

**Zastosowanie wskaźnika MSTs
do określenia stanu zespołu organizmów
zooplanktonowych w Polskich Obszarach
Morskich oraz potencjał rozwoju wskaźnika**

Piotr Margoński, Joanna Całkiewicz

Zastosowanie wskaźnika MSTS do określenia stanu zespołu organizmów zooplanktonowych w Polskich Obszarach Morskich oraz potencjał rozwoju wskaźnika

Piotr Margoński i Joanna Całkiewicz



Gdynia 2025

**Zastosowanie wskaźnika MSTS do określenia stanu zespołu organizmów
zooplanktonowych w Polskich Obszarach Morskich oraz potencjał rozwoju wskaźnika**

Autorzy:

Piotr Margoński

Joanna Całkiewicz

Recenzenci:

prof. dr hab. Tamara Zalewska

dr hab. Mariusz Sapota, prof. UG

Licencja:



Publikacja jest zamieszczona na stronie www.mir.gdynia.pl na licencji Creative Commons
Uznanie autorstwa-Użycie niekomercyjne-Bez utworów zależnych 3.0 Polska.

Pewne prawa zastrzeżone na rzecz autorów. Zezwala się na
wykorzystanie publikacji zgodnie z licencją – pod warunkiem zachowania niniejszej informacji
licencyjnej oraz wskazania autorów jako właścicieli praw do tekstu.

Treść licencji jest dostępna na stronie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/pl>

© Copyright by Morski Instytut Rybacki - Państwowy Instytut Badawczy, Gdynia 2025

Wydawca:

Morski Instytut Rybacki - Państwowy Instytut Badawczy

ul. Kołłątaja 1

81-332 Gdynia

www.mir.gdynia.pl

ISBN 978-83-61650-41-6

Gdynia 2025

Spis treści

Zastosowanie wskaźnika MSTS do określenia stanu zespołu organizmów zooplanktonowych w Polskich Obszarach Morskich oraz potencjał rozwoju wskaźnika	2
Wprowadzenie.....	5
Koncepcja wskaźnika	6
Materiał i Metody	7
Wartości progowe dla okresu letniego.....	12
Ocena stanu dla okresu letniego	13
Testowe wyznaczenie wartości progowych na stacjach głębokowodnych dla okresu wiosennego	16
Testowe wyznaczenie wartości progowych na stacjach płytkowodnych dla okresu wiosennego	24
Testowe wyznaczenie wartości progowych na stacjach płytkowodnych dla okresu letniego...	39
Podsumowanie i wnioski	54
Literatura.....	56

Wprowadzenie

Stan zespołów organizmów zooplanktonowych odgrywa kluczową rolę w ocenie skutków oddziaływania antropogenicznego na bioróżnorodność oraz na stan i funkcjonowanie sieci troficznych. Znaczenie ma nie tylko skład taksonomiczny, liczebność i biomasa, lecz także średnia wielkość organizmów zooplanktonowych stanowiących bazę pokarmową dla wyższych poziomów troficznych.

Opracowanie skutecznych wskaźników pozwalających na ocenę stanu środowiska mórz jest wymogiem wynikającym z Dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej (MSFD, 2008/56/WE). Wymaga ona systematycznej, okresowej oceny stanu środowiska morskiego uwzględniającej wpływ działalności człowieka, z wykorzystaniem przyjętych wskaźników opracowanych dla 11 deskryptorów (cech). Nawet najlepszy wskaźnik nie odzwierciedla wszystkich złożonych zależności i oddziaływań opisujących wpływ działalności człowieka na wybrane elementy środowiska. Może on opisywać stan elementu środowiska lub presje antropogeniczne. Wskaźnik uwzględniający średnią wielkość organizmów zooplanktonowych oraz całkowitą ich liczebność lub biomasę (*Zooplankton Mean Size and Total Stock, MSTS*) jest wskaźnikiem stanu. Aby mógł być podstawą oceny, czy osiągnięto dobry stan środowiska (*Good Environmental Status, GES*), potrzebne są udokumentowane i przetestowane wartości progowe (*threshold values*).

Mimo że państwa członkowskie Unii Europejskiej są zobowiązane do opracowania strategii morskich, w tym do określenia stanu środowiska wód morskich pozostających pod ich jurysdykcją, to MSFD wymaga również międzynarodowej współpracy i koordynacji metod monitoringowych oraz narzędzi oceny stanu środowiska na poziomie mórz regionalnych. W tym celu państwa członkowskie powinny wykorzystać istniejące struktury instytucjonalne w regionach, w szczególności regionalne konwencje morskie. Na obszarze Bałtyku taką rolę pełni Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku (HELCOM). Koordynacją prac nad wdrażaniem wskaźników zooplanktonowych zajęła się grupa określana początkowo jako *Zooplankton Expert Network* (HELCOM ZEN), przekształcona następnie w *Expert Group on Zooplankton* (EG ZOO).

Pierwszy raport grupy, szczegółowo opisujący koncepcję wskaźnika MSTS został przedstawiony przez Komisję Helsińską w 2015 roku, a rok później został opublikowany artykuł naukowy, szczegółowo opisujący istniejące dane oraz potencjał różnorodnych wskaźników stanu zooplanktonu (Gorokhova et al., 2016). W tym samym roku, na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska, przystąpiono do testowania wskaźnika MSTS przy zastosowaniu danych zbieranych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska w Polsce.

Wartości progowe, definiujące granice pomiędzy dobrym i nieodpowiednim stanem środowiska, przyjęte dla stacji głębokowodnych Basenu Gdańskiego obliczono na podstawie danych zebranych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Zostały one użyte przez HELCOM w ramach oceny okresowej HOLAS II. Dla stacji głębokowodnych Basenu Bornholmskiego oraz Wschodniego Basenu Gotlandzkiego wartości progowe wyznaczono na podstawie przeprowadzonych ćwiczeń interkalibracyjnych. Wartości te zostały zastosowane w ocenie okresowej HELCOM HOLAS III.

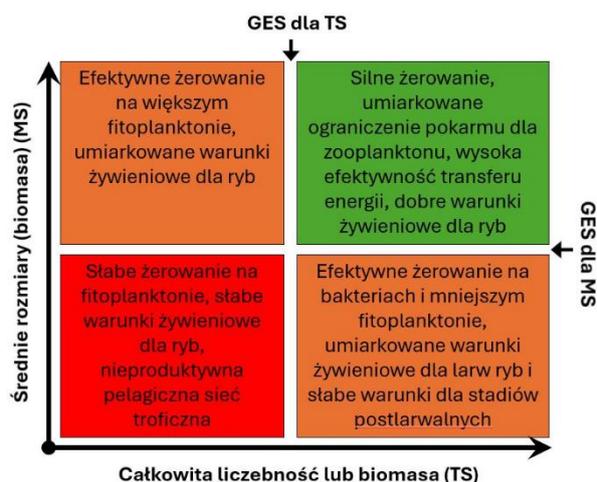
W toku dotychczasowych prac we wszystkich krajach Morza Bałtyckiego wartości progowe wyznaczano jedynie dla okresu letniego (w przypadku danych polskich dane są reprezentatywne dla warunków sierpniowych). Kolejnym naturalnym etapem rozwoju zastosowania wskaźnika MSTS jest przetestowanie go w okresie wiosennym oraz przetestowanie jego zastosowania dla danych ze stacji monitoringowych przybrzeżnych. Celem pracy jest przedstawienie wyników wstępnych analiz w tym zakresie.

Koncepcja wskaźnika

Wskaźnik uwzględniający średnią wielkość organizmów zooplanktonowych oraz całkowitą ich liczebność lub biomasa (MSTS) został zaliczony do grupy podstawowych wskaźników HELCOM, określających stan środowiska, pierwotnie w odniesieniu do kryterium 4.3 „liczebność i rozmieszczenie kluczowych grup troficznych i gatunków”, a w drugiej kolejności także do kryterium 1.6 „stan habitatów” Dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej (MSFD). Według Decyzji Komisji Europejskiej (2017/848) z dnia 17 maja 2017 r. ustanawiającej kryteria i standardy metodologiczne dotyczące dobrego stanu środowiska wód morskich oraz specyfikacje i ujednolicone metody monitorowania i oceny, oraz uchylającej decyzję 2010/477/UE Wskaźnik MSTS w pierwszej kolejności przypisany został do kryterium **D4C3** (rozkład wielkości osobników w grupie troficznej) oraz do **D1C6** (stan typu siedliska, w tym jego struktura biotyczna i abiotyczna oraz jej funkcje). Zmiany wartości MSTS wskazują, czy struktura analizowanej sieci troficznej jest lub nie jest optymalna dla transferu energii od fitoplanktonu do ryb.

Badania organizmów zooplanktonowych, które spełniają kluczową rolę w pelagicznej sieci troficznej, pozwalają określić zarówno warunki odżywiania dla ryb pelagicznych a także, do pewnego stopnia, presję jaką ryby te wywierają na zooplankton a ponadto presję drapieżniczą, jaką zooplankton wywiera na organizmy fitoplanktonowe (HELCOM, 2023). MSTS jest silnie powiązany z dwiema presjami antropogenicznymi wymienionymi w tabeli 2 załącznika III MSFD: selektywną eksploatacją gatunków oraz wprowadzaniem nawozów i materii organicznej.

Jak zostało to opisane w raporcie HELCOM (2023), wskaźnik ten uwzględnia średnią wielkość organizmów zooplanktonowych (*Mean Size – MS*) – wyrażoną jako średnia biomasa osobnika oraz całkowitą liczebność lub biomasa (*Total Stock – TS*). Celem jest ocena struktury pelagicznej sieci troficznej, ze szczególnym uwzględnieniem niższych poziomów troficznych. MSTS ocenia osiągnięcie wartości progowych (*threshold values*) uwzględniając równocześnie oba parametry (średnią wielkość oraz całkowitą liczebność lub biomasa zooplanktonu). Średnia wielkość organizmów wyrażona jest poprzez iloraz całkowitej biomasy (*Total Zooplankton Biomass – TZB*) i całkowitej liczebności (*Total Zooplankton Abundance – TZA*). Na drugiej osi prezentowana jest całkowita liczebność lub biomasa (TZA lub TZB). Tak więc MSTS jest dwuwymiarowym wskaźnikiem prezentującym w sposób syntetyczny stan struktury organizmów zooplanktonowych (Rys. 1).



Rys. 1. Koncepcja wskaźnika MSTS. Punkty położone w obrębie obszaru zielonego spełniają kryteria dla dobrego stanu środowiska (Good *Environmental Status*, GES). Punkty w obszarach pomarańczowych wskazują na stan niespełniających warunków dobrego stanu (sub-GES), gdy jedynie jedno z dwóch kryteriów jest spełnione. Punkty położone w obszarze czerwonym nie spełniają żadnego z kryteriów dobrego stanu (GES). (na podstawie Gorokhova et al. 2016)

Metodyka przewiduje wykorzystanie informacji o okresach referencyjnych. Raport HELCOM (2023) definiuje, że okresy referencyjne są wyznaczane na podstawie dostępnych danych przy założeniu, że struktura sieci troficznej nie była w sposób mierzalny zmieniona pod wpływem eutrofizacji (zawartości chlorofilu *a*, $RefCon_{Chl}$) oraz że okres referencyjny reprezentuje dobre warunki pokarmowe dla ryb ($RefCon_{Fish}$).

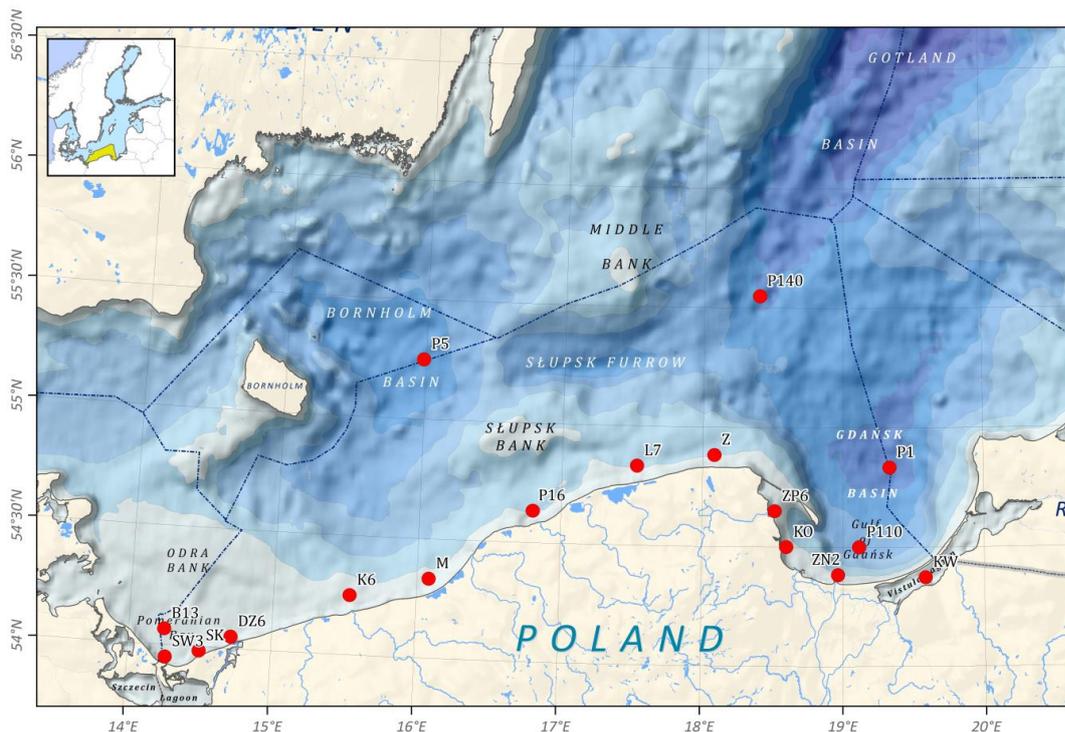
Zgodnie z koncepcją wskaźnika dobry stan środowiska (GES) zostaje osiągnięty, gdy:

- mamy do czynienia ze znacznym udziałem dużych organizmów (głównie widłonogów), które są w stanie efektywnie żerować na fitoplanktonie i jednocześnie stanowią dobrą bazę pokarmową ryb żywiących się zooplanktonem;
- liczebność (lub biomasa) zooplanktonu pozostaje na poziomie, który zapewnia szybki wzrost ryb oraz pozwala kontrolować rozwój fitoplanktonu.

Okresy referencyjne dla MSTS powinny odzwierciedlać warunki, gdy wpływ eutrofizacji - wyrażony akceptowalnymi stężeniami chlorofilu *a* ($RefCon_{Chl}$) - był niski, a jednocześnie zapewnione były optymalne warunki pokarmowe dla ryb planktonożernych ($RefCon_{Fish}$). Biorąc pod uwagę powyższe, za okres referencyjny należy uznać przedział czasu, w którym presja eutrofizacji oraz presja rybotórstwa były niewielkie/pomijalne.

Materiał i Metody

W celu przetestowania wskaźnika wykorzystano dane Państwowego Monitoringu Środowiska stanowiące wkład Polski do programu HELCOM COMBINE. Najdłuższe serie danych dotyczą stacji na wodach otwartych Polskich Obszarów Morskich, natomiast na stacjach przybrzeżnych dane zbierane są od początku bieżącego stulecia (Rys. 2). W większości przypadków próby były zbierane pięciokrotnie w ciągu roku, przy zastosowaniu siatki planktonowej WP-2 o oczku 100 μm .



Rys. 2. Lokalizacji stacji poboru prób zooplanktonowych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska

Wskaźnik MSTS został przetestowany na podstawie danych zebranych na trzech stacjach zlokalizowanych na wodach otwartych: P5 (Basen Bornholmski), P140 (południowy stok Basenu Gotlandzkiego) oraz P1 (Basen Gdański).

Dane ze stacji P5 i P140 obejmowały okres od 1979 do 2024 roku a ze stacji P1 lata 1986-2024. Ponieważ aktualnie przyjęta metodyka wyznaczania wartości wskaźnika MSTS ograniczona została do analizy danych z okresu letniego (czerwiec-wrzesień; (HELCOM 2023)) dostępne serie czasowe zostały sprawdzone pod kątem równomiernego pokrycia w całym okresie badań. Celem było sprawdzenie czy dane dla poszczególnych lat nie są zdominowane przez próby z początku lub końca lata, a zatem nie będą reprezentatywne dla całego okresu letniego. Ze względu na zróżnicowaną częstotliwość poboru próbek utworzono serie czasowe reprezentujące jeden wybrany miesiąc z okresu letniego, charakteryzujący się największą liczbą dostępnych danych.

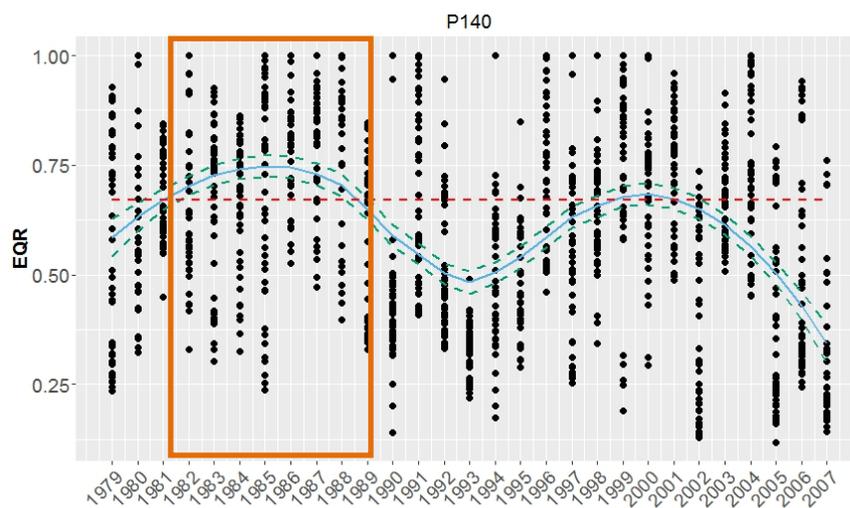
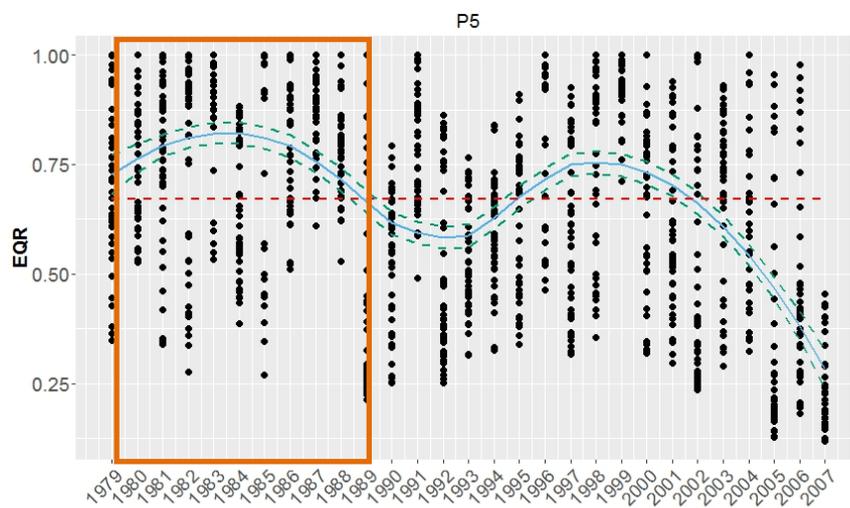
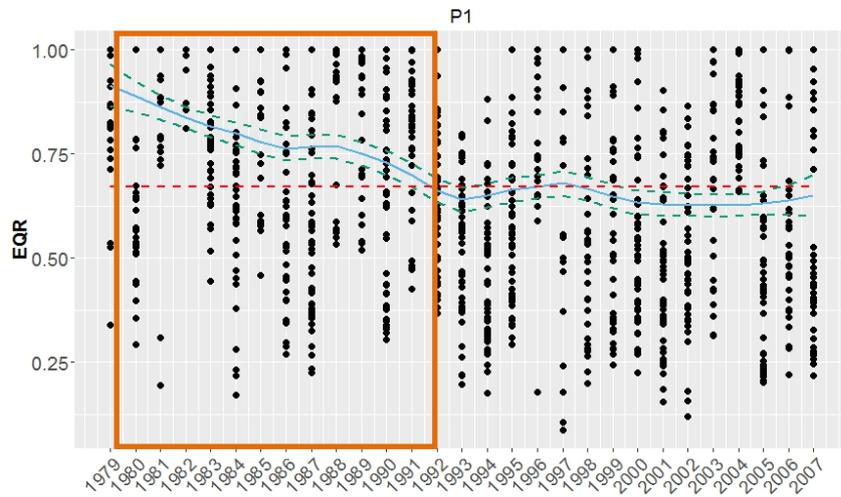
W przypadku stacji P1, P5 i P140 utworzono serię czasową dla sierpnia. Jeżeli w danym roku próby nie były dostępne w miesiącu referencyjnym, sprawdzano dane z miesięcy sąsiednich (np. próby lipcowe z końca miesiąca lub wrześniowe z jego początku) uznawano za reprezentatywne dla warunków sierpniowych.

Normalność rozkładu dla każdej serii (średnia wielkość – MS oraz całkowita biomasa/liczebność – TZB/TZA) testowano przy pomocy testu Shapiro-Wilka ($p > 0,05$). Serie o rozkładzie nienormalnym poddano transformacji Boxa-Coxa. Następnie, na podstawie danych z okresu referencyjnego wyznaczono średnią (μ_i) oraz odchylenie standardowe (σ_i) po czym obliczono standaryzowane wartości z-score ($z_{i,t}$):

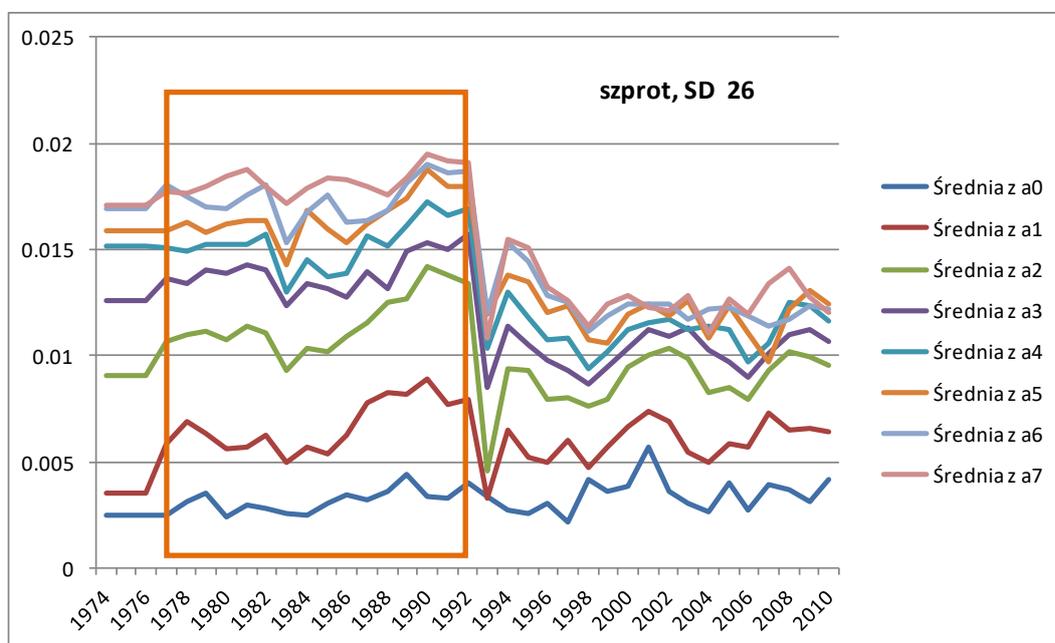
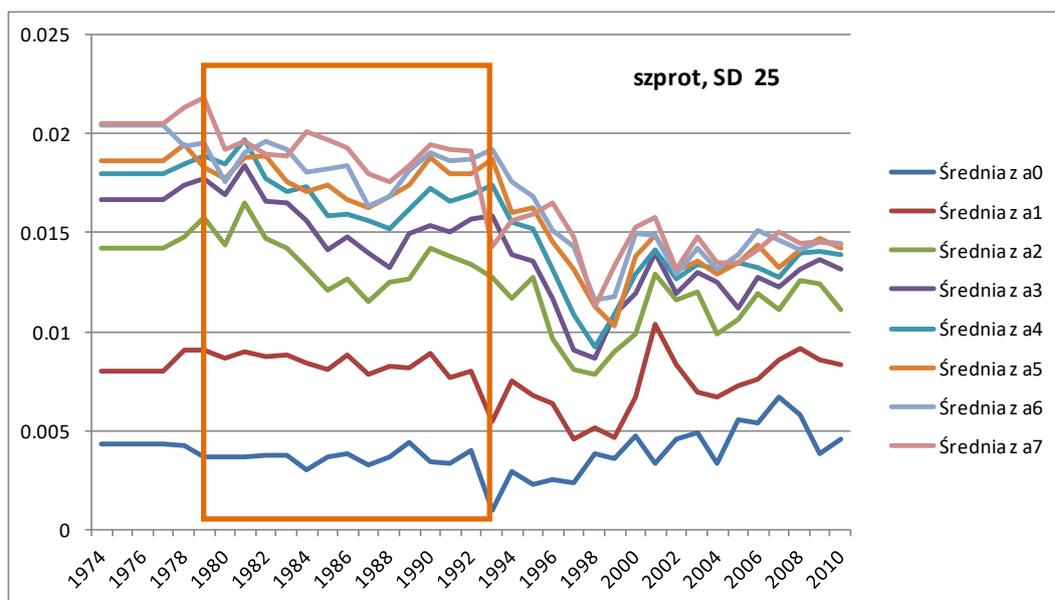
$$z_{i,t} = \frac{x_{i,t} - \mu_i}{\sigma_i}$$

W przypadku krótkiej serii danych (<12 obserwacji) lub braku okresu referencyjnego, z-score wyznaczano względem średniej i odchylenia standardowego z całego dostępnego szeregu czasowego. Wartości progowe dla standaryzowanej serii z-score wyznaczano jako dolną granicę 99% przedziału ufności dla powyższych danych, wybierając dane odpowiadające okresowi referencyjnemu lub całemu ich zakresowi (HELCOM 2023).

Koncepcja wskaźnika MSTs zakłada wyznaczanie okresów referencyjnych na podstawie stężeń chlorofilu *a* i kondycji ryb pelagicznych w rejonach analogicznych do lokalizacji stacji zooplanktonowych. W przypadku chlorofilu *a* okresy referencyjne wyznaczono w oparciu o wartości EQR (Rys. 3). EQR odnosi wartości obserwowane do warunków referencyjnych (im bliżej 1, tym lepiej). Źródłem danych był model RCO-Scobi (Meier et al., 2012). EQR dla chlorofilu *a* obliczono w sposób analogiczny do zastosowanego w raporcie HELCOM (2009); Okresy referencyjne wynikające z kondycji ryb pelagicznych wyznaczono na podstawie średnich biomasy szprota w grupach wieku. Dane pochodzą ze Stochastic Multi-Species model (SMS) (Lewy and Vinther, 2004) i wyznaczone zostały odrębnie dla dwóch podobszarów (*sub-divisions*, SD) ICES: SD 25 i SD 26. Średnie biomasy szprota z podobszaru 25 zostały wykorzystane do wyznaczenia okresów referencyjnych dla stacji P5, a te z SD 26 dla stacji P140 i P1 (Rys. 4).



Rys. 3. EQR (*ecological quality ratio*) dla chlorofilu *a* dla stacji P1, P5 i P140. Dane pochodzą z modelu RCO-Scobi (Meier et al., 2012). Prostokąty wyznaczają zakres okresów referencyjnych dla poszczególnych stacji



Rys. 4. Średnia biomasa szprotu w poszczególnych grupach wieku (od 0 do 7) dla dwóch podobszarów ICES: SD 25 i SD 26. Dane pochodzą ze Stochastic Multi-Species model (SMS) (Lewy and Vinther, 2004). Prostokąty wyznaczają zakres okresów referencyjnych

Do interpretacji wybrano ten okres referencyjny ($RefCon_{Chl}$ lub $RefCon_{Fish}$), dla którego otrzymano wyższe wartości progowe. Ponieważ na tym etapie analiz posługiwano się danymi przekształconymi, w celu wyznaczenia wartości w jednostkach oryginalnych (całkowita biomasa oraz średnia wielkość organizmów) odpowiadających granicy GES, najpierw odwrócono standaryzację, a następnie odwrócono transformację Boxa–Coxa.

Długość serii danych na wszystkich trzech analizowanych stacjach (P1, P5 i P140) pozwoliła na skuteczne wyznaczenie okresów referencyjnych.

W procesie przygotowywania danych zaktualizowano przeliczniki biomasy dla poszczególnych taksonów i stadiów rozwojowych w Basenie Bornholmskim i Wschodnim Basenie Gotlandzkim, zgodnie z ustaleniami grupy roboczej HELCOM EG ZOO.

Wartości progowe dla okresu letniego

Poniżej przedstawiono wartości progowe wyznaczone na podstawie analiz danych na poszczególnych stacjach.

Tab. 1. Wartości progowe wyznaczone wyłącznie na podstawie danych Państwowego Monitoringu Środowiska dla analizowanych stacji.

Nazwa stacji i jej lokalizacja	Wartości progowe dla średniej wielkości organizmów (μg mokrej masy na osobnika) i całkowitej biomasy zooplanktonu (mg m^{-3})	Okresy referencyjne
P1 (Basen Gdański)	10.2 / 103	RefCon _{Fish} / RefCon _{Fish}
P5 (Basen Bornholmski)	12.2 / 223	RefCon _{Chl} / RefCon _{Chl}
P140 (Wschodni Basen Gotlandzki)	11.6 / 156	RefCon _{Fish} / RefCon _{Fish}

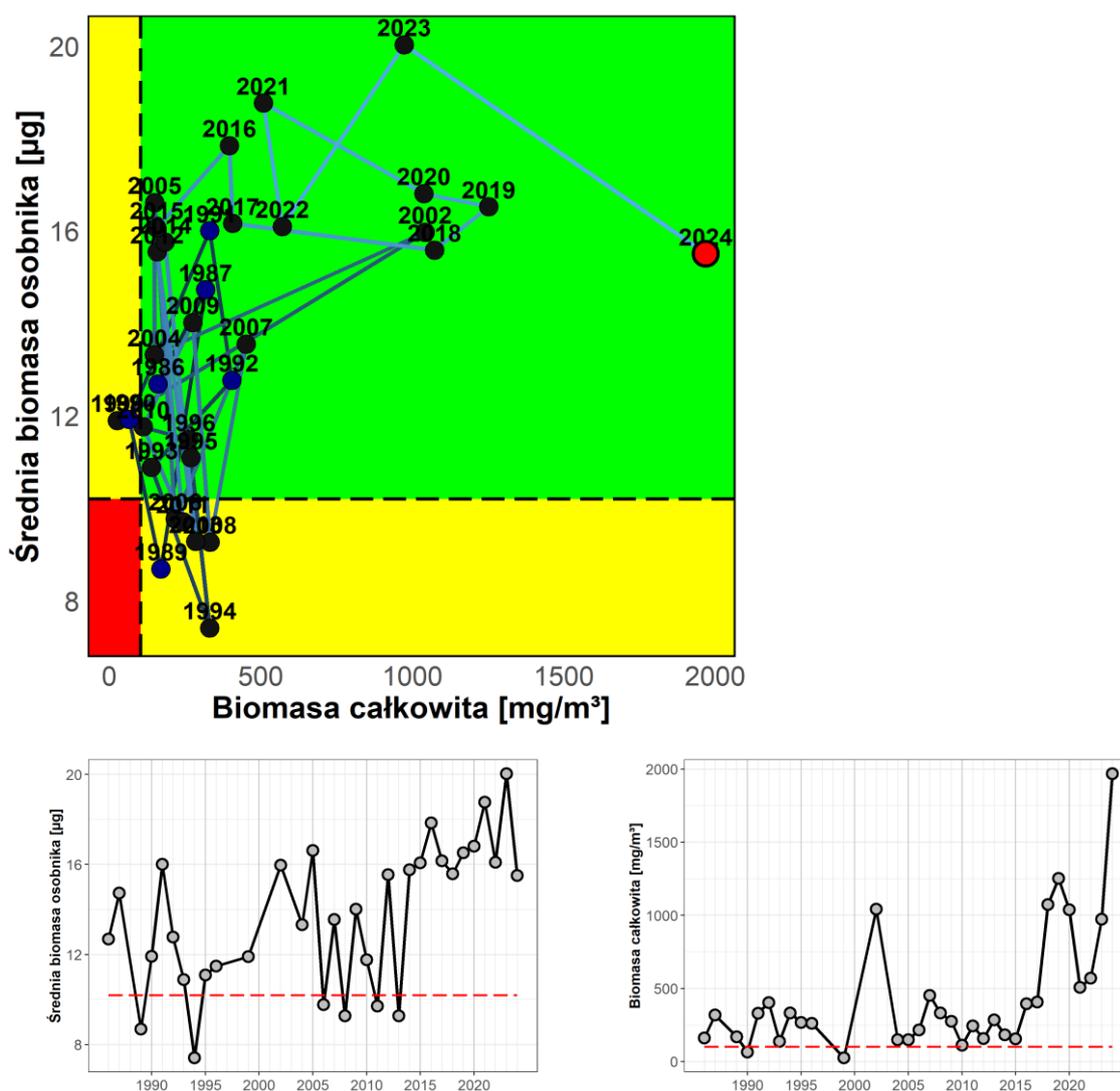
Po przeprowadzeniu ćwiczeń interkalibracyjnych i uwzględnieniu danych zbieranych w tych samych rejonach Bałtyku, pozyskanych w ramach programów monitoringowych innych krajów, wartości progowe dla Basenu Bornholmskiego oraz Wschodniego Basenu Gotlandzkiego zostały zaktualizowane i przedstawione w Tabeli 2. Wartości te zastosowano w ocenie HELCOM HOLAS III (HELCOM 2023).

Tab. 2. Wartości progowe po interkalibracji dla analizowanych stacji.

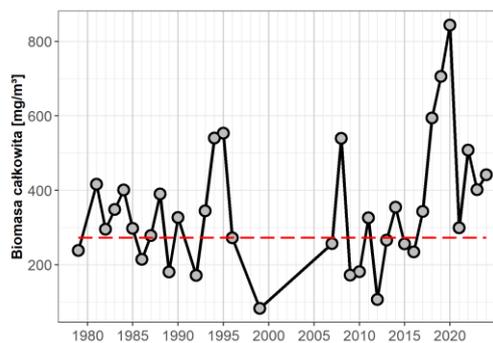
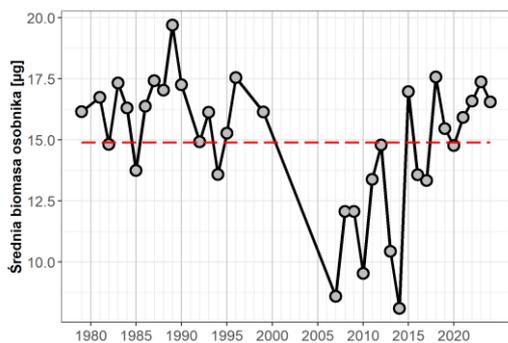
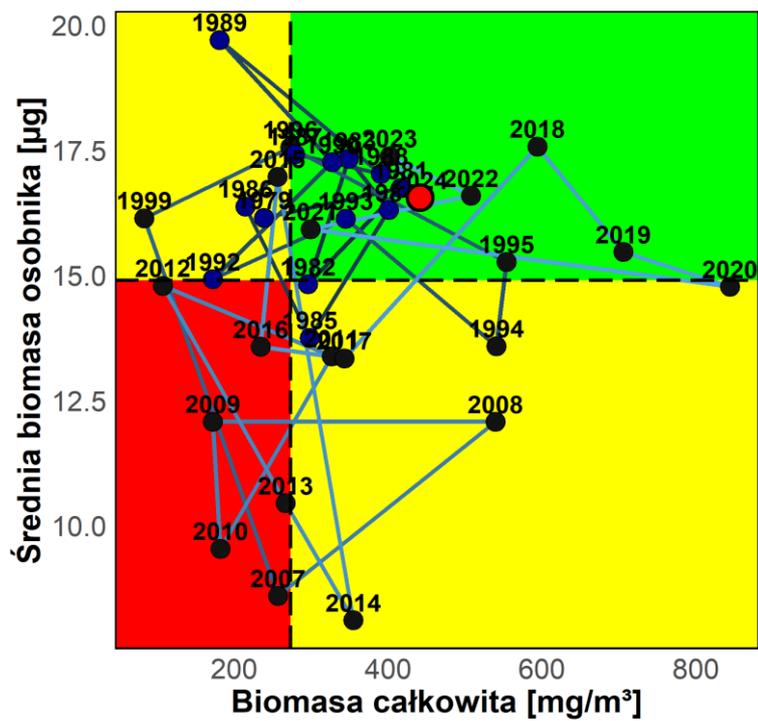
Nazwa stacji i jej lokalizacja	Wartości progowe dla średniej wielkości organizmów (μg mokrej masy na osobnika) i całkowitej biomasy zooplanktonu (mg m^{-3})	Uwagi
P1 (Basen Gdański)	10.2 / 103	Wartości ustalone na podstawie danych PMŚ i przyjęte na potrzeby HELCOM HOLAS II (HELCOM 2017)
P5 (Basen Bornholmski)	14.9 / 273	Wartości ustalone po przeprowadzeniu interkalibracji
P140 (Wschodni Basen Gotlandzki)	14.1 / 104	Wartości ustalone po przeprowadzeniu interkalibracji

Ocena stanu dla okresu letniego

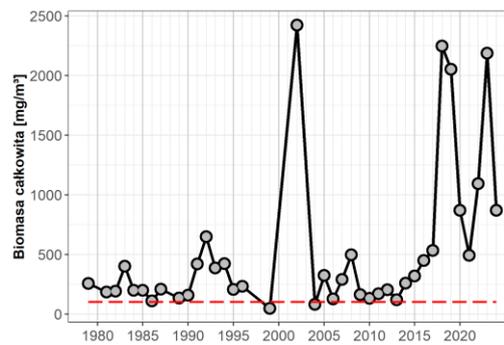
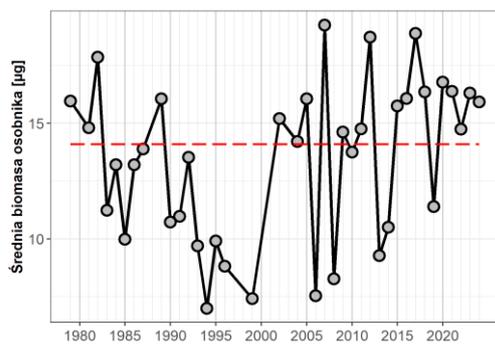
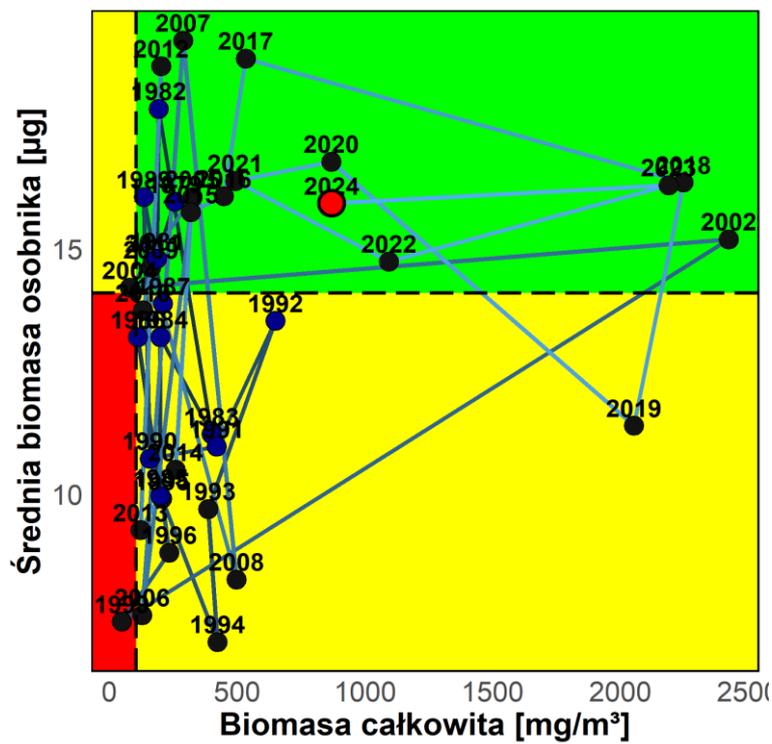
Zgodnie z aktualnymi ustaleniami HELCOM, corocznie dokonujemy oceny stanu dla okresu letniego na trzech stacjach: P1 (Basen Gdański), P5 (Basen Bornholmski) i P140 (Wschodni Basen Gotlandzki). W panelach górnych Rys. 5 do 7 pokazano dwuwymiarowe zestawienia MS i TZB względem ich wartości progowych GES. Kolory pól umożliwiają natychmiastową kwalifikację lat do kategorii GES/sub-GES. Panele dolne prezentują przebiegi czasowe obu zmiennych względem odpowiednich progów, co ułatwia identyfikację lat granicznych oraz ocenę trwałości odchyłeń od warunków referencyjnych. Interpretacja wyników dla każdej stacji opiera się na równoczesnym spełnieniu obu kryteriów (MS i TZB). Spełnienie tylko jednego kwalifikuje rok do kategorii sub-GES. W 2024 roku wszystkie trzy stacje (P1, P5, P140) spełniły kryteria GES, a uzyskany status utrzymuje się nieprzerwanie w ostatnich kilku latach.



Rys. 5. Stacja P1. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi (przerwana linia) dla obu zmiennych w poszczególnych latach przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno



Rys. 6. Stacja P5. Dokładny opis schematu rysunków przedstawiono na Rys. 5



Rys. 7. Stacja P140. Dokładny opis schematu rysunków przedstawiono na Rys. 5

Testowe wyznaczenie wartości progowych na stacjach głębokowodnych dla okresu wiosennego

Z punktu widzenia powiązań troficznych okres wiosenny ma znacznie większe znaczenie, między innymi dla przeżywalności wczesnych stadiów rozwojowych i rekrutacji licznych gatunków ryb.

W celu przetestowania zastosowania wskaźnika MSTs na stacjach głębokowodnych: P5 (Basen Bornholmski), P140 (południowy stok Basenu Gotlandzkiego) oraz P1 (Basen Gdański) w okresie wiosennym utworzono odpowiednie serie czasowe. Ze względu na stosunkowo niewielką zmienność terminów pobierania próbek w całym analizowanym okresie uznano, że najlepszym wyborem będzie wybranie próbek zbieranych pomiędzy 15 marca a 15 kwietnia. Z oczywistych względów, takie podejście nie uwzględnia fenologicznych różnic pomiędzy poszczególnymi latami.

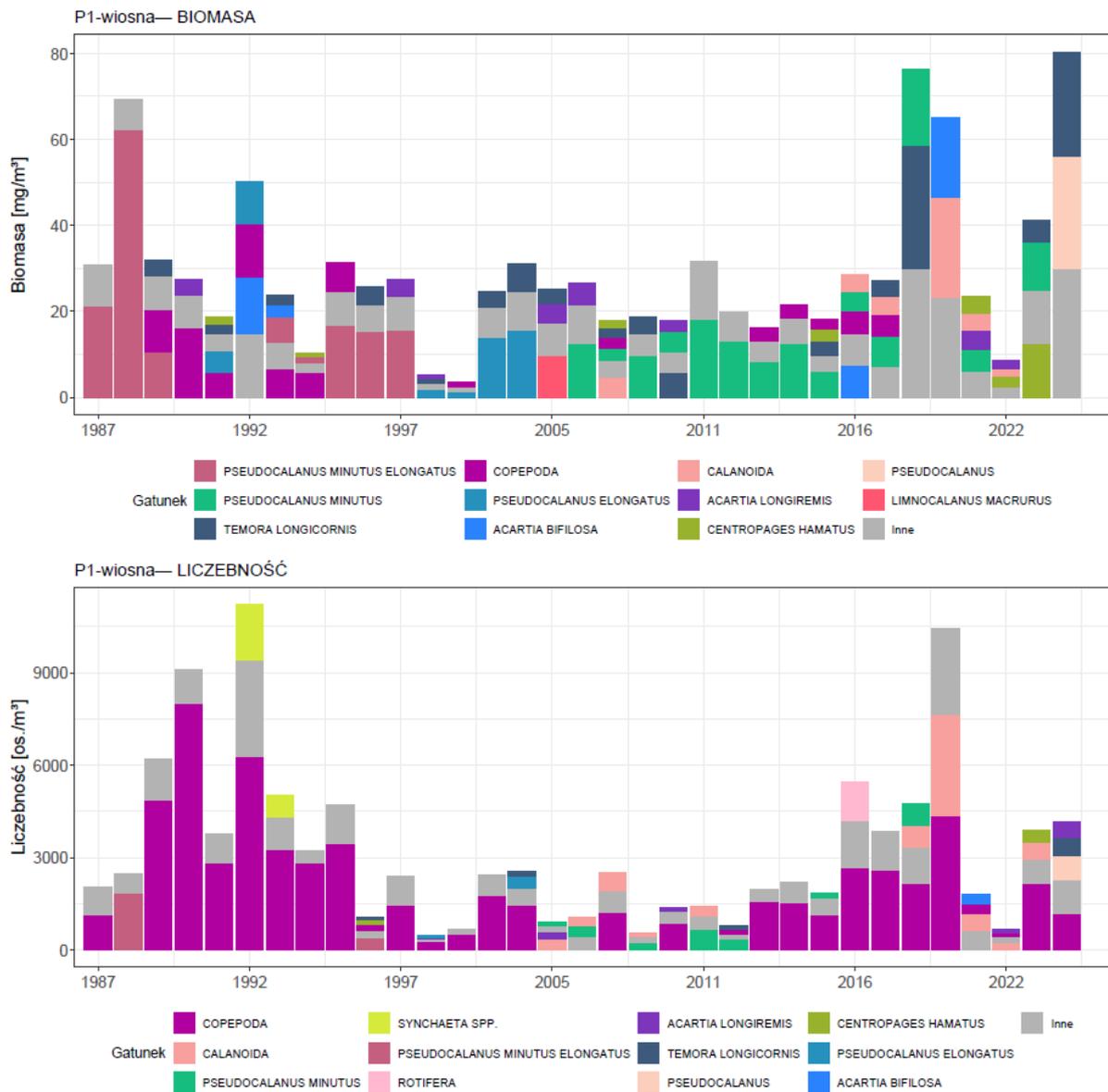
W Tabeli 3 przedstawiono wartości progowe wyznaczone w sposób opisany w rozdziale „Materiał i Metody” (strona 7) na podstawie analiz danych na poszczególnych stacjach.

Dla stacji P1 i P5 wartości progowe wyznaczone na podstawie całego zakresu danych są bardziej rygorystyczne (tj. konserwatywne, trudniejsze do spełnienia), zwłaszcza w odniesieniu do średniej biomasy organizmów, i to je rekomendujemy do oceny stanu.

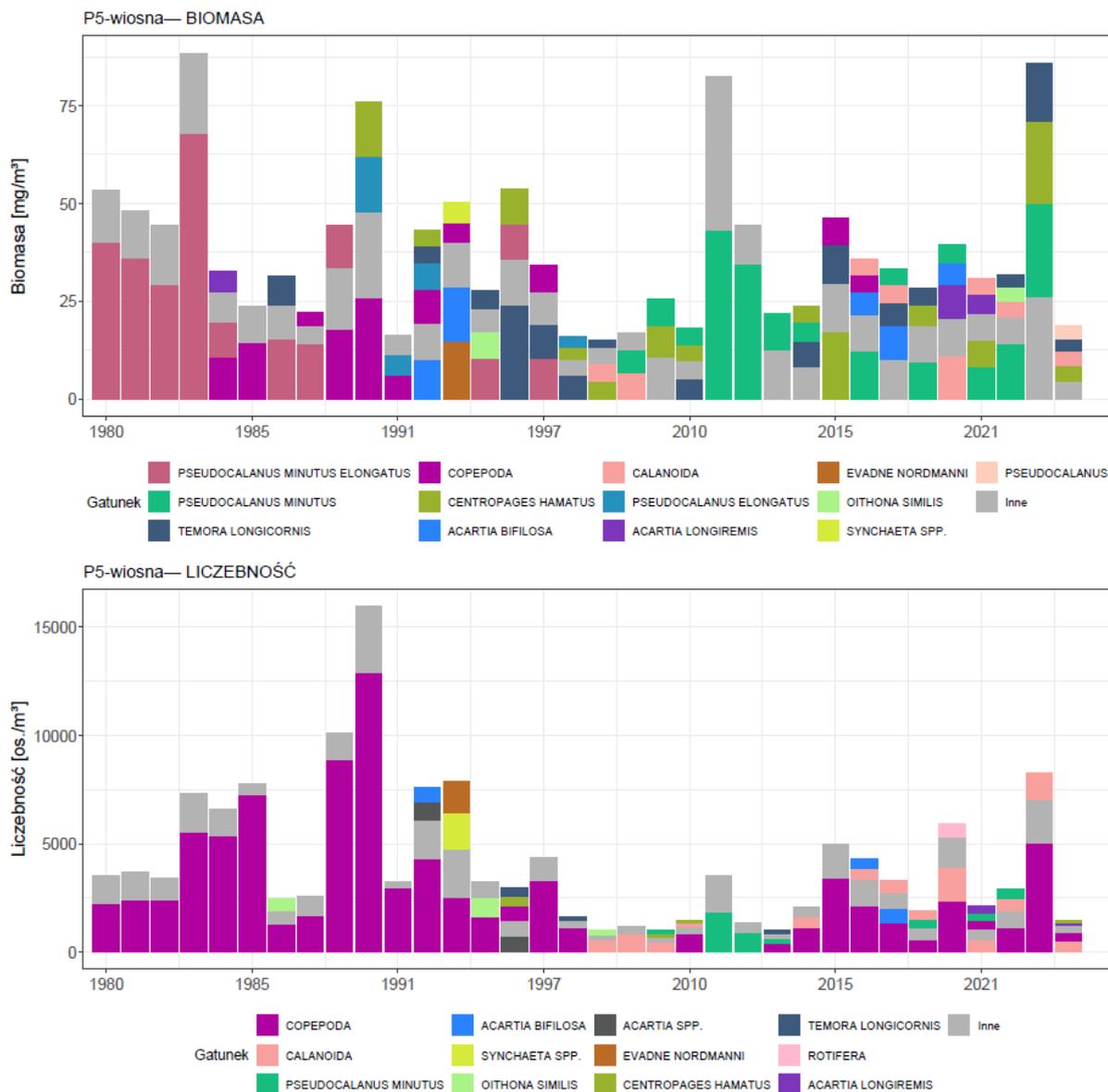
Tab. 3. Zestawienie wstępnych wartości progowych wyznaczonych jedynie na podstawie danych z Państwowego Monitoringu Środowiska dla poszczególnych stacji poddanych analizie.

Nazwa stacji i jej lokalizacja	Wartości progowe dla średniej wielkości organizmów (μg mokrej masy na osobnika) i całkowitej biomasy zooplanktonu (mg m^{-3})	Okresy referencyjne
P1 (Basen Gdański)	3.0 / 21 7.7 / 19	RefCon _{Fish} /RefCon _{Fish} Uwzględniając całą serię czasową
P5 (Basen Bornholmski)	5.6 / 27 8.4 / 27	RefCon _{Chl} /RefCon _{Fish} Uwzględniając całą serię czasową
P140 (Wschodni Basen Gotlandzki)	15.0 / 26	RefCon _{Chl} /RefCon _{Fish}

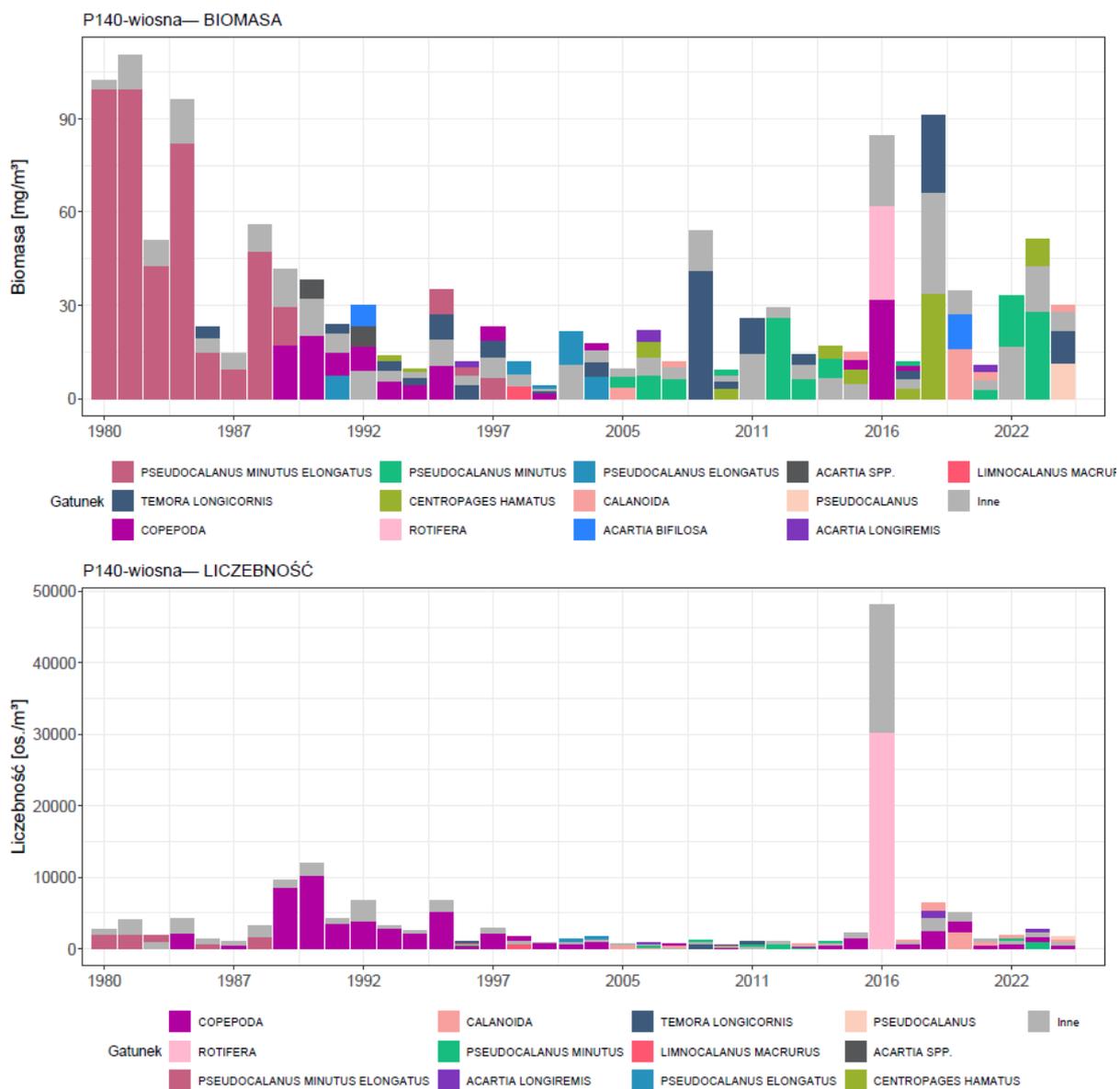
Porównanie dynamiki liczebności i biomasy organizmów zooplanktonowych w okresach wiosennych i letnich wskazuje na znacznie większą zmienność wiosną, wynikającą m.in. z terminu początku sezonu wegetacyjnego (zależnego od surowości zimy) oraz wystąpienia lub braku masowego pojawienia się drobnych organizmów. Okres wiosenny jest z natury znacznie bardziej podatny na zmienności fenologiczną między latami (Rys. 8-10).



Rys. 8. Stacja P1 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)

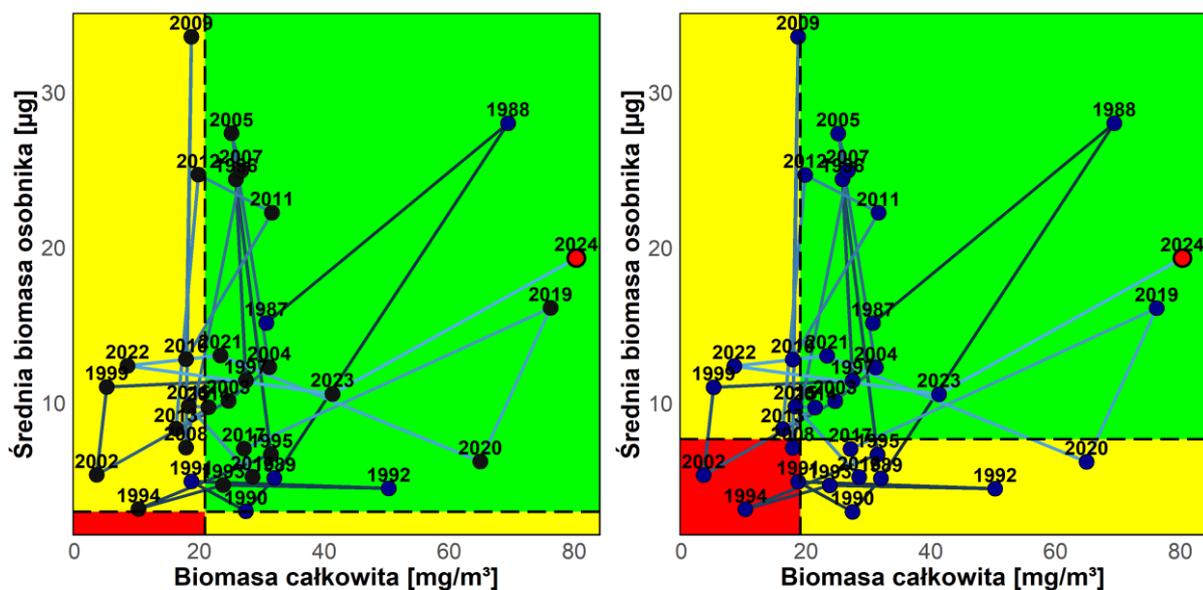


Rys. 9. Stacja P5 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)

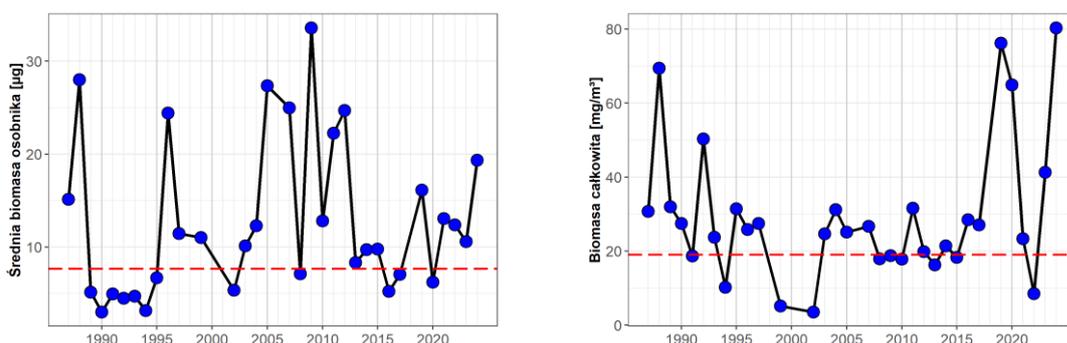


Rys. 10. Stacja P140 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)

Dla stacji P1 zastosowanie okresów referencyjnych powoduje, że wartości dla żadnego roku serii czasowej nie spadają poniżej progu dla średniej wielkości (MS) (Rys. 11). Gdy przyjąć progi wyznaczone z całego okresu danych, kryterium MS nie byłoby spełnione w latach 2016, 2017 i 2020 a w przypadku całkowitej biomasy w roku 2022. Jednocześnie w dwóch ostatnich latach kryterium GES na P1 byłoby spełnione (Rys. 12).



Rys. 11. Stacja P1. Średnia biomasa organizmów (MS) i całkowita biomasa zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi (przerywana linia) dla obu zmiennych. Lewy panel przedstawia ocenę przy zastosowaniu wartości progowych wyznaczonych dla okresów referencyjnych, prawy panel przedstawia ocenę, dla której wartości progowe wyznaczono dla całego zakresu danych. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach

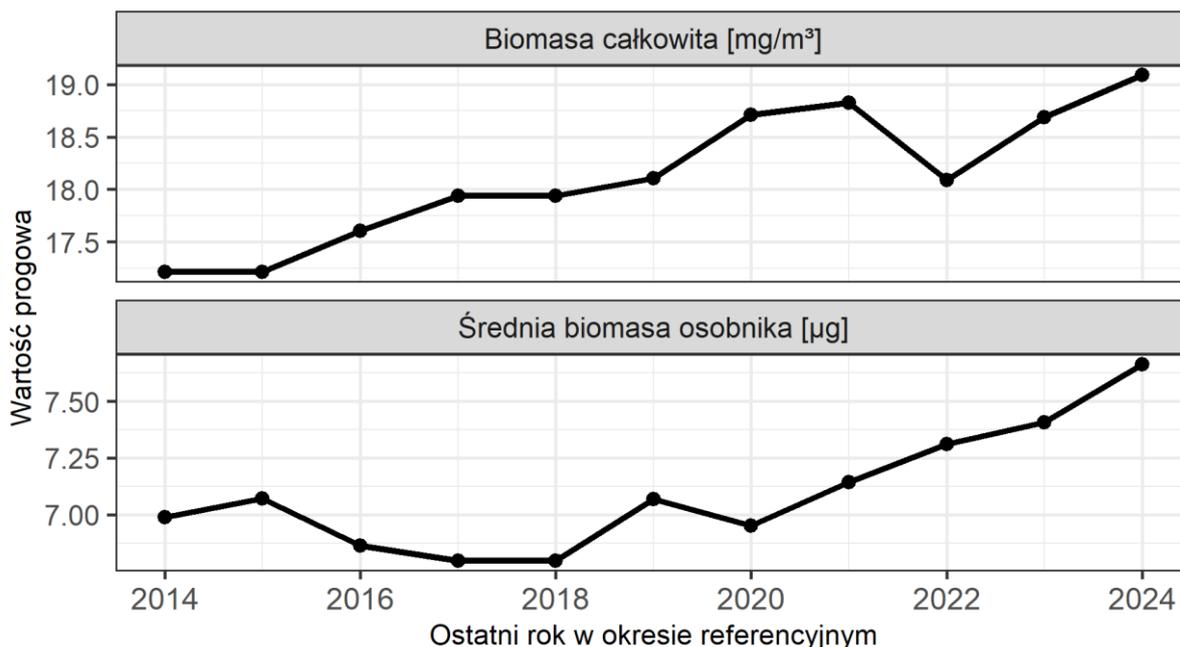


Rys. 12. Stacja P1 wiosną - średnia biomasa osobnika i całkowita biomasa zooplanktonu; linia przerywana – wartości progowe wyznaczone dla całego zakresu danych

Ponieważ wartości progowe wyznaczane na podstawie całej serii czasowej aktualizują się wraz z uwzględnieniem nowych danych, wykonano analizę wsteczną prezentującą jak zmieniłyby się w przypadku stacji P1 wiosną na przestrzeni ostatnich 10 lat (Rys.13).

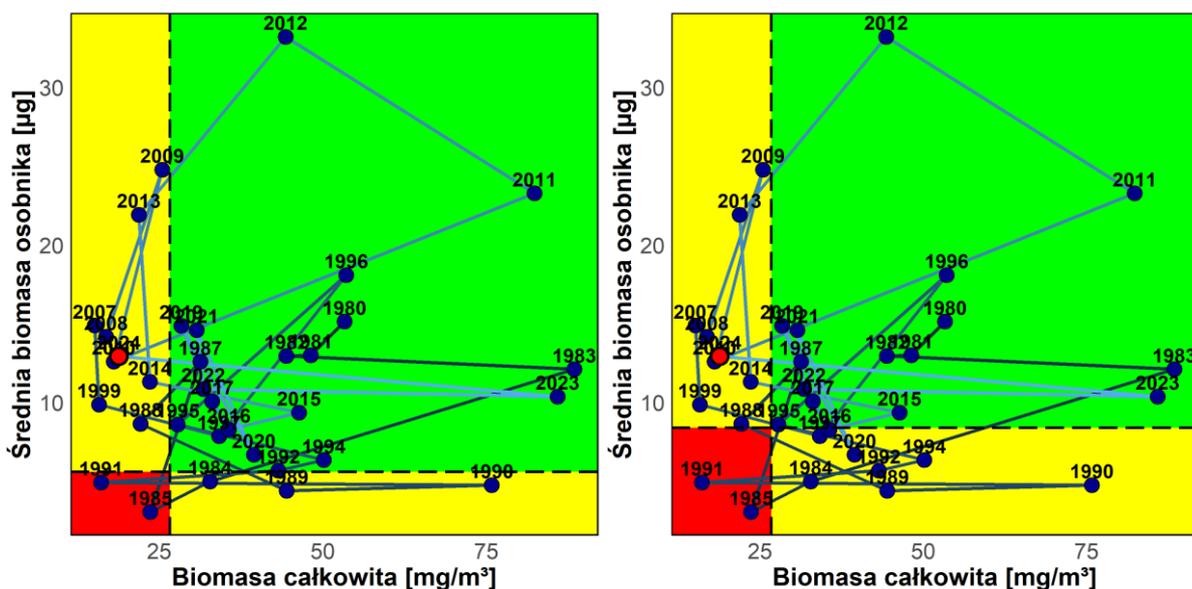
W przypadku stacji P1 obserwowana w ostatniej dekadzie zmiana wartości progowych przekracza 10-12% względem wartości minimalnej z tego okresu, co wskazuje na ich umiarkowaną wrażliwość na aktualizację danych w kolejnych latach.

P1 – wiosna



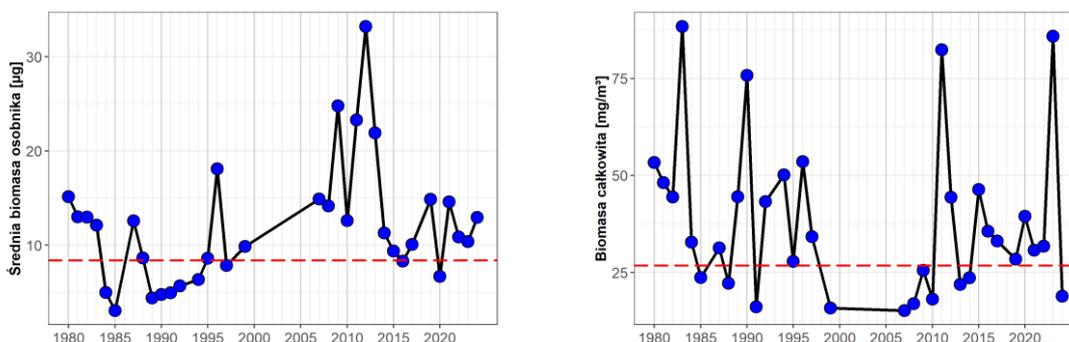
Rys. 13. Stacja P1. Zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych z okresu wiosennego w danym roku. Prezentowane wartości na przykład dla roku 2014 należy interpretować jako wartości progowe wyznaczone dla całego dostępnego zakresu danych (1987-2014). Wartości podane dla 2015 roku oznaczają, że seria danych została zaktualizowana o wyniki z 2015 roku

Zastosowanie okresów referencyjnych dla stacji P5 sprawia, że jedynie nieliczne z punktów serii czasowej zostaną sklasyfikowane poniżej wartości granicznej wyznaczonej dla średniej biomasy osobnika (Rys. 14).



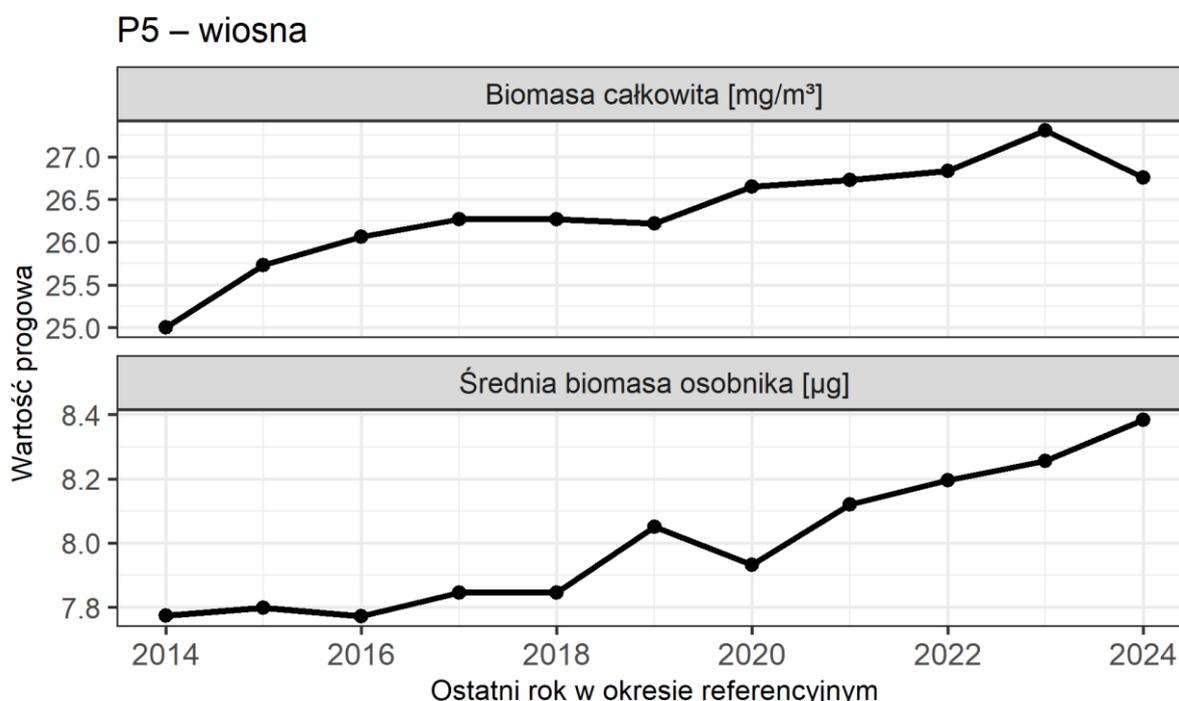
Rys. 14. Stacja P5. Średnia biomasa organizmów (MS) i całkowita biomasa zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi (przerywana linia) dla obu zmiennych. Lewy panel przedstawia ocenę przy zastosowaniu okresów referencyjnych, prawy panel przedstawia ocenę, dla której wartości progowe wyznaczono dla całego zakresu danych. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach

Po przyjęciu wartości progowych wyznaczonych z całego zakresu danych, wyniki dla średniej biomasy w ostatnich czterech latach spełniają kryterium dobrego stanu. Dla biomasy całkowitej okres ten był nawet dłuższy, ale wartości dla 2024 roku spadły poniżej przyjętego progu i dla ostatniego roku poddanego analizie, kryterium GES zostało spełnione jedynie w przypadku jednej z dwóch zmiennych (Rys. 15).



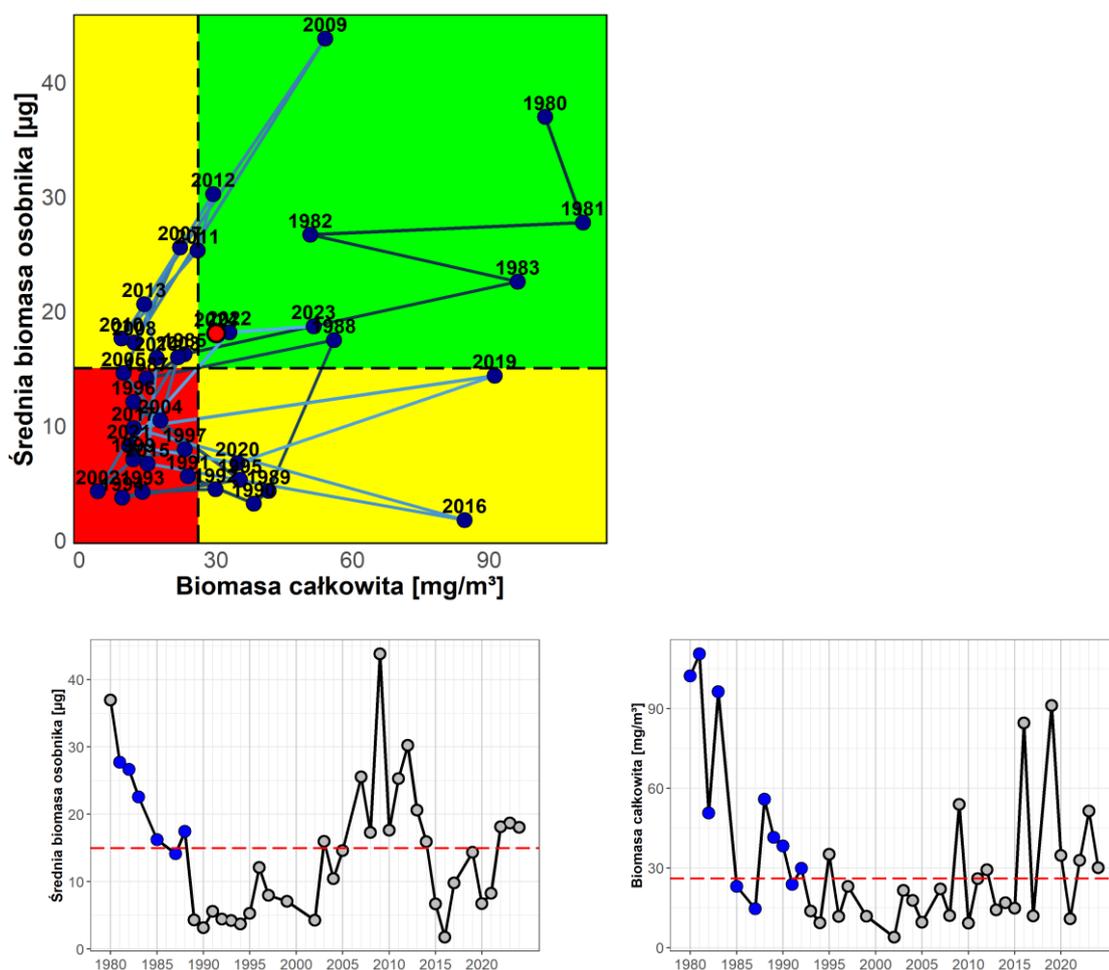
Rys. 15. Stacja P5 wiosną - średnia biomasa osobnika i całkowita biomasa zooplanktonu; linia przerywana – wartości progowe wyznaczone dla całego zakresu danych

Analiza wsteczna zmian wartości progowych na stacji P5 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys.16) wskazuje mniejszą zmienność w porównaniu do stacji P1. W tym przypadku, obserwowana, w ostatnich dziesięciu latach, zmiana wartości progowych zawiera się w przedziale 6-8% w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.



Rys. 16. Stacja P5 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

Rekomendowane wartości progowe dla Wschodniego Basenu Gotlandzkiego (stacja P140) wiosną, zostały wyznaczone przy zastosowaniu okresów referencyjnych dla chlorofilu *a* i szprota (Tab. 3). Przy tak przyjętych wartościach progowych kryterium GES na stacji P140, w ostatnim okresie, zostałyby osiągnięte w latach 2022-2024 (Rys 17).



Rys. 17. Stacja P140 wiosną. Średnią biomasę organizmów (*MS*) i całkowitą biomasę zooplanktonu (*TS*) wraz z odnośnymi wartościami progowymi (przerywana linia) wyznaczonymi na podstawie okresów referencyjnych (niebieskie kropki) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Zaprezentowane wyniki wskazują na konieczność dyskusji metodycznej w ramach HELCOM EG ZOO, szczególnie w sprawie stosowania okresów referencyjnych w ocenie wiosennej.

Należy także podkreślić, że zarówno wartości progowe jak i wstępna ocena została zaprezentowana jedynie na podstawie danych z polskiego Programu Monitoringu Środowiska i aby mogłyby one zostać przyjęte w kolejnej ocenie holistycznej HELCOM, konieczne jest przeprowadzenie interkalibracji dla Basenu Bornholmskiego i wschodniego Basenu Gotlandzkiego.

Testowe wyznaczenie wartości progowych na stacjach płytkowodnych dla okresu wiosennego

Monitoring na stacjach przybrzeżnych rozmieszczonych wzdłuż polskiego Wybrzeża rozpoczął się w praktyce na początku obecnego wieku, choć w kilku lokalizacjach pojedyncze próby zebrano już w 1999 roku. Łącznie przetestowano dane z 14 lokalizacji (Rys. 2), z których do dalszych analiz danych wiosennych wybrano siedem stacji spełniających kryterium długości szeregu czasowego. Sześć z nich obejmuje co najmniej 20 lat danych, a wyjątek stanowi B13 z serią 18-letnią (Tab. 4).

Tab. 4. Zestawienie przybrzeżnych stacji monitoringowych uwzględnionych w poniższych ze wskazaniem okresu, w którym zbierane były na nich dane (lokalizacja stacji została zaprezentowana na Rys. 2).

Nazwa stacji	Długość serii czasowej
B13	2007-2024
K6	2004-2024
P16	2004-2024
L7	1999, 2004-2024
ZP6	1999, 2002-2024
P110	1999, 2002-2024
KW	1999, 2004-2024

Na wszystkich siedmiu stacjach uwzględnionych w analizach warunki wiosenne określono na podstawie próbek zbieranych w marcu i kwietniu. Ponieważ okresy zbierania danych na stacjach przybrzeżnych są zbyt krótkie i nie obejmują okresów referencyjnych, zastosowano procedurę zastępczą: zgodnie z metodyką MSTS wartości progowe wyznaczone z całych dostępnych szeregów czasowych.

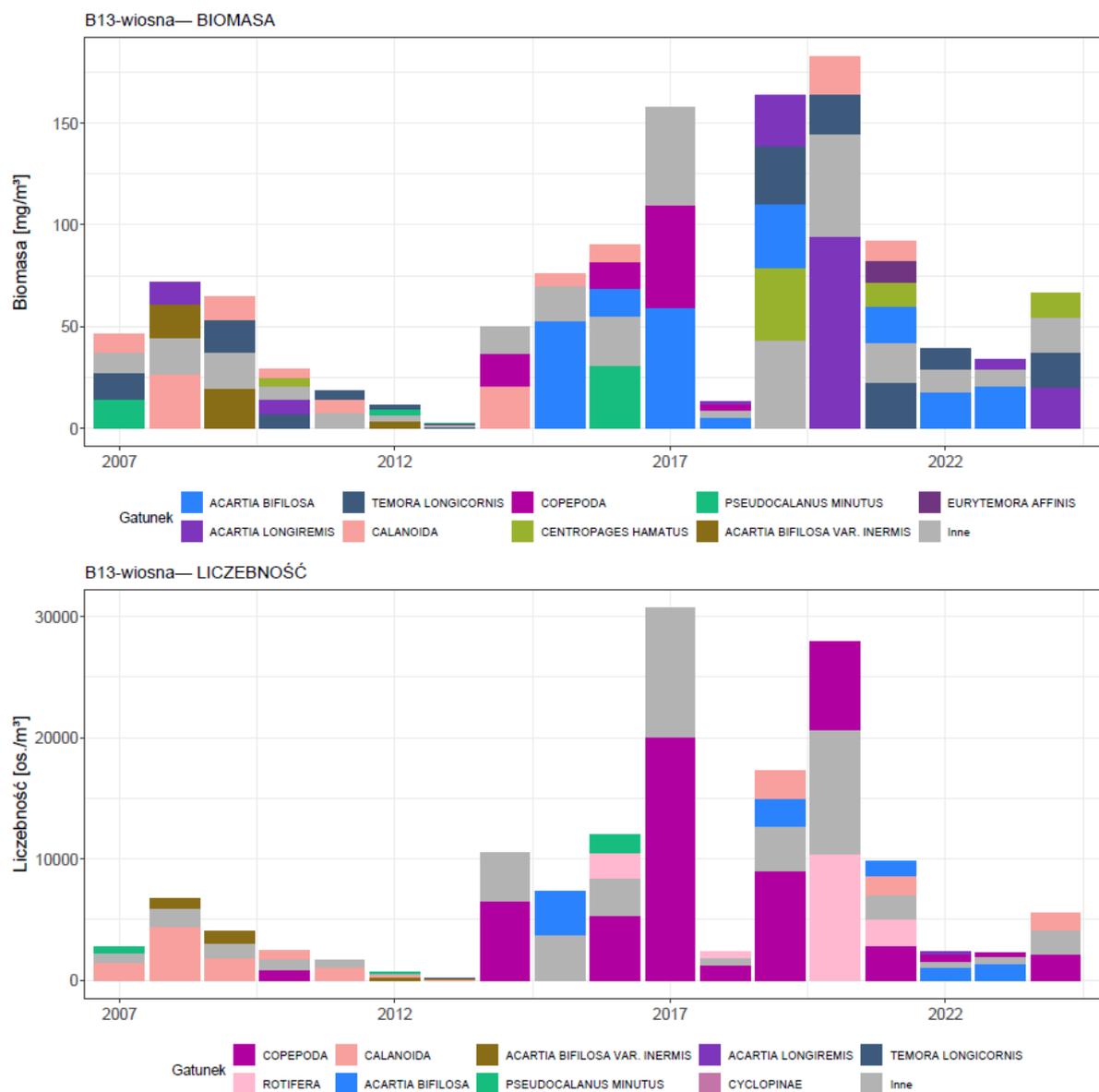
Tab. 5. Wstępne wartości progowe (MS/TS) wyznaczone na podstawie danych PMS dla stacji przybrzeżnych (wiosna).

Nazwa stacji	Wartości progowe dla średniej wielkości organizmów (μg mokrej masy na osobnika) i całkowitej biomasy zooplanktonu (mg m^{-3})	Okresy referencyjne
B13	8.7 / 29	Uwzględniając całą serię czasową
K6	9.9 / 29	Uwzględniając całą serię czasową
P16	11.3 / 30	Uwzględniając całą serię czasową
L7	9.7 / 29	Uwzględniając całą serię czasową
ZP6	4.4 / 10	Uwzględniając całą serię czasową
P110	6.9 / 11	Uwzględniając całą serię czasową
KW	5.9 / 181	Uwzględniając całą serię czasową

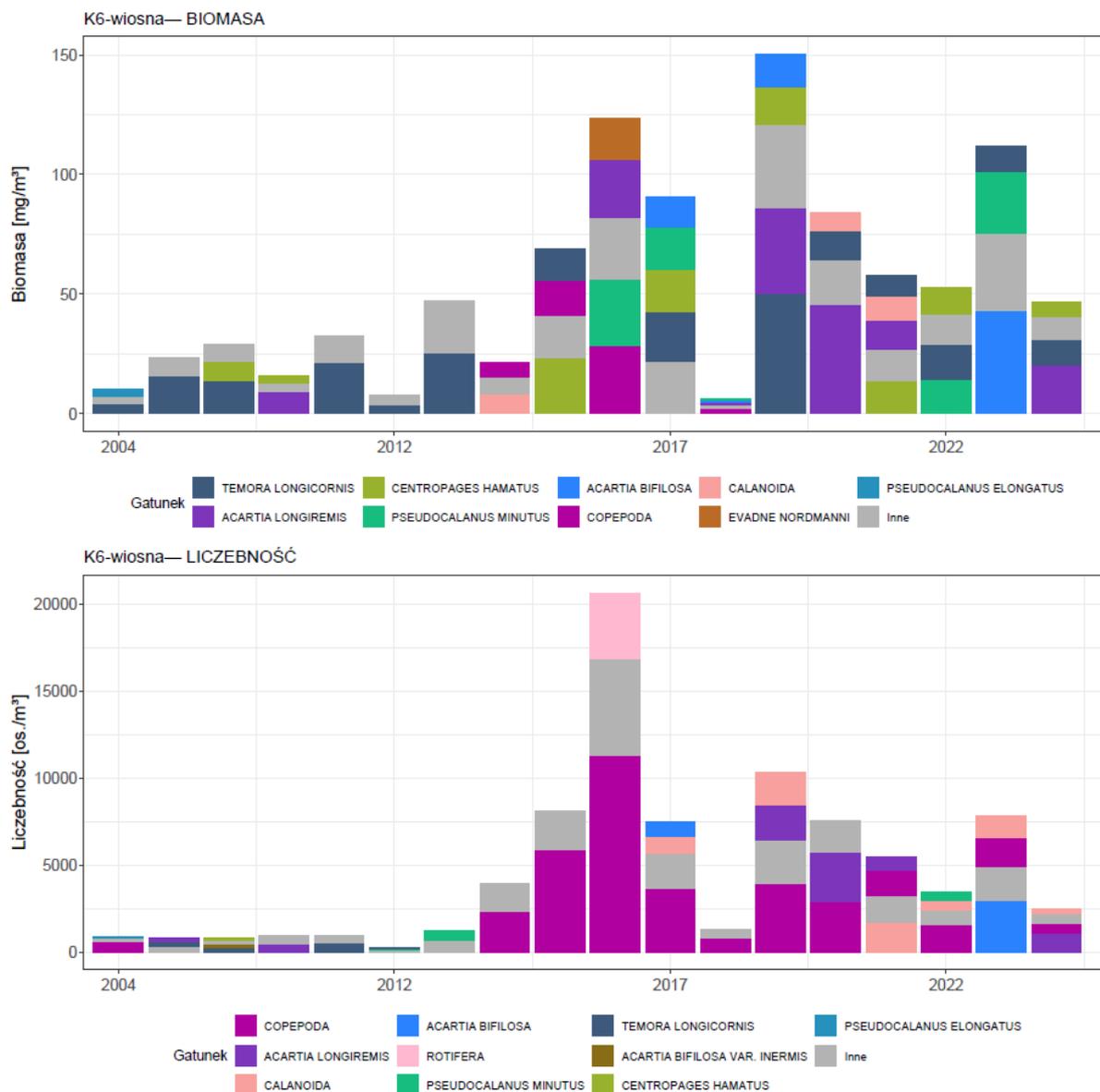
Wartości progowe dla stacji zlokalizowanych wzdłuż otwartego wybrzeża są do siebie zbliżone, zarówno dla średniej wielkości organizmów jak i dla całkowitej biomasy. Dla stacji ZP6 (Zatoka Pucka) i P110 (Zatoka Gdańska) wartości progowe średniej biomasy są o ok. 50% niższe niż na stacjach otwartego Wybrzeża, a w przypadku całkowitej biomasy - około trzykrotnie niższe.

Odmienne prezentuje się zmienność na stacji KW (Zalew Wiślany): wartość progowa dla całkowitej biomasy jest wyjątkowo wysoka, co wynika z ekstremalnie dużej biomasy zaobserwowanej w 2021 roku.

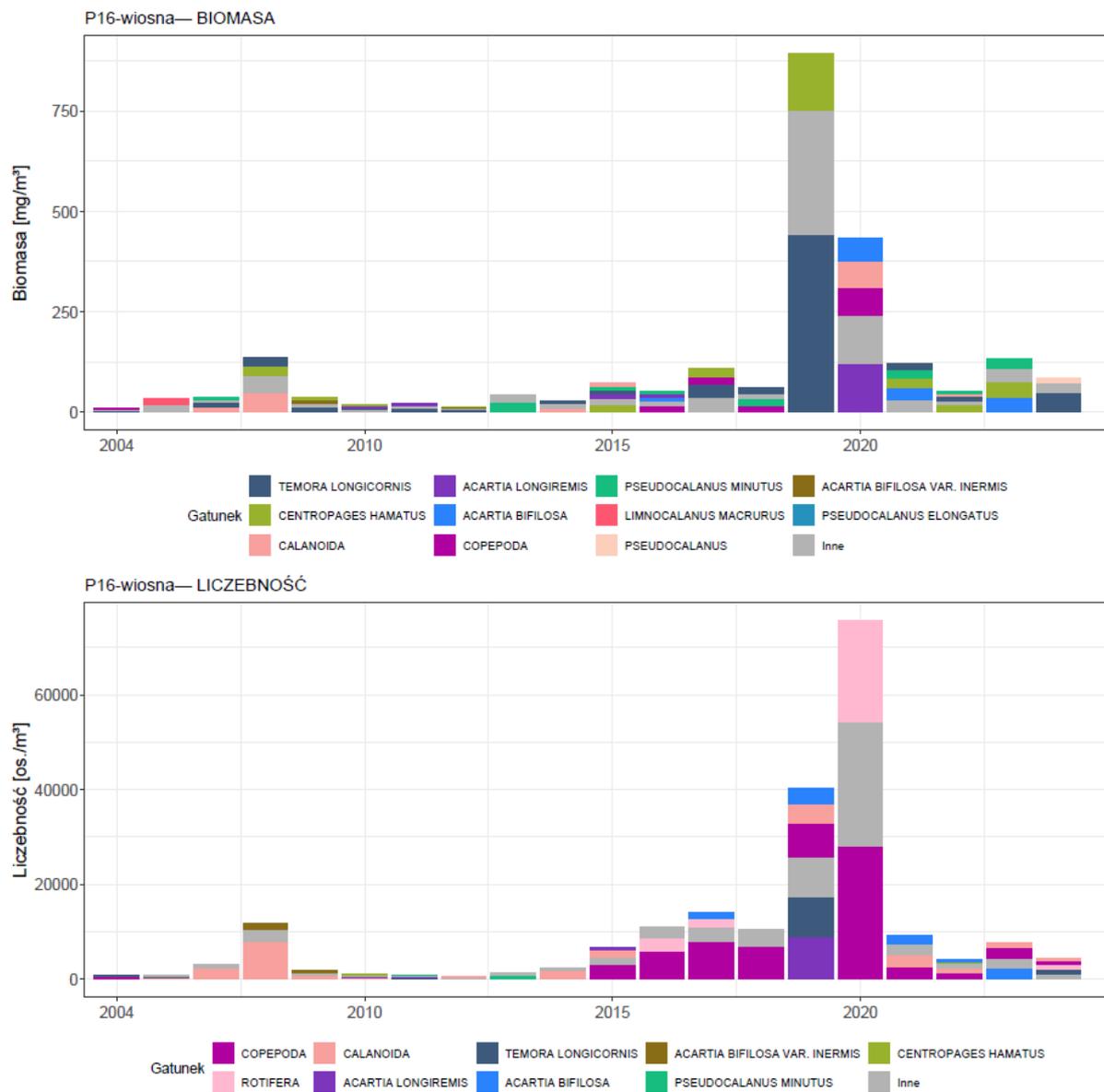
Wiosenna dynamika liczebności i biomasy organizmów zooplanktonowych na stacjach przybrzeżnych cechuje się dużą zmiennością między latami, związaną z fenologią (m.in. spowodowaną zmianami temperatury wody i terminem wiosennego zakwitu), zależną najprawdopodobniej od długości i surowości poprzedzającej zimy (Rys. 18-24).



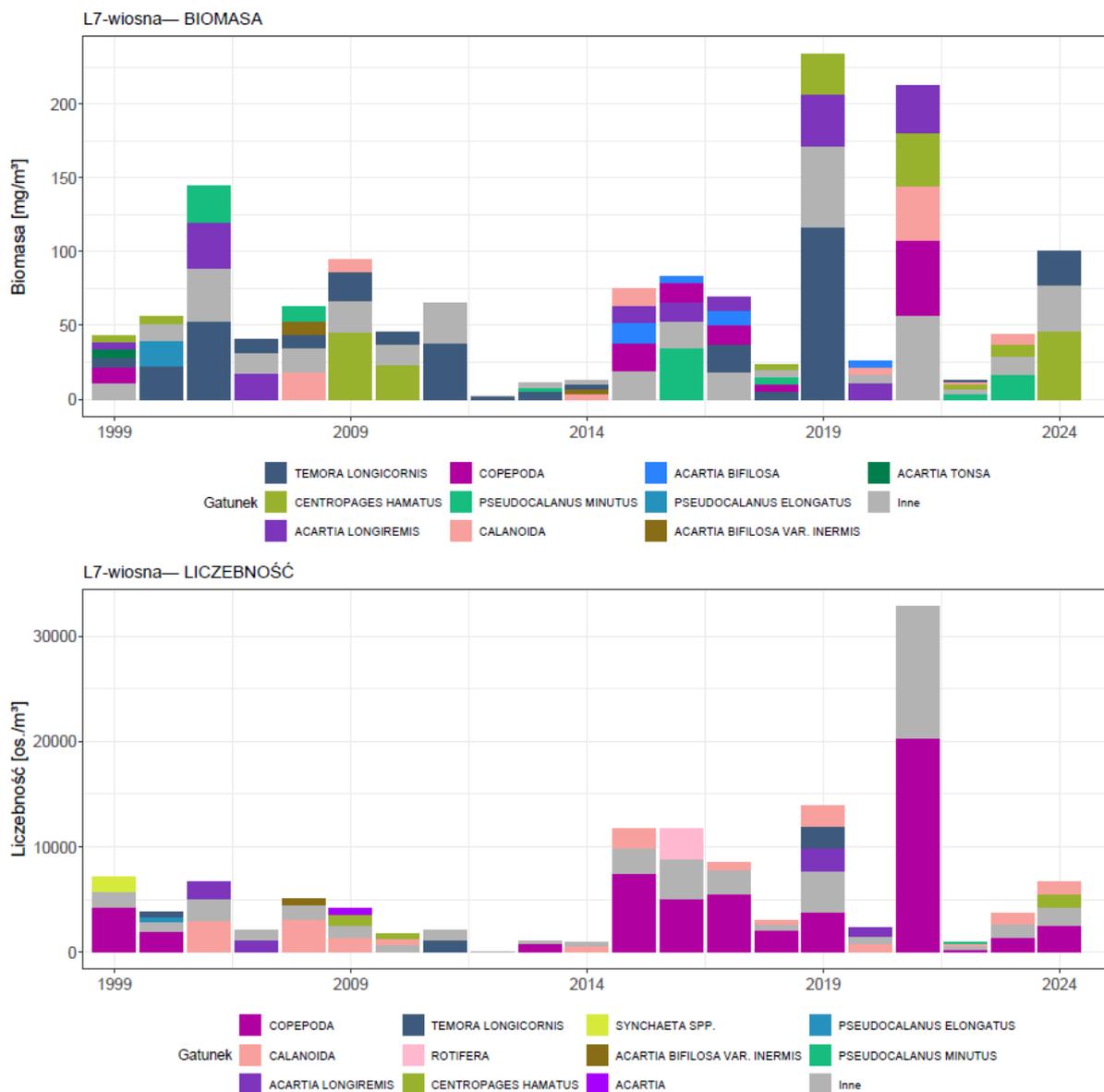
Rys. 18. Stacja B13 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



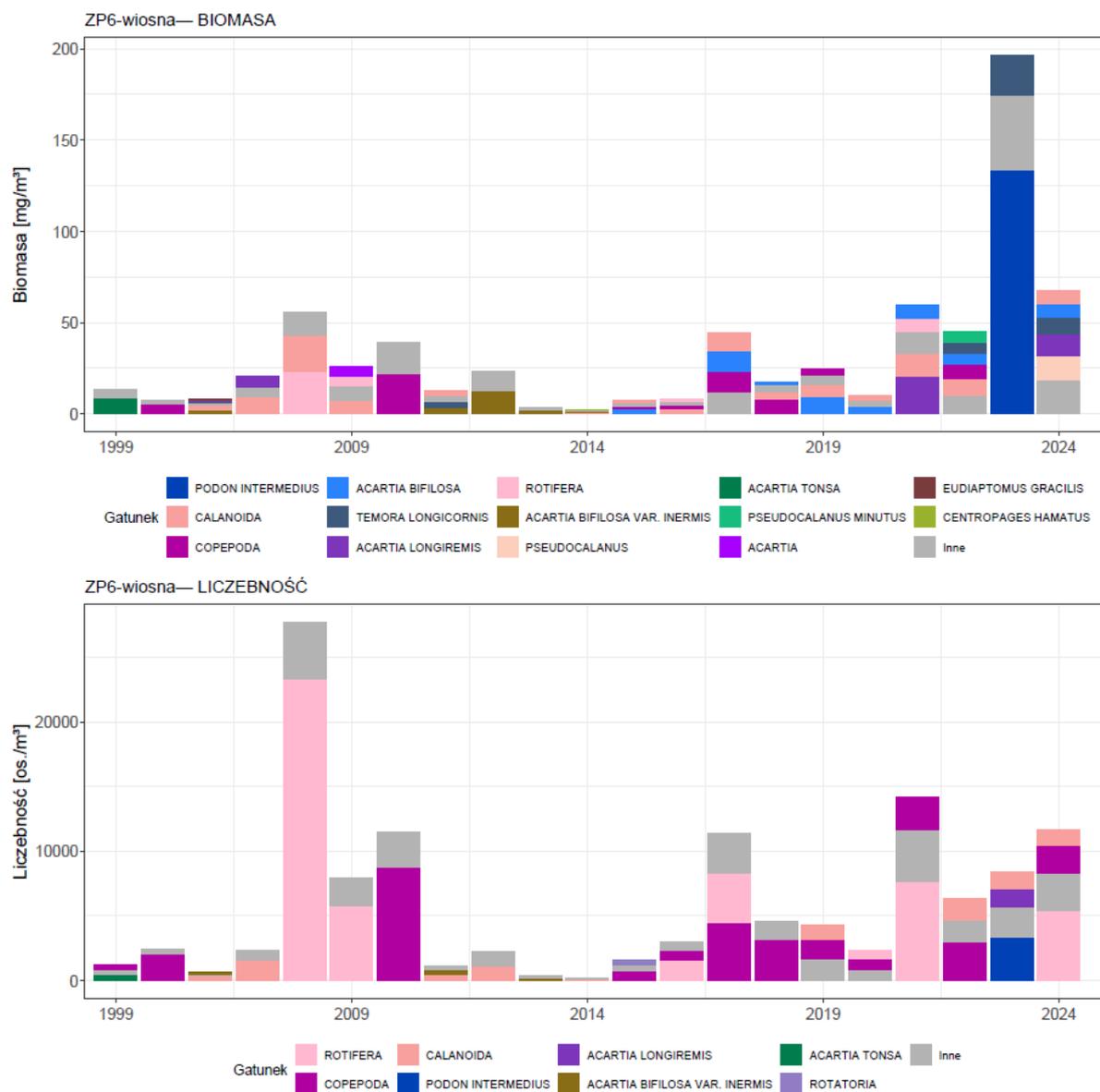
Rys. 19. Stacja K6 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



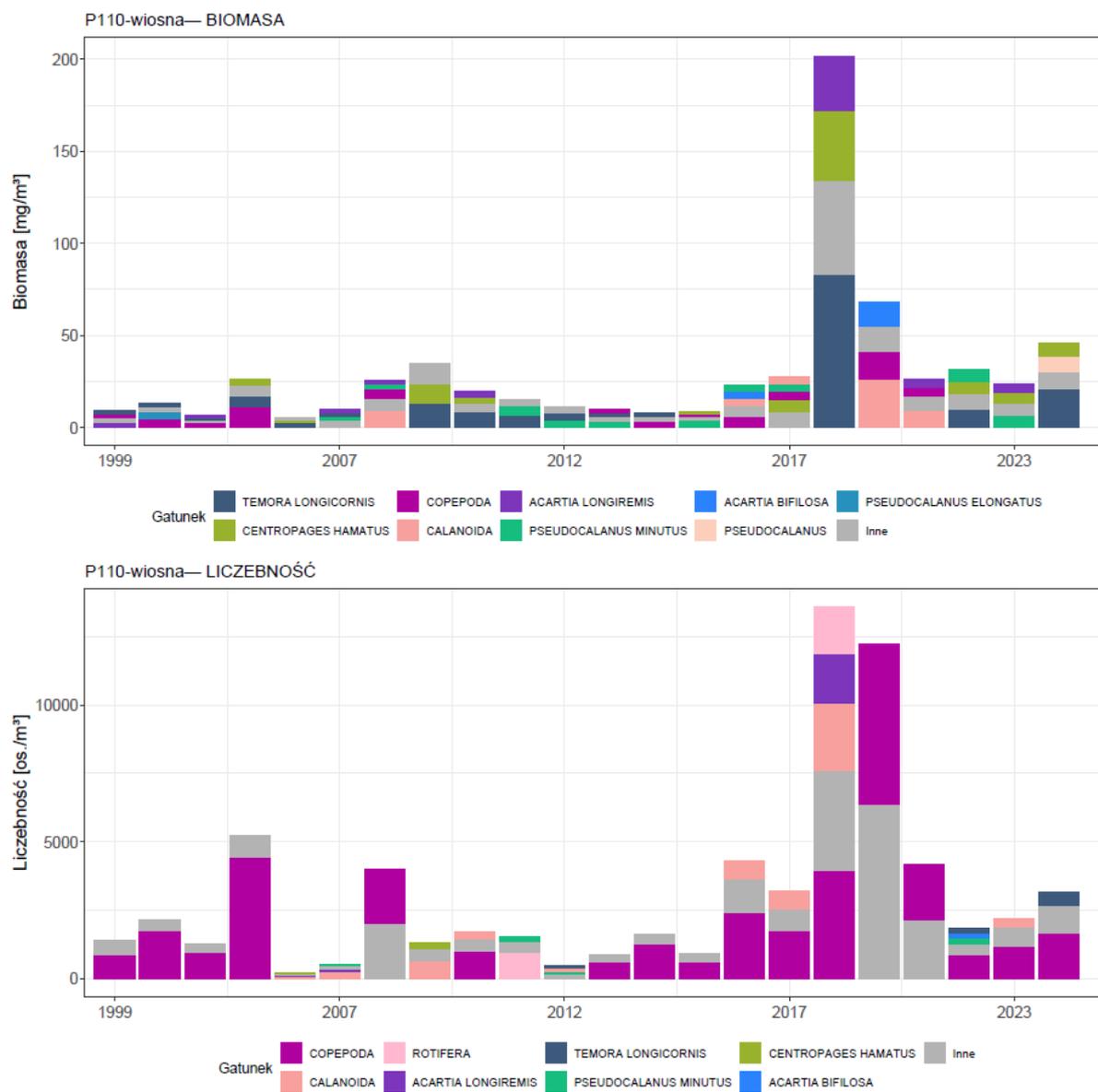
Rys. 20. Stacja P16 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



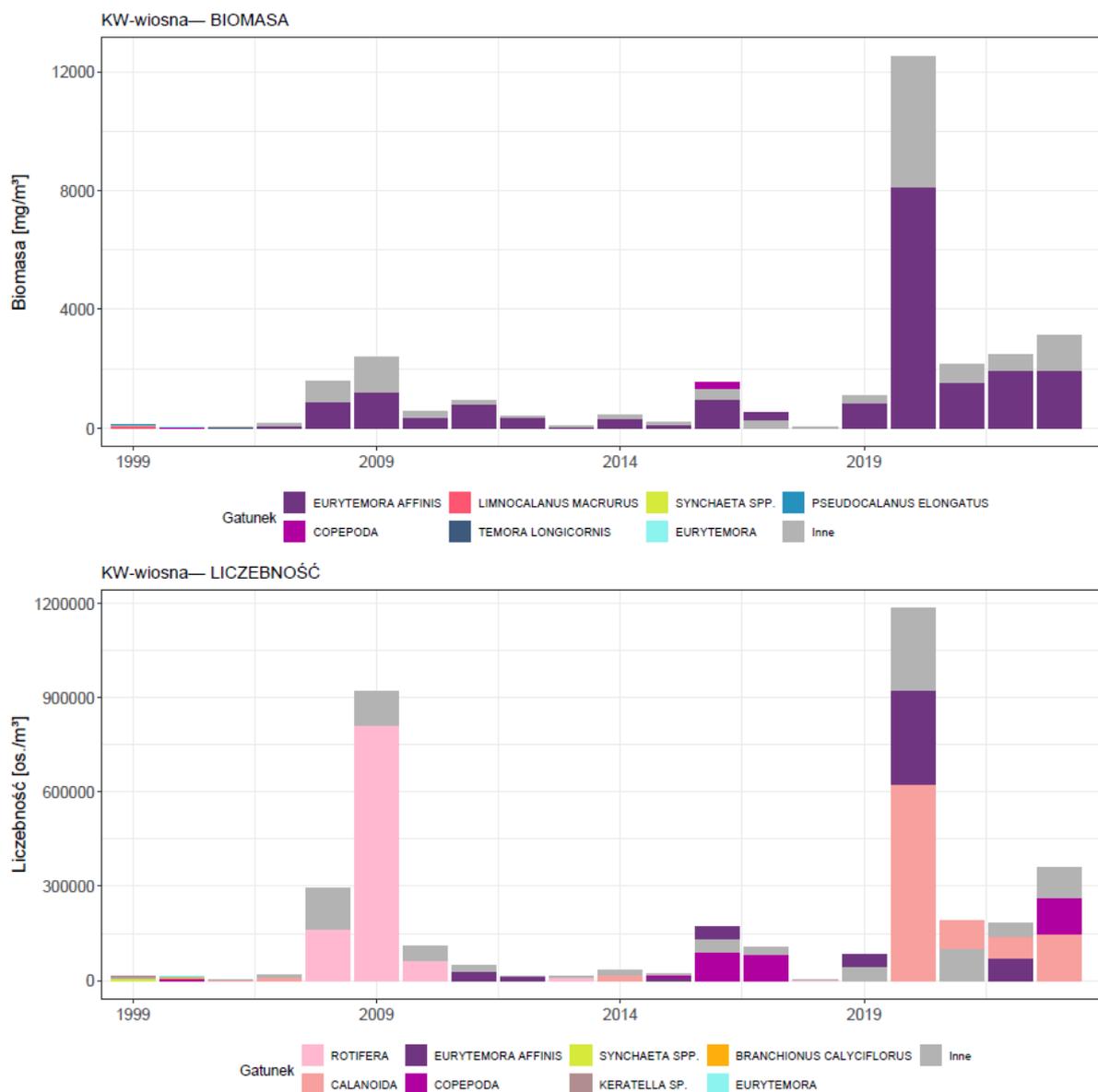
Rys. 21. Stacja L7 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



Rys. 22. Stacja ZP6 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



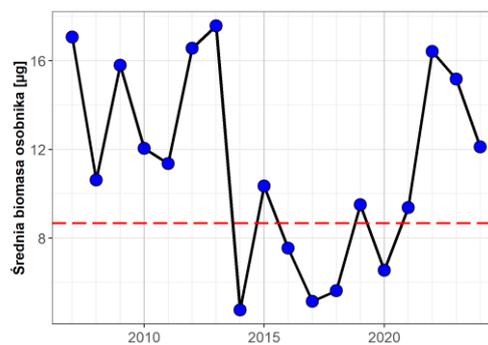
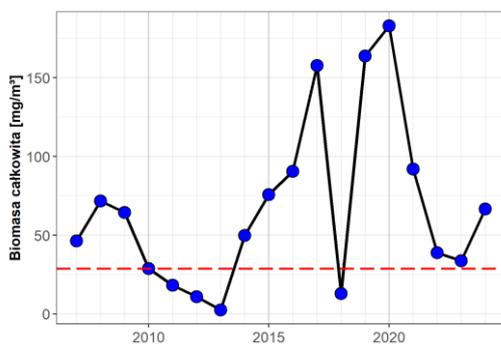
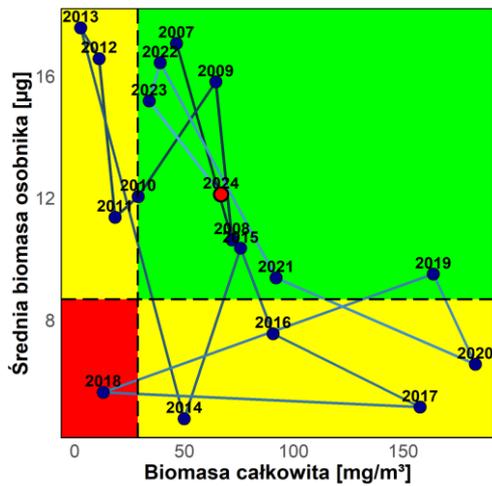
Rys. 23. Stacja P110 wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



Rys. 24. Stacja KW wiosną. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)

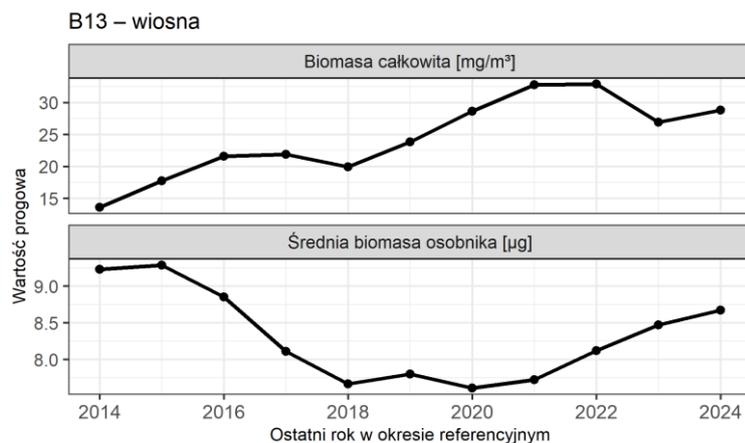
Od lat 2014 i 2015, na stacjach zlokalizowanych wzdłuż otwartej części Wybrzeża (B13, K6, P16, L7) obserwujemy znacznie wyższe liczebności wczesnych stadiów Copepoda (nauplii i copepoditów, zwykle nieoznaczanych do gatunku), które wcześniej nie miały tak dużego udziału w próbkach. Takiej charakterystyki nie widać na stacjach ostroniętych: ZP6 (Zatoka Pucka), P110 (Zatoka Gdańska) i KW (Zalew Wiślany).

Oceny dla wskaźnika MST5 dla okresu wiosennego dla poszczególnych stacji przybrzeżnych przedstawiono na kolejnych rysunkach. Ponieważ wartości progowe wyznaczano z całych szeregów czasowych (brak RefCon), wykonano także analizę ich zmienności w ostatniej dekadzie, aby ocenić wrażliwość ich wartości na włączenie kolejnych danych.

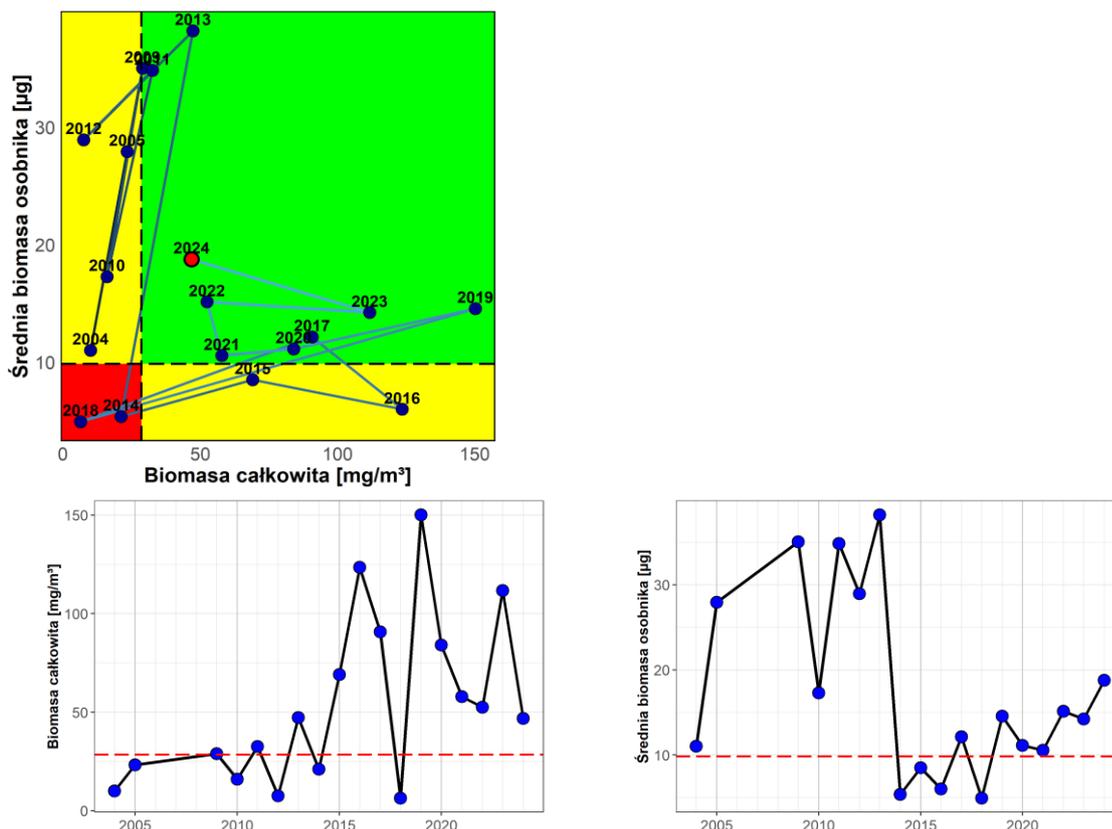


Rys. 25. Stacja B13 wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Analiza wsteczna prezentująca zmiany wartości progowych na stacji B13 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys. 26) wskazuje, że w przypadku średniej biomasy zmieniały się one o ponad 20% w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie, a różnice dla biomasy całkowitej przekraczały 140%.

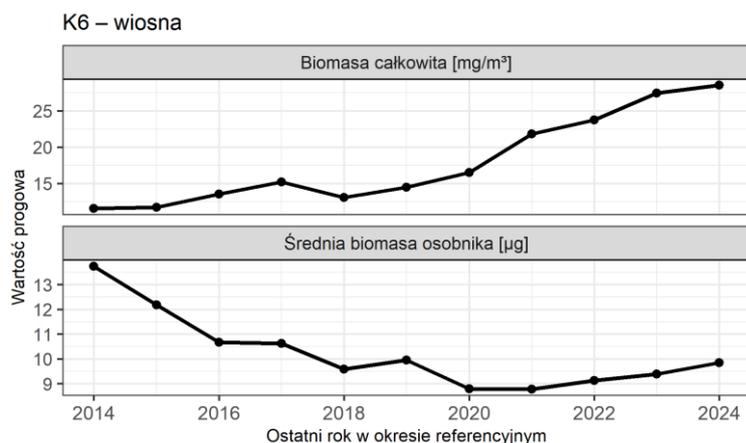


Rys. 26. Stacja B13 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

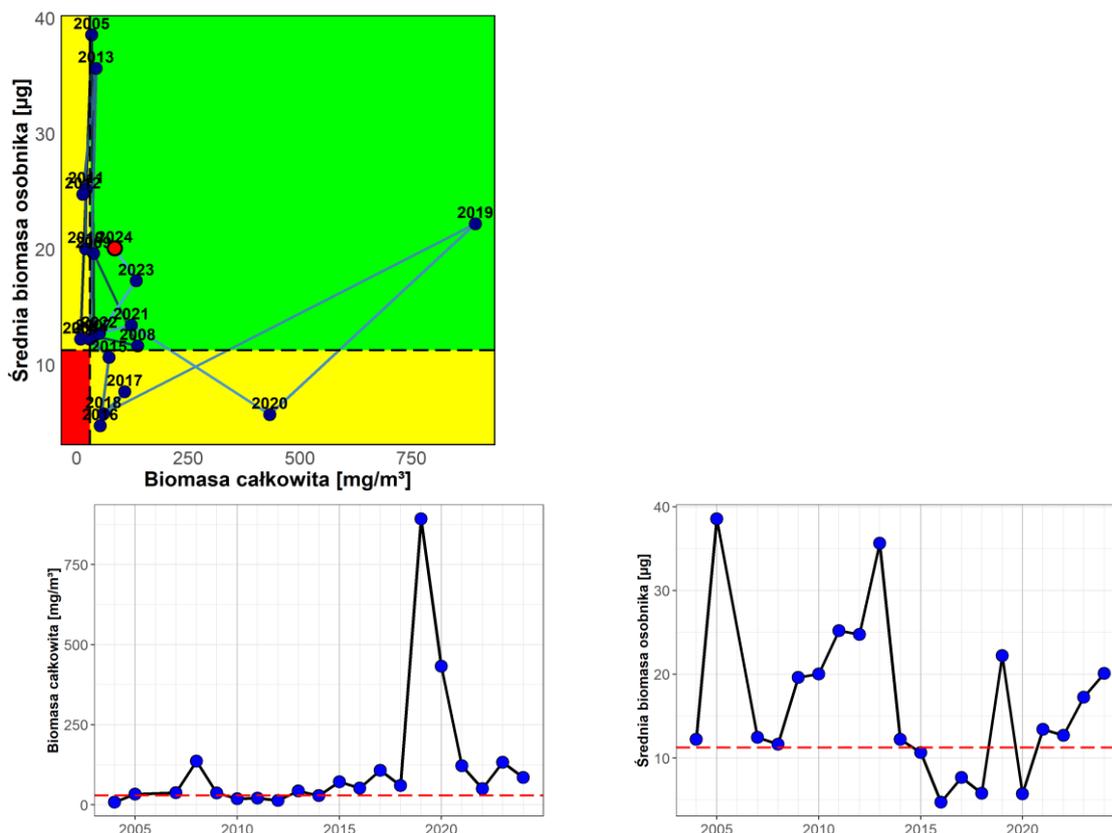


Rys. 27. Stacja K6 wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji K6 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys.28) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo duża i wynosiła ponad 56% i ponad 147% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

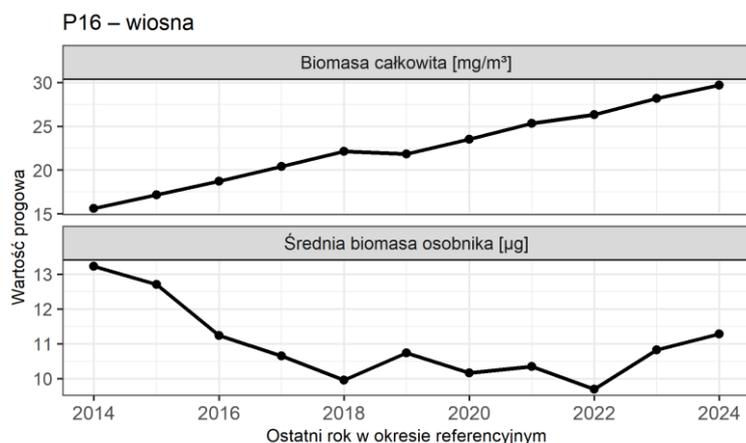


Rys. 28. Stacja K6 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

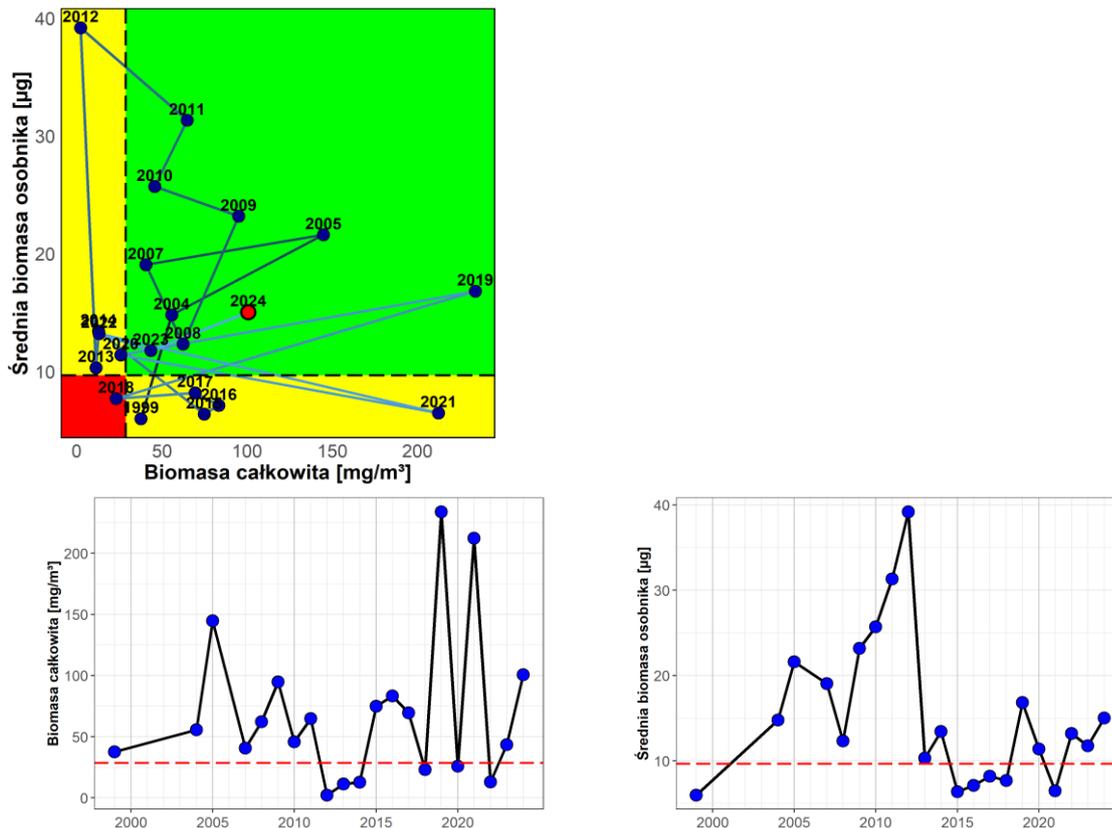


Rys. 29. Stacja P16 wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerywana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji P16 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys. 30) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo wysoka i wynosiła ponad 36% i ponad 90% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

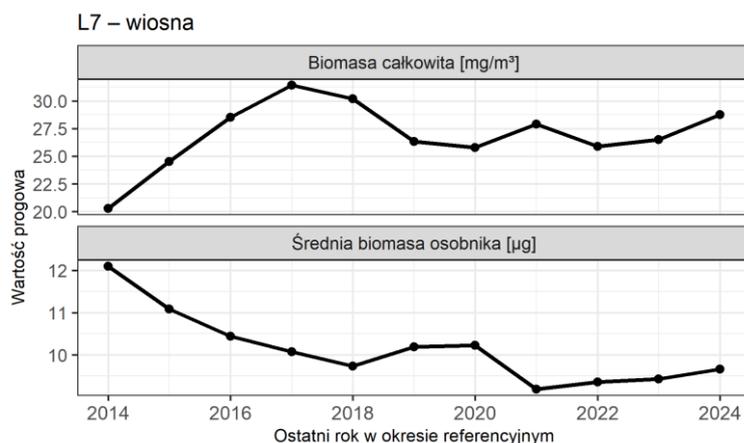


Rys. 30. Stacja P16 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

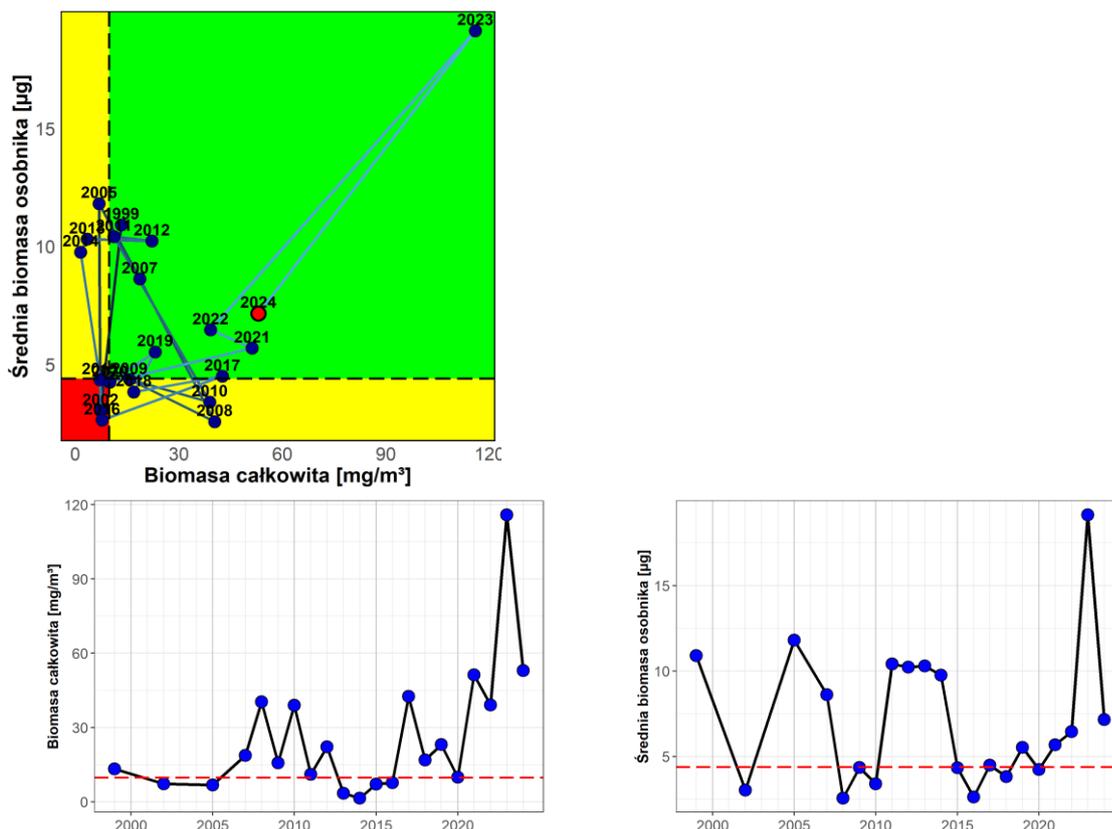


Rys. 31. Stacja L7 wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji L7 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys. 32) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo wysoka i wynosiła ponad 31% i prawie 55% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

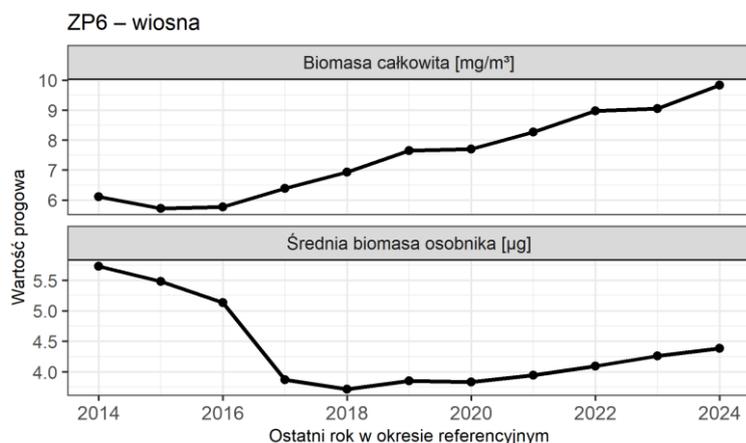


Rys. 32. Stacja L7 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

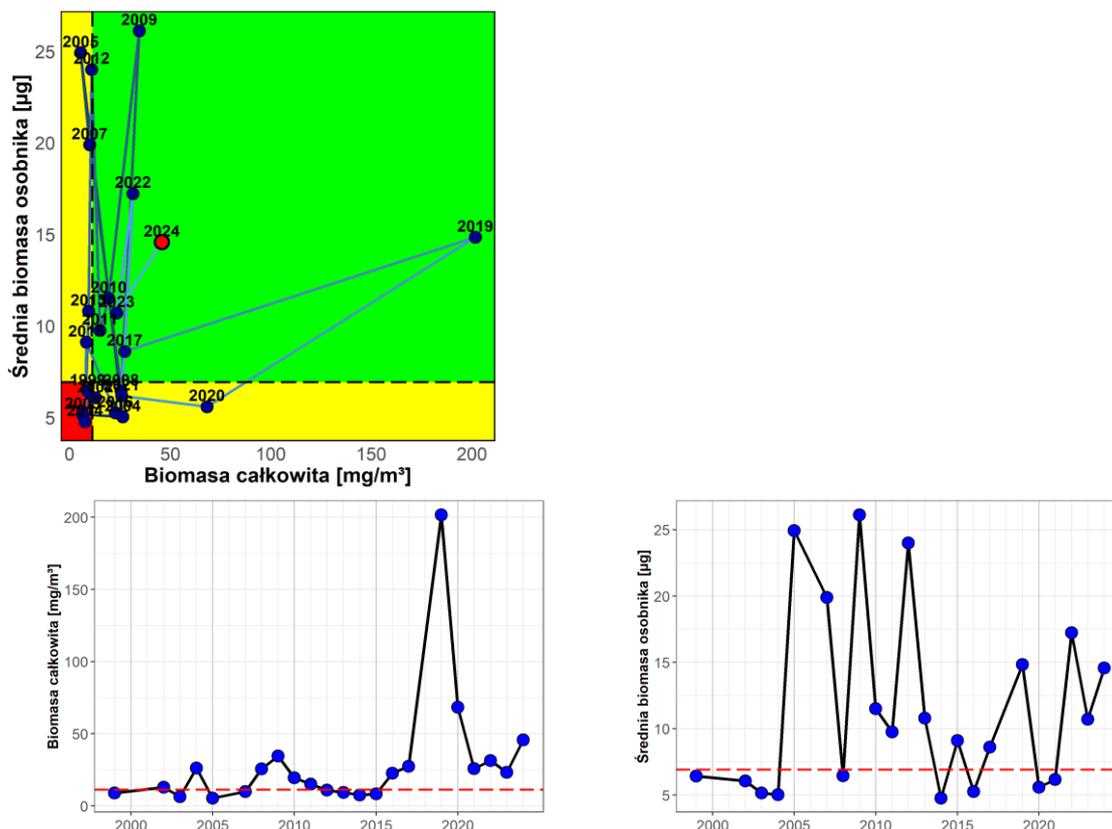


Rys. 33. Stacja ZP6 wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerywana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji ZP6 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys. 34) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo wysoka i wynosiła ponad 54% i ponad 72% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

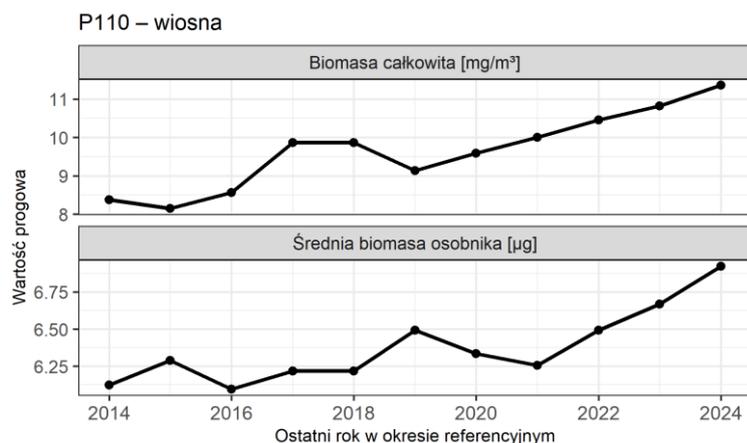


Rys. 34. Stacja ZP6 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

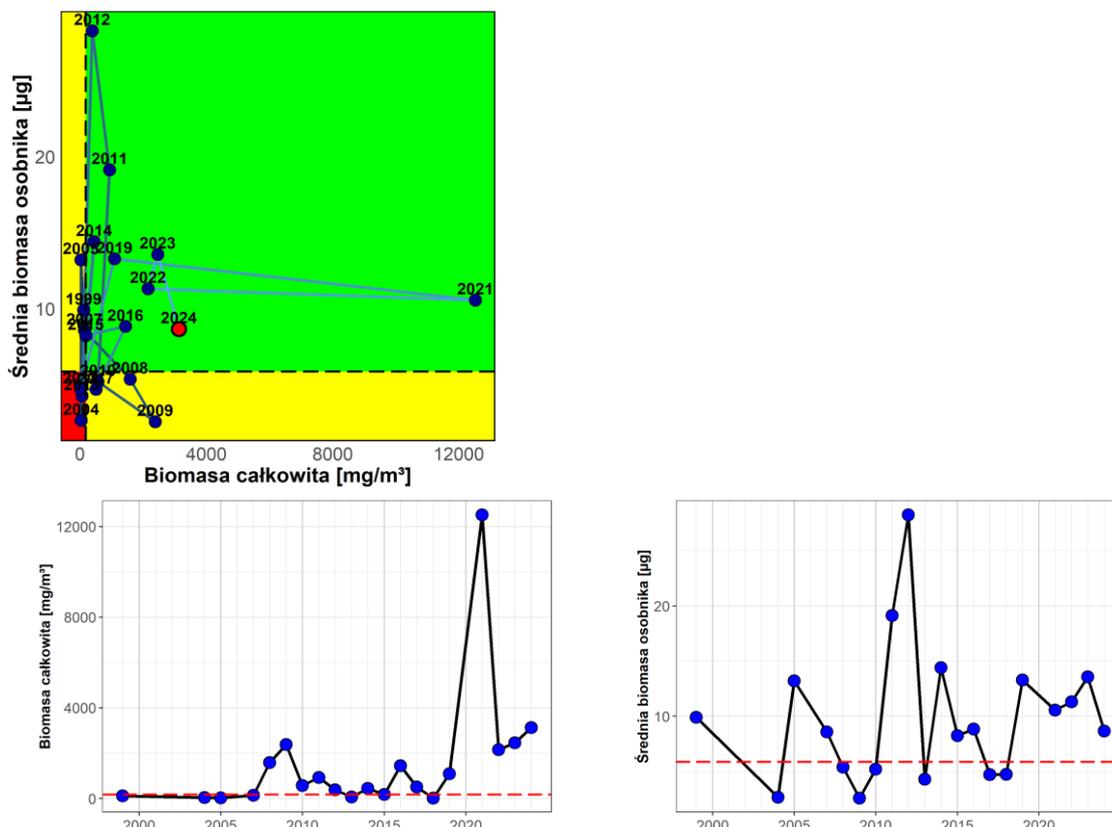


Rys. 35. Stacja P110 wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji P110 wiosną w ostatnich 10 latach (Rys. 36) wskazuje, że obserwowana zmienność była znacząco niższa niż na poprzednio analizowanych stacjach i wynosiła ponad 14% i niecałe 40% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

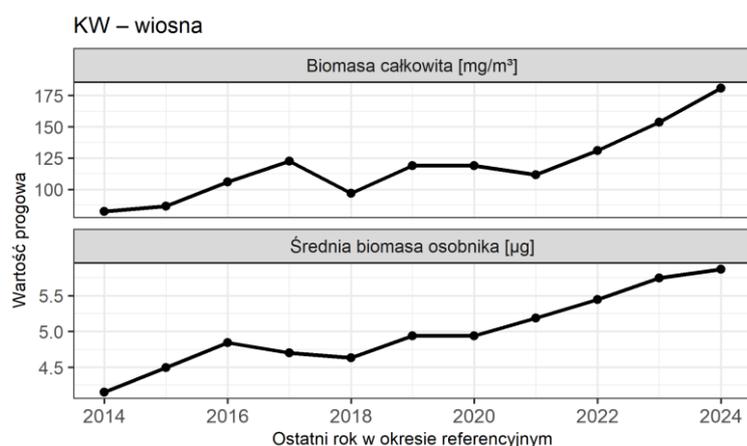


Rys. 36. Stacja P110 wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13



Rys. 37. Stacja KW wiosną. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji KW wiosną w ostatnich 10 latach (Rys. 38) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo wysoka i wynosiła ponad 41% i prawie 120% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.



Rys. 38. Stacja KW wiosną. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla biomasy całkowitej (TS) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

Testowe wyznaczenie wartości progowych na stacjach płytkowodnych dla okresu letniego

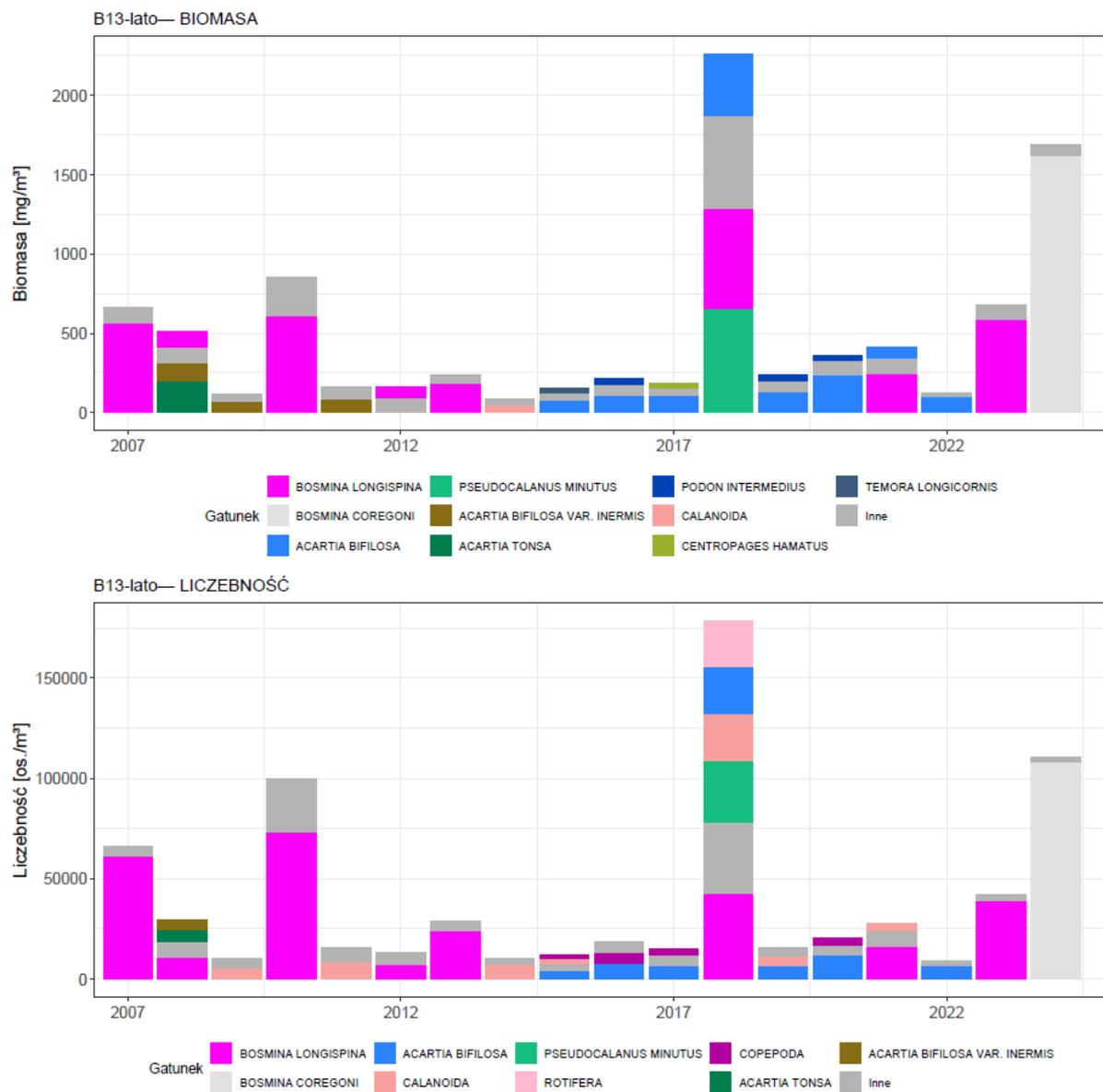
Na wszystkich siedmiu stacjach uwzględnionych w prezentowanych analizach (Tab. 6) warunki dla okresu letniego określono na podstawie próbek zbieranych w sierpniu, ze względu na największą kompletność danych. Wyjątek stanowi stacja KW (Zalew Wiślany), dla której najbardziej kompletny zestaw danych dotyczył września.

Tab. 6. Zestawienie wstępnych wartości progowych wyznaczonych jedynie na podstawie danych z Państwowego Monitoringu Środowiska dla poszczególnych stacji poddanych analizie

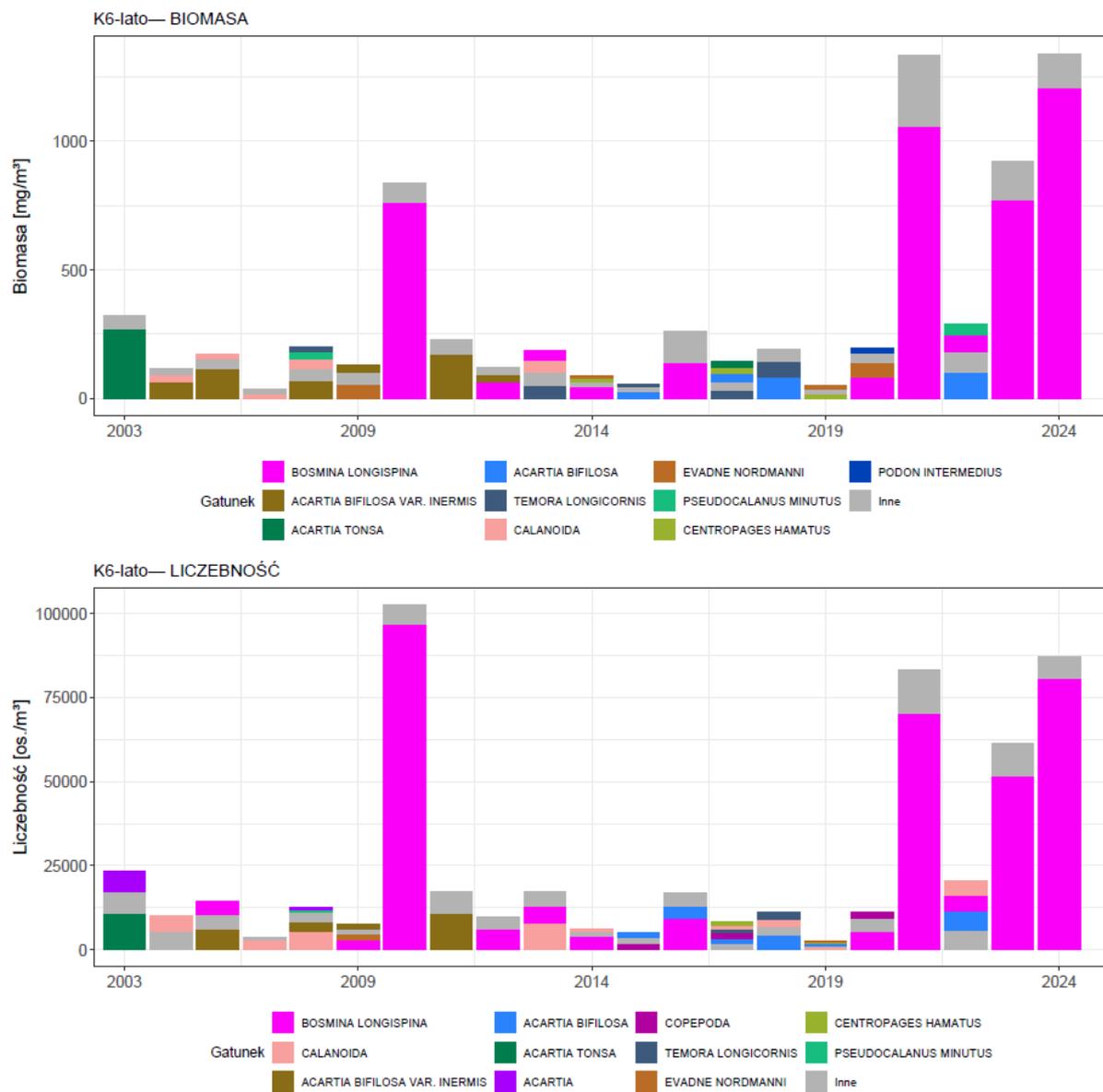
Nazwa stacji	Wartości progowe dla średniej wielkości organizmów (μg mokrej masy na osobnika) i całkowitej biomasy zooplanktonu (mg m^{-3})	Miesiąc poboru prób	Okresy referencyjne
B13	10.8 / 173	sierpień	cała seria czasowa
K6	12.4 / 112	sierpień	cała seria czasowa
P16	11.8 / 140	sierpień	cała seria czasowa
L7	12.0 / 233	sierpień	cała seria czasowa
ZP6	7.0 / 75	sierpień	cała seria czasowa
P110	13.0 / 308	sierpień	cała seria czasowa
KW	10.3 / 367	wrzesień	cała seria czasowa

Wyznaczone wartości progowe dla stacji zlokalizowanych wzdłuż zachodniej części otwartego wybrzeża (B13, K6 i P16) są do siebie zbliżone, zarówno dla średniej wielkości organizmów jak i dla całkowitej biomasy (Tab. 6). Wartość progowa dla średniej biomasy organizmów jest porównywalna także na pozostałych stacjach, z wyjątkiem stacji ZP6 na Zatoce Puckiej. Na tej stacji również wartość progowa dla całkowitej biomasy była znacznie niższa niż na pozostałych. Wyznaczone granice dobrego stanu dla całkowitej biomasy dla stacji zlokalizowanej na Zatoce Gdańskiej (P110) i na Zalewie Wiślanym (KW) były wyraźnie wyższe niż te dla pozostałych obszarów.

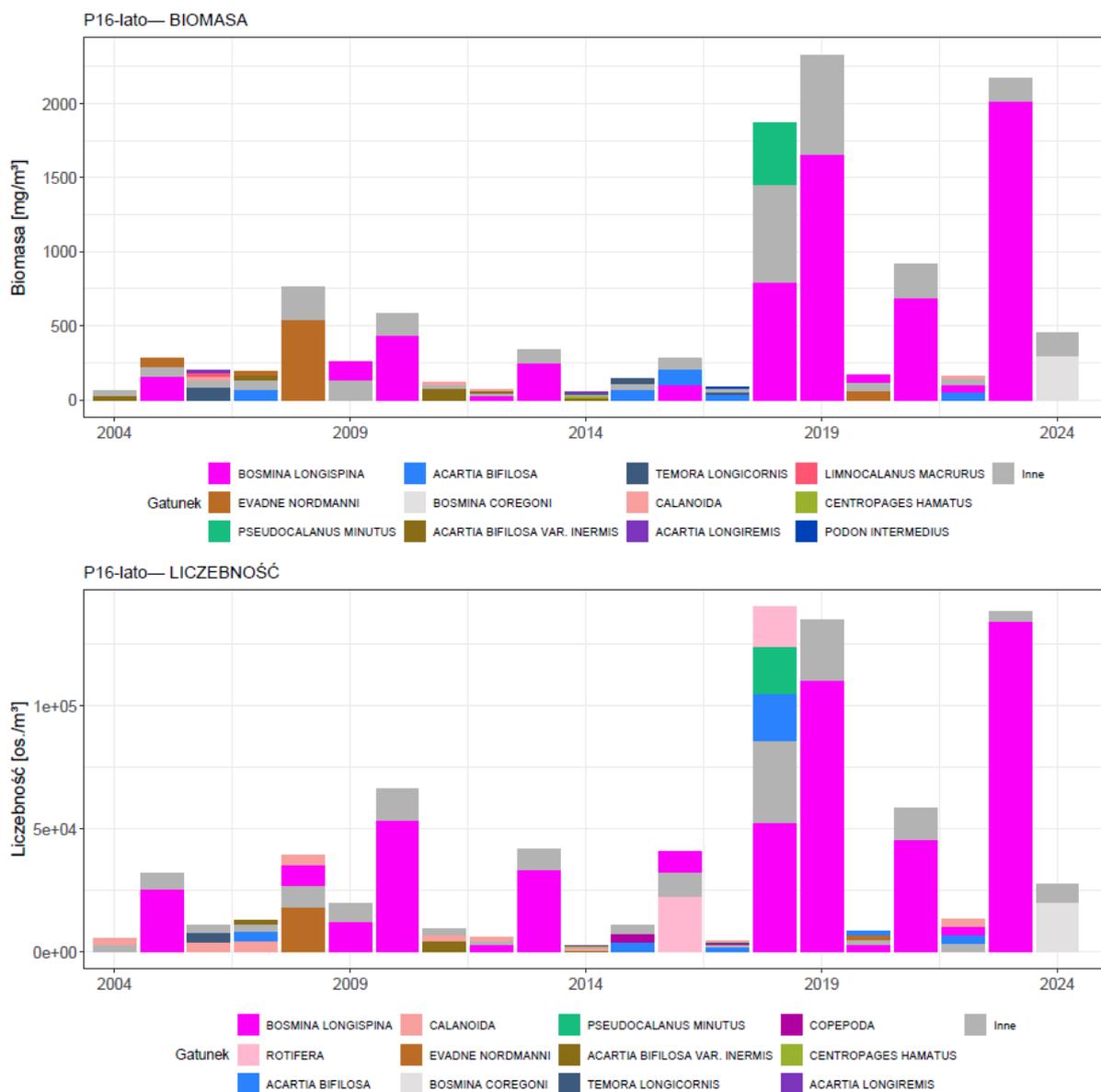
Latem zmienność liczebności i biomasy organizmów zooplanktonowych na stacjach przybrzeżnych wiąże się, przede wszystkim, z masowym pojawieniem się wioślarek z gatunku *Bosmina longispina* (Rys. 39-44). Wyjątek stanowi stacja KW (Zalew Wiślany), gdzie za zmienność pomiędzy poszczególnymi latami odpowiedzialne były widłonogi z gatunku *Eurytemora affinis* i wioślarki *Diaphanosoma brachyurum* (Rys. 45).



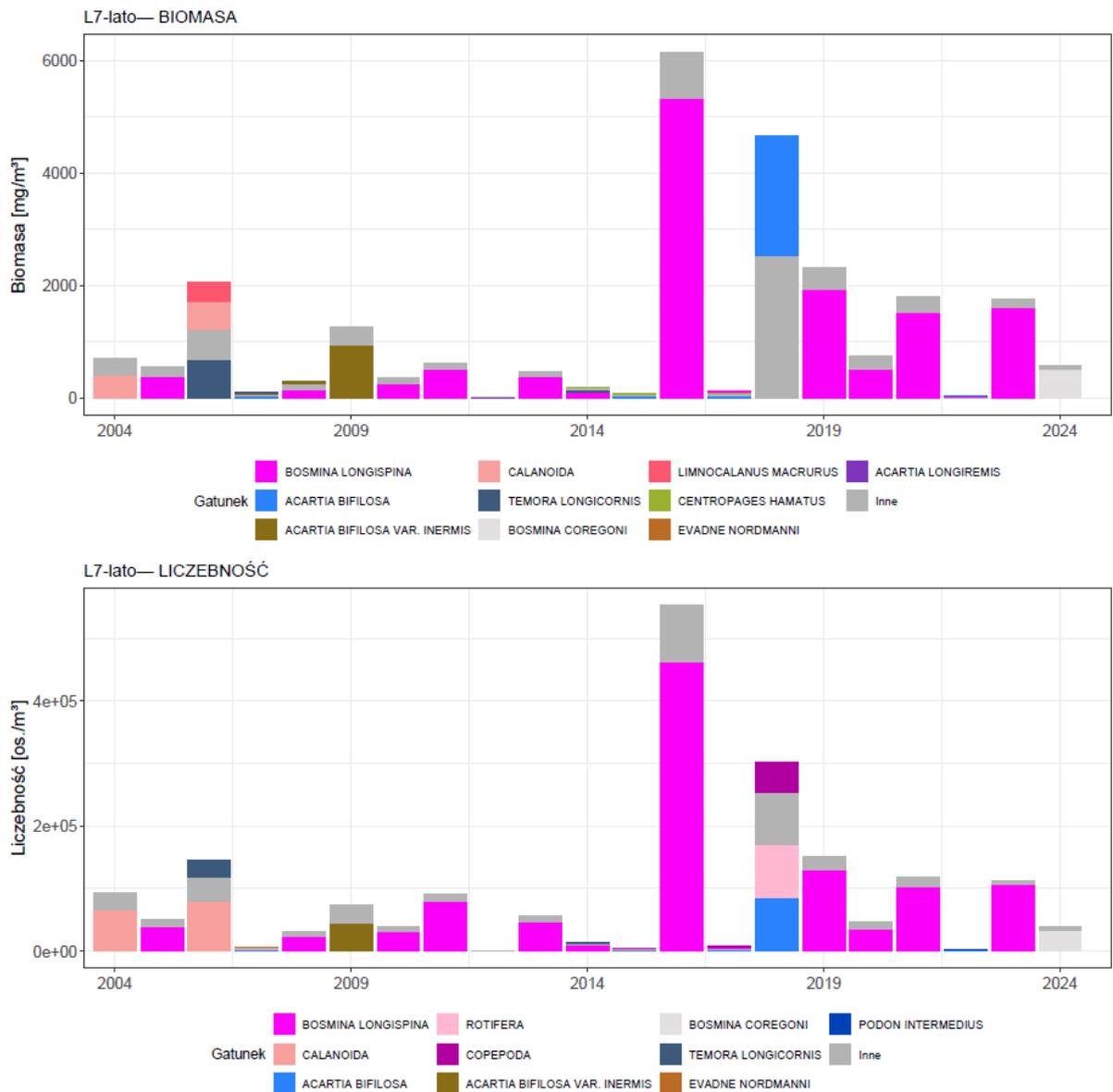
Rys. 39. Stacja B13 latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



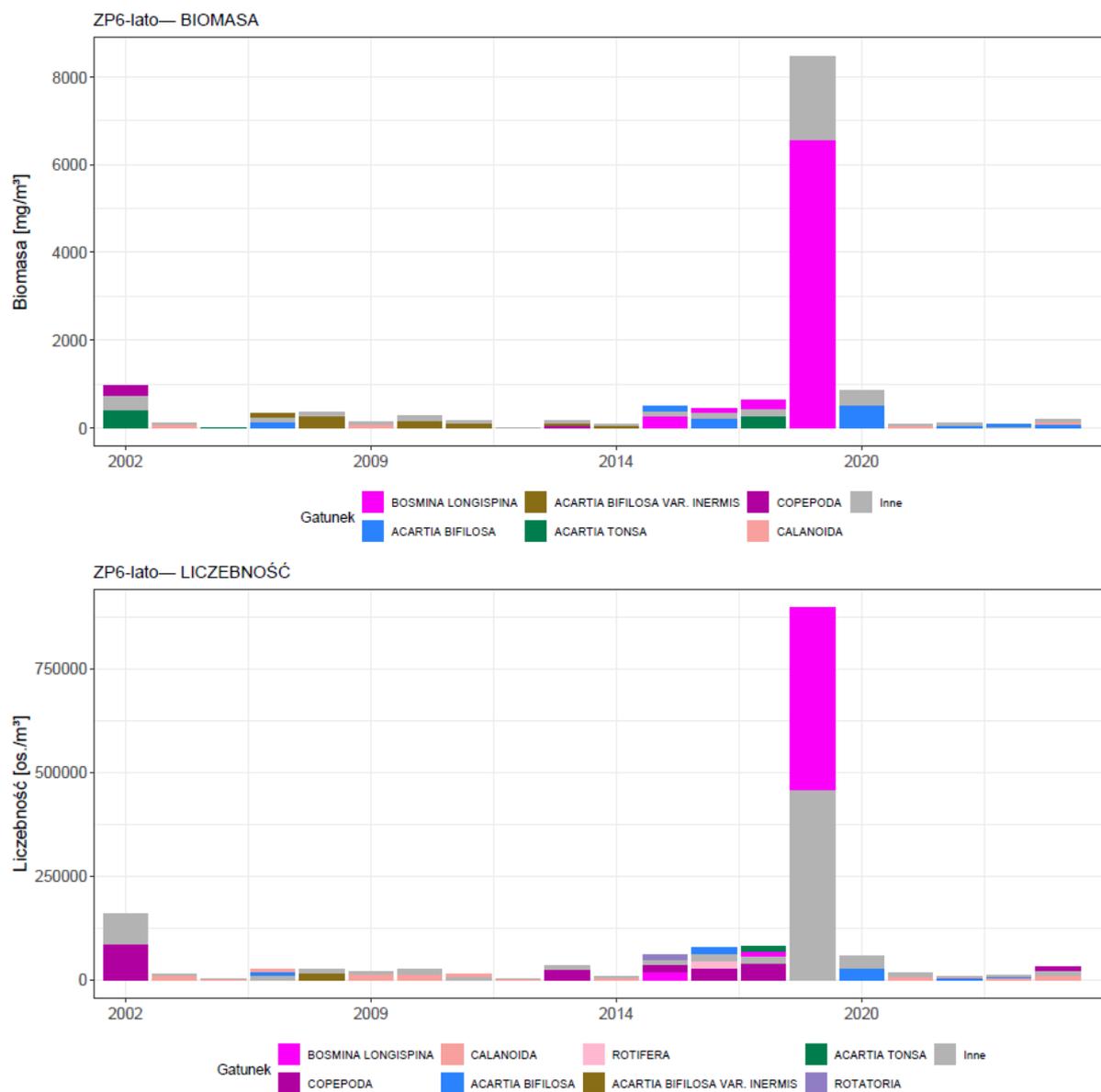
Rys. 40. Stacja K6 latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



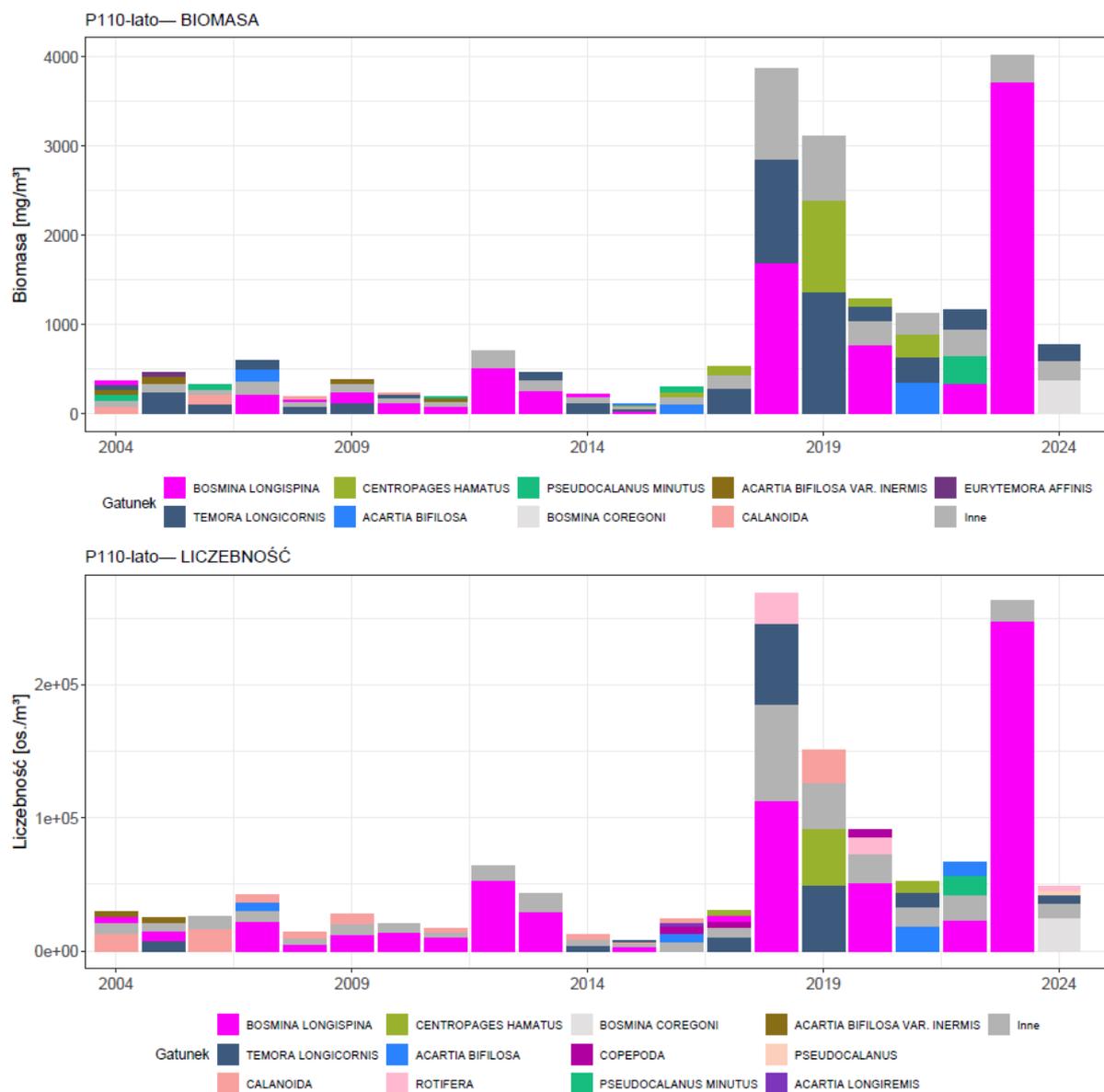
Rys. 41. Stacja P16 latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



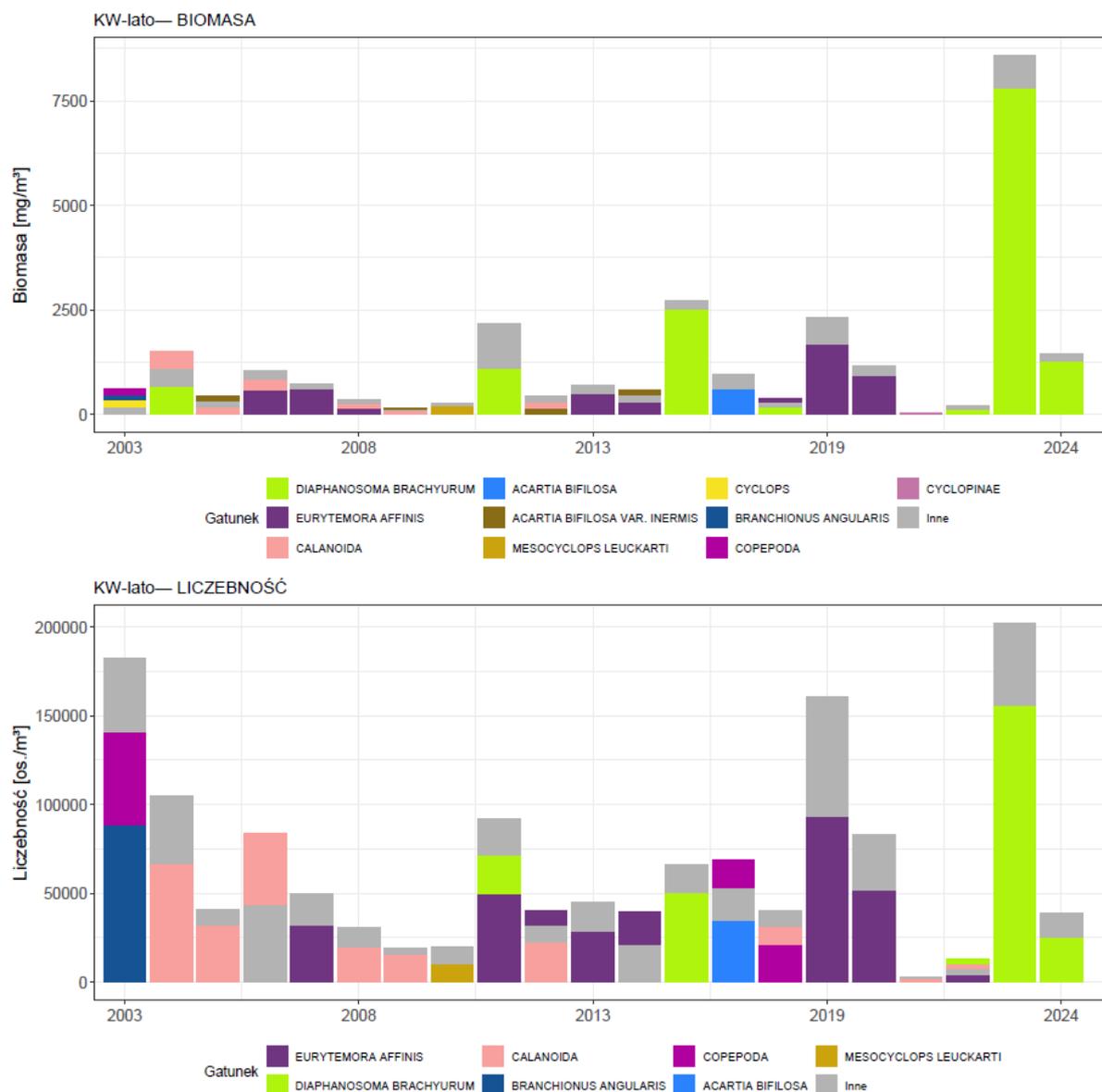
Rys. 42. Stacja L7 latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



Rys. 43. Stacja ZP6 latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)

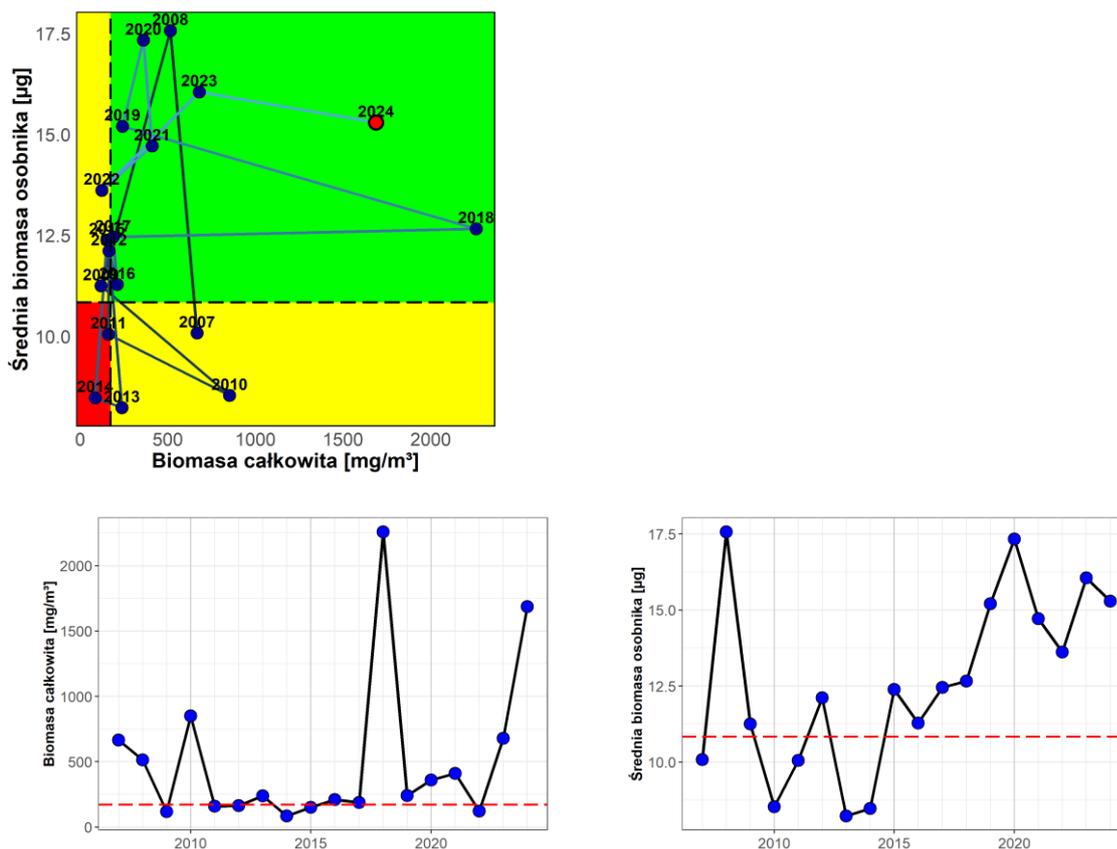


Rys. 44. Stacja P110 latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych)



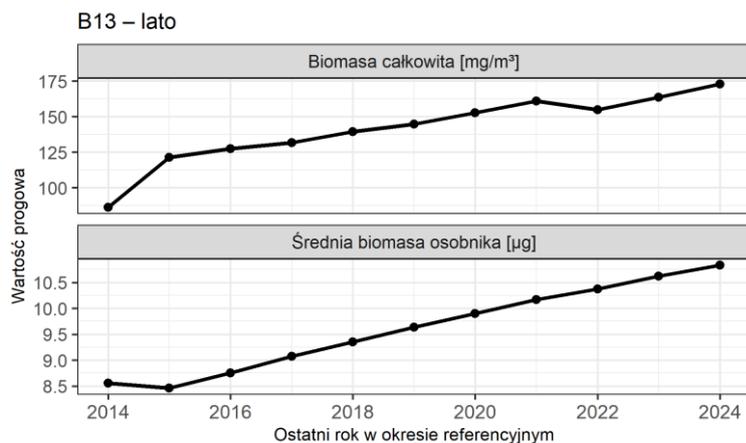
Rys. 45. Stacja KW latem. Zmienność biomasy i liczebności w poszczególnych latach, uwzględniająca taksony stanowiące 80% liczebności i biomasy w każdym roku (nazwy taksonów podano w takiej formie w jakiej występują w bazie danych).

Ocena stanu ekosystemu w zakresie wskaźnika MSTs dokonana na podstawie próbek zbieranych w wodach przybrzeżnych na poszczególnych stacjach latem została zaprezentowana na kolejnych rysunkach. Ponieważ, także w tym przypadku, wartości progowe wyznaczano z całych szeregów czasowych (brak okresów referencyjnych), przeprowadzono dodatkowo analizę zmienności ich wartości w ostatnich 10 latach, aby ocenić ich stabilność w czasie.

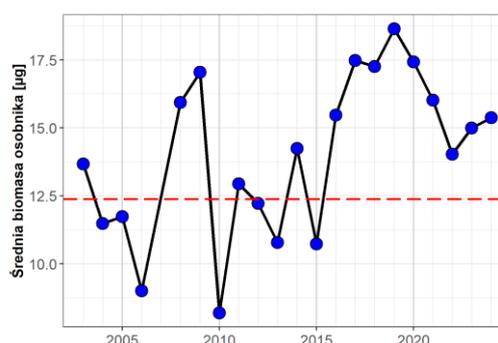
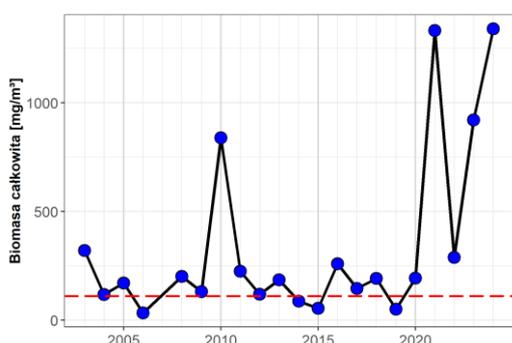
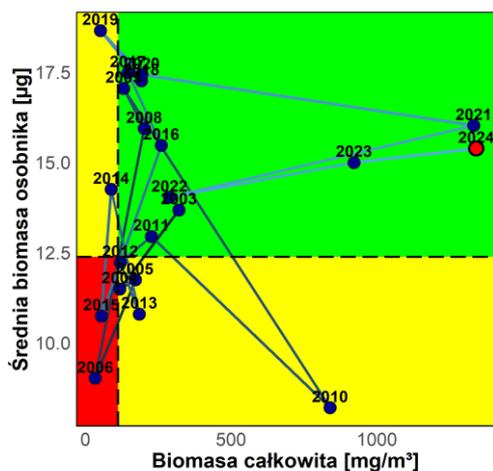


Rys. 46. Stacja B13 latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji B13 latem w ostatnich 10 latach (Rys. 47) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo wysoka i wynosiła ponad 28% i ponad 100% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

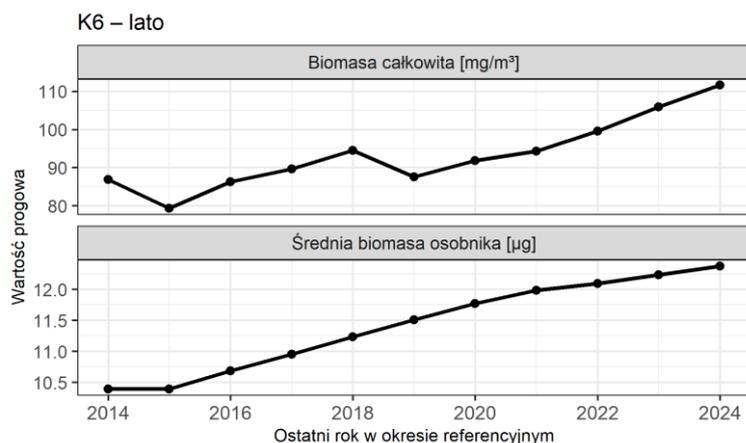


Rys. 47. Stacja B13 latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

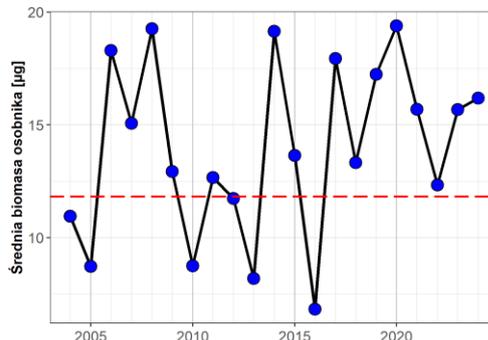
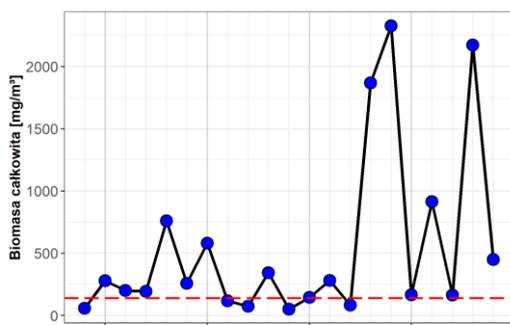
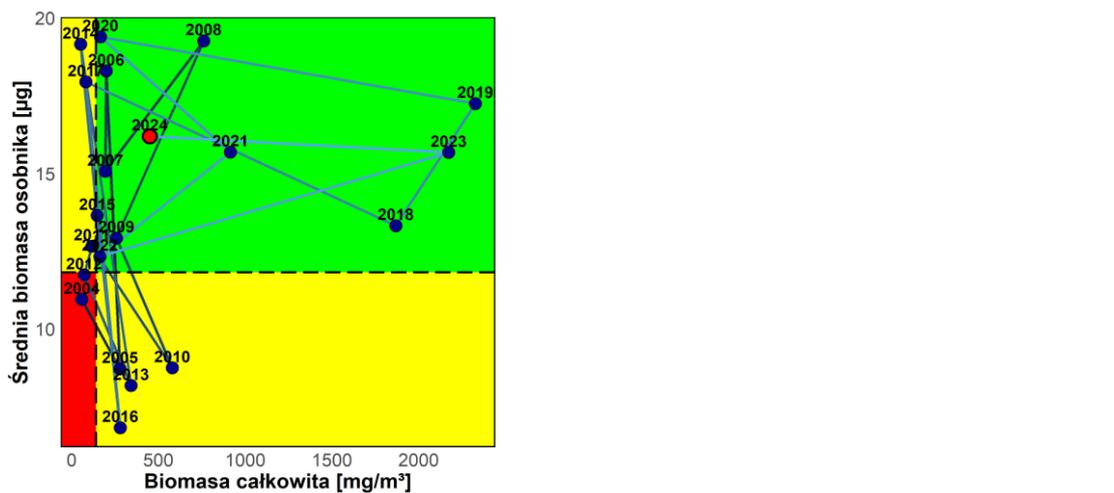


Rys. 48. Stacja K6 latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji K6 latem w ostatnich 10 latach (Rys. 49) wskazuje, że obserwowana zmienność była umiarkowana i wynosiła ponad 19% i ponad 40% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

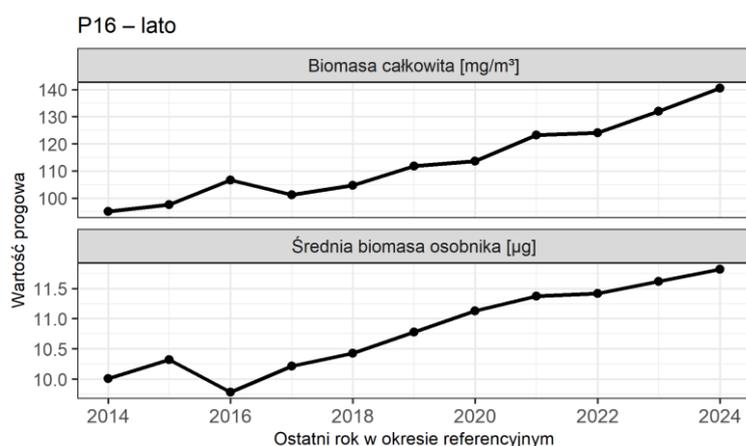


Rys. 49. Stacja K6 latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

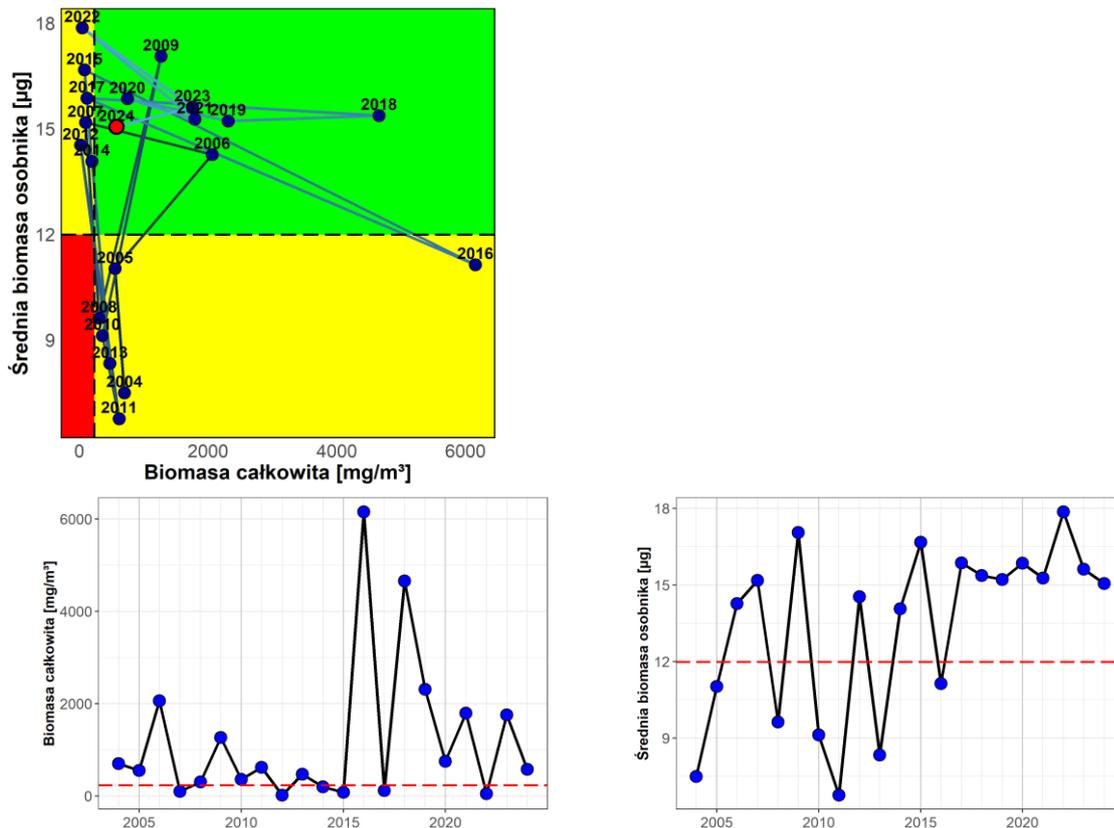


Rys. 50. Stacja P16 latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji P16 latem w ostatnich 10 latach (Rys. 51) wskazuje, że obserwowana zmienność była umiarkowana i wynosiła niecałe 21% i ponad 47% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

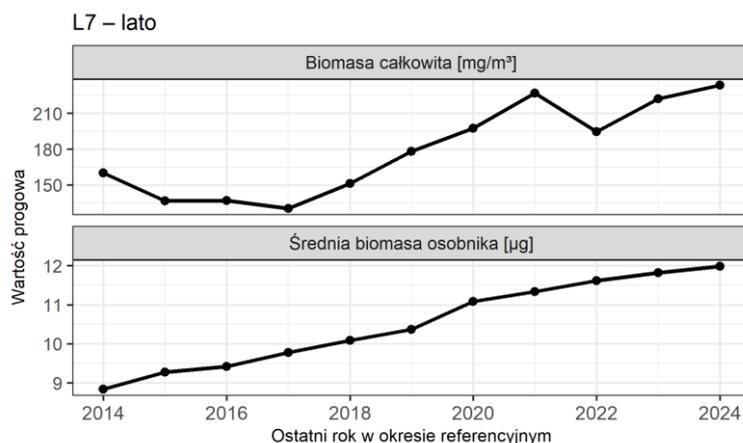


Rys. 51. Stacja P16 latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

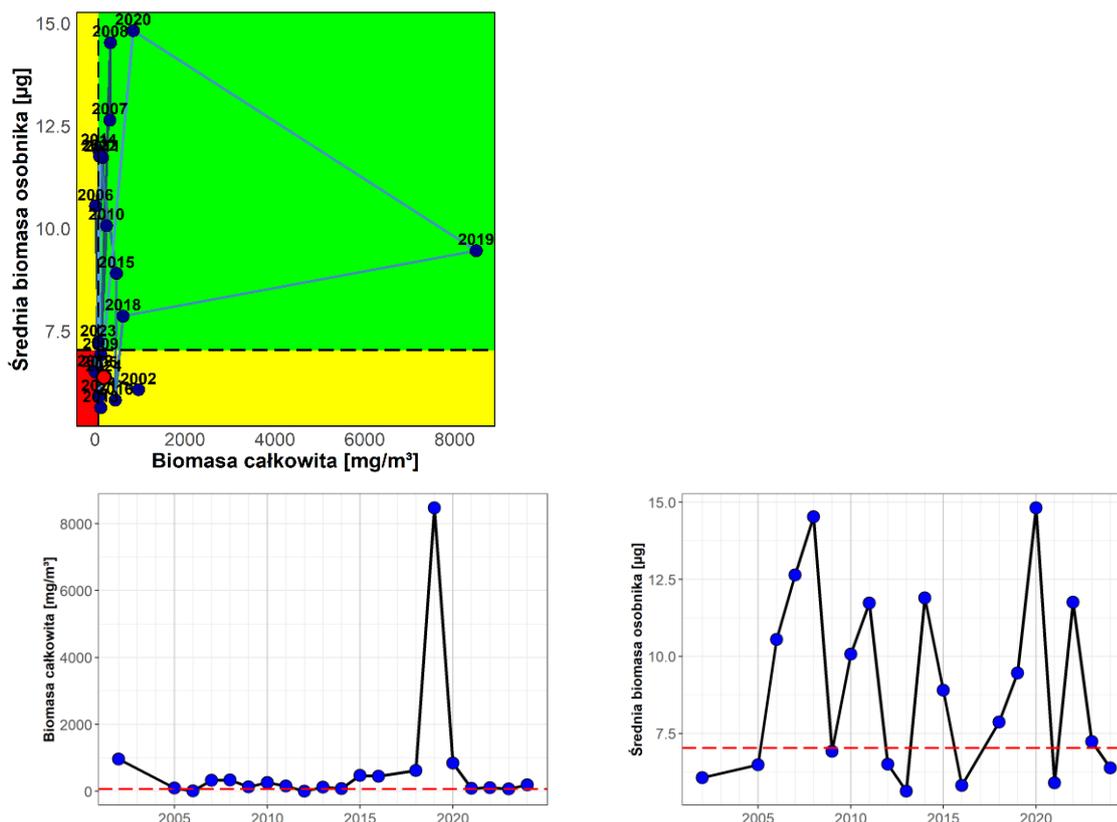


Rys. 52. Stacja L7 latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji L7 latem w ostatnich 10 latach (Rys. 53) wskazuje, że obserwowana zmienność była wysoka i wynosiła ponad 35% i ponad 79% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

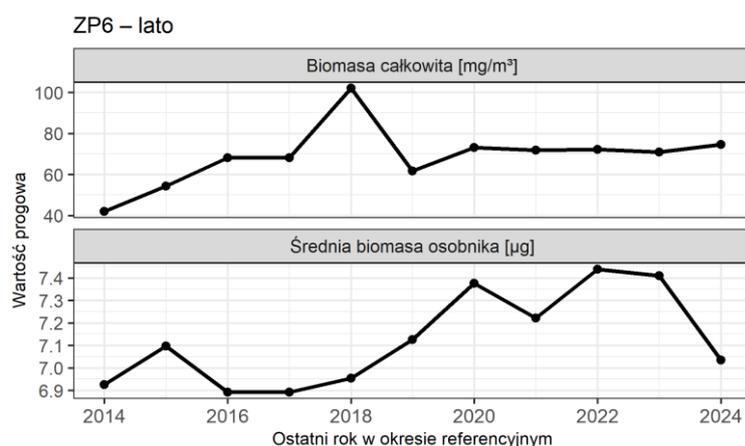


Rys. 53. Stacja L7 latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

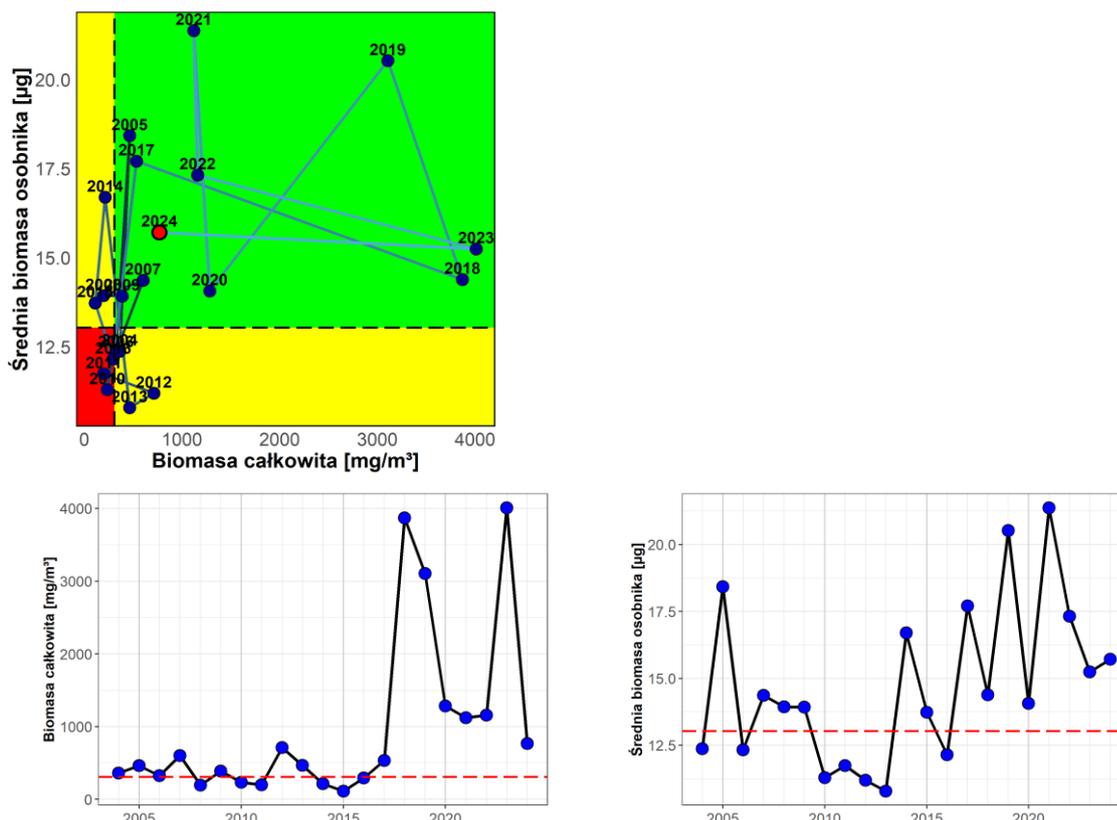


Rys. 54. Stacja ZP6 latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji ZP6 latem w ostatnich 10 latach (Rys. 55) wskazuje, że obserwowana zmienność była bardzo niska dla średniej biomasy (poniżej 8%) i bardzo wysoka dla biomasy całkowitej (ponad 143%) w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

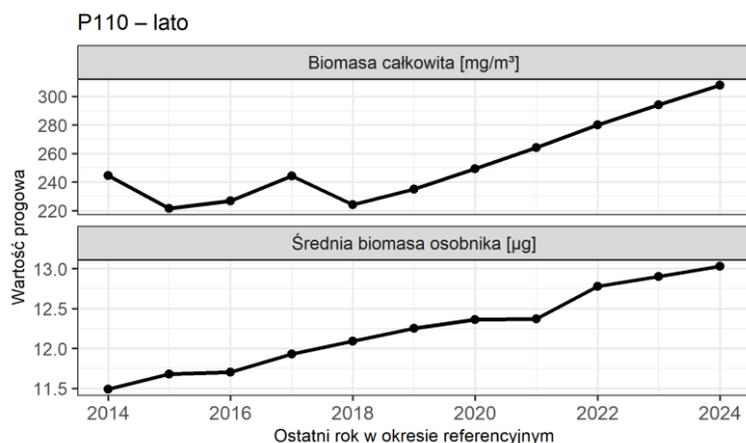


Rys. 55. Stacja ZP6 latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

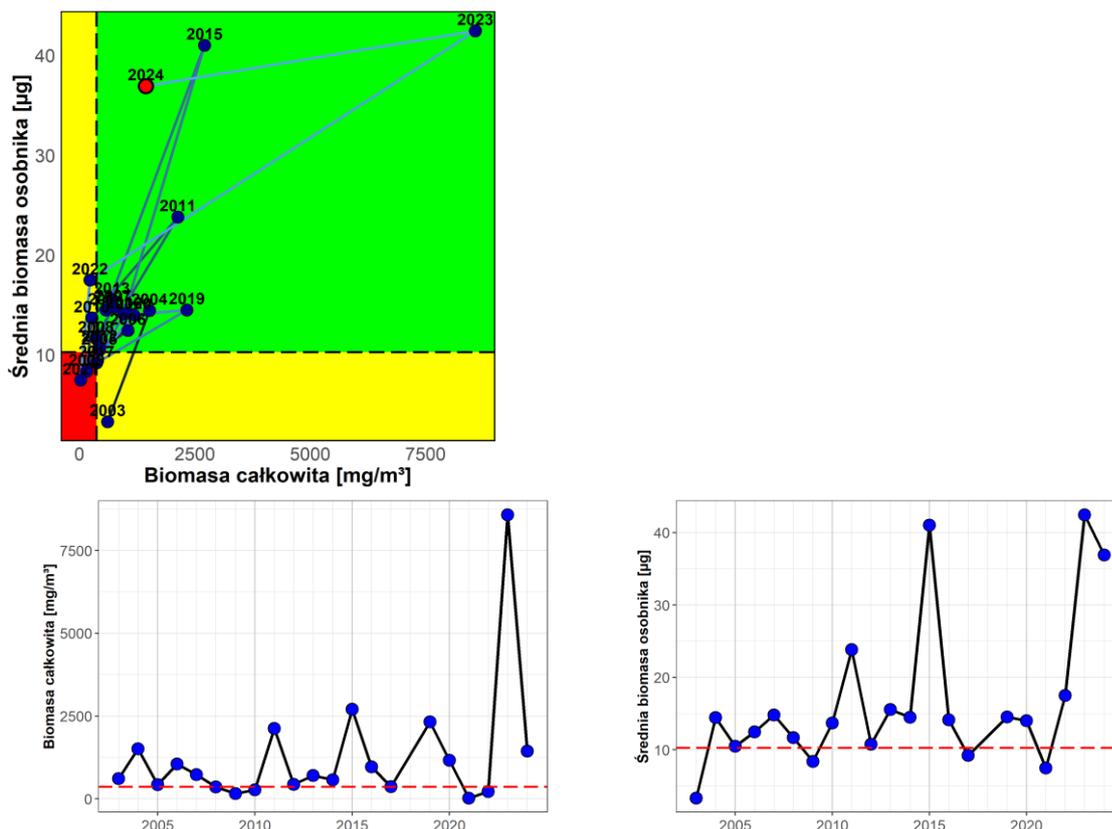


Rys. 56. Stacja P110 latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji P110 latem w ostatnich 10 latach (Rys. 57) wskazuje, że obserwowana zmienność była umiarkowana i wynosiła ponad 13% i nieco ponad 39% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.

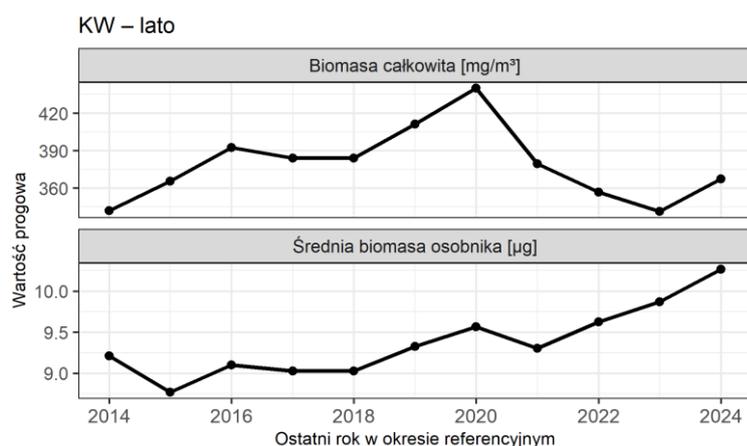


Rys. 57. Stacja P110 latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13



Rys. 58. Stacja KW latem. Średnią biomasę organizmów (MS) i całkowitą biomasę zooplanktonu (TS) wraz z odnośnymi wartościami progowymi wyznaczonymi dla całego zakresu danych (przerwana linia) dla obu zmiennych przedstawiono na rysunku górnym. Kolorem czerwonym oznaczono punkt dla danych z ostatniego roku uwzględnionego w analizach. Panele dolne prezentują wartości dla poszczególnych zmiennych osobno

Wsteczna analiza prezentująca zmiany wartości progowych na stacji KW latem w ostatnich 10 latach (Rys. 59) wskazuje, że obserwowana zmienność była umiarkowana i wynosiła ponad 17% i poniżej 29% odpowiednio dla średniej biomasy i biomasy całkowitej w odniesieniu do wartości minimalnej w tym okresie.



Rys. 59. Stacja KW latem. Rysunek prezentuje zmiany wartości progowych dla Biomasy (BIO) i średniej biomasy organizmów (MS) wyznaczone na podstawie całej dostępnej serii danych w danym roku. Szczegółowa interpretacja poszczególnych punktów została przedstawiona na Rys. 13

Podsumowanie i wnioski

Wskaźniki stanu środowiska stosowane na rzecz przeprowadzania oceny wód morskich zgodnie z wymaganiami Dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej (MSFD, 2008/56/WE), to zdefiniowane narzędzia, które w sposób ujednoczony i porównywalny opisują kondycję oraz trendy zmian zachodzących w ekosystemach morskich. Przede wszystkim jednak umożliwiają przeprowadzenie oceny czy doby stan środowiska (zgodnie z założoną definicją) został osiągnięty. Umożliwiają również spójne raportowanie wyników, co stanowi obowiązek państw członkowskich UE, z uwzględnieniem koordynacji i przeprowadzania ocen na poziomie regionalnym.

Zastosowanie wskaźników pozwala określić obszary, w których kryteria opisujące dobry stan środowiska nie zostały jeszcze spełnione, a także wskazać te, w których ocena podlega dużym zmianom. Wskaźniki, w powiązaniu z informacjami o istniejących presjach, mogą pozwolić na wskazanie tych najistotniejszych w zakresie ocenianego elementu ekosystemu, co może być podstawą przygotowania odpowiednich działań naprawczych.

Wskaźnik MSTs łączy średnią wielkość osobniczą zooplanktonu z całkowitą biomasą lub liczebnością i ocenia spełnienie progów wyznaczonych względem okresów referencyjnych (RefCon_{Chl}, RefCon_{Fish}). Gdy określenie okresów referencyjnych nie jest możliwe (np. dla krótkich serii czasowych na stacjach przybrzeżnych), stosuje się rozwiązanie zastępcze: wartości progowe wyznaczone ze wszystkich dostępnych danych. Istotne dla wiarygodności ocen z zastosowaniem MSTs jest precyzyjne i transparentne opisanie założeń metodycznych, w tym dotyczących odpowiedniego doboru okresów referencyjnych oraz analiz związanych z niepewnością uzyskiwanej za ich pomocą oceny.

W niniejszym opracowaniu przetestowano zastosowanie MSTs dla okresów wiosennego i letniego na stacjach głębokowodnych (P1, P5, P140) oraz przybrzeżnych (B13, K6, P16, L7, ZP6, P110, KW) na podstawie danych PMŚ. Wyznaczono wartości progowe na podstawie okresów referencyjnych, a tam, gdzie było to niemożliwe – ze wszystkich dostępnych danych. Dodatkowo przeprowadzono analizy wsteczne w ostatniej dekadzie, aby ocenić wrażliwość wartości progowych i oszacować ryzyko zmian ocen wynikających wyłącznie z aktualizacji serii czasowych. Wskazano także konieczność interkalibracji międzynarodowej oraz doprecyzowania procedur metodycznych dla obszarów i sezonów o większej zmienności.

Szczegółowe wnioski i rekomendacje przedstawiono poniżej:

1. Dobry wskaźnik powinien być stabilny i w sposób wiarygodny odzwierciedlać stan środowiska. Wskaźniki stanu środowiska są, z definicji, uproszczeniem i swego rodzaju 'chwilowym zdjęciem' zachodzących procesów ekologicznych a największym problemem związanym z ich zastosowaniem jest określenie warunków referencyjnych (Gorokhova et al. 2016). Analiza możliwości zastosowania wskaźnika MSTs potwierdza, że stabilna ocena obserwowanych zmian stanu środowiska możliwa była, przede wszystkim, w rejonach głębokowodnych, w okresie letnim, na podstawie ponad 40-letnich serii czasowych oraz możliwości określenia warunków progowych na podstawie przyjętych okresów referencyjnych.

2. Ocena dokonywana na podstawie wskaźnika dla poszczególnych rejonów czy basenów powinna uwzględniać próbki zbierane na tym obszarze przez wszystkie kraje w ramach programów monitoringowych. W takim przypadku konieczne jest przeprowadzenie interkalibracji i wyznaczenie wartości progowych na podstawie wszystkich dostępnych danych.
3. Ocena dokonana na podstawie wskaźnika MSTS, w okresie letnim, dla stacji głębokowodnych basenów Gdańskiego, Bornholmskiego i Wschodniego Gotlandzkiego, oparta na wartościach progowych wyznaczonych na podstawie okresów referencyjnych, potwierdziła stabilność ocen stanu środowiska.
4. Analogiczna ocena w okresie wiosennym wskazuje na problemy z zastosowaniem wartości progowych wyznaczonych na podstawie okresów referencyjnych. W przypadku Basenu Gdańskiego i Bornholmskiego wartości progowe wyznaczone na podstawie całego zakresu danych okazały się bardziej rygorystyczne niż te wyliczone na podstawie okresów referencyjnych.
5. Okres wiosenny, z definicji, jest znacznie bardziej uzależniony od zmienności fenologicznej pomiędzy poszczególnymi latami – opóźnień wynikających ze srogości poprzedzającej zimy lub masowego pojawienia się bardzo licznych, drobnych organizmów.
6. Wyznaczanie wartości progowych na podstawie wszystkich danych oznacza, że wartości te ulegają zmianie każdorazowo, po dodaniu do zbioru danych z kolejnego roku. Przeprowadzona analiza wsteczna pokazuje, jak zmieniałyby się wartości progowe na danej stacji w ostatnich 10 latach. W przypadku niektórych stacji obserwowano znaczące wahania tych wartości.
7. Serie czasowe na stacjach przybrzeżnych są za krótkie, aby wyznaczyć wartości progowe na podstawie okresów referencyjnych i w ich przypadku wartości te wyznaczono na podstawie wszystkich danych.
8. W przypadku trendu wzrostowego wartości progowych, punkty dla danego roku spełniające kryterium dobrego stanu dla wskaźnika w poprzednich latach, mogą ich nie spełniać w kolejnych, po zmianie wartości progowej. Odwrotnie, gdy obserwowany trend był spadkowy, punkty niespełniające kryterium, ale zlokalizowane blisko granicy, mogą zacząć spełniać kryterium dobrego stanu dla wskaźnika w kolejnych latach. Wpływa to na znacząco mniejszą stabilność oceny dokonywanej przy pomocy tej metody.
9. Zmienność liczebności i biomasy organizmów zooplanktonowych na stacjach przybrzeżnych latem wydaje się przede wszystkim uzależniona od masowego pojawienia się wioślarek z gatunku *Bosmina longispina*. Wyjątek stanowi stacja KW (Zalew Wiślany), gdzie za zmienność pomiędzy poszczególnymi latami odpowiedzialne były widłonogi z gatunku *Eurytemora affinis* i wioślarki *Diaphanosoma brachyurum*.
10. Dalszy rozwój i zastosowanie wskaźnika MSTS wymaga dyskusji metodycznej, zwłaszcza w kontekście wyznaczania wartości progowych, w rejonach i okresach charakteryzujących się większą zmiennością oraz brakiem możliwości zastosowania okresów referencyjnych a także konieczności przeprowadzenia ćwiczeń interkalibracyjnych, uwzględniających dane monitoringowe ze wszystkich krajów danego rejonu.

Literatura

- Gorokhova, E., Lehtiniemi, M., Postel, L., Rubene, G., Amid, C., Lesutiene, J., Uusitalo, L., et al. 2016. Indicator Properties of Baltic Zooplankton for Classification of Environmental Status within Marine Strategy Framework Directive. Plos One, 11.
- HELCOM, 2009. Eutrophication in the Baltic Sea – An integrated thematic assessment of the effects of nutrient enrichment and eutrophication in the Baltic Sea region. Baltic Sea Environment Proceedings. No. 115B. 152 pp.
- HELCOM, 2023. Zooplankton mean size and total stock. HELCOM core indicator report. 39 pp. online. Date Viewed: 2025-11-29, https://indicators.helcom.fi/wp-content/uploads/2023/04/Zooplankton-Mean-Size-and-Total-Stock_Final_April_2023-1.pdf
- HELCOM, 2017. State of the Baltic Sea - Second HELCOM holistic assessment 2011-2016. 155 pp. online. Date Viewed: 2025-11-29, https://stateofthebalticsea.helcom.fi/wp-content/uploads/2018/07/HELCOM_State-of-the-Baltic-Sea_Second-HELCOM-holistic-assessment-2011-2016.pdf
- HELCOM, 2023. State of the Baltic Sea. Third HELCOM holistic assessment 2016-2021. Baltic Sea Environment Proceedings n°194. 134 pp. online. Date Viewed: 2025-11-29, https://helcom.fi/post_type_publ/holas3_sobs
- Lewy, P., and Vinther, M. 2004. Modelling stochastic age-length-structured multi-species stock dynamics. ICES C.M. 2004/FF:20: 1-33.
- Meier, H. E. M., Andersson, H. C., Arheimer, B., Blenckner, T., Chubarenko, B., Donnelly, C., Eilola, K., et al. 2012. Comparing reconstructed past variations and future projections of the Baltic Sea ecosystem-first results from multi-model ensemble simulations. Environmental Research Letters, 7(3): 034005.

Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

ul. Kołłątaja 1, 81-332 Gdynia, tel: +48 587 356 232

www.mir.gdynia.pl | sekretariat@mir.gdynia.pl

ISBN 978-83-61650-41-6

