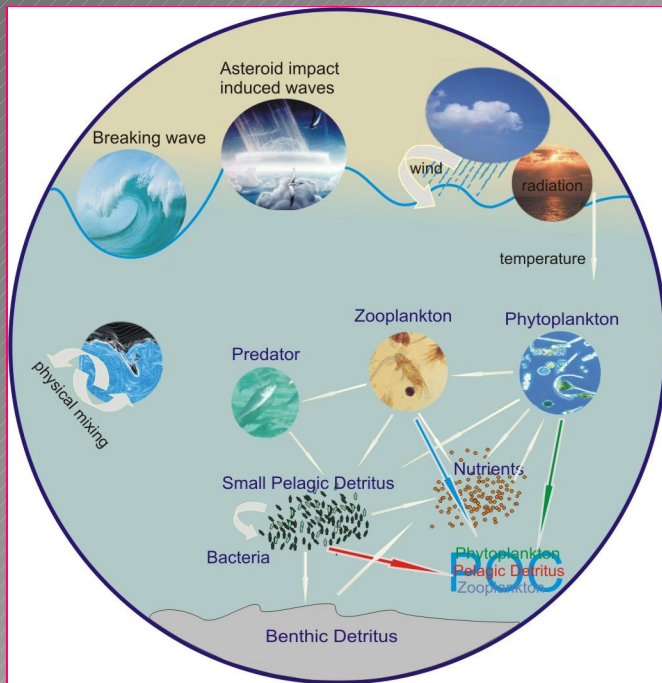


4 luty 2008

Modelowanie ekosystemu

dynamika procesów
hydrodynamicznych i biologicznych
w południowym Morzu Bałtyckim

Lidia Dzierzbicka-Głowacka



Robert Osiński
Jaromir Jakacki
Andrzej Jankowski
Ania Przyborska
Karol Kuliński



Zakład Dynamiki
Instytut Oceanologii PAN

Metodyka badań

- *model matematyczny*

(dokładność i stabilność rozwiązania numerycznego, bardzo ważne prawidłowe określenie warunków początkowych i brzegowych)

Trzy typy równań różniczkowych cząstkowych:

równanie falowe
$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} - V \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = 0$$

równanie adwekcji
$$\frac{\partial S}{\partial t} - K \frac{\partial^2 S}{\partial x^2} = 0$$

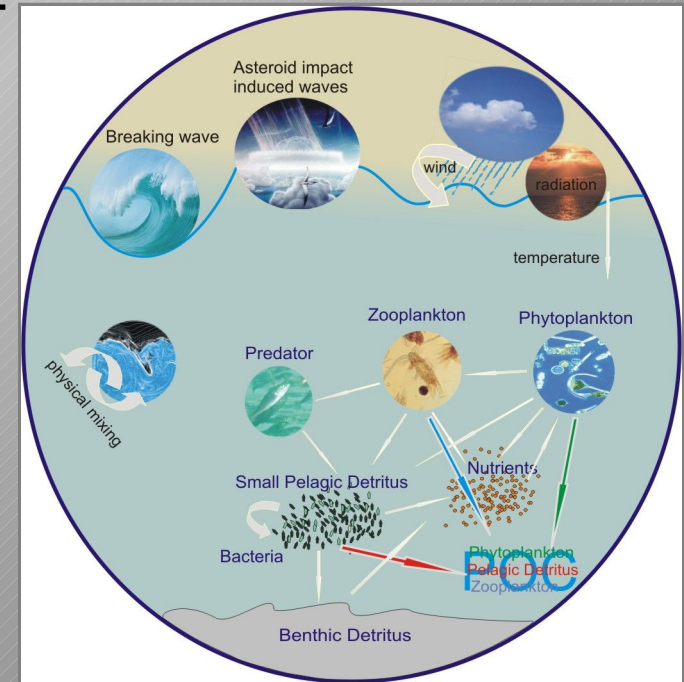
równanie dyfuzji
$$\frac{\partial u}{\partial t} - \nu \frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

Wielkoskalowy model nabiegania fali na porowatą plażę

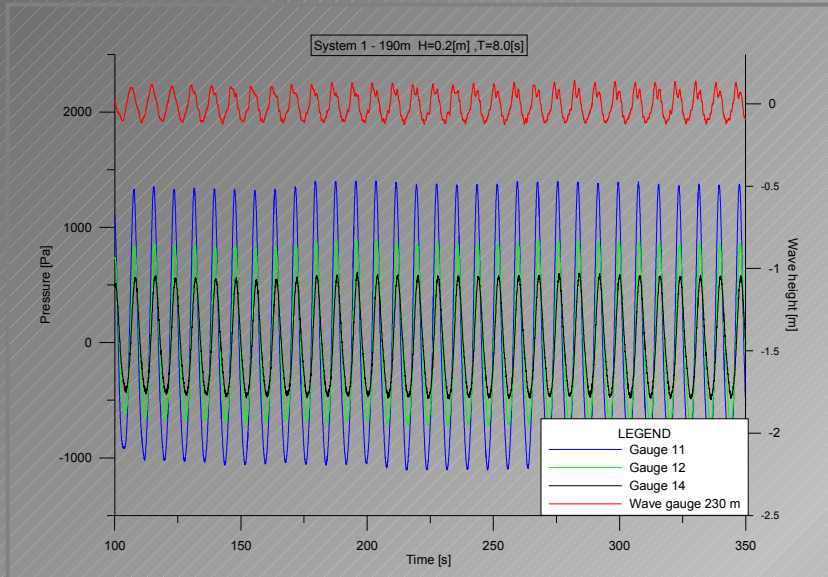
$$\frac{d^2 \Phi(x)}{dx^2} + D(x) \frac{d\Phi(x)}{dx} + E(x) \Phi(x) = 0$$

gdzie: $D(x) = [C(x)C_g(x)]^{-1} \frac{dC(x)C_g(x)}{dx}$ $E(x) = k^2(x) + i\gamma(x)k(x)$

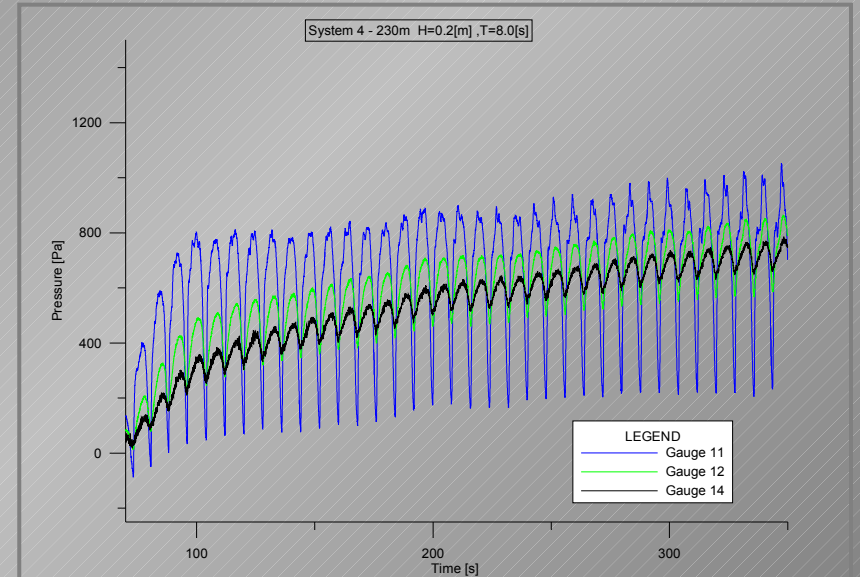
C i C_g są odpowiednio prędkościami fazową i grupową, zaś γ jest współczynnikiem dyssypacji wynikającej z załamania fali.



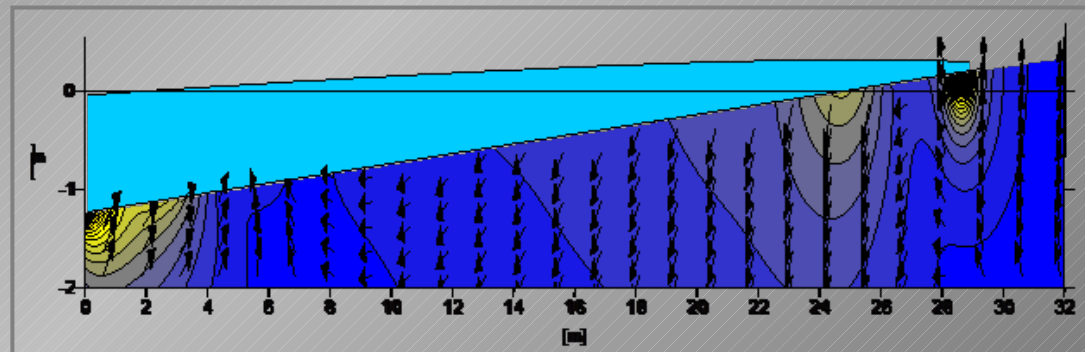
Obliczenia wykonane na podstawie modelu (A. Przyborska, S. Massel)



Falowanie i oscylacja ciśnienia przed strefą załamania.



Oscylacja ciśnienia za strefą załamania.



Uśredniony przepływ wody w gruncie.

Ogólny model ekosystemu

$$\frac{\partial S_b}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uS_b) + \frac{\partial}{\partial y}(vS_b) + \frac{\partial}{\partial z}([w + w_z]S_b) = \frac{\partial}{\partial x}\left(K_x \frac{\partial S_b}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y \frac{\partial S_b}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_z \frac{\partial S_b}{\partial z}\right) + F_{S_b}$$

Model hydrodynamiczny:

- równanie ruchu:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_M \frac{\partial u}{\partial z}\right) + A_M \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_M \frac{\partial v}{\partial z}\right) + A_M \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$

- równanie ciągłości:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- równania transportu ciepła i soli:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_H \frac{\partial T}{\partial z}\right) + A_H \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} + v \frac{\partial S}{\partial y} + w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_H \frac{\partial S}{\partial z}\right) + A_H \left(\frac{\partial^2 S}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 S}{\partial y^2}\right)$$

Prognostycznymi zmiennymi są: poziome składowe prędkości u, v , pionowa składowa prędkości w , ciśnienie p , gęstość ρ , temperatura T i zasolenie S wody.

Model hydrodynamiczny POPCICE
typu Brayan - Cox - Semtner

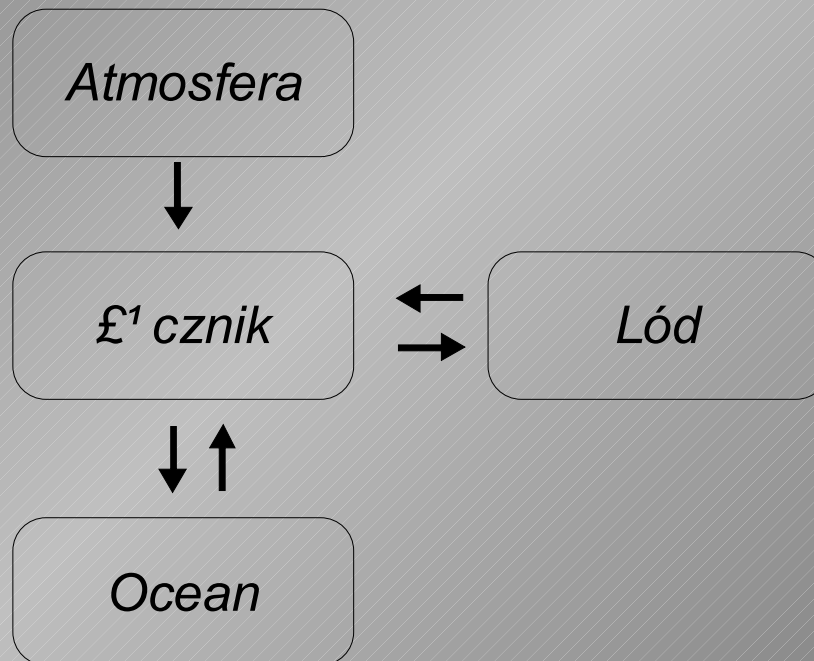
postużył do analizy pól przepływów dla okresu 40-letniego

Model hydrodynamiczny POM
typu Blumberg - Mellor

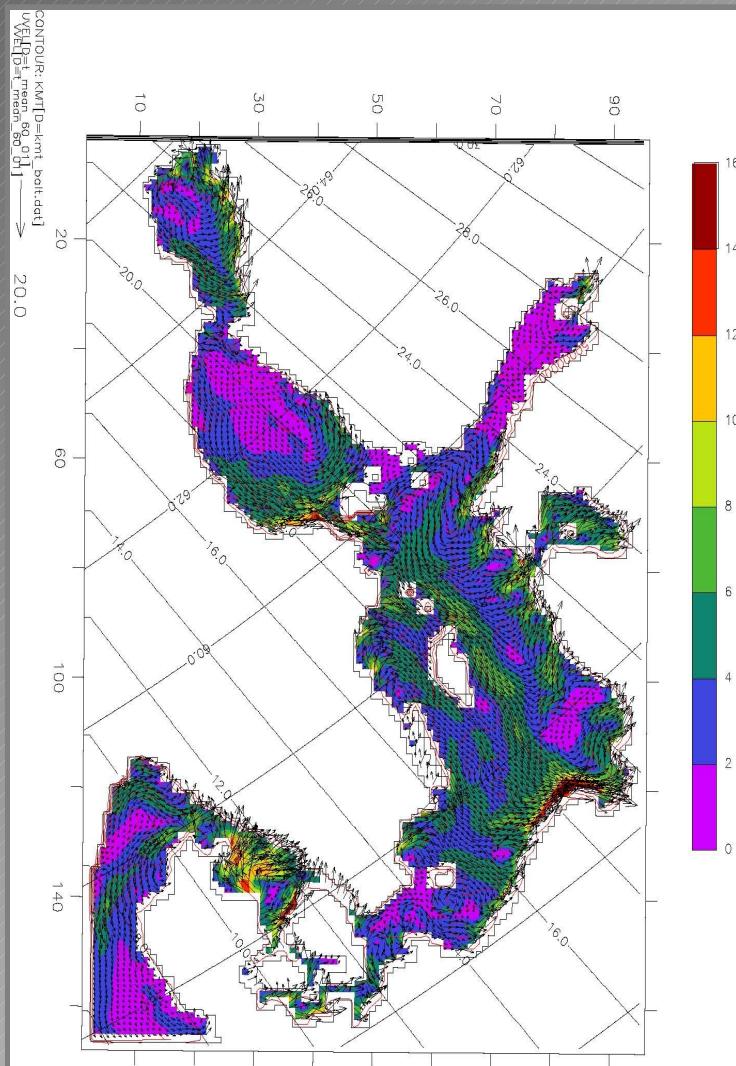
postużył do symulacji numerycznych sytuacji hydrologicznych związanych z rozpoznaniem zjawisk występujących w polskiej strefie Bałtyku

Model hydrodynamiczny POPCICE:

zintegrowany model ocean-lód składa się z czterech części:
atmosferycznej, oceanicznej, lodowej i łącznika



Średnia 42-letnia cyrkulacja wód w Bałtyku (Osiński R. Jakacki J.)

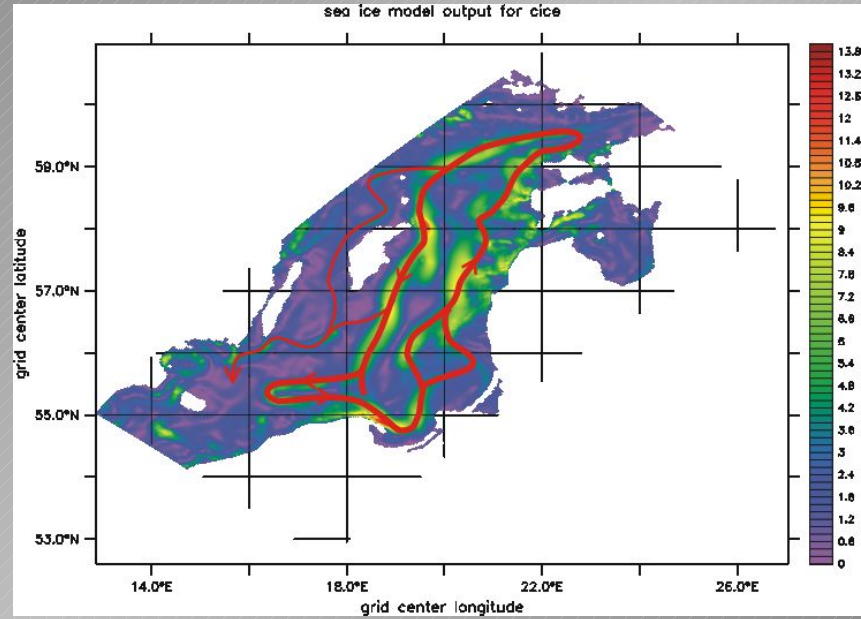
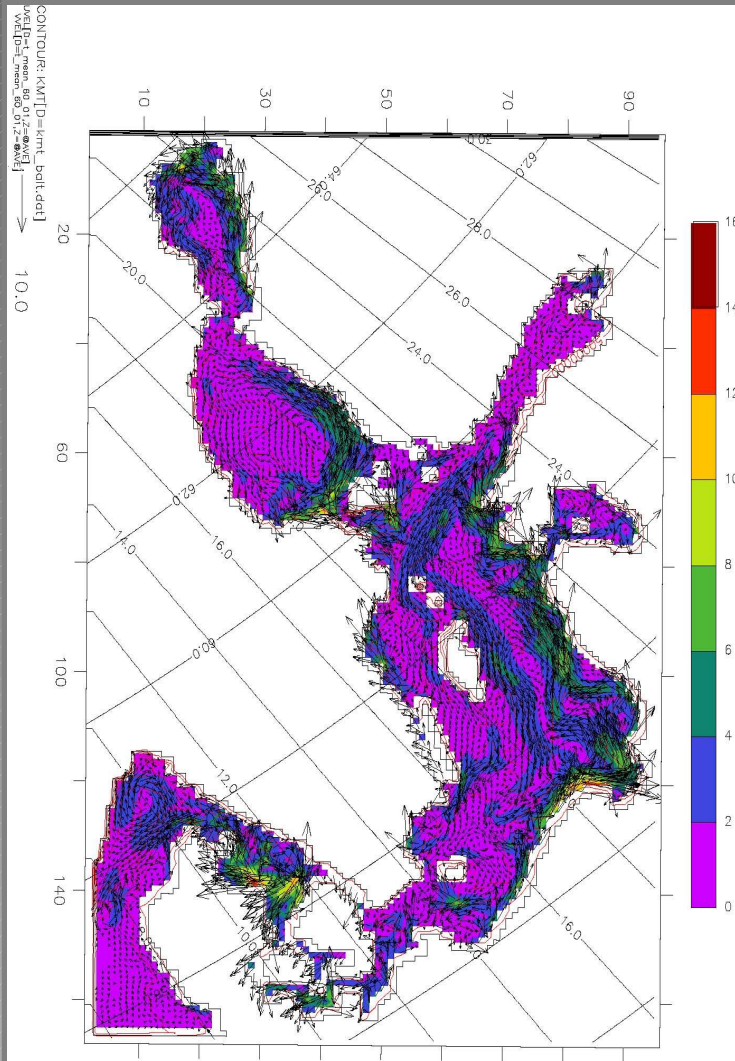


Średnie sezonowe i roczne wartości prędkości prądów *powierzchniowych* [cm/s] .

	Min	Max	Średnia	Odchylenie standardowe
zima	6,2	32,8	6,3	3,9
wiosna	0	18,9	3,3	2,2
lato	0	15,2	2,7	1,8
jesień	0	20,2	4,4	2,6
Rok	0	19,7	3,8	2,3

Średnia wieloletnia (1960-2001) prędkość przepływów [cm/s] na *powierzchni* (0 – 5 m).

Średnia 42-letnia cyrkulacja wód w Bałtyku (Osiński R. Jakacki J.)

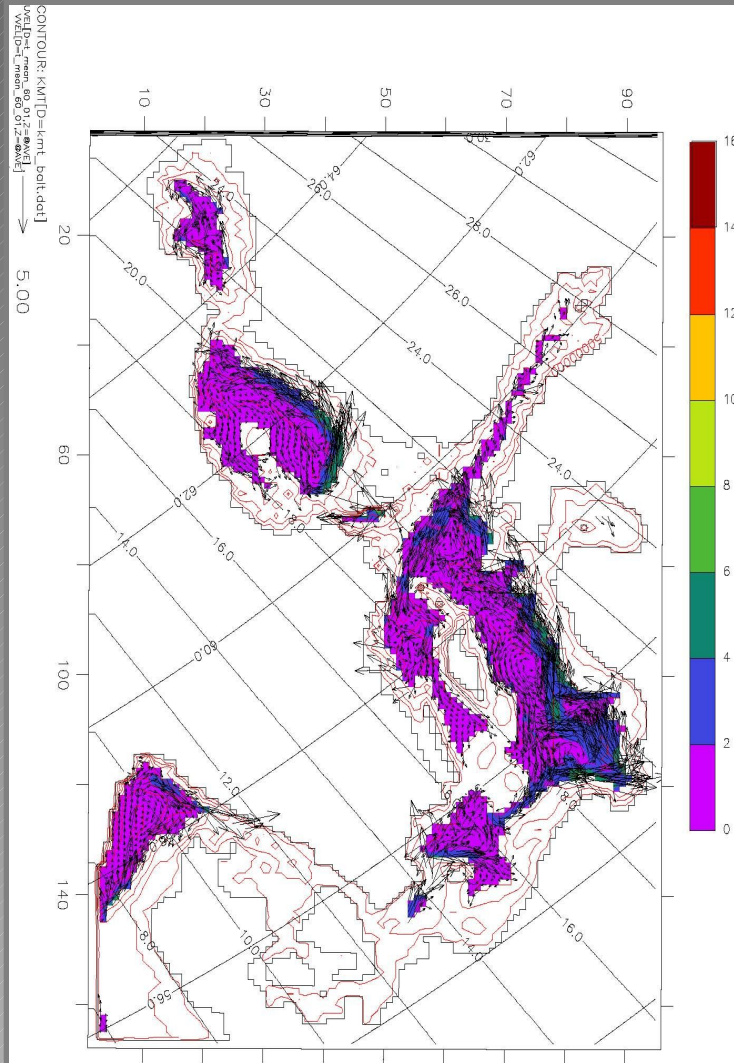


Średnie sezonowe i roczne wartości prędkości prądów w *warstwie pośredniej* [cm/s] .

	Min	Max	Średnia	Odchylenie standardowe
zima	3,7	24,1	3,7	3,1
wiosna	0	13,9	2,2	1,8
lato	0	12,9	1,6	1,2
jesień	0	14,7	2,6	2,05
Rok	0	13,6	2,3	1,8

Średnia wieloletnia (1960-2001) prędkość przepływów [cm/s] dla *warstwy pośredniej* (5 – 50 m).

Średnia 42-letnia cyrkulacja wód w Bałtyku (Osiński R. Jakacki J.)

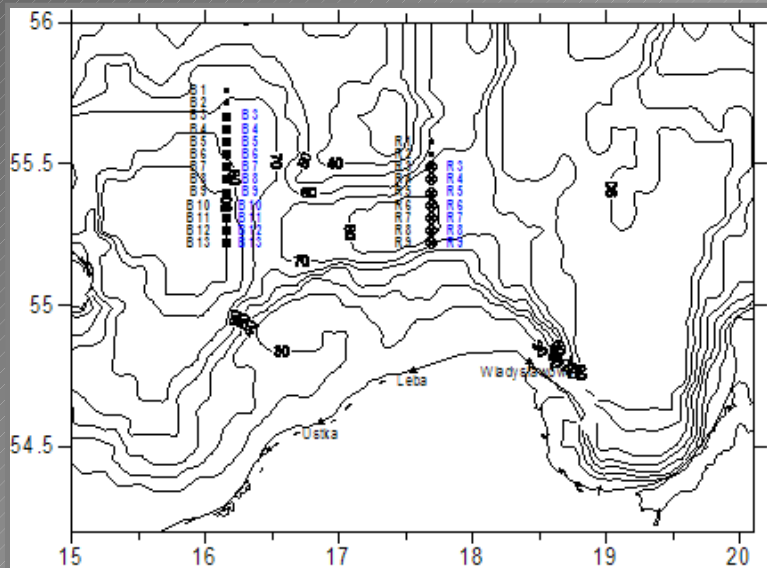


Średnie sezonowe i roczne wartości prędkości prądów w *warstwie głębinowej* [cm/s] .

	Min	Max	Średnia	Odchylenie standardowe
zima	0	12,1	2,0	1,8
wiosna	0	11,4	1,5	1,3
lato	0	11,6	1,1	1,13
jesień	0	6,2	1,1	0,9
Rok	0	8,2	1,5	1,2

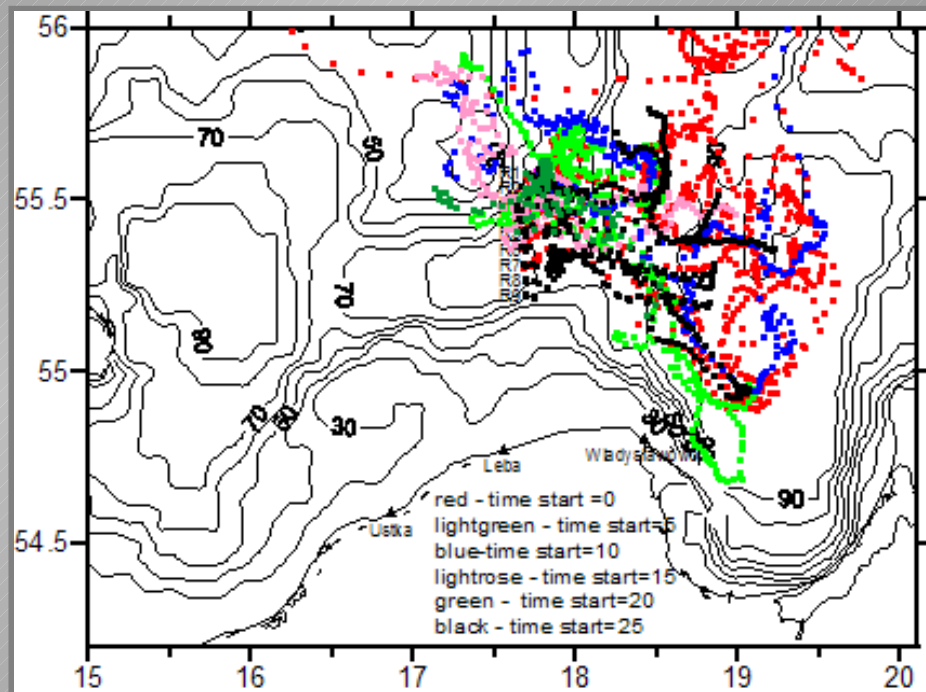
Średnia wieloletnia (1960-2001) prędkość przepływów [cm/s] w *warstwie głębinowej (50 m – dno)*.

Obliczenia wykonane na podstawie modelu hydrodynamicznego POM (A. Jankowski)



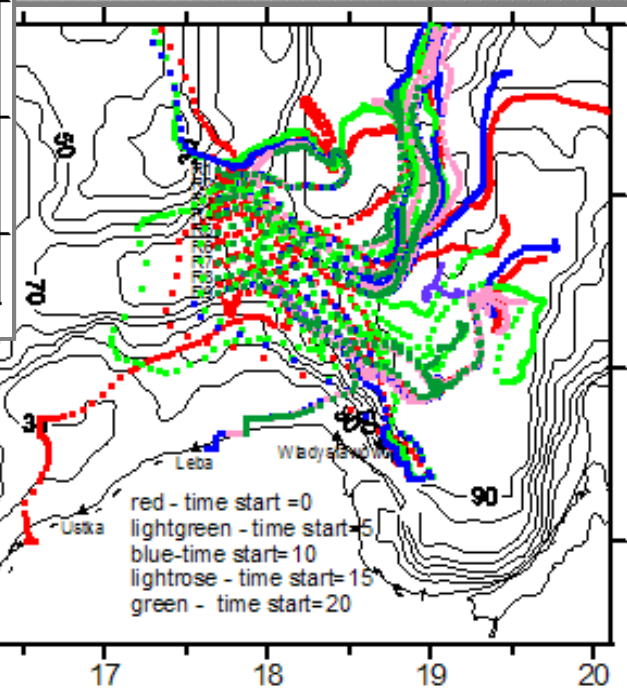
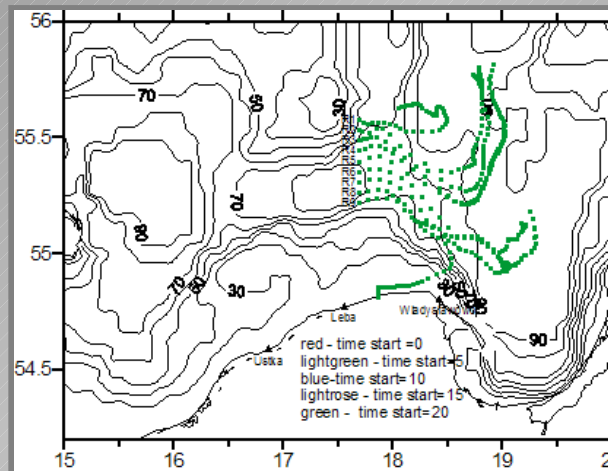
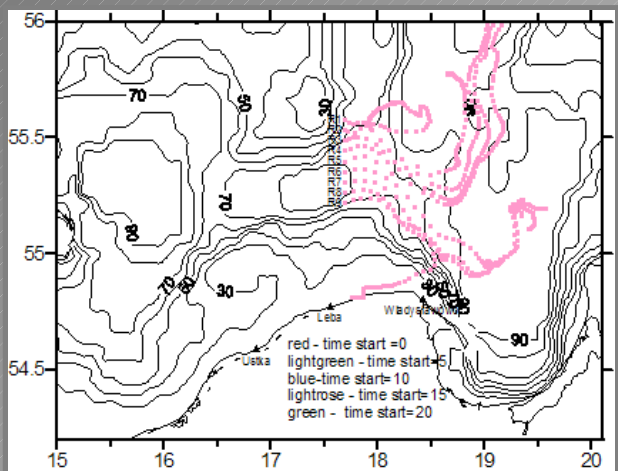
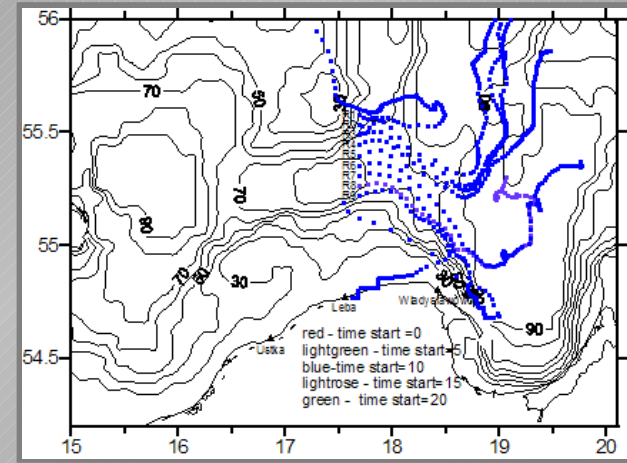
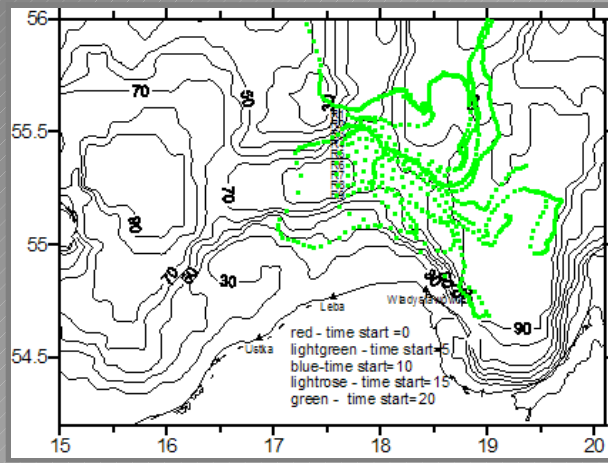
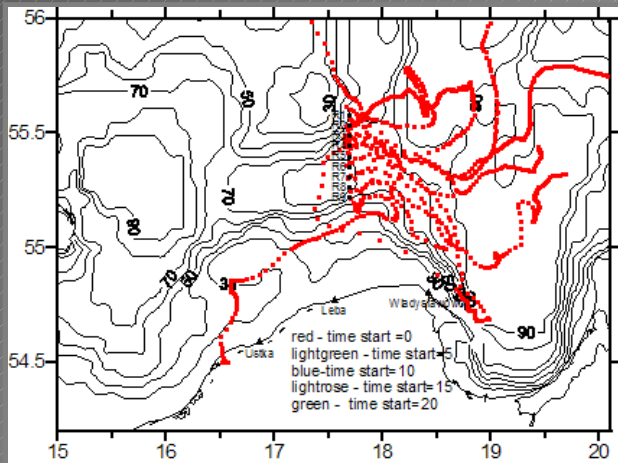
Lokalizacja punktów zrzutu traserów na Głębi Bornholmskiej (B1-B13) oraz w Rynnie Słupskiej (R1-R9) na tle batymetrii Bałtyku. Kolorem czarnym oznaczono punkty zrzutu zlokalizowane na głębokości 60 m, a kolorem niebieskim - na głębokości 70 m.

Rynna Słupska (głębokość 60 m)



Trajektorie traserów pasywnych (pozycja traseru co 6 godzin) zrzucanych na głębokości 60 m w punktach zlokalizowanych w Rynnie Słupskiej.

Realne pole sił wymuszających dla lipca 1980r. Trasery zrzucano w wybranych punktach i na danej głębokości w terminach: 0, 5, 10, 15, 20 i 25 dni od momentu startu symulacji progностycznej.



Trajektorie traserów pasywnych (pozycja trasera co 6 godzin) zrzuconych na głębokości 60 m w punktach zlokalizowanych w Rynnie Słupskiej. Modelowe pole wiatru - wiatr E o sile 0.1 Nm⁻² (warunki hydrologiczne dla lipca). Trasery zrzucono w wybranych punktach i na danej głębokości w terminach: 0, 5, 10, 15 i 20 dni od momentu startu symulacji progностycznej.

Model biologiczny:

L.

Dzierzbicka

$$\frac{\partial \{Nutr_N\}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \{Nutr_N\}}{\partial z} \right) - UPT_N + F_{infN} + REL_N + REMI_N + EXC_N$$

$$\frac{\partial \{Nutr_P\}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \{Nutr_P\}}{\partial z} \right) - UPT_P + F_{infP} + REL_P + REMI_P + EXC_P$$

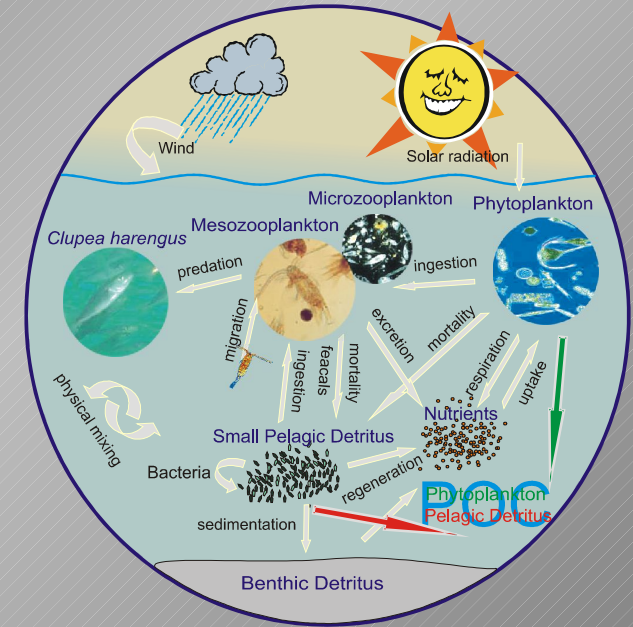
$$\frac{\partial \{Phyt\}}{\partial t} + w_z \frac{\partial \{Phyt\}}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \{Phyt\}}{\partial z} \right) + PRE - RES - MOR_P - GRA$$

$$\frac{\partial \{Z_{micro}\}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \{Z_{micro}\}}{\partial z} \right) + ING - FEC - MET - PRED$$

$$\{Z_{meso}\} = \sum_{i=1}^6 W_i Z_i$$

$$\frac{\partial \{B\}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \{B\}}{\partial z} \right) + g_B B - PRED_B$$

$$\frac{d\{Detr\}}{dt} = -F_P(H) + D - REMD$$



Model copepod

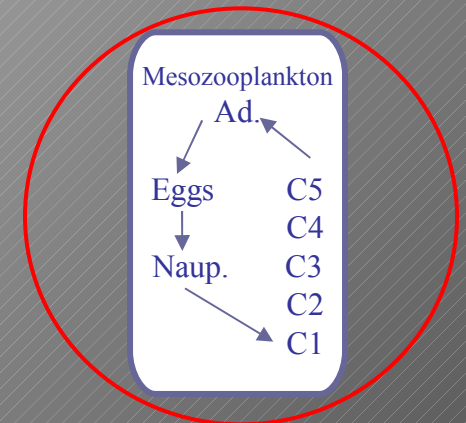
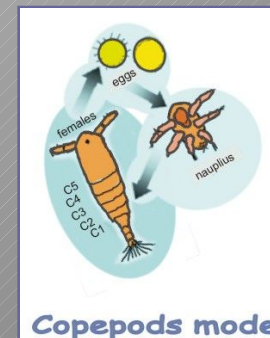
dla wybranego gatunku mezozooplanktonu

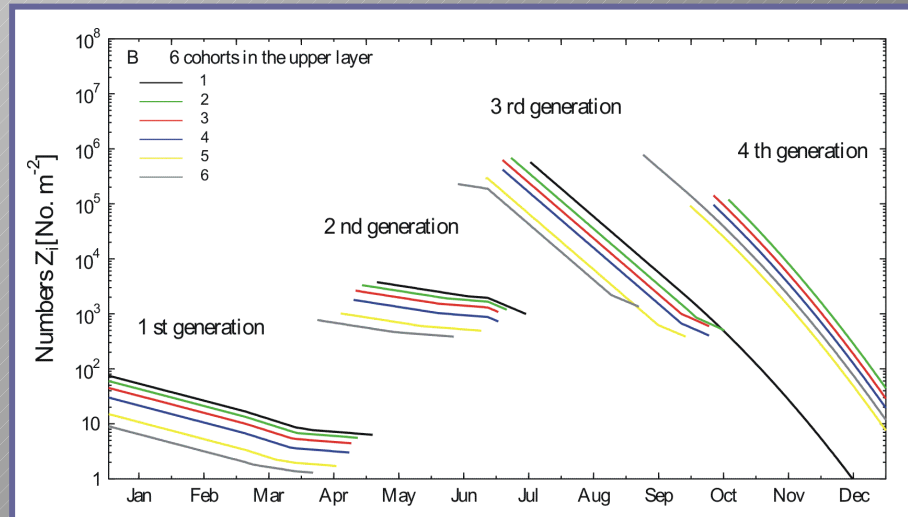
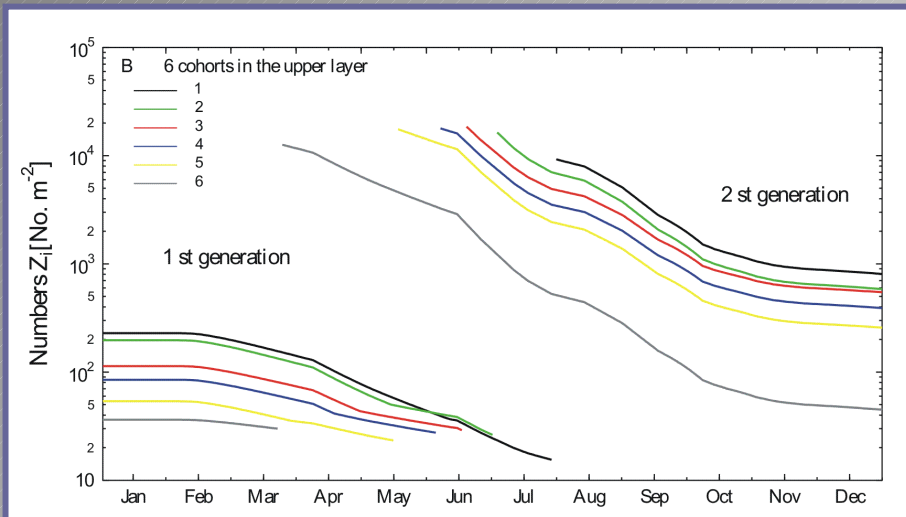
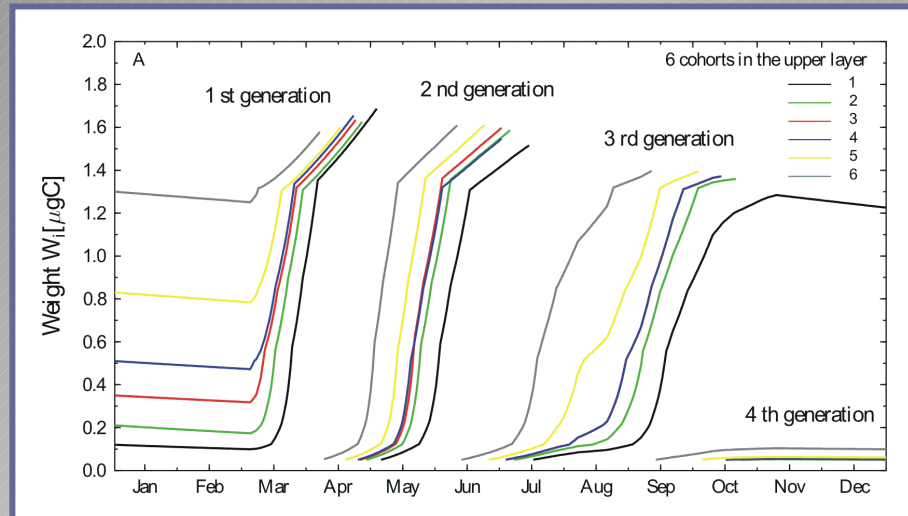
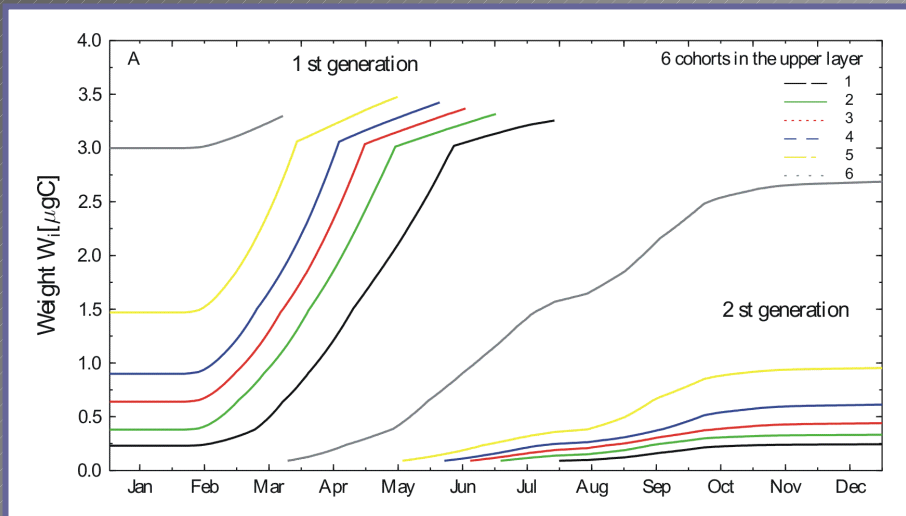
określający rozkłady mas i liczebności w poszczególnych stadiach rozwoju badanych osobników.

$$\{Z_{meso}\} = \sum_{i=1}^6 W_i Z_i$$

$$\frac{\partial W_i}{\partial t} = ING_i - FEC_i - MET_i$$

$$\frac{\partial Z_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial Z_i}{\partial z} \right) + MIG_i - MOR_i - PRED_i$$

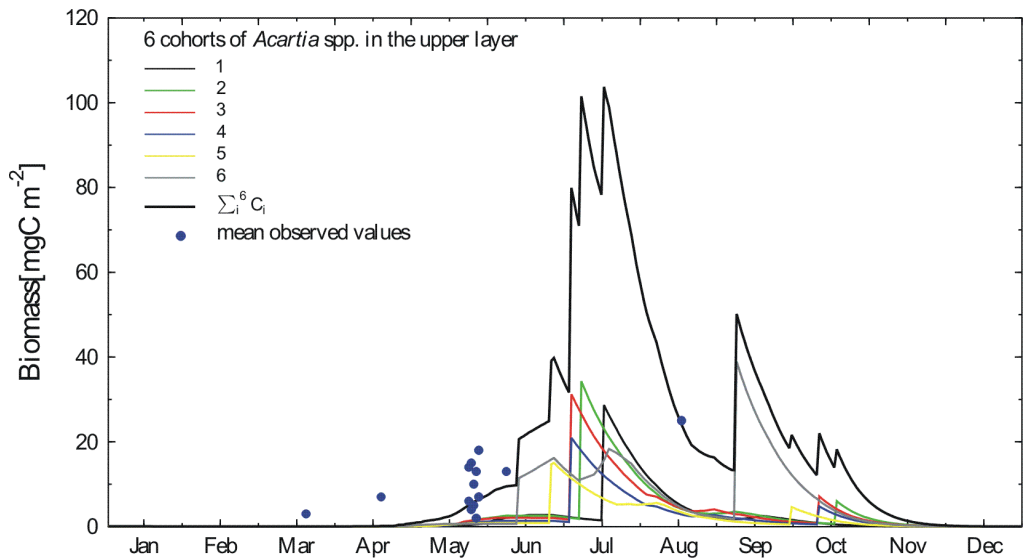
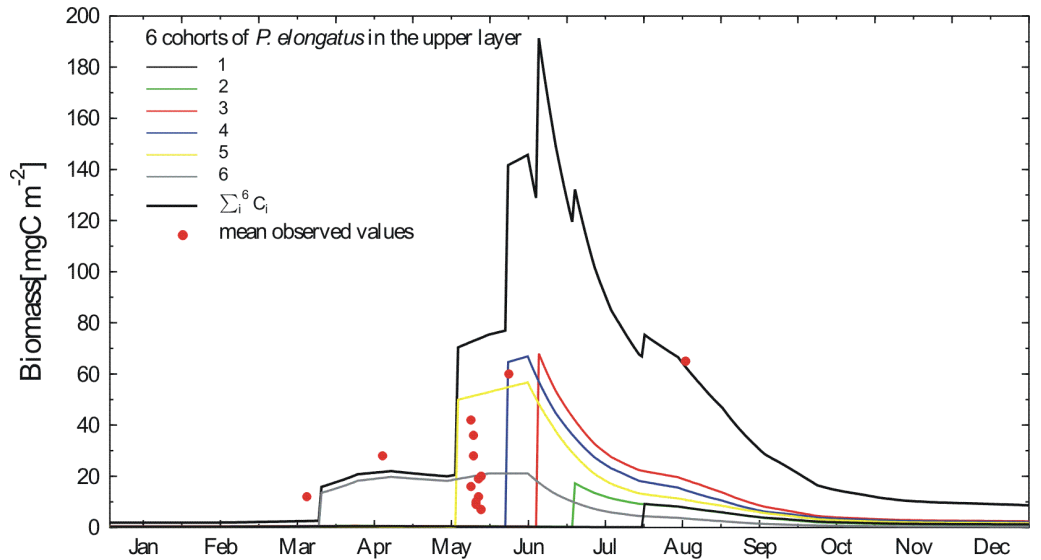




Waga i liczebność sześciu klas wiekowych
Pseudocalanus minutus elongatus

Waga i liczebność sześciu klas wiekowych
Acartia spp.

Zintegrowana biomass
sześciu klas wiekowych
P.m.elongatus i *Acartia* spp.



Relacje funkcjonalne pomiędzy procesami fizjologicznymi a parametrami środowiska dla wybranego gatunku skorupiaków widłonogów

$$g = g_{\max} \left\{ 1 - \exp\left(- (Phyt - Phyt_0) / k_{Phyt} \right) \right\}$$

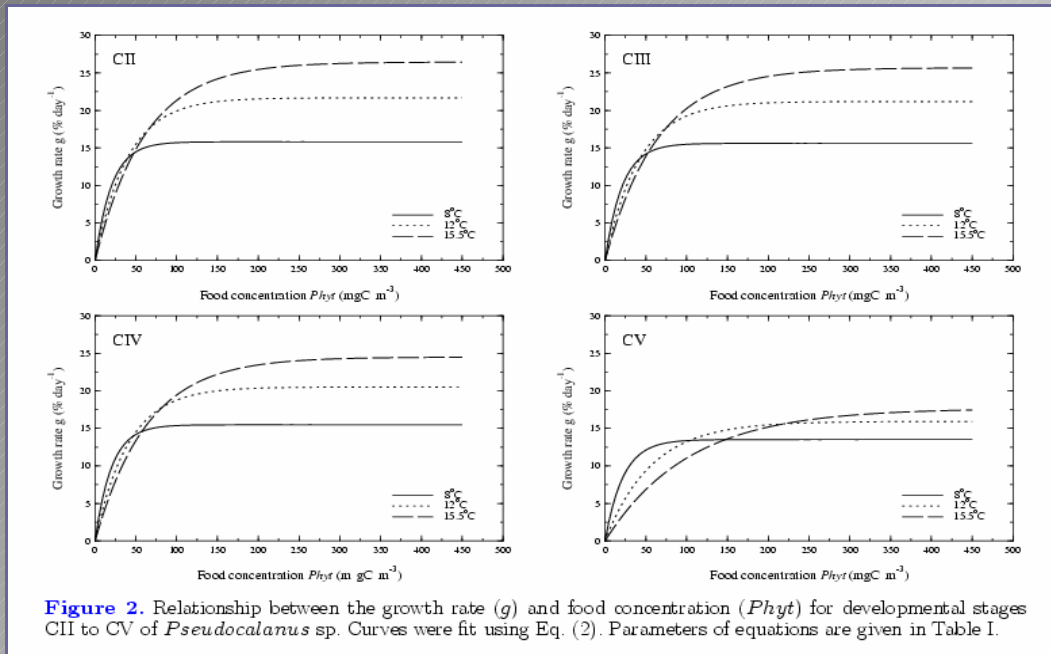


Figure 2. Relationship between the growth rate (g) and food concentration ($Phyt$) for developmental stages CII to CV of *Pseudocalanus* sp. Curves were fit using Eq. (2). Parameters of equations are given in Table I.

$$\text{for } C2 \quad g = 3.141 \times 10^{0.777 \log T} \left\{ 1 - \exp\left(- Phyt / 0.656 \times 10^{1.636 \log T} \right) \right\}$$

$$\text{for } C3 \quad g = 3.266 \times 10^{0.752 \log T} \left\{ 1 - \exp\left(- Phyt / 0.616 \times 10^{1.677 \log T} \right) \right\}$$

$$\text{for } C4 \quad g = 3.648 \times 10^{0.695 \log T} \left\{ 1 - \exp\left(- Phyt / 0.556 \times 10^{1.763 \log T} \right) \right\}$$

$$\text{for } C5 \quad g = 5.821 \times 10^{0.404 \log T} \left\{ 1 - \exp\left(- Phyt / 0.186 \times 10^{2.284 \log T} \right) \right\}$$

Znając wartości szybkość wzrostu g i średniej masy ciała W wyznaczono czas trwania rozwoju D rozwiązując numerycznie wielomiany stopnia $D=n+d$

$$\left(W_i + W_i g_{\max} \right) \left(1 + g_{\max} + g_{\max}^2 + \dots + g_{\max}^{n-1} + g_{\max}^d \right) = W_{i+1}$$

Empiryczny model opisujący parametry wzrostu (czas trwania):

$$D = D_{\min} + \exp(a + b Phyt)$$

$$D = a \times 10^{b \log T} + \exp \left\{ a_1 + b_1 \log T + \ln \left(a_2 + b_2 T \right) Phyt \right\}$$

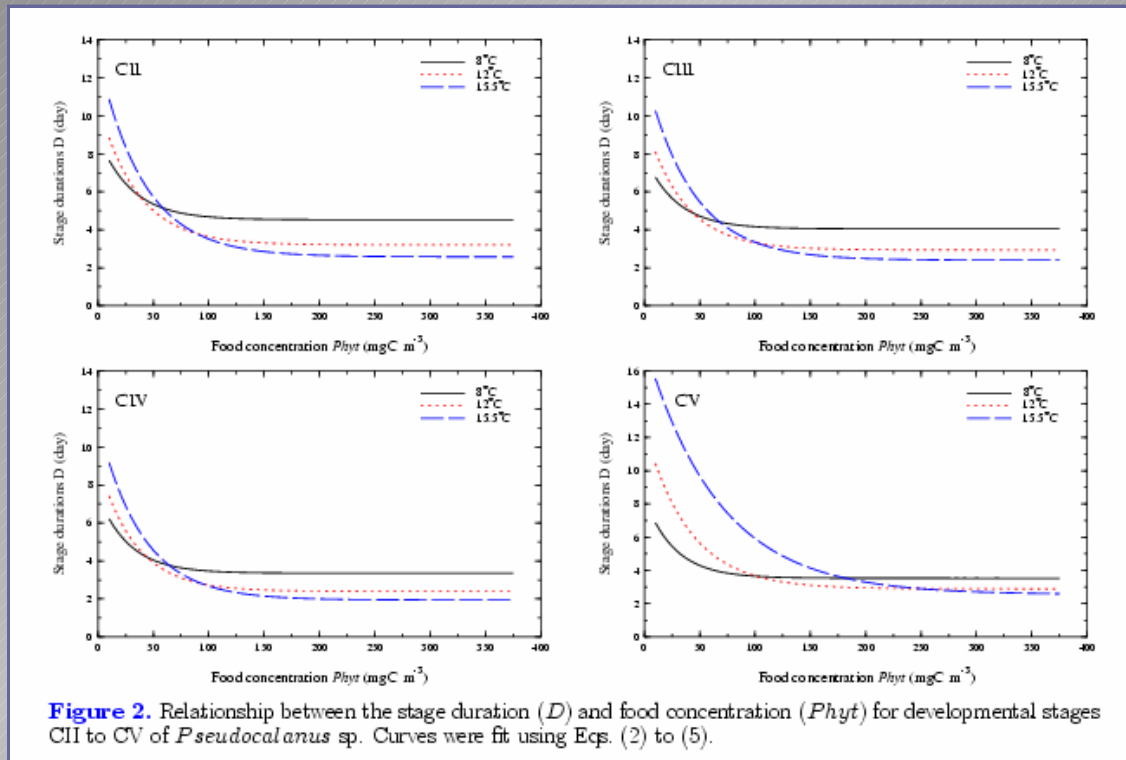


Figure 2. Relationship between the stage duration (D) and food concentration ($Phyt$) for developmental stages CII to CV of *Pseudocalanus* sp. Curves were fit using Eqs. (2) to (5).

POC Model

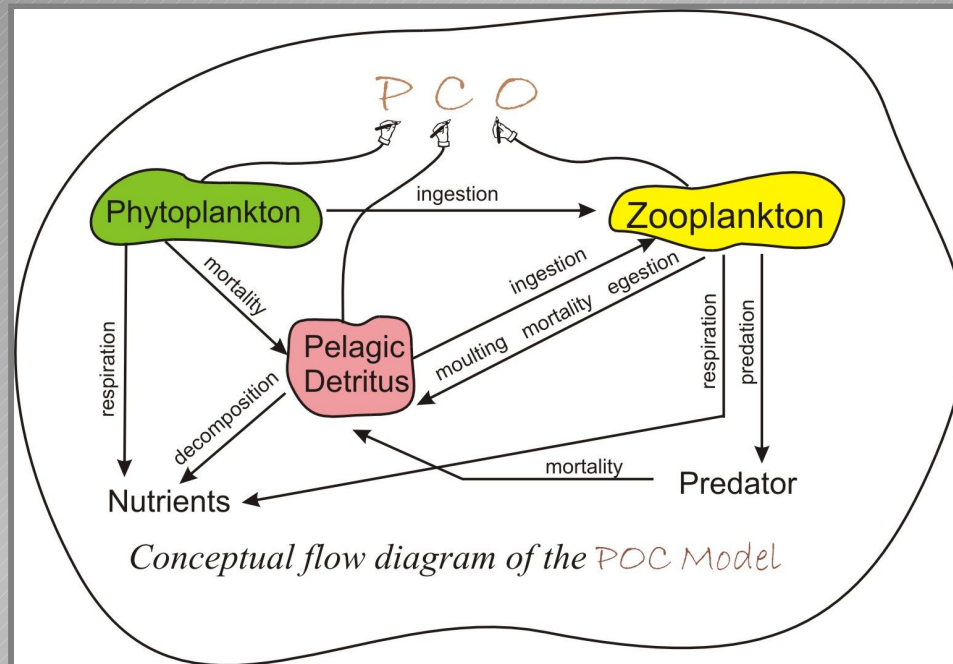
(K. Kuliński, L. Dzierzbicki)

$$\frac{\partial Phyt}{\partial t} + w_z \frac{\partial Phyt}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial Phyt}{\partial z} \right) + PRE - RES - MOR_p - GRA$$

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial Z}{\partial z} \right) + ING - FEC - MET - PRED$$

$$\frac{\partial PDetr}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial PDetr}{\partial z} \right) + MOR_{PD} + FEC_{TD} + MOR_{TD} - w_d \frac{\partial PDetr}{\partial z} - ING_D - REMI_D$$

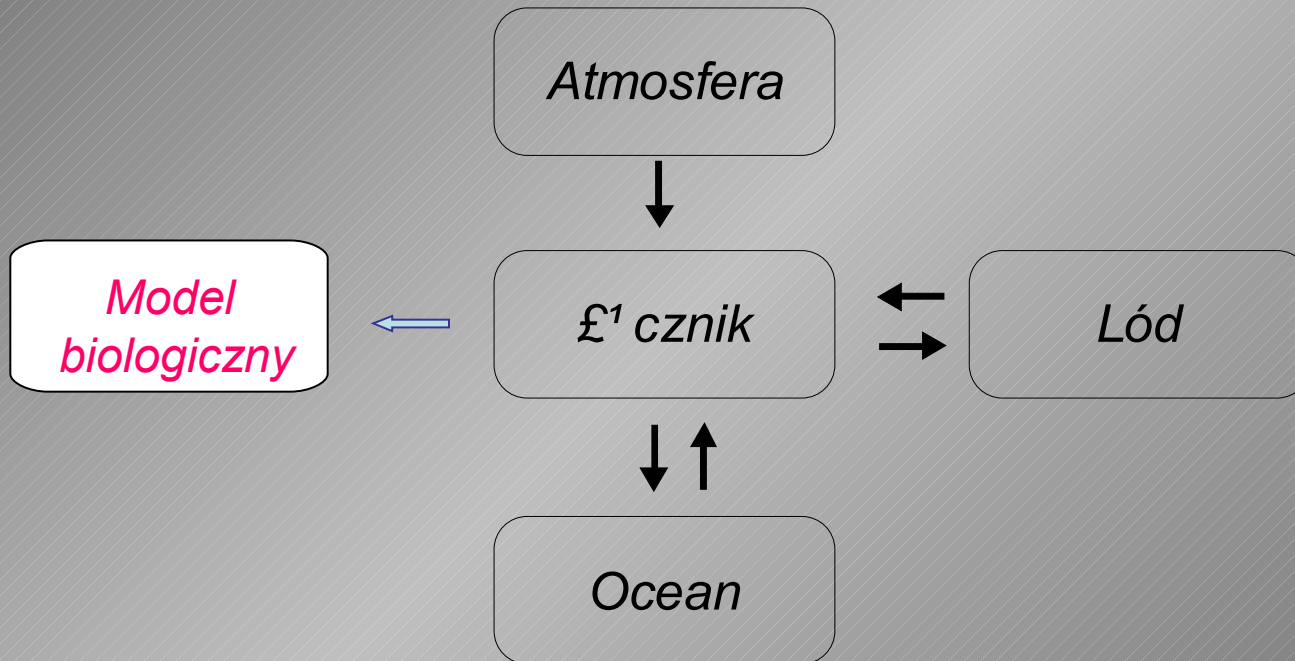
$$\frac{\partial POC}{\partial t} = \frac{\partial Phyt}{\partial t} + \frac{\partial Zoop}{\partial t} + \frac{\partial PDetr}{\partial t}$$



Model hydrodynamiczno - biologiczny model ekosystemu :

będzie składał się z pięciu części:

atmosferycznej, oceanicznej, lodowej i łącznika oraz biologicznej.



Lidia Dzierzbicka-Głowacka

*Zakład Dynamiki
Pracownia Modelowania
Procesów Ekohydrodynamicznych
Instytut Oceanologii PAN*

Dziękuję za uwagę

