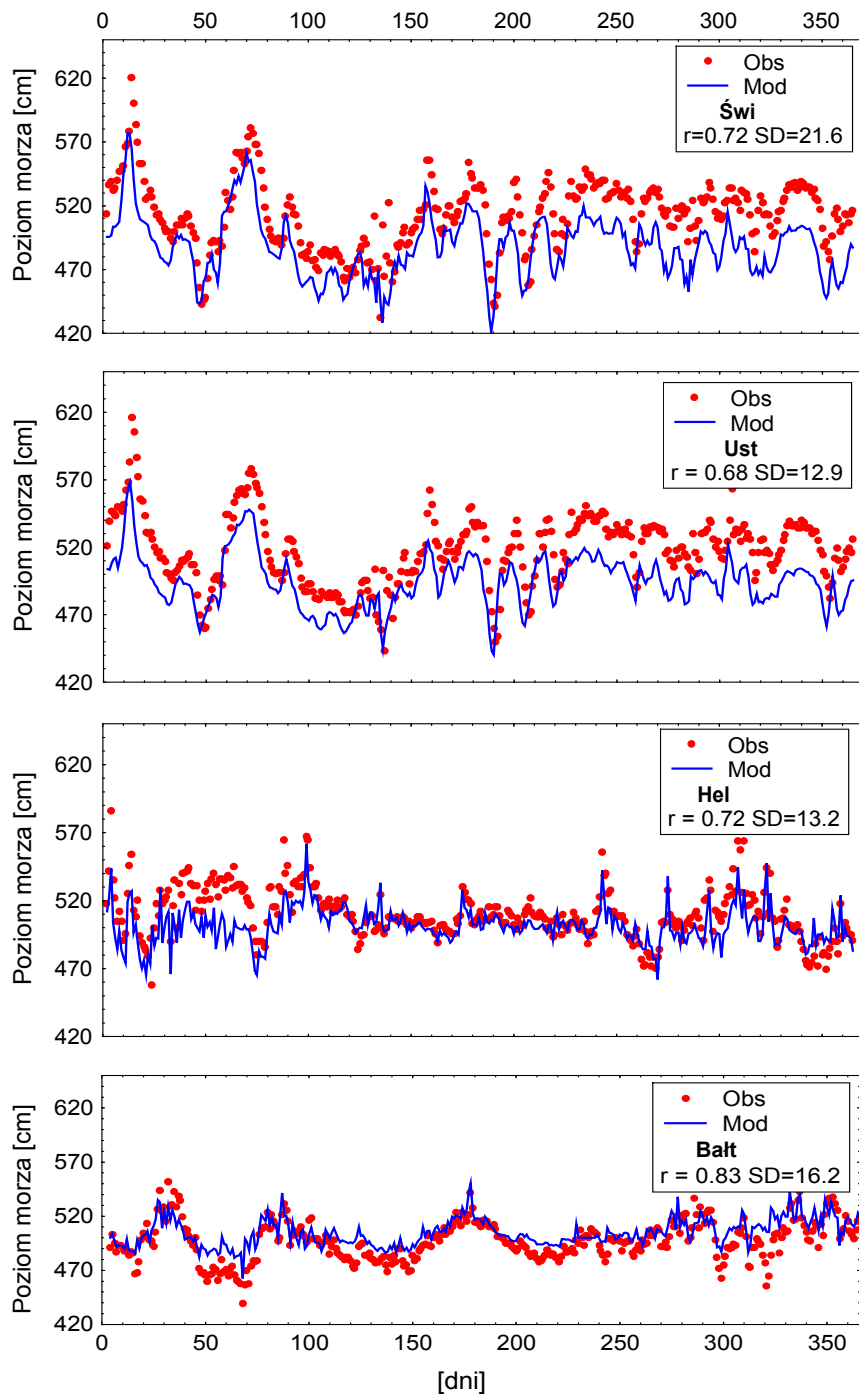
Tabela 4 Ocena symulacji poziomu morza wg klasyfikacji Mayera (1979)

| Klasa | G95 | H95 | W95 | S95 | K95 | U95 | S00 | W00 | G00 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 56.5 | 60.4 | 54.8 | 64.6 | 69.3 | 51.3 | 59.3 | 52.1 | 45.3 |
| 2 | 28.6 | 25.8 | 32.6 | 27.0 | 25.4 | 32.1 | 24.1 | 26.5 | 27.1 |
| 3 | 11.8 | 9.2 | 7.6 | 6.7 | 4.3 | 11.4 | 9.8 | 12.4 | 14.4 |
| 4 | 3.1 | 4.6 | 5.0 | 1.7 | 1.0 | 5.2 | 6.8 | 9.0 | 13.2 |
| 1+2+3 | 96.9 | 95.4 | 95.0 | 98.3 | 99.0 | 94.8 | 93.2 | 91.0 | 86.8 |

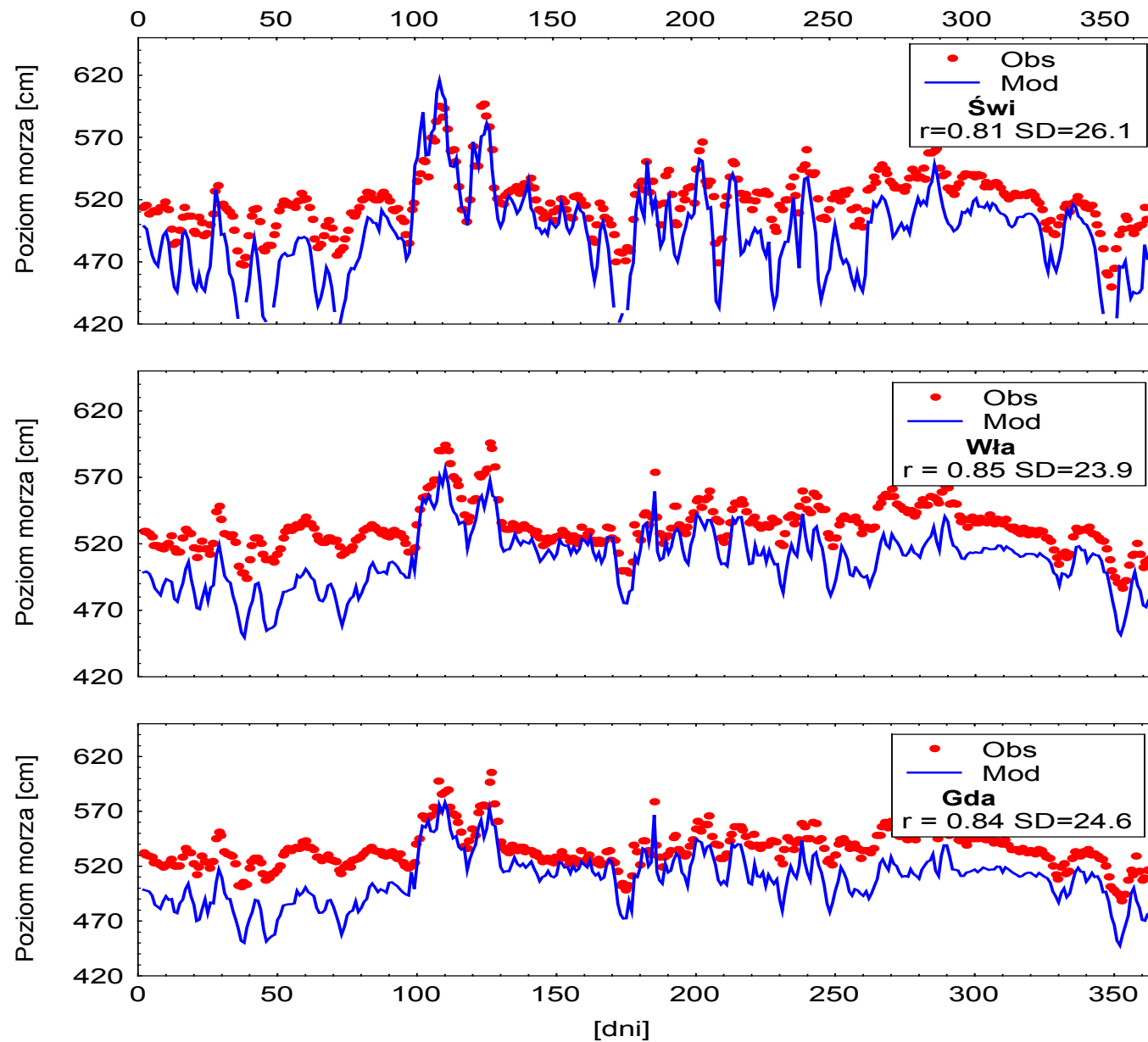
Tabela 2 Parametry statystyczne symulacji wahań poziomu morza na stacjach brzegowych w roku 1995 i 2000*

| Parametr | G1995 | H1995 | W1995 | S1995 | K1995 | U1995 | S2000 | W2000 | G2000 |
|----------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| R | 0.722 | 0.717 | 0.773 | 0.723 | 0.752 | 0.686 | 0.821 | 0.817 | 0.823 |
| Δ | 10.63 | 9.75 | 9.94 | 12.25 | 10.93 | 11.50 | 14.56 | 11.81 | 14.01 |
| Q_m | 0.992 | 0.999 | 1.003 | 1.000 | 0.999 | 1.002 | 0.981 | 0.984 | 0.977 |
| E_{rs} | 203.4 | 165.0 | 159.5 | 251.6 | 197.1 | 216.3 | 369.7 | 233.3 | 312.3 |
| R_s | 0.999 | 0.999 | 0.999 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| E_{rc} | 0.028 | 0.025 | 0.025 | 0.031 | 0.028 | 0.029 | 0.038 | 0.030 | 0.034 |
| C^2 | 0.687 | 0.709 | 0.629 | 0.417 | 0.591 | 0.709 | -0.110 | 0.139 | 0.110 |
| B^2 | 0.308 | 0.022 | -0.115 | 0.004 | 0.023 | -0.070 | 0.327 | 0.372 | 0.515 |
| E | -0.44 | 0.010 | 0.188 | 0.348 | 0.216 | -0.037 | 0.555 | 0.511 | 0.400 |

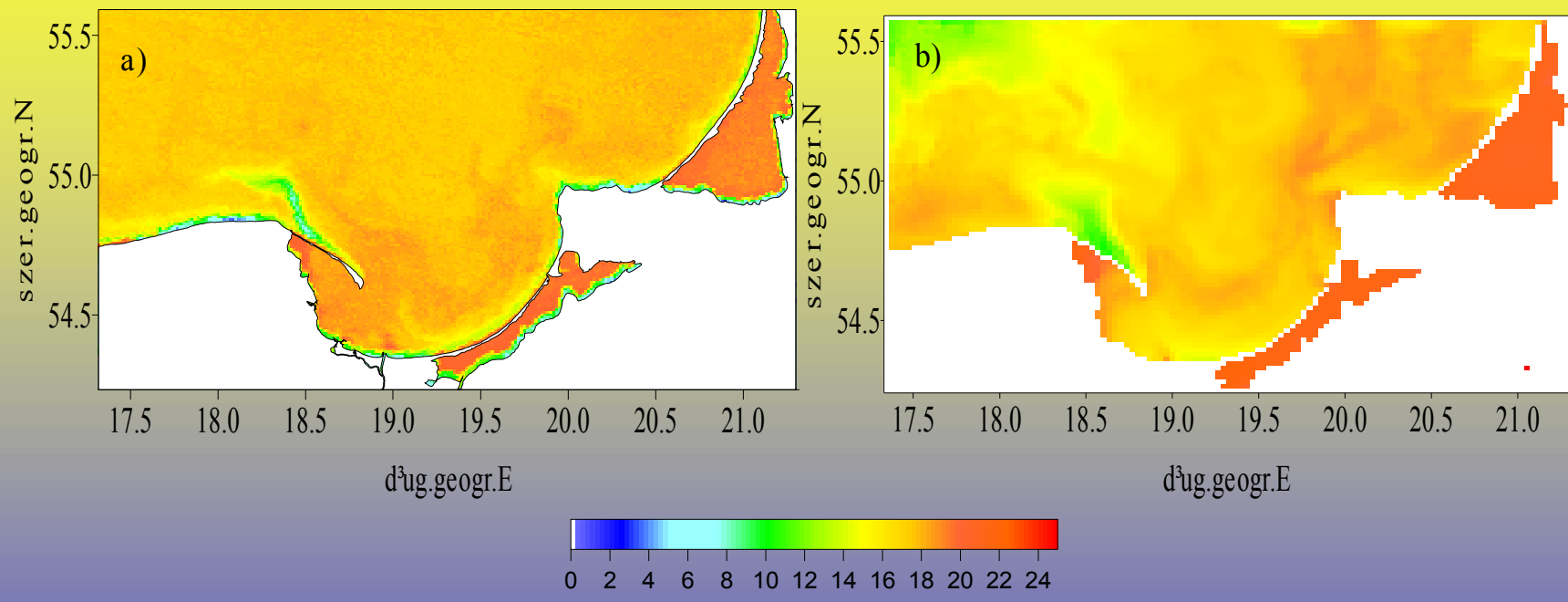
* Litery w pierwszym wierszu tabeli odpowiadają nazwie stacji, dwie cyfry określają rok gdzie: R, współczynnik korelacji; δ , średnie absolutne odchylenie; Q_m , obciążenie modelu; E_{rs} , średni błąd kwadratowy; R_s , specjalny współczynnik korelacji; E_{rc} , całkowity błąd kwadratowy; C^2 , obciążenie warunkowe; B^2 , obciążenie bezwarunkowe; E, efektywność modelu.



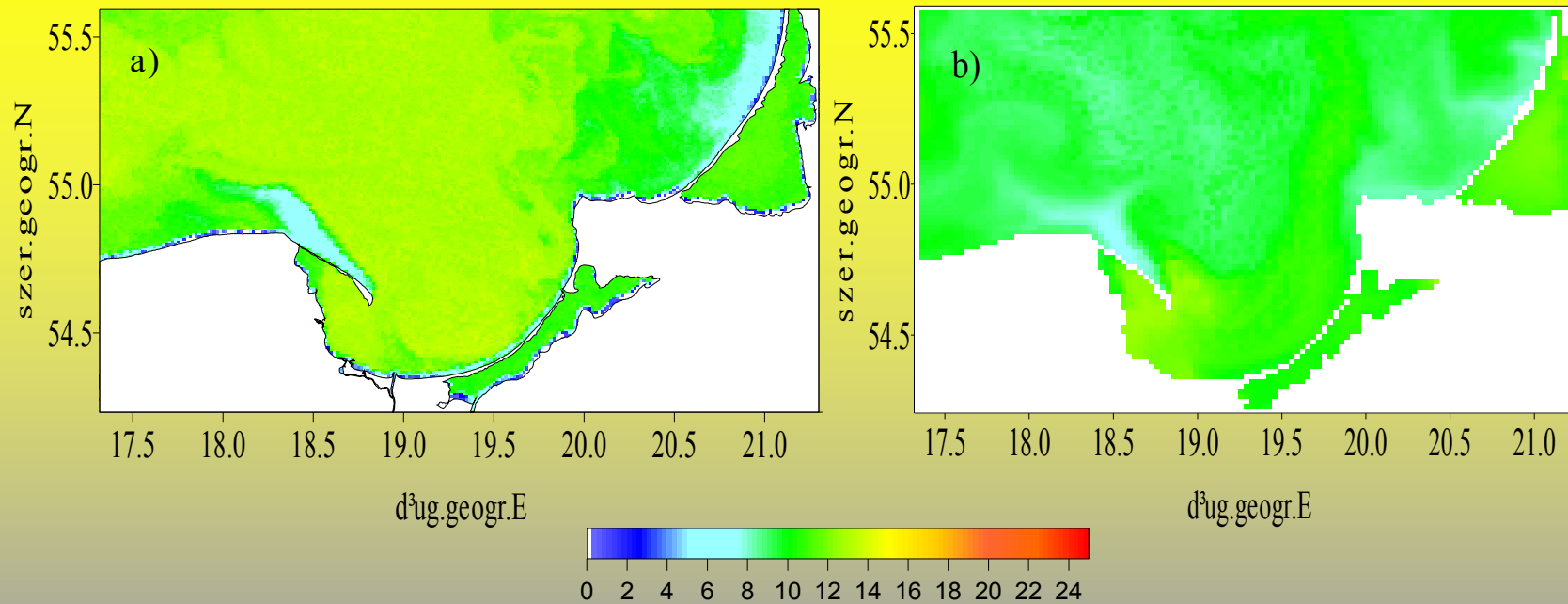
Przebieg wahań poziomu morza obserwowanego (OBS) i modelowanego (MOD) na polskich stacjach brzegowych w 1995r oraz w Bałtyjsku 1994r



Przebieg wahań poziomu morza obserwowanego (OBS) i modelowanego (MOD) na stacjach brzegowych w 2000r



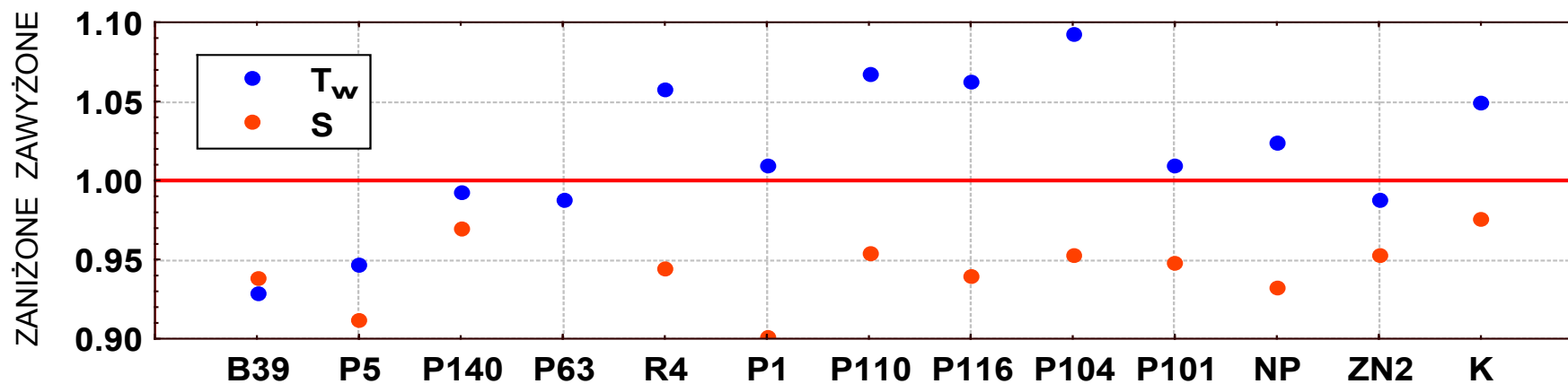
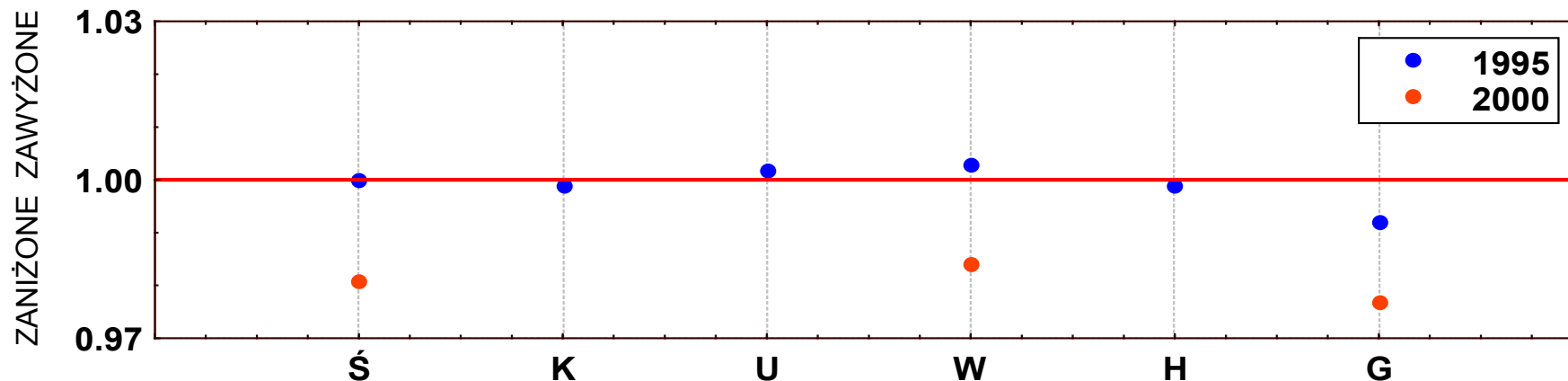
Pola temperatury wody powierzchniowej z 9 sierpnia 1996 a) obserwowane
 b) modelowane



Pola temperatury wody powierzchniowej z 23 września 1996 a) obserwowane b) modelowane

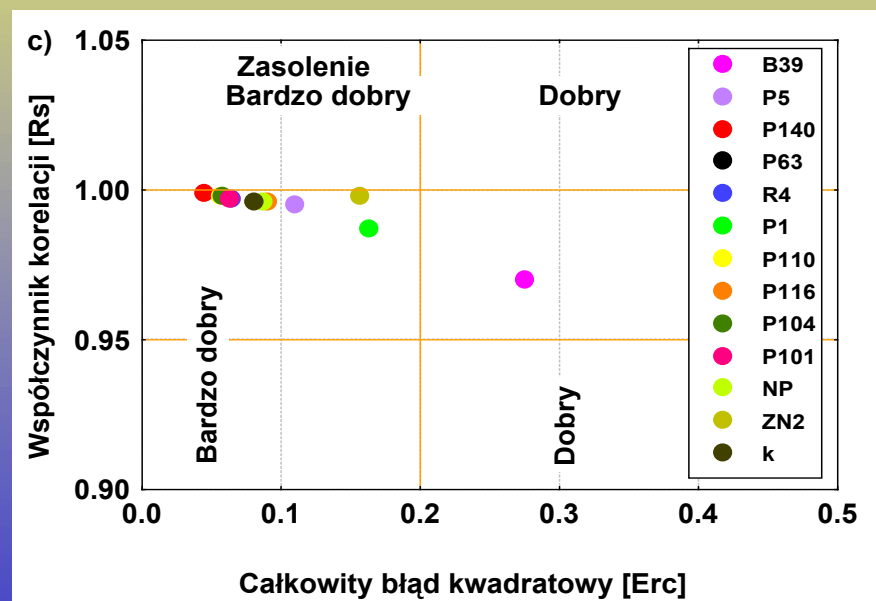
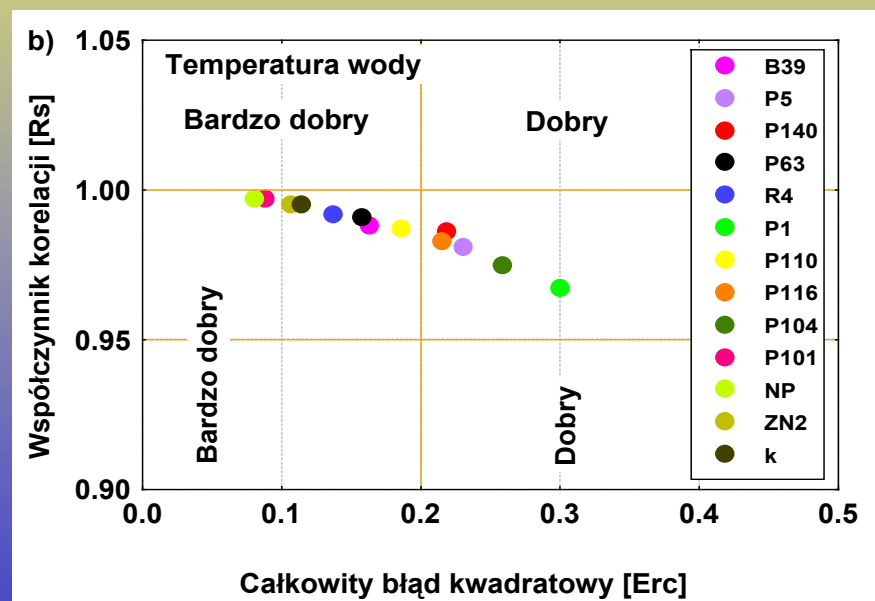
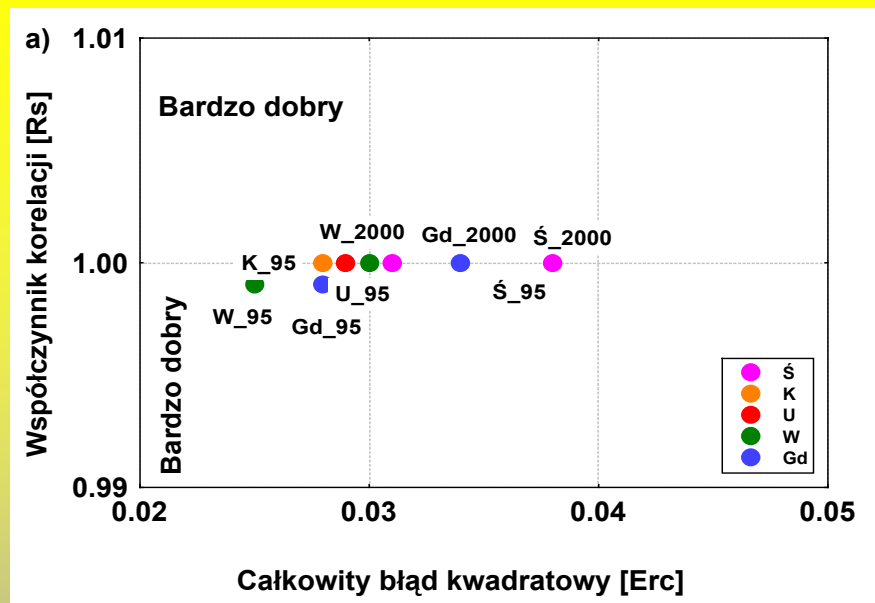
Tabela 5. Korelacja pól temperatury obserwowanej na zdjęciach satelitarnych i modelowanych

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Termin | 12.04.95 | 23.05.95 | 30.05.95 | 19.03.96 | 16.04.96 | 03.08.96 | 04.08.96 | 05.08.96 | 06.08.96 | 07.08.96 | 08.08.96 | 09.08.96 | 19.08.96 | 20.08.96 | 23.09.96 |
| R | 0.519 | 0.665 | 0.140 | 0.060 | 0.363 | 0.367 | 0.423 | 0.344 | 0.229 | 0.454 | 0.427 | 0.430 | 0.520 | 0.353 | 0.222 |



Obciążenia bezwzględne symulacji wahań poziomu morza w roku 1995 i 2000 oraz temperatury wody i zasolenia za okres 1994-2000

| Parametry | Q_m | C^2 | B^2 | E_{rs} | E_{rc} | r | r^2 | E | R_s |
|-----------|--------|--------|--------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|
| T | -0.130 | 0.0004 | 0.0004 | 2.816 | 0.256 | 0.927 | 0.859 | 0.858 | 0.977 |
| S | -0.687 | 0.100 | 0.073 | 0.891 | 0.109 | 0.928 | 0.861 | 0.687 | 0.994 |



Specjalny współczynnik korelacji w funkcji całkowitego błędu kwadratowego
 a) dla poziomów morza b) temperatury wody c) zasolenia

Podsumowanie:

Model hydrodynamiczny

weryfikowany według:

- wahań poziomu morza, rozkładów temperatury wody i jej zasolenia oraz obrazów satelitarnych temperatury
uzyskał wysokie oceny statystyczne potwierdzające zgodność wartości modelowanych i obserwowanych we wszystkich akwenach dla 6 letniego okresu porównań.
- Model **hd** wskazał rejon występowania, wielkość i kształt upwellingów na powierzchni morza potwierdzonych zdjęciami satelitarnymi. Model odwzorowywał także strukturę kolumny wody.



Bezpośrednie rejsy obserwacyjne wskazały na potrzebę zwiększenia rozdzielczości siatek numerycznych dla akwenów występowania upwellingów. Obecna rozdzielczość z oczkiem 1mM^2 pozwala na ocenę zgrubną.

- Model **hd** zaniżał wartości temperatury wody, zawyżał zasolenie, a także w niektórych okresach wahania poziomu morza