

WPŁYW AMONIAKU NA ROZWÓJ PRYMNESIUM PARVUM. ANALIZA DANYCH ŚRODOWISKOWYCH Z KANAŁU GLIWICKIEGO, TESTY LABORATORYJNE I TERENOWE

Redakcja:

Plan badań, nadzór merytoryczny, opracowanie wyników

dr inż. Łukasz Weber – Główny Specjalista Inżynierijno – Techniczny, IOŚ-PIB

Nadzór organizacyjny realizacji badań:

dr hab. inż. Krystian Szczepański

mgr Marek Kajs

mgr inż. Przemysław Daca

Badania – skala laboratoryjna

mgr inż. Łukasz Krawczyk – ZST-IOŚ Wrocław; koordynacja testów

mgr Paula Kuś – ZST-IOŚ Wrocław; badania w skali laboratoryjnej

prof. dr hab. Hanna Mazur Marzec – badania toksyn

dr hab. Agnieszka Pasztaleniec – oznaczenie liczebności *Prymnesium parvum*

Mirosław Cimoch – p.o. Kierownika Laboratorium, Centralne Laboratorium Analiz Środowiskowych, IOŚ-PIB

Badania terenowe – Etap I

GDOŚ – koordynacja: Andrzej Szweda – Lewandowski, Generalny Dyrektor Ochrony Środowiska

IOŚ-PIB – koordynacja merytoryczna: dr inż. Łukasz Weber, koordynacja organizacyjna mgr inż. Przemysław Daca

JSW SA – badania parametrów jakościowych – koordynacja: Aleksandra Burczyk, Dyrektor Biura Jakości

PGWIR SA – koordynacja zarządzania zbiornikami: Grzegorz Mrowiec, Kierownik działu eksploatacji systemów wodno–ściekowych

prof. dr hab. Hanna Mazur Marzec – badania toksyn i liczebności *Prymnesium parvum*

PSP Pszczyna

Badania terenowe – Etap II

RDOŚ Katowice – koordynacja: dr Mirosława Mierczyk - Sawicka, Regionalny Dyrektor Ochrony Środowiska

IOŚ-PIB – koordynacja merytoryczna: dr inż. Łukasz Weber, koordynacja organizacyjna mgr inż.

Przemysław Dąca

JSW S.A. – badania parametrów jakościowych – koordynacja: Aleksandra Burczyk, Dyrektor

Biura Jakości

PGWIR S.A. – koordynacja zarządzania zbiornikami: Grzegorz Mrowiec, Kierownik działu

eksploatacji systemów wodno–ściekowych

PSP Jastrzębie-Zdrój

GIOŚ – oznaczenie liczebności *Prymnesium parvum*

prof. dr hab. Hanna Mazur Marzec – badania toksyn

Warszawa, luty 2024 r.

Spis treści

Wstęp. Geneza podjęcia tematu	5
I. Zanik algi na Kanale Gliwickim na przełomie kwietnia/maja 2023. Analiza sytuacji w punktach: Marina Gliwice i Pyskowice	7
II. Wstępne testy laboratoryjne wpływu jonu amonowego na <i>Prymnesium parvum</i>	20
III. Badania terenowe – FAZA I	28
IV. Badania terenowe – FAZA II.....	43
V. Podsumowanie	51

Wstęp. Geneza podjęcia tematu

W 2023 roku GIOŚ prowadził szczegółowe badania poziomu *Prymnesium parvum* w wyznaczonych punktach na Kanale Gliwickim na rzece Odrze oraz w wybranych zbiornikach (starorzeczach).

Ilość *Prymnesium parvum* wyraźnie zmieniała się w ciągu całego roku, jednak szczególną uwagę zwrócił maj 2023 roku, w którym zaobserwowano wyraźny spadek liczebności algi w Kanale Gliwickim.

W toku spotkań Zespołu ds. sytuacji na rzece Odrze, spośród wskazywanych czynników zahamowania rozwoju i wycofania algi z Kanału w tym okresie wskazywano przede wszystkim intensywne opady i „przepłukanie” Kanału Gliwickiego, choć analiza przepływów rzeki Kłodnicy oraz śluzowań nie wskazywała na istotny wzrost przepływów wody.

Dodatkowo równolegle zaobserwowano zanik algi na śluzie Sławęcice podczas trwania jednego z eksperymentów z perhydrolem. Na potrzeby eksperymentu zamknięto wodę z algą w śluzie, ograniczając dopływ świeżej wody przed rozpoczęciem dozowania perhydrołu. Mimo to w ciągu kilku dni zaobserwowano zanik algi, w efekcie czego przed rozpoczęciem eksperymentu ilość *Prymnesium parvum* była znacząco niższa niż w tygodniach poprzedzających opisywany zanik.

Powyższe obserwacje pozwoliły postawić hipotezę, że w omawianym okresie (kwiecień/maj 2023) nastąpiła zmiana jakości wody w kierunku niekorzystnym dla *Prymnesium parvum*.

Analiza danych literaturowych wskazuje, że jednym ze związków chemicznych działających toksycznie na „złotą algę”, występującym w różnych stężeniach w wodzie powierzchniowej jest amoniak (NH_3), którego obecność świadczy o dopływie ścieków komunalnych, przemysłowych, a także napływie zanieczyszczeń pochodzenia rolniczego.

Dla *Prymnesium parvum* toksyczna jest forma niezjonizowana (NH_3), której stężenie zależy od odczynu wody.



Zgodnie z przedstawionym równaniem, im wyższy jest odczyn wody, tym więcej amoniaku występuje w formie niezjonizowanej (toksycznej dla algi). Przy pH na poziomie 9,25 blisko 50% amoniaku w wodzie występuje w formie niezjonizowanej.

W badaniach prowadzonych przez GIOŚ w poszczególnych punktach, w pierwszej połowie 2023 roku azot amonowy nie był badany. Analizowano jedynie azot Kjeldahla, który jest sumą azotu w formie amonowej oraz organicznego azotu aminowego. Tym samym na podstawie wartości azotu Kjeldahla nie można jednoznacznie rozstrzygnąć, ile amoniaku jest w wodzie (azot Kjeldahla jest pośrednią miarą wartości tego wskaźnika).

Amoniak w formie zjonizowanej (jon amonowy) w warunkach naturalnych podlega biologicznemu procesowi nitryfikacji, realizowanej przez bakterie *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*. W procesie nitryfikacji jon amonowy jest przekształcany w azotyny i azotany, które następnie stanowią bezpośrednie źródło azotu – m.in. dla fitoplanktonu.

Na szybkość nitryfikacji wpływ ma przede wszystkim temperatura (im wyższa, tym szybsza przemiana amoniaku w azotany), ale także zasolenie (proces nitryfikacji spowalnia przy wyższym zasoleniu).

Liczne badania prowadzone na świecie wskazują na wyraźny wpływ na wzrost *Prymnesium parvum*. Wskazano [*An Effective Minimum Concentration of Un-ionized Ammonia Nitrogen for Controlling Prymnesium parvum* Aaron Barkoh, Dennis G. Smith, J. Warren Schlechte North American Journal of Aquaculture, 2011], że minimalne stężenie niezjonizowanego azotu amonowego potrzebne do zabicia glonów *Prymnesium parvum* w ciągu 24–48 godzin wynoszą już 0,17 mg/l i pozwalają na eliminację glonów z efektywnością 80%. Efektywność zależy jednak ściśle od odczynu wody. W omawianym przypadku do likwidacji zakwitów wykorzystywano siarczan amonu, wprowadzany do wody badanego zbiornika.

W przypadku wód Kanału Gliwickiego źródłem związków amoniaku mogą być:

- ścieki komunalne (oczyszczone i nieoczyszczone, w tym również ścieki z przelewów burzowych, przy intensywnych opadach),
- ścieki przemysłowe (oczyszczone i nieoczyszczone – nielegalnie zrzucane do wód Kanału),
- zanieczyszczenia rolnicze (nawozy).

W monitoringu Odry i dorzecza, jak wspomniano wcześniej, bada się przede wszystkim azot Kjeldahla, który pośrednio informuje o zawartości azotu amonowego. W dużym uproszczeniu można przyjąć, że wzrost poziomu azotu Kjeldahla będzie korelował ze wzrostem stężenia azotu amonowego, który w zależności od odczynu, będzie występował w formie jonu amonowego lub (przy wyższych odczynach) w formie toksycznego dla *Prymnesium parvum* amoniaku.

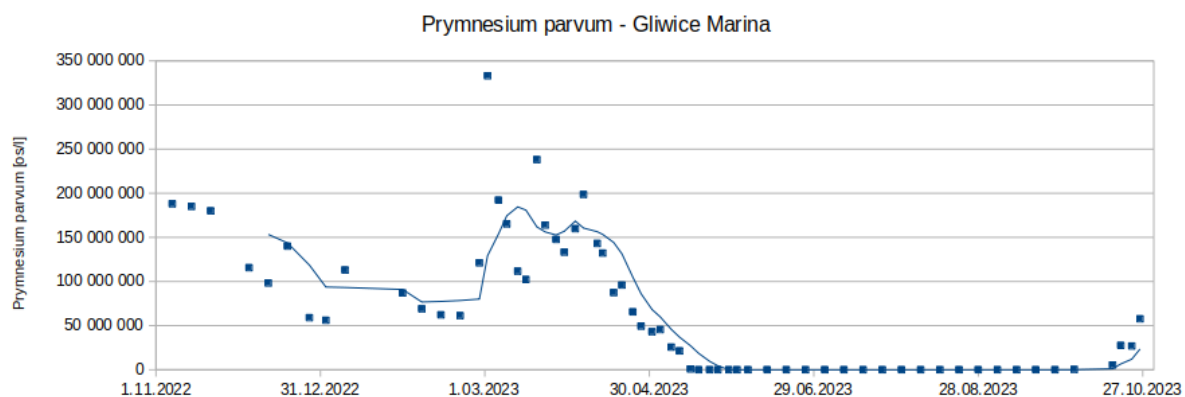
I. Zanik algi na Kanale Gliwickim na przełomie kwietnia/maja 2023. Analiza sytuacji w punktach: Marina Gliwice i Pyskowice

Analizując sytuację na Kanale Gliwickim opisano wyniki dwóch punktów monitorowanych systematycznie przez GIOŚ.

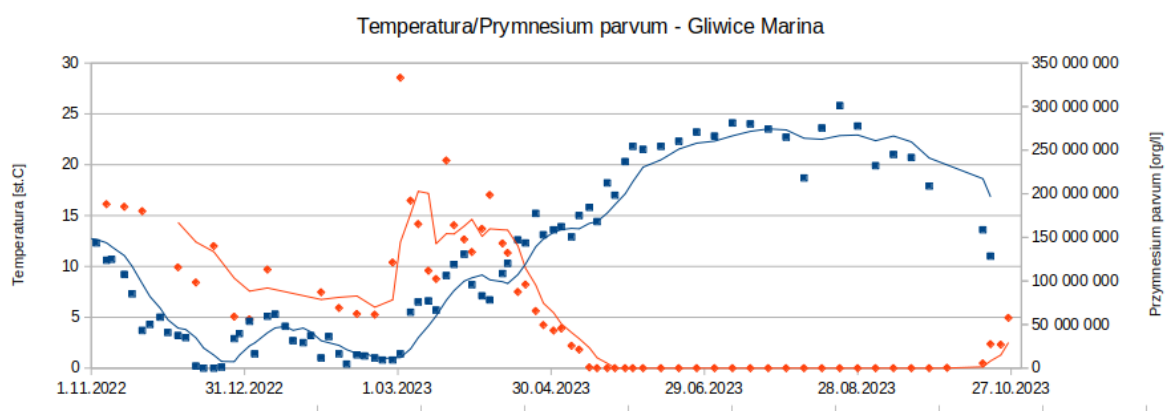
Punkt badawczy opisywany jako „Gliwice – Marina” został zlokalizowany w sekcji VI Kanału Gliwickiego – powyżej śluzy Łabędy. Kanał w tej sekcji zasilany jest częściowo wodą z Kłodnicy (głównie w ilości zależnej od potrzeb wynikających ze śluzowań), a także częściowo z Potoku Leśnego.

Poniżej przeanalizowano rozwój *Prymnesium parvum* w tej sekcji, a także wartości badanych parametrów fizykochemicznych.

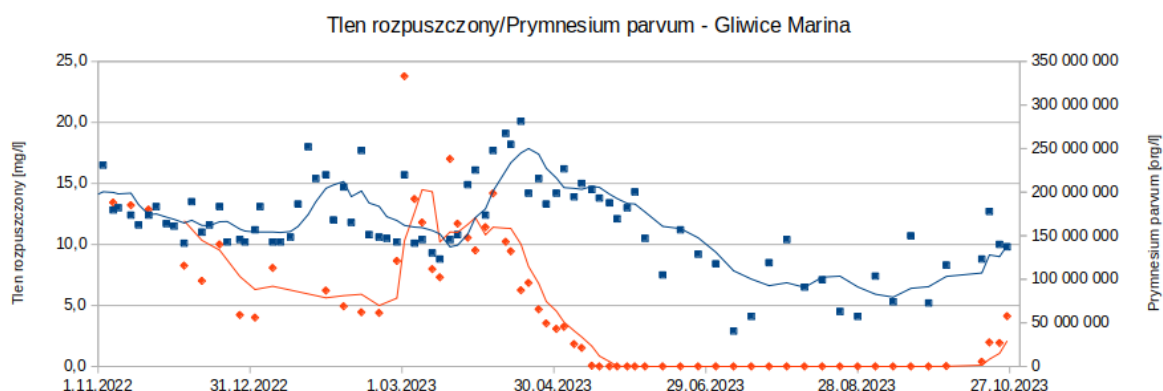
Wykres 1. Liczebność *Prymnesium parvum* w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



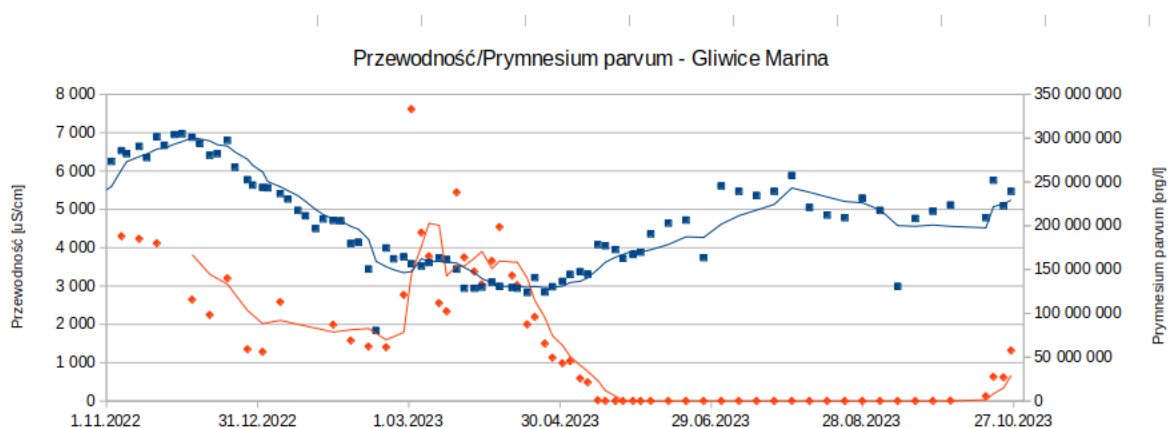
Wykres 2. Temperatury wody (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



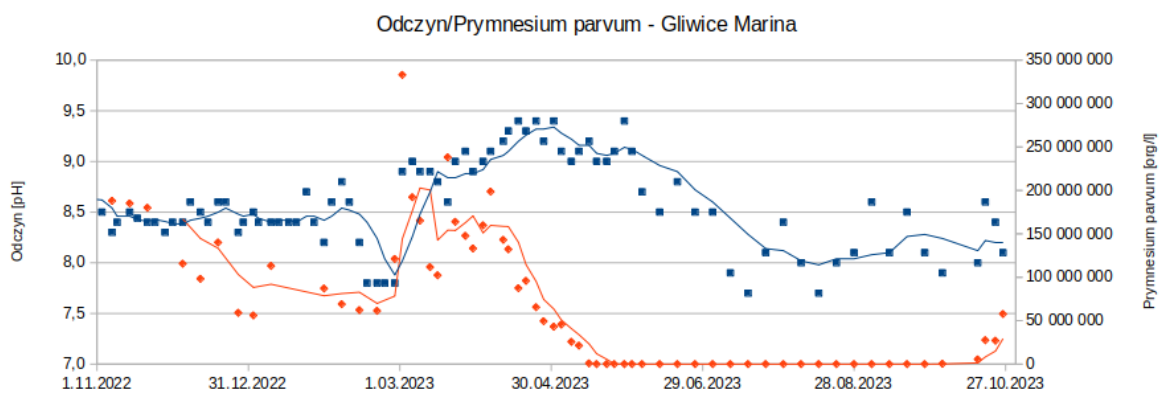
Wykres 3. Stężenie tlenu rozpuszczonego (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



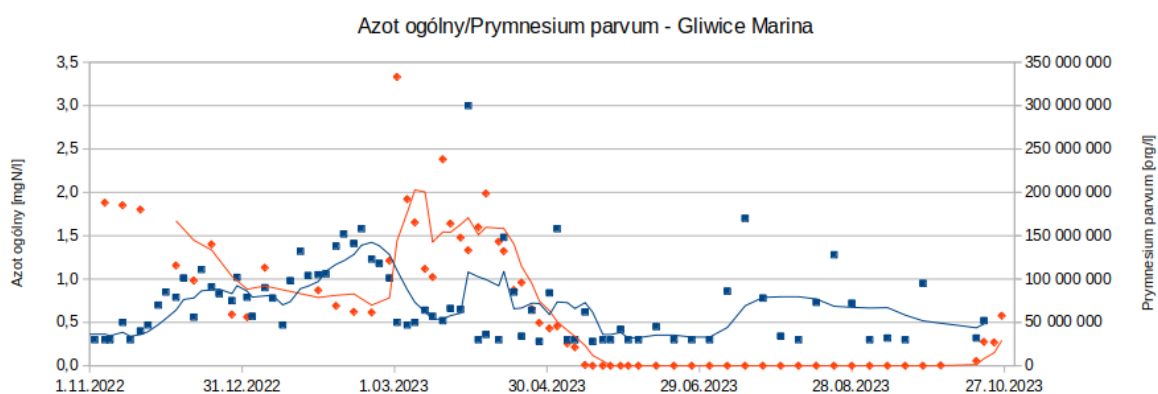
Wykres 4. Przewodność wody (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



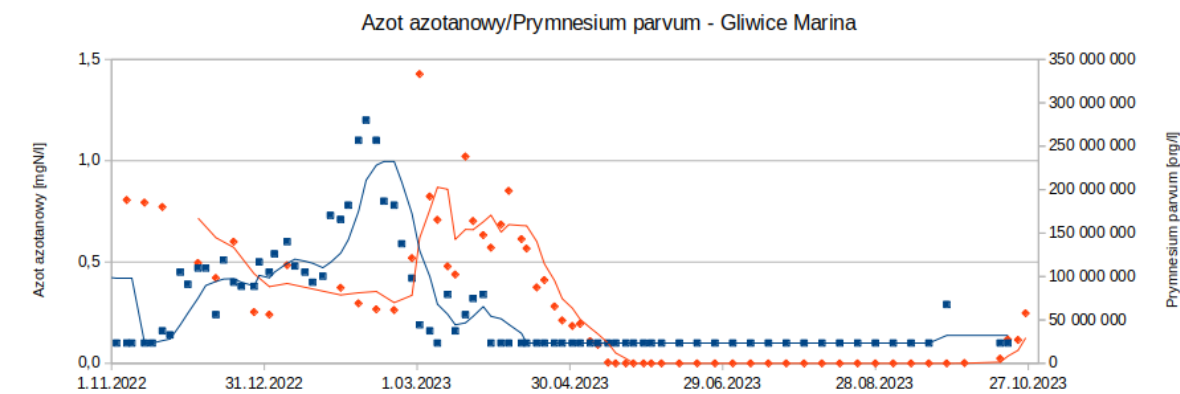
Wykres 5. Odczyn wody (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



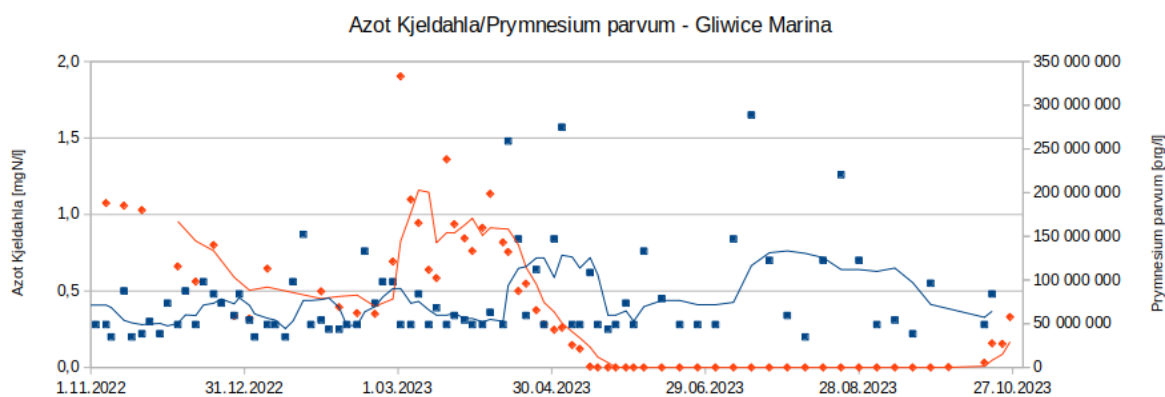
Wykres 6. Azot ogólny (*kolor niebieski*) i liczebność *Prymnesium parvum* (*kolor czerwony*) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



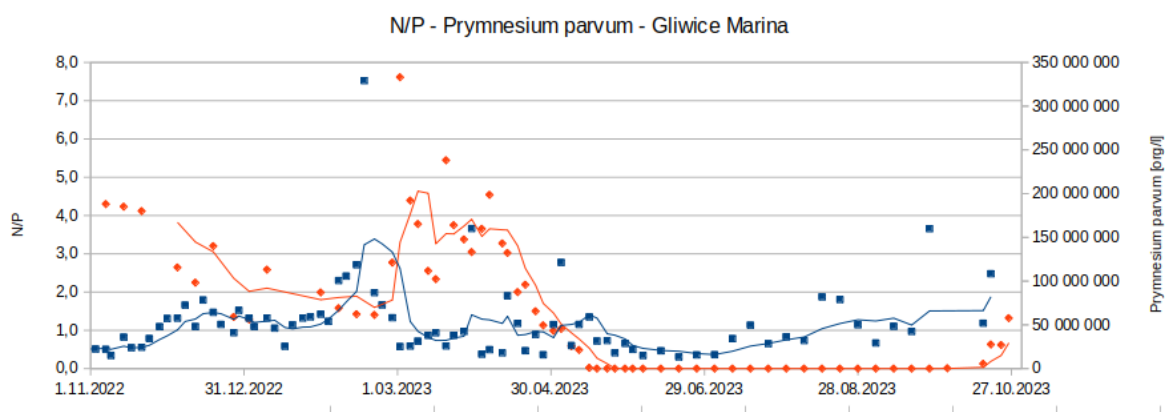
Wykres 7. Azot azotanowy (*kolor niebieski*) i liczebność *Prymnesium parvum* (*kolor czerwony*) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



Wykres 8. Azot Kjeldahla ([kolor niebieski](#)) i liczebność *Prymnesium parvum* ([kolor czerwony](#)) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



Wykres 9. Stosunek N/P ([kolor niebieski](#)) i liczebność *Prymnesium parvum* ([kolor czerwony](#)) w Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



Prymnesium parvum było obecne w sekcji VI praktycznie od początku analizowanego okresu w ilościach przekraczających 200 mln org/l.

Jednocześnie można wyróżnić następujące fazy rozwoju:

- od listopada 2022 do marca 2023 systematyczny spadek liczebności z wartości 200 mln org/l do poziomów ok. 50 mln org/l,

- intensywny wzrost liczebności w pierwszej połowie marca 2023 (maksymalne wartości > 300 mln org/l) i utrzymywanie się podwyższonego poziomu (ok. 150 mln org/l) do drugiej połowy kwietnia 2023,
- zanik *Prymnesium parvum* od połowy kwietnia 2023 do połowy maja 2023,
- brak złotej algi w Marinie Gliwice przez cały okres letni, aż do drugiej połowy października 2023,
- stopniowy wzrost liczebności algi w drugiej połowie października, do wartości ok. 50 mln org/l.

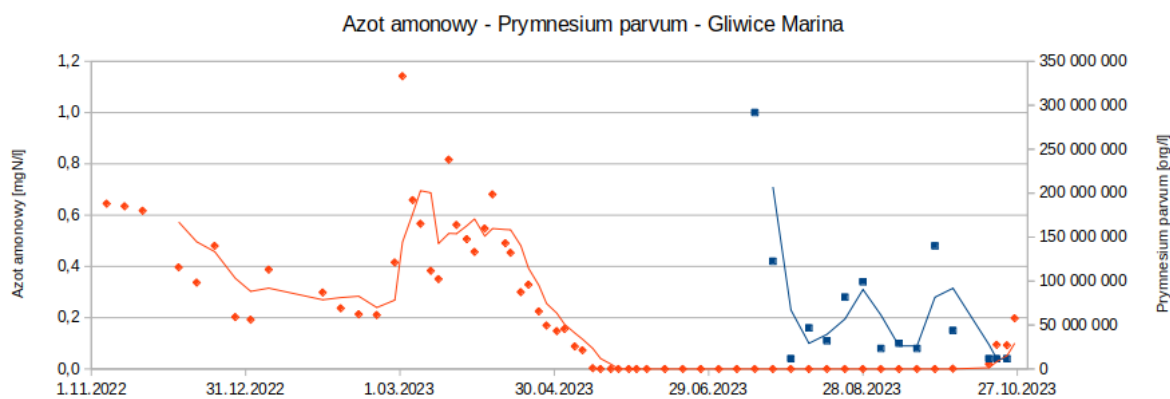
Jednoczesna analiza zmienności wskaźników fizykochemicznych pozwala wyciągnąć następujące wnioski:

- alga utrzymywała się w wodzie mimo jej niskiej temperatury (nawet w okresie temperatur w granicach 1°C stwierdzone były jej znaczne liczebności),
- intensywny wzrost liczebności z marca 2023 pokrywa się ze wzrostem temperatury wody w tej sekcji Kanału Gliwickiego,
- marcowy wzrost liczebności *Prymnesium parvum* miał miejsce przy najniższej przewodności wody w Marinie, która wynosiła wówczas 3.000 – 3.500 uS/cm,
- późnowiosenny zanik algi nastąpił przy wysokim odczynie wody dochodzącym do 9,5 pH,
- zakwit w marcu 2023 rozpoczął się przy najwyższych wartościach stężeń azotu azotanowego w tej sekcji Kanału Gliwickiego, które wynosiły ok. 1,0 mg/l; wraz z rozpoczęciem zakwitu azot azotanowy zaczął szybko się obniżać do poziomu 0,2 – 0,4 mg/l, a następnie poniżej 0,1 mg/l (na wykresie oznaczono 0,1 mg/l); przez miesiąc alga utrzymywała się w wodzie mimo bardzo niskich stężeń azotu azotanowego; po jej zaniku w Marinie nadal nie obserwowano azotu azotanowego; jego niewielkie ilości stwierdzono dopiero pod koniec września 2023,
- przed zanikiem zakwitu w kwietniu 2023 wzrosły wartości azotu Kjeldahla; właściwie można jednoznacznie stwierdzić, że krzywa obrazująca poziom *Prymnesium parvum* wchodzi w trend spadkowy wraz ze wzrostem azotu Kjeldahla powyżej 1,5 mg/l; niestety brak pomiarów azotu amonowego w tym czasie uniemożliwia stwierdzenie, czy parametr ten miał wpływ na obecność algi w Marinie Gliwice,
- należy jednak podkreślić, że wysoki poziom azotu Kjeldahla wystąpił wraz z wysokim odczynem wody (do 9,5 pH); zatem jeśli to azot amonowy (jako jedna ze składowych azotu

Kjeldahla) miałyby zdecydować o „wycofaniu” *Prymnesium parvum* z tej sekcji kanału, to trzeba zaznaczyć, że przy tym odczynie dominowała toksyczna niezjonizowana forma azotu amonowego,

- spośród analizowanych parametrów, które mogły mieć potencjalny wpływ na gwałtowny zanik *Prymnesium parvum* na wiosnę 2023 wydaje się, że największe znaczenie miał wysoki azot Kjeldahla (i powiązany z nim azot amonowy) przy wysokim odczynie wody spowodowanym konsumpcją dwutlenku węgla w szczytowej fazie zakwitu,
- tworząca się w takich warunkach forma NH_3 oddziałuje potencjalnie toksycznie na organizmy wodne, w tym *Prymnesium parvum*; należy jednak podkreślić, że w okresie, w którym wystąpił zanik algi, nie obserwowano śnięć ryb, co może sugerować, że stężenie azotu amonowego było niekorzystne dla złotej algi, ale jeszcze bezpieczne dla ryb,
- powyższe obserwacje poskutkowały rekomendacją wdrożenia pomiarów azotu amonowego, które wprowadzono w wybranych punktach Kanału Gliwickiego od lipca 2023,
- ich wyniki dla sekcji VI zaprezentowane na wykresie 10 wskazują, że poziom azotu amonowego w tym punkcie może być wysoki; zbadana przez GIOŚ wartość 1,0 mgN-NH₄/l w lipcu 2023 odpowiada poziomowi 1,65 mg/l azotu Kjeldahla;
- jednoczesna analiza danych meteorologicznych wskazuje, że wyższe wartości azotu amonowego występują po intensywnych opadach,

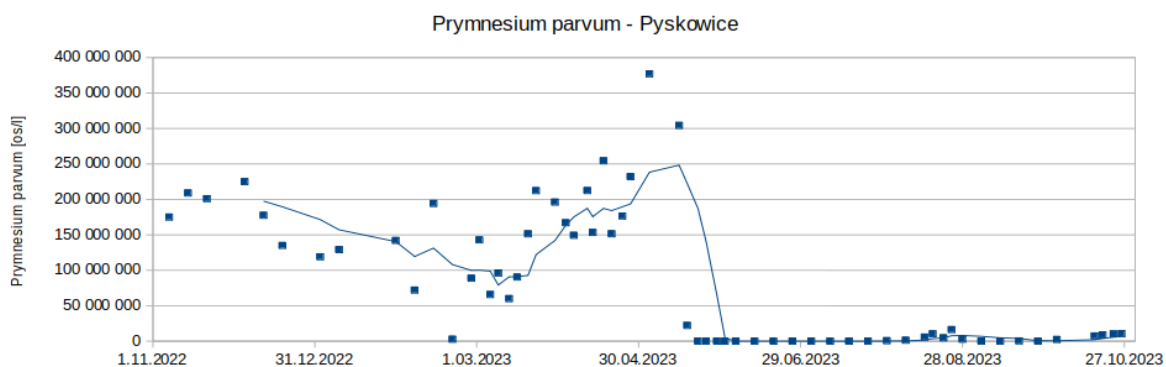
Wykres 10. Azot amonowy (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) na Kanale Gliwickim w punkcie „Gliwice - Marina” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



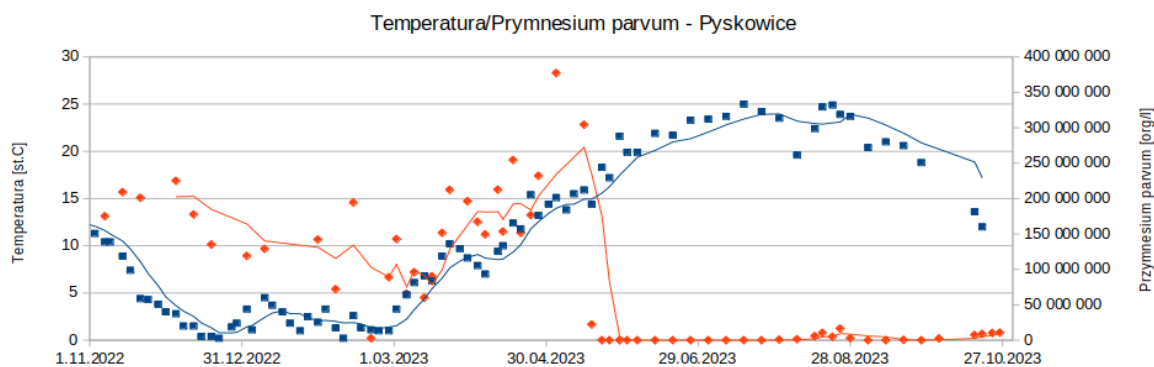
Kolejnym analizowanym punktem monitoringu na Kanale Gliwickim były Pyskowice (ulica Piaskowa). Jest to sekcja V Kanału Gliwickiego, zasilana głównie wodą z sekcji VI poprzez śluzowania na śluzie Łabędy. Awaryjnie sekcja ta może być zasilana poprzez ujście Kłodnicy do Kanału Gliwickiego poniżej śluzy Łabędy, które uruchamia się w sytuacji zagrożenia powodziowego.

W punkcie tym, podobnie jak w Marinie Gliwice zauważono gwałtowny spadek poziomu *Prymnesium parvum* w połowie maja 2023. Spadek ten był jeszcze bardziej intensywny niż w Marinie Gliwice. Jednocześnie należy zauważyć, że zmniejszenie liczebności algi w tym punkcie miało miejsce wtedy, gdy w Marinie Gliwice alga już praktycznie zanikła.

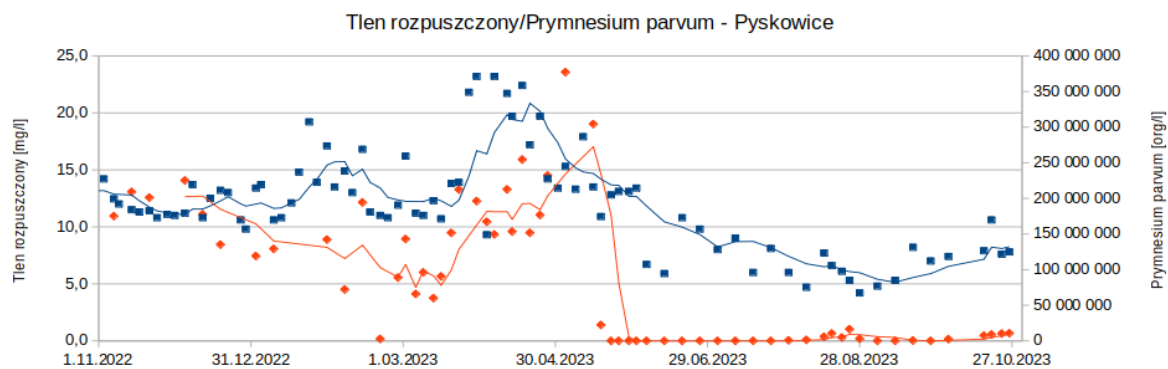
Wykres 11. Liczebność *Prymnesium parvum* w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



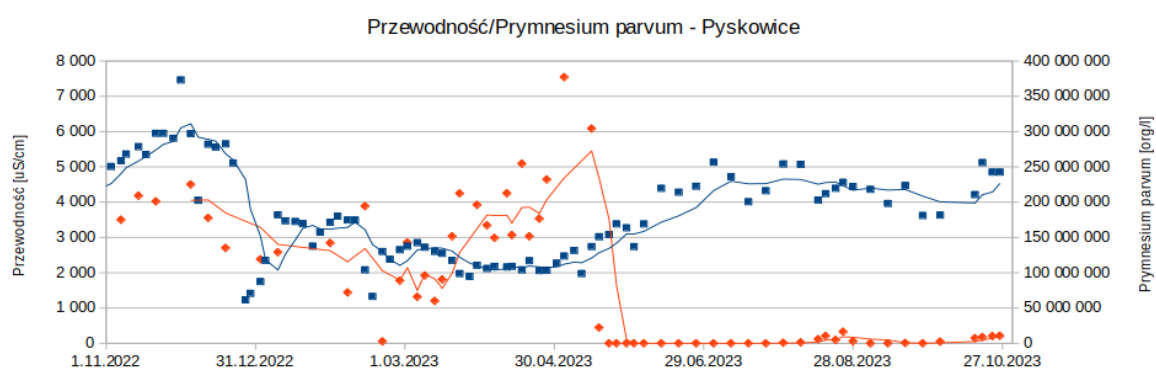
Wykres 12. Temperatura (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



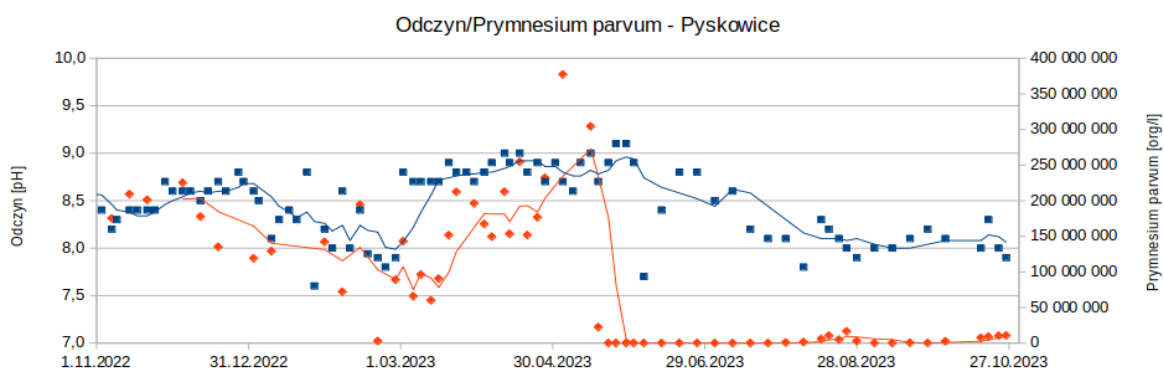
Wykres 13. Tlen rozpuszczony (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



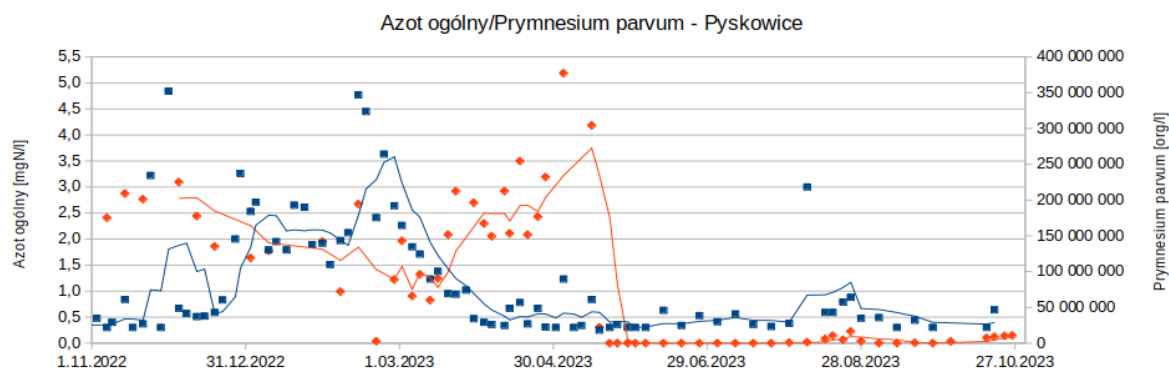
Wykres 14. Przewodność (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



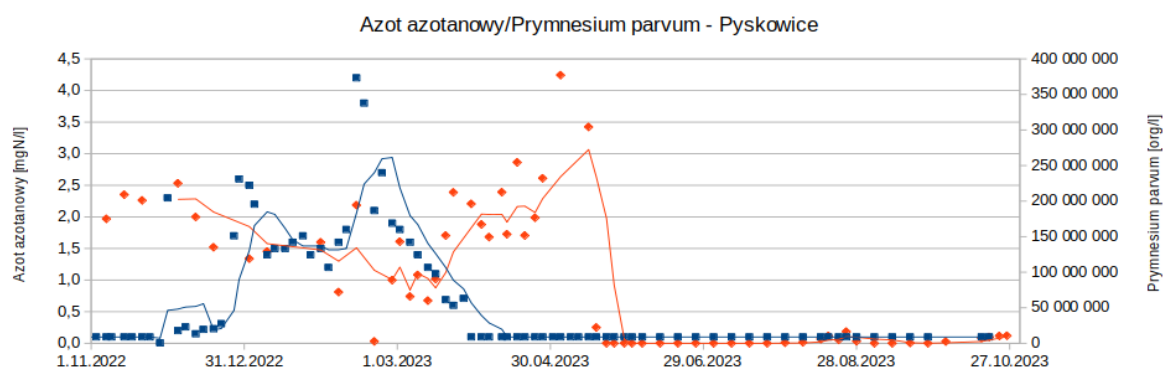
Wykres 15. Odczyn (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



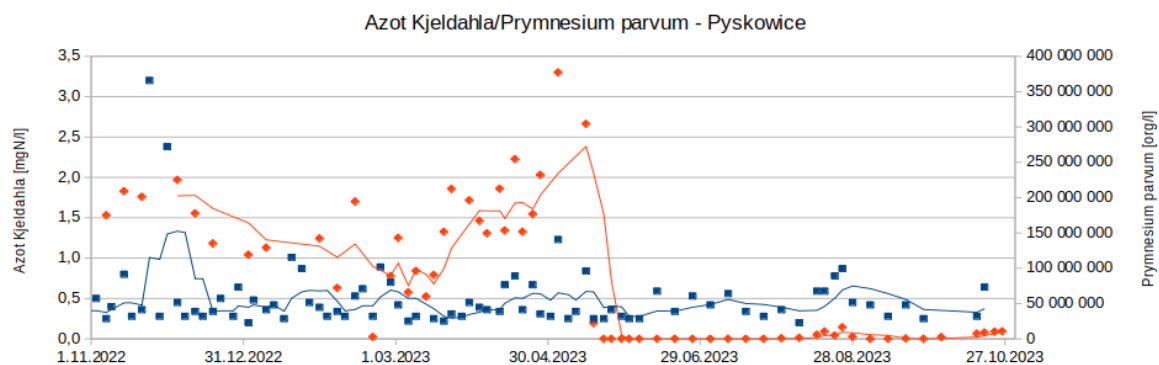
Wykres 16. Azot ogólny (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



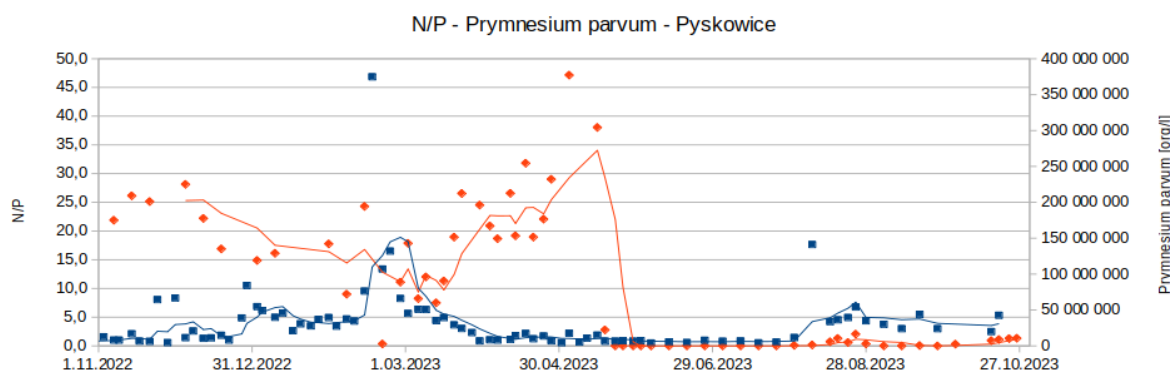
Wykres 17. Azot azotanowy (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



Wykres 18. Azot Kjeldahla (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim [w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



Wykres 19. Stosunek N/P (kolor niebieski) i liczebność *Prymnesium parvum* (kolor czerwony) w Kanale Gliwickim w punkcie „Pyskowice” w okresie 1.11.2022 – 31.10.2023 (Źródło danych: wyniki badań prowadzonych przez GIOŚ i WIOŚ).



Jak wspomniano wcześniej zanik *Prymnesium parvum* w maju 2023 miał zupełnie inny przebieg niż w Marinie Gliwice. Należy jednocześnie podkreślić, że od początku analizowanego okresu (tj. od listopada 2022 do połowy maja 2023) alga w tym punkcie pomiarowym utrzymywała się cały czas na wysokim poziomie (na jesień około 200 mln org/l, a w zakwicie – do blisko 400 mln org/l). Wysokie liczebności odnotowywano, podobnie jak w Marinie Gliwice, także przy niskich temperaturach, przy czym wiosenny zakwit rozpoczął się przy wyższej temperaturze niż w Marinie (w Pyskowicach przy ok. 5°C, natomiast w Marinie wraz ze wzrostem temperatury – już od ok. 2,0°C).

Ponadto należy zwrócić uwagę na następujące aspekty:

- poziom przewodności wody w Pyskowicach był znacznie niższy niż w Marinie Gliwice; wiosenny zakwit miał miejsce przy 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$,
- gwałtowny zanik z maja 2023 był poprzedzony widocznym wzrostem przewodności (z 2.000 do ok. 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), od tego czasu przewodność w Pyskowicach systematycznie wzrastała,
- jeśli założyć, że źródłem zasolenia tej sekcji Kanału jest woda z sekcji VI (lub Kłodnica w przypadku zagrożenia powodziowego), to wzrost tego wskaźnika należałoby powiązać właśnie ze zwiększeniem napływu wody ze wspomnianych źródeł,
- należy podkreślić, że w maju 2023 na tym obszarze odnotowano ulewne deszcze, które poskutkowały m.in. awarią Oczyszczalni Ścieków w Gliwicach (informacja o awarii została podana 17 maja 2023), gdzie 15 maja 2023 w omawianym punkcie stwierdzano jeszcze > 300 mln org/l, 18 maja 2023 – ok. 22,0 mln/l, zaś 23 maja 2023 – 0,0 org/l;

należy dokładnie przeanalizować sytuację hydrologiczną oraz zarządzanie wodami Kanału w tym czasie,

- niezależnie od ustalenia przyczyn gwałtownego zaniku algi w tej sekcji warto zauważyć (wykres 17), że w okresie poprzedzającym intensywny rozwój *Prymnesium parvum* na wiosnę 2023 zaobserwowano gwałtowny zanik azotanów, **zaś alga rozwijała się już przy poziomie azotu azotanowego < 0,1 mg/l,**
- w kolejnych miesiącach w Pyskowicach nie wystąpił już zakwit mimo sprzyjających warunków meteorologicznych, wysokiej przewodności i dostępności biogenów, przy czym, należy zwrócić uwagę na cały czas utrzymujący się niski poziom azotu azotanowego.

Podsumowując, na sytuację w Pyskowicach w maju 2023 prawdopodobnie kluczowy wpływ miało zarządzanie wodami Kanału Gliwickiego i przekierowywanie zasolonych wód Kłodnicy z sekcji VI, które po okresie intensywnych opadów zawierały wyższe stężenia azotu amonowego. Nieznaczne wzrosty poziomu *Prymnesium parvum* (do ok. 10 mln org/l) w okresie letnim i jesiennym pojawiają się przy niskim stężeniu azotu azotanowego.

Hipotetyczna sekwencja zdarzeń w Kanale Gliwickim skutkująca zanikiem *Prymnesium parvum* na przełomie kwietnia i maja 2023.

Optymalne warunki dla rozwoju *Prymnesium parvum* (wysokie zasolenie, temperatura, nasłonecznienie, obecność biogenów, brak konkurencji) są przyczyną wystąpienia zakwitu złotej algi.

Zakwit wody skutkuje konsumpcją dwutlenku węgla i powoduje wzrost pH oraz spadek stężenia biogenów (w tym azotu amonowego).

Przy wysokim odczynie – w granicach 8,9 – 9,2 pH napływ wody zawierającej amoniak będzie skutkował pojawieniem się toksycznego NH_3 , który może być potencjalnym czynnikiem powodującym eliminację złotej algi.

Najbardziej prawdopodobnym źródłem jonu amonowego w tamtym czasie wydaje się być napływ wody deszczowej wraz ze ściekami, po intensywnych opadach.

Przedostanie się do wód Kanału Gliwickiego ścieków po intensywnych opadach (np. przelewy burzowe) przy wysokim odczynie wody spowodowanym zakwitami, spowoduje wystąpienie niekorzystnych warunków pozwalających wyeliminować *Prymnesium parvum* – co miało miejsce właśnie na przełomie kwietnia i maja.

Potencjalnie (co powinno być przedmiotem oddzielnych analiz), efekt eliminacji złotej algi może być spotęgowany przez wyższą przewodność wody, ponieważ ma ona wpływ na prędkość nityfikacji. Tym samym prawdopodobnie przy wyższej przewodności amoniak będzie dłużej utrzymywał się w wodzie.

Tym samym:

- zasadnym wydaje się być regularne badanie jonu amonowego we wszystkich punktach na Kanale Gliwickim i na Kłodnicy, jako potwierdzonego w licznych badaniach czynnika wpływającego na zanik *Prymnesium parvum*,
- zasadnym wydaje się być przeprowadzenie laboratoryjnych testów toksyczności amoniaku (aplikowanego jako siarczan amonu lub chlorek amonu) na *Prymnesium parvum* przy różnych odczynach wody oraz przy różnym zasoleniu,

Oprócz amoniaku istotny jest również wpływ **żelaza** na rozwój algi, którego obecność w wodach Kanału Gliwickiego również jest istotna.

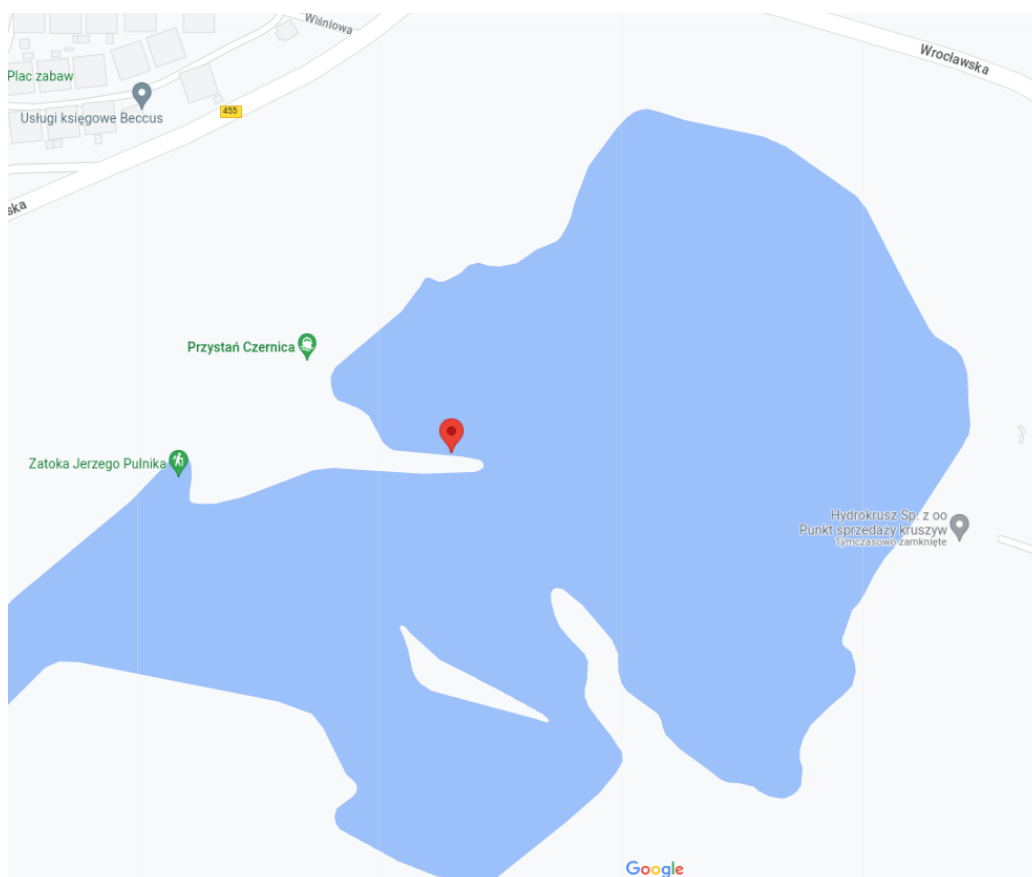
II. Wstępne testy laboratoryjne wpływu jonu amonowego na *Prymnesium parvum*

Testy laboratoryjne mające potwierdzić wpływ azotu amonowego na *Prymnesium parvum* przeprowadzono w Zakładzie Technologii Ścieków Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego znajdującym się we Wrocławiu. Do badań wykorzystano wodę pobraną ze zbiornika Czernica – 23.08.2023.

Zbiornik Czernica jest jednym z akwenów bezpośrednio połączonych z Odrą, w którym stwierdzono występowanie *Prymnesium parvum* w znacznych ilościach. Był on również regularnie monitorowany w 2023 roku w ramach monitoringu interwencyjnego przez GIOŚ.

Lokalizację punktu poboru wody ze zbiornika przedstawiono na rysunku 1.

Rysunek 1. Punkt poboru wody do badań ze zbiornika Czernica (www.google.maps)



W punkcie tym pobierana jest również woda do badań prowadzonych w ramach monitoringu przez GIOŚ.

W pobranej próbce zostały oznaczone parametry fizykochemiczne oraz liczebność *Prymnesium parvum*. Dane zestawiono w tabeli 1.

Szczegółowe analizy fizykochemiczne zostały przeprowadzone przez Centralne Laboratorium Analiz Środowiskowych Instytutu Ochrony Środowiska – Państwowego Instytutu Badawczego.

Tabela 1. Parametry wody pobranej ze zbiornika Czernica, stanowiącej podstawę badań wpływu jonu amonowego na *Prymnesium parvum*.

Parametr	Jednostka	Czernica
Odczyn	pH	8,3
Przewodność	[uS/cm]	1130
Zasadowość ogólna	[mmol/l]	1,8
Zasadowość węglanowa	[mml/l]	1,62
Azot amonowy	[mg/l]	0,07
Azot azotanowy	[mg/l]	< 0,1
Azot azotynowy	[mg/l]	< 0,1
Fosforany	[mg/l]	< 0,2
Chlorki	[mg/l]	251,9
Siarczany	[mg/l]	89,9
Zawiesina ogólna	[mg/l]	16,1
Sucha pozostałość	[mg/l]	692
Rozpuszczony węgiel organiczny	[mg/l]	8,3
Ogólny węgiel organiczny	[mg/l]	15,2
Wapń	[mg/l]	17,4
Magnez	[mg/l]	49,4

Żelazo	[ug/l]	143,0
Mangan	[ug/l]	81,9
Chlorofil a	[ug/l]	122,0
Potas	[mg/l]	9,0
ChZT-Cr	[mgO ₂ /l]	43,0
ChZT-Mn	[mgO ₂ /l]	6,3
Krzemionka	[mg/l]	7,6
<i>Prymnesium parvum</i>	[org/l]	60.000.000

Badania: Centralne Laboratorium Analiz Środowiskowych IOŚ-PIB. Oznaczenie liczebności *Prymnesium parvum* – Laboratorium GIOŚ.

Liczebność złotej algi w pobranej do testów próbce wynosiła 60.000.000 org/l. Co istotne, z punktu widzenia prowadzonego testu, poziom jonu amonowego w pobranej wodzie był niewielki (ok. 0,07 mg/l). Również stężenia pozostałych związków azotu – tj. azotu azotanowego i azotynowego mieściły się poniżej granicy oznaczalności.

Przywieziona do Zakładu Technologii Ścieków IOŚ-PIB we Wrocławiu próbka została rozlana do czterech 5-litrowych zlewek (po 5 L do każdej zlewki), umieszczonych na mieszadłach. Zlewki dodatkowo wyposażono w oświetlenie typu LED, które zapewniało 16h fotoperiod. Następnie do 3 zlewek została dodana odpowiednia dawka soli amonu, tak by uzyskać zadane stężenie azotu amonowego. Czwarta zlewka z wodą z Czernicy stanowiła próbę ślepa.

Zadane stężenie azotu amonowego ustalono na następującym poziomie:

- próba nr 1: 0,5 mgN-NH₄⁺/l,
- próba nr 2: 2,5 mgN-NH₄⁺/l,
- próba nr 3: 5,0 mgN-NH₄⁺/l,

Siarczan amonu dozowano do wody o następujących parametrach:

- stężenie tlenu rozpuszczonego: 8,67 mg/l,
- odczyn: 9,26 pH,
- temperatura: 24,6°C,

- przewodność: 1138 $\mu\text{S}/\text{cm}$,

W kolejnych godzinach trwania testu oznaczano poziom:

- tlenu (w sposób ciągły),
- jonu amonowego,
- azotanów,
- pH,
- *Prymnesium parvum*,
- prymnesyn.

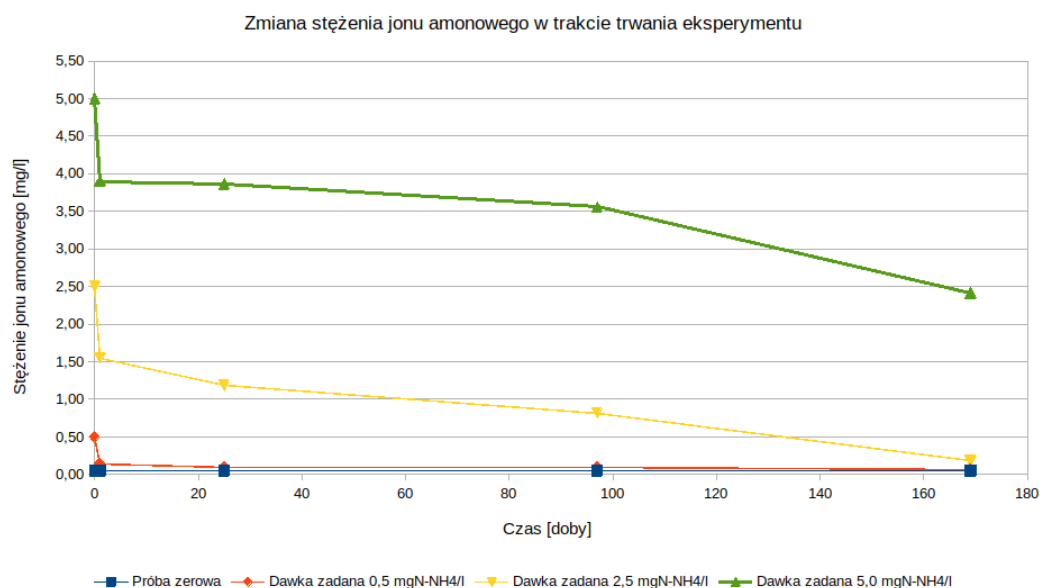
Analiza wyników

Stężenie azotu amonowego w poszczególnych godzinach trwania eksperymentu przedstawiono w tabeli 2 oraz na wykresie 20.

Tabela 2. Stężenie azotu amonowego w poszczególnych próbach. Badania: ZTS-IOŚ-PIB.

Czas [h]	Zmiana stężenia azotu amonowego w poszczególnych próbach			
	Próba zerowa	Dawka zadana 0,5 mgN-NH ₄ /l	Dawka zadana 2,5 mgN-NH ₄ /l	Dawka zadana 5,0 mgN-NH ₄ /l
0	0,05	0,50	2,50	5,00
1	0,05	0,15	1,55	3,90
25	0,05	0,10	1,19	3,86
97	0,05	0,10	0,82	3,56
169	0,05	0,07	0,18	2,41

Wykres 20. Zmiana stężenia azotu amonowego w kolejnych godzinach trwania testu. Badania: ZTS-IOŚ-PIB.



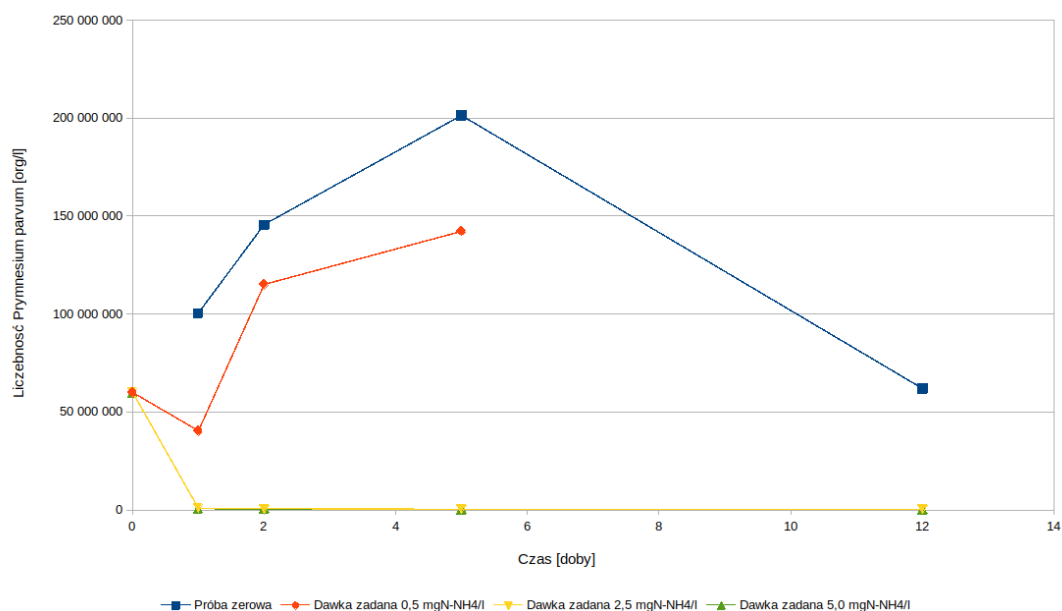
Stężenie azotu amonowego już w pierwszej godzinie eksperymentu było niższe od wartości wyliczonej. W próbie nr 1 (dawka zadana 0,5 mgN-NH₄⁺/l) stężenie azotu amonowego już po dobie spadło do poziomu ok. 0,15 mg/l. W próbach o wyższej dawce zadanej po dobie stężenie azotu amonowego wyniosło odpowiednio 1,19 mg/l dla dawki zadanej 2,5 mg/l i 3,86 mg/l dla dawki zadanej 5,0 mg/l.

Liczebność *Prymnesium parvum* w kolejnych dobach testu przedstawiono w tabeli 3 oraz na wykresie 21

Tabela 3. Liczebność *Prymnesium parvum* w kolejnych dobach testu. Badania: dr hab. Agnieszka Pasztaleniec, Zakład Ochrony Wód IOŚ-PIB. (*) Oznaczenie liczebności *Prymnesium parvum* w próbie zerowej – Laboratorium GIOŚ.

Czas [d]	Liczebność <i>Prymnesium parvum</i> przy różnym stężeniu azotu amonowego			
	Próba zerowa	Dawka zadana 0,5 mgN-NH ₄ /l	Dawka zadana 2,5 mgN-NH ₄ /l	Dawka zadana 5,0 mgN-NH ₄ /l
0	60 000 000 (*)	60 000 000	60 000 000	60 000 000
1	100 421 639	40 426 808	954 448	613 574
2	145 553 428	114 999 430	534 705	481 135
5	201 388 678	142 388 165	507 970	187 147
12	61 902 820	n.b.	427 764	133 676

Wykres 21. Liczebność *Prymnesium parvum* w kolejnych dobach testu. Badania: dr hab. Agnieszka Pasztaleniec, Zakład Ochrony Wód IOŚ-PIB. Oznaczenie liczebności *Prymnesium parvum* w próbie zerowej - Laboratorium GIOŚ.



Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić:

- szybki spadek liczebności *Prymnesium parvum* w próbach o zadanej dawce 2,5 i 5,0 mgN-NH₄⁺/l – po 24h liczebność *Prymnesium parvum* zmieniła się odpowiednio:
 - w próbie „0” – wzrost o 67%
 - w próbie „0,5” – spadek o 32%
 - w próbie „2,5” – spadek o 98,4%
 - w próbie „5,0” – spadek o 98,9%
- utrzymanie niskiego poziomu złotej algi do końca trwania eksperymentu w próbach oznaczonych jako „2,5” i „5,0”; w toku analizy mikroskopowej napotymano trudności w identyfikacji żywych komórek *Prymnesium parvum*; komórki były zniekształcone i nie wykazywały cech komórek żywych
- wzrost liczebności *Prymnesium parvum* w próbach „0” i „0,5”, który do piątej doby trwania testu wyniósł odpowiednio: 235% w próbie „0” i 137% w próbie „0,5” świadczący o dobrych warunkach wzrostu w zakresie temperatury i oświetlenia.

W trakcie trwania testu przeprowadzono również analizy poziomu prymnezyn.

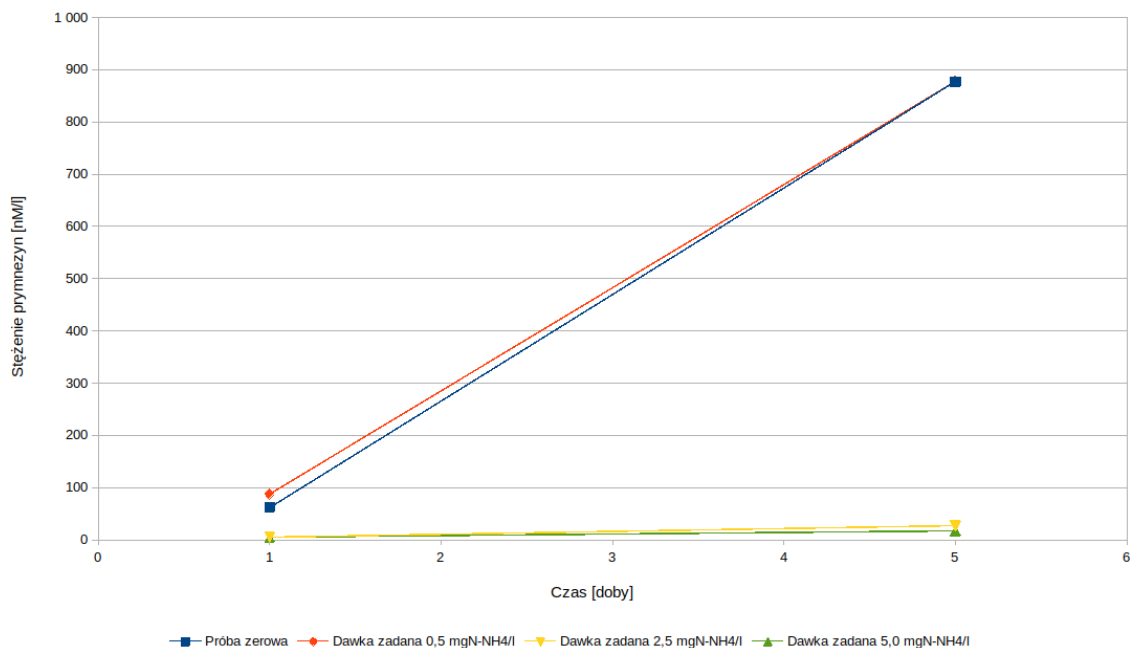
Badanie wykonano w pierwszej i piątej dobie od momentu aplikacji soli amonu. Wyniki przedstawiono w tabeli 4 i na wykresie 22. Badania prowadzone były przez zespół prof. dr hab. Hanny Mazur – Marzec z Katedry Biologii Morza i Biotechnologii Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.

Prymnezyne oznaczano zarówno w komórkach alg, jak i w wodzie.

Tabela 4. Prymnezyne w komórkach oraz w wodzie. Badania: Zespół prof. dr hab. Hanny Mazur – Marzec, Katedra Biologii Morza i Biotechnologii Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.

Czas [d]	Stężenie prymnezyn przy różnym stężeniu azotu amonowego [nM/l]											
	Próba zerowa			Dawka zadana 0,5 mgN-NH ₄ /l			Dawka zadana 2,5 mgN-NH ₄ /l			Dawka zadana 5,0 mgN-NH ₄ /l		
	Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma
1	42,9	19,3	62,2	62,1	25	87,1	0,8	4,5	5,3	0	4,5	4,5
5	562,1	314,7	876,8	560,8	317,7	878,5	11,2	16,2	27,4	2,7	13,8	16,5

Wykres 22. Prymnezyny w komórkach oraz w wodzie. Badania: Zespół prof. dr hab. Hanny Mazur – Marzec, Katedra Biologii Morza i Biotechnologii Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.



Wyniki badań pokazały, że wraz z zanikiem algi w próbach z dawką 2,5 i 5,0 mgN-NH₄⁺/l nastąpiło zmniejszenie stężenia prymnezyn w stosunku do próby kontrolnej. Ich poziom spadł zarówno w komórkach algi, jak i w wodzie. Wraz z zanikiem algi nie następowało uwalnianie toksyn do wody, lub też toksyny te były rozkładane pod wpływem zawartego w wodzie amoniaku.

Po upływie 5 dób testu zawartość toksyny wyraźnie wzrosła w próbie „0” oraz „0,5” osiągając porównywalne wartości bliskie 900,0 nM/l (suma toksyn w komórkach i wodzie), natomiast w próbach o wyższym zadanym stężeniu azotu amonowego, nadal obserwowano niski poziom toksyn.

Wnioski

1. Azot amonowy dodany do wody w stężeniach 2,5 mgN-NH₄/l oraz 5,0 mgN-NH₄/l spowodował eliminację *Prymnesium parvum* już po pierwszej dobie. Skuteczność tego procesu była > 98,0%.
2. Niższa dawka – 0,5 mgN-NH₄/l, obniżyła początkowo liczebność algi (spadek o 32%), ale po 5 dobach liczba komórek gwałtownie wzrosła.
3. W laboratorium zapewniono odpowiednie warunki dla wzrostu *Prymnesium parvum*, o czym świadczy zwiększenie liczebności algi w trakcie trwania eksperymentu, w próbie „0”

- z 60.000.000 org/l do ok. 200.000.000 org/l. Nie stosowano żadnych pożywek, nie wprowadzano również dwutlenku węgla. Próby jedynie oświetlano przez 16h na dobę.
4. Zadana, wyliczona stechiometrycznie dawka soli amonu, uniemożliwiła uzyskanie oczekiwanego stężenia azotu amonowego w wodzie. Przyczyną tego mogło być odgazowanie amoniaku, który przy wysokim pH (ok. 9,26) po wprowadzeniu do wody teoretycznie nawet w 50% mógł występować w formie niezjonizowanej.
 5. Najwyższe z zadanych dawek azotu amonowego spowodowały oprócz redukcji liczebności algi znaczący spadek toksyn w wodzie i komórkach w stosunku do prób kontrolnych.
 6. Niskie liczebności algi oraz niskie stężenie toksyny utrzymywały się przez cały kolejny doby trwania eksperymentu.
 7. W trakcie trwania eksperymentu nie zauważono spadków tlenu wody poniżej dopuszczalnych wartości. Zwrócono uwagę na pojawienie się nowych gatunków glonów, szczególnie w próbach oznaczonych „2,5” i „5,0”. W oznaczeniu mikroskopowym fitoplanktonu pojawiły się sinice w ilości większej niż w próbie kontrolnej.
 8. Decydując o testach w terenie, należy wziąć pod uwagę następujące aspekty:
 - a) Toksyczność amoniaku dla różnych gatunków ichtiofauny.
 - b) Możliwe spadki tlenu i wystąpienie przyduszy (wskutek nitryfikacji jonu amonowego)
 - c) Warunki pogodowe (niskie usłonecznienie może potęgować niedobory tlenu).
 9. Mając na uwadze powyższe, do ewentualnych testów terenowych zarekomendowano dawkę azotu amonowego 0,75 mgN-NH₄⁺/l.
 10. Zarekomendowano również wybór zbiornika przemysłowego (najlepiej na odcieki z hałd górniczych), w którym występuje *Prymnesium parvum*.

III. Badania terenowe – FAZA I

Na miejscu przeprowadzenia badania wpływu azotu amonowego na rozwój *Prymnesium parvum* wytypowano dwa zbiorniki położone przy Hałdzie „Kościelniok”, stanowiącej miejsce składowania odpadów pogórnictwa kopalni Pniówek na Śląsku.

Zbiorniki oznaczono odpowiednio jako:

- PSZ01,
- PSZ02,

i wskazano na mapie poniżej.

Rysunek 2. Zbiorniki wytypowane do eksperymentu (www.google.maps)



Zgodnie z otrzymanymi informacjami, charakterystyka zbiorników przedstawia się następująco:

- **PSZ01 (WB3)** – zbiornik wchodzący w skład systemu retencyjno-dozującego „Olza”. Zbiornik jest konstrukcją ziemną o nieregularnym kształcie, zajmuje powierzchnię około 2,62 ha (26 224 m²). Maksymalna pojemność zbiornika PSZ01 wynosi 53 860 m³. Wg stanu na dzień 05.09.2023 r. godz. 5⁰⁰ w zbiorniku znajduje się 25 450 m³ wody. Wody z tego zbiornika poprzez pompownie są kierowane do osadników wód dołowych na terenie kopalni Pniówek i następnie do kolektora „Olza”,
- **PSZ02** - zalewisko przy ul. Orlej powstałe w wyniku osiadań terenu o powierzchni 16 218 m². Objętość przy średniej głębokości h=0,4 m wynosi 6487 m³ (wypełnienie 100%).

UWAGA! Informacja na temat pojemności i charakterystyki zbiornika PSZ02 została zweryfikowana w dniu eksperymentu. Otrzymano informację, że pojemność zbiornika jest znacznie większa i wynosi ok. 30.000 m³.

Tym samym do ustalania dawki siarczanu amonu przyjęto pojemności odpowiednio:

- PSZ01 – ok. 25.000 m³,
- PSZ02 – ok. 30.000 m³

Przed rozpoczęciem eksperymentu przeprowadzono badania jakości wody w zakresie parametrów fizykochemicznych w obu zbiornikach oraz liczebności algi.

Tabela 4. Wyniki badań fizyko-chemicznych oraz *Prymnesium parvum* w zbiornikach PSZ01 i PSZ02 (Badania: IOŚ-PIB)

Parametr	Jednostka	PSZ01	PSZ02
Odczyn	pH	7,71	7,98
Przewodność	[uS/cm]	4660	7480
Zasadowość ogólna	[mmol/l]	7,34	10,6
Zasadowość węglanowa	[mmol/l]	7,58	9,66
Azot amonowy	[mg/l]	0,0047	0,0202
Azot azotanowy	[mg/l]	4,46	<0,1
Azot azotynowy	[mg/l]	<0,1	<0,1

Fosforany	[ug/l]	<0,2	<0,2
Chlorki	[mg/l]	1050,1	1535,86
Siarczany	[mg/l]	738	700,9
Zawiesina ogólna	[mg/l]	19,6	24,3
Rozpuszczony węgiel organiczny	[mg/l]	6,7	11,4
Ogólny węgiel organiczny	[mg/l]	10,1	15,8
Wapń	[mg/l]	79,1	32,51
Magnez	[mg/l]	58,12	61,48
Żelazo	[ug/l]	81	65
Chlorofil a	[ug/l]	95,3	182,8
Potas	[mg/l]	103,8	24,65
Glin	[mg/l]	104,4	105,4
Sód	[mg/l]	62,1	59,9
ChZT-Cr	[mgO ₂ /l]	45	88
ChZT-Mn	[mgO ₂ /l]	6,4	12
Krzemionka	[mg/l]	11	5
<i>Prymnesium parvum</i>	[org/l]	17.725.426	131.441.422

Założenia do eksperymentu

Mając na uwadze wnioski i rekomendacje z fazy laboratoryjnej testów przyjęto dawkę na poziomie:

N-NH₄ = 0,75 mg/l

Dobre stężenie było wypadkową analizy skuteczności i ryzyk wskazanych w pierwszym punkcie opracowania.

Tym samym zadana dawka siarczanu amonu powinna wynieść:

- PSZ01: 89,3 kg – DAWKA ZAAPLIKOWANA: **62,5 kg**
- PSZ02: 107,1 kg – DAWKA ZAAPLIKOWANA **87,5 kg**

Dawki ostateczne skorygowano, uwzględniając warunki miejscowe (uzyskane na miejscu dane dotyczące głębokości, kształtu, obszarów martwych zbiornika) realizacji eksperymentu.

Aplikacja odbywała się następująco:

- techniczny siarczan amonu (nawóz Pulsar, produkowany przez Azoty S.A.) rozpuszczano w wodzie pobieranej ze zbiorników,
- roztwór wprowadzano do wody z łodzi motorowej, aplikując bezpośrednio pod śrubę łodzi, co zapewniało dobre wymieszanie związku w wodzie.

Przyjęto, że w trakcie trwania eksperymentu prowadzone będą badania wody pobieranej w trzech punktach każdego ze zbiorników. Powyższe miało na celu uśrednienie parametrów jakościowych w zbiornikach.

Harmonogram badań został uzgodniony przez Centralne Laboratorium Pomiarowo – Badawcze przy JSW S.A. oraz PGWiR S.A. w zakresie poboru prób, oraz podstawowych analiz fizykochemicznych.

Badania *Prymnesium parvum* oraz prymnezyn (toksyn) realizowane były przez Zespół Pani prof. dr hab. Hanny Mazur – Marzec z Katedry Biologii Morza i Biotechnologii Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.

Zaplanowane zostały pobory i badania wody przed rozpoczęciem eksperymentu, a także przez kolejnych 10 dób od momentu rozpoczęcia eksperymentu.

Plan badań obejmował:

- codzienne badania tlenu, przewodności, temperatury i odczynu o godz. 9.00 i 18.00 prowadzone przez laboratorium PGWiR S.A. w obu zbiornikach, w każdym z 3 punktów,
- badania jonu amonowego i azotanów – w wybranych dobach (prowadzone przez CLPB przy JSW S.A. (m.in. 0, 1, 3, 5, 7 i 10 dobie eksperymentu)) w obu zbiornikach, w każdym z 3 punktów,
- badania *Prymnesium parvum* i toksyn prowadzone przez Zespół prof. Hanny Mazur – Marzec w dobach 0, 1, 3, 5, 7, 10 eksperymentu.

Ponadto pracownicy PGWiR S.A. dokonywali codziennych patroli zbiorników, celem oceny stanu ichtiofauny i identyfikacji ewentualnych śnięć.

Pracownicy PGWiR S.A. przygotowali dodatkowo system napowietrzania wody w zbiorniku PSZ01, który był uruchamiany w godzinach nocnych, celem eliminacji ewentualnych spadków stężenia tlenu do poziomu zagrażającego organizmom wodnym.

Miejsca poboru prób w obu zbiornikach zaznaczono na mapach poniżej.

Rysunek 3. Miejsca poboru prób wraz z oznaczeniami - zbiornik PSZ01 (www.google.maps). UWAGA! Siarczan amonu był rozprowadzany po całym zbiorniku. Przez „miejsce aplikacji” rozumie się punkt, z którego wypływała tódź z roztworem amonu.



Rysunek 4. Miejsca poboru prób wraz z oznaczeniami - zbiornik PSZ02 (www.google.maps). UWAGA! Siarczan amonu był rozprowadzany po całym zbiorniku. Przez „miejsce aplikacji” rozumie się punkt, z którego wypływała tódź z roztworem amonu.



Wyniki badań

Wyniki badań zestawiono w formie tabelarycznej oraz przedstawiono na wykresach zamieszczonych poniżej.

W tabeli 5 i 6 zaprezentowano wyniki analiz fizykochemicznych w poszczególnych punktach zbiornika PSZ01 i PSZ02. W tabeli nr 7 przedstawiono wyniki liczenia *Prymnesium parvum* oraz badań toksyny.

Tabela 6. Wyniki badań zbiornika PSZ02. (badania prowadzone przez PGWIR S.A. oraz JSW S.A.)

Table with 9 columns: Date, Grid Number, Sample Location, Temperature, Chloride Content, Sulfate Content, pH, and additional parameters. It is divided into 20 daily sections for monitoring at ul. Orię, starting from 02.09.2023 and ending on 18.09.2023. Each section contains data for multiple samples throughout the day.

Tabela 7. Wyniki liczenia *Prymnesium parvum* oraz badań prymnezyn w każdym z punktów badawczych PSZ01 i PSZ02 (badania prowadzone przez Zespół Pani prof. dr hab. Hanny Mazur – Marzec z Katedry Biologii Morza i Biotechnologii Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego).

Prymnesium parvum

Data	Doba eksperymentu	PSZ01		
		Miejsce aplikacji (1-2)	Miejsce poboru prób (1-1)	Mnich (1-3)
		Prymnesium [org/l]	Prymnesium [org/l]	Prymnesium [org/l]
8.09.2023	0		165 191	
9.09.2023	1	82 596		
11.09.2023	3			412 978
13.09.2023	5	542 000	3 460 000	407 000
15.09.2023	7	1 490 000	5 960 000	2 510 000
18.09.2023	10	5 150 000	8 400 000	

Data	Doba eksperymentu	PSZ02		
		Miejsce aplikacji (2-1)	Tory (2-2)	Halda (2-3)
		Prymnesium [org/l]	Prymnesium [org/l]	Prymnesium [org/l]
8.09.2023	0	55 421 683	15 527 983	24 696 100
9.09.2023	1	26 265 417	5 781 696	8 755 139
11.09.2023	3	49 557 774		
13.09.2023	5	56 300 000	83 300 000	78 200 000
15.09.2023	7	14 000 000	30 200 000	32 200 000
18.09.2023	10	64 700 000	55 600 000	

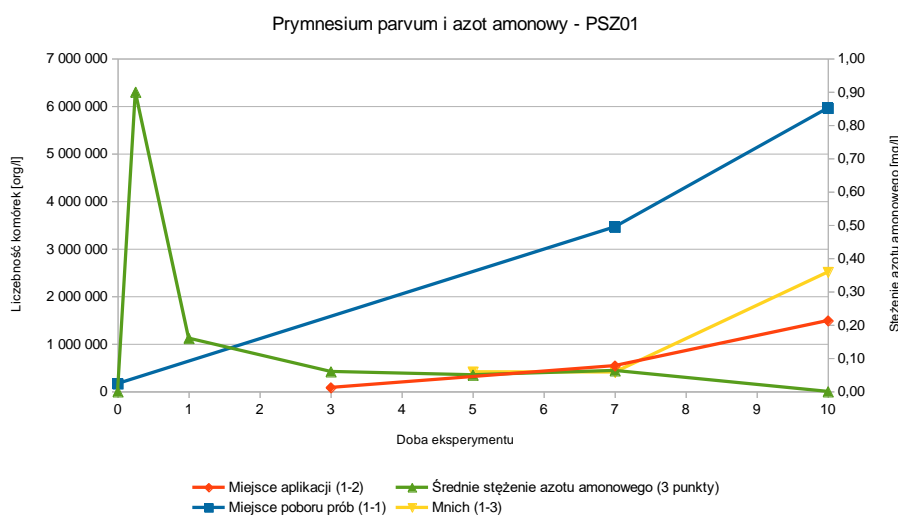
Toksyny

Data	Doba eksperymentu	PSZ01								
		Miejsce aplikacji (1-2)			Miejsce poboru prób (1-1)			Mnich (1-3)		
		Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma
8.09.2023	0	46,8	45,3	92,1	46,8	45,3	92,1	46,8	45,3	92,1
9.09.2023	1	22,2	104,8	127	38,3	197,2	235,5	19,8	69,2	89
11.09.2023	3	14,7	62,1	76,8	-	-	-	-	-	-
13.09.2023	5	35,5	36,2	71,7	28	46,3	74,3	11,9	16	27,9
15.09.2023	7	42,7	79,7	122,4	158	207,6	365,6	103,8	79,7	183,5
18.09.2023	10	87,1	108,3	195,4	188,6	53,1	241,7	178,4	62,9	241,3

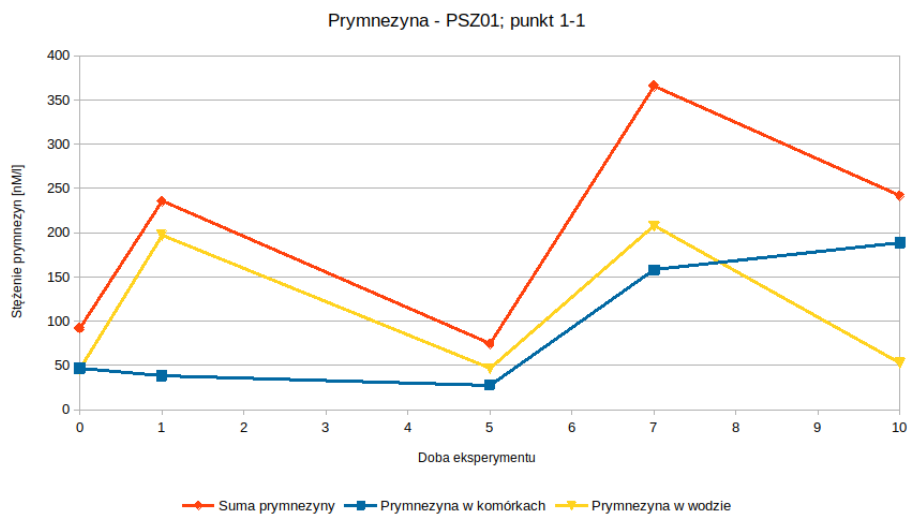
Data	Doba eksperymentu	PSZ02								
		Miejsce aplikacji (2-1)			Tory (2-2)			Halda (2-3)		
		Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma	Komórki	Woda	Suma
8.09.2023	0	13648,5	3004,3	16652,8	1828,4	14338,9	9794,5	1877,7	11672,2	
9.09.2023	1	8930,4	2658,9	11589,3	3053,4	1959,7	5013,1	2622,9	1182,5	3805,4
11.09.2023	3	13925,8	3134,6	17060,4	-	-	-	-	-	-
13.09.2023	5	12629,8	3245,7	15875,5	15693,7	3905,6	19599,3	15222,9	3948,7	19171,6
15.09.2023	7	8952,6	2736	11688,6	10866,5	1987,2	12853,7	10263,4	1729,2	11992,6
18.09.2023	10	12344,4	1868,3	14212,7	8730,9	1431,4	10162,3	9863,5	1766,6	11630,1

Wyniki badań przedstawiono również w formie wykresów.

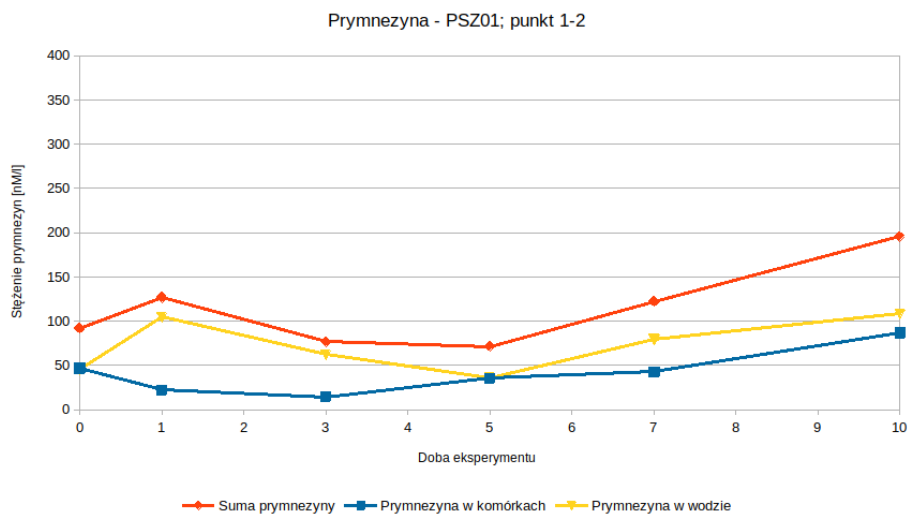
Wykres 23. Liczebność *Prymnesium parvum* i stężenie azotu amonowego w zbiorniku PSZ01 w poszczególnych dobach eksperymentu.



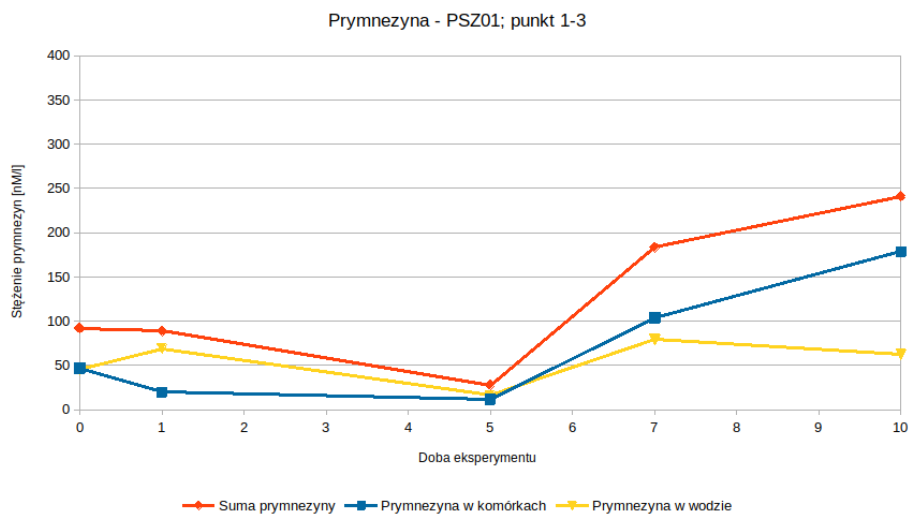
Wykres 24. Zawartość prymnezyny w komórkach *Prymnesium parvum* oraz w wodzie [nM/l] w poszczególnych dobach eksperymentu – Zbiornik PSZ01, punkt 1-1.



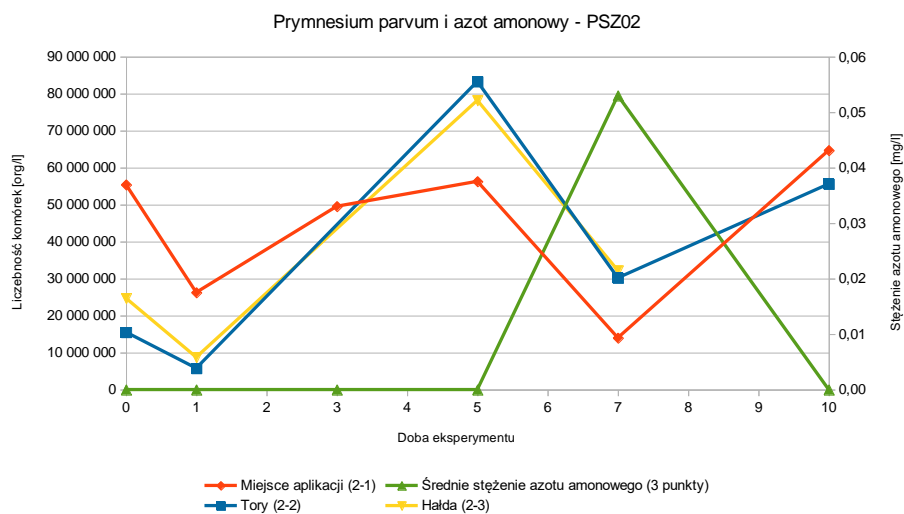
Wykres 25. Zawartość prymnezyny w komórkach *Prymnesium parvum* oraz w wodzie [nM/l] w poszczególnych dobach eksperymentu – Zbiornik PSZ01, punkt 1-2.



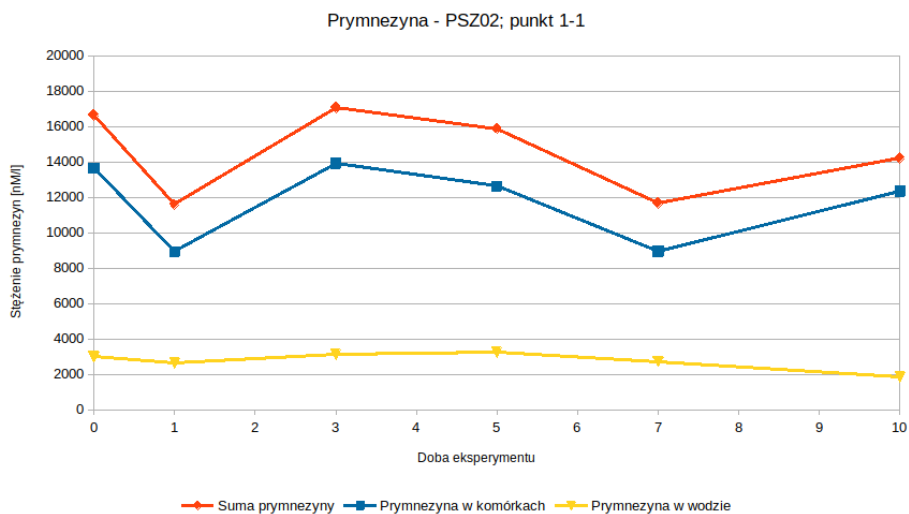
Wykres 26. Zawartość prymnezyny w komórkach *Prymnesium parvum* oraz w wodzie [nM/l] w poszczególnych dobach eksperymentu – Zbiornik PSZ01, punkt 1-3



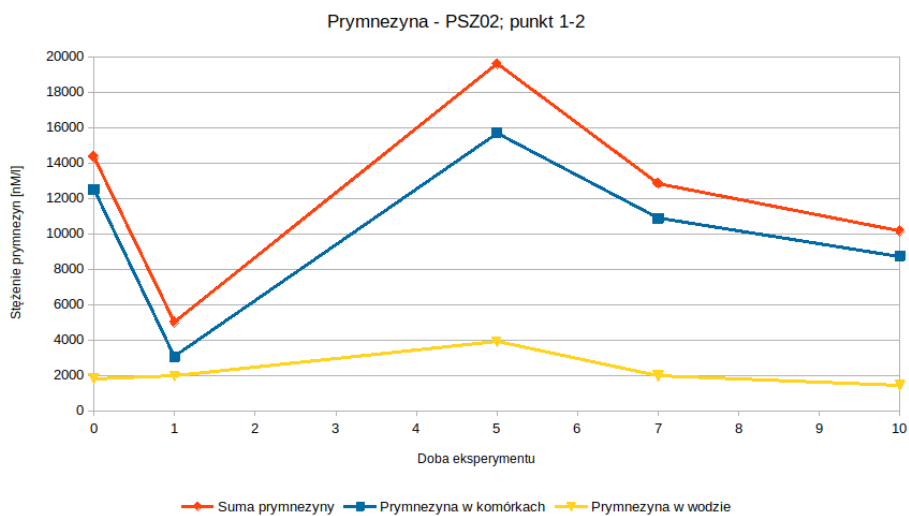
Wykres 27. Poziom *Prymnesium parvum* i stężenie azotu amonowego w zbiorniku PSZ02 w poszczególnych dobach eksperymentu.



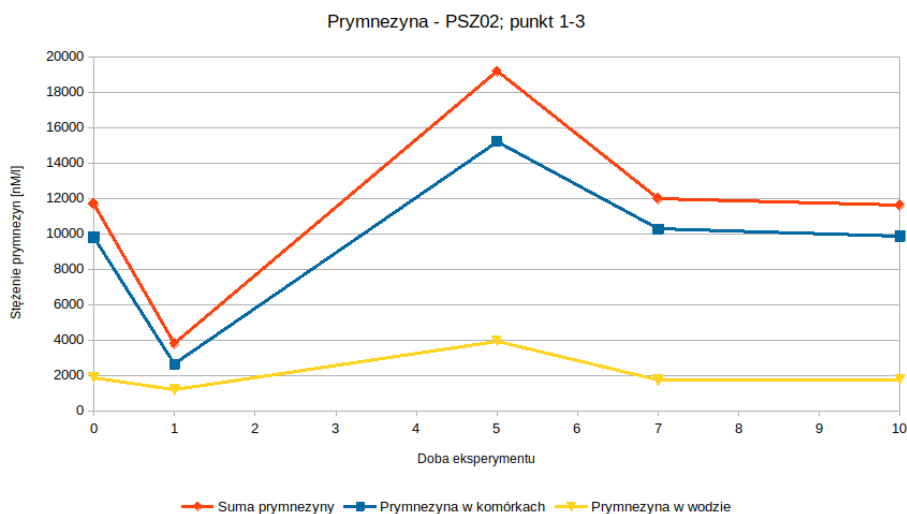
Wykres 28. Zawartość prymnezyny w komórkach *Prymnesium parvum* oraz w wodzie [nM/l] w poszczególnych dobach eksperymentu – Zbiornik PSZ02, punkt 1-1.



Wykres 29. Zawartość prymnezyny w komórkach *Prymnesium parvum* oraz w wodzie [nM/l] w poszczególnych dobach eksperymentu – Zbiornik PSZ02, punkt 1-2.



Wykres 30. Zawartość prymnezyny w komórkach *Prymnesium parvum* oraz w wodzie [nM/l] w poszczególnych dobach eksperymentu – Zbiornik PSZ02, punkt 1-3.



Wyniki badań zostały poddane analizie.

Na podstawie przeprowadzonych badań i obserwacji wyciągnięto następujące wnioski:

- przez cały okres prowadzenia badań nie stwierdzono spadków tlenu poniżej dopuszczalnego poziomu; nie zaobserwowano również śniętych ryb na żadnym ze zbiorników,
- dobrana dawka siarczanu amonu pozwoliła na uzyskanie następującego stężenia azotu amonowego po ok. 5h od aplikacji:
 - w zbiorniku PSZ01 – średnio 0,90 mgN-NH₄/l,
 - w zbiorniku PSZ02 – średnio 0,32 mgN-NH₄/l,
- stężenie azotu amonowego szybko uległo zmniejszeniu (wskutek dalszego rozcieńczenia wody, nityfikacji, asymilacji) i jego poziom po ok. 20h od aplikacji wyniósł:
 - w zbiorniku PSZ01 – średnio 0,16 mgN-NH₄/l,
 - w zbiorniku PSZ02 – średnio < 0,05 mgN-NH₄/l,
- tym samym można stwierdzić, że zakładane stężenie azotu amonowego uzyskano jedynie w zbiorniku PSZ01,
- stężenie tlenu, jak wynika z zamieszczonych tabel, wykazywało charakterystyczne zmiany dobowe (spadek nad ranem, wzrost w godzinach popołudniowych),

- podobne zmiany dotyczyły odczynu wody (spadek nad ranem, wzrost w godzinach popołudniowych),
- w obu zbiornikach wzrosło stężenie azotanów:
 - w PSZ01: z 0,35 do 0,72 mgNO₃/l,
 - w PSZ02: z 0,71 do 0,99 mgNO₃/l,
- liczebność *Prymnesium parvum* i stężenie toksyn w komórkach oraz w wodzie kształtowała się zupełnie inaczej w zbiorniku PSZ01 i PSZ02,
- w PSZ01 zarówno poziom algi, jak i poziom toksyn stopniowo **wzrastał** w kolejnych dobach badań; powyższe można tłumaczyć tym, że do zbiornika napływały wody z innych zbiorników zawierających algę (w tym PSZ04, szczególnie po 5 dobie eksperymentu), co wynikało z potrzeb eksploatacyjnych systemu retencji i zrzutu odcieków z hałd,
- ponadto należy zauważyć, że w PSZ01 zaobserwowano wyrzut toksyn z komórek (spadek zawartości toksyn w komórkach i wzrost zawartości w wodzie), przy czym nominalnie wartości te były znacznie niższe niż w PSZ02,
- szczególnie wyraźny wzrost zawartości toksyn w wodzie, w zbiorniku PSZ01 był widoczny w pierwszych dobach po zadozowaniu siarczanu amonu; należy jednak podkreślić, że zupełnie przeciwny efekt osiągnięto w zbiorniku PSZ02,
- należy podkreślić, że poziom algi w PSZ01 w dobie „0” był znacznie niższy niż w badaniach wyprzedzających z 5 IX, gdzie stwierdzono ok. 17.000.000 org/l,
- natomiast w przypadku PSZ02 wpływ azotu amonowego w pierwszej dobie jest BARDZO WYRAŹNY,
- po zaaplikowaniu azotu amonowego do PSZ02 poziom algi spadł pomiędzy 53%, a 65% (w zależności od punktu poboru prób),
- w zbiorniku PSZ02 obniżeniu uległ również poziom toksyn (odpowiednio od 30% do 67% w zależności od punktu poboru),
- co ważne spadek toksyczności obejmował eliminację toksyny w komórkach; poziom toksyny w wodzie ulegał nieznacznym wahaniom,
- zatem eliminacja algi odbywała się bez jednoczesnego wyrzutu toksyn do wody, co jest bardzo istotne z punktu widzenia skutecznej eliminacji algi,
- niestety wraz z zanikiem azotu amonowego w kolejnych dobach obserwowano wzrost ilości *Prymnesium parvum* w wodzie,

- ciekawa obserwacja pojawia się w 7 dobie badań (między 6/7 dobą przechodził front atmosferyczny),
- w 7 dobie zaobserwowano: spadek stężenia tlenu w wodzie w PSZ02, wzrost zawartości azotu amonowego (pojawił się w niskich, ale mierzalnych wartościach), wyraźny spadek poziomu algi w wodzie; efekt spadku liczebności *Prymnesium parvum* może być związany z brakiem odpowiednich warunków pogodowych, ale też z pojawieniem się w wodzie jonu amonowego.

Z pewnością, najbardziej efektywne oddziaływanie azotu amonowego ma miejsce przy najwyższym odczynie. Zgodnie z prowadzonymi badaniami poziom odczynu w trakcie realizacji testów kształtował się w granicach 8,2 – 8,3 pH; znacznie niżej niż w przypadku testów prowadzonych w laboratorium. Mogło to mieć najistotniejszy wpływ na efektywność prowadzonych działań.

Uzyskane wyniki nie są jednoznaczne. W pierwszej dobie po zadozowaniu azotu amonowego widoczny był spadek algi oraz spadek toksyczności w zbiorniku PSZ02. Niestety zbyt niska dawka w zbiorniku PSZ02 uniemożliwiła uzyskanie trwałego efektu i eliminacji algi do wartości minimalnych.

W przypadku PSZ01 po zadozowaniu siarczanu amonu można było zaobserwować wzrost poziomu toksyn w wodzie (i jednocześnie spadek w komórkach). Następnie od ok. 5 doby obserwowano systematyczny wzrost poziomu algi i toksyn w tym zbiorniku. Na poziom algi w zbiorniku PSZ01 wpływ miał również napływ wód z innych zbiorników gromadzących odcieki z hałd, w których liczebności algi były wyższe.

Mając na uwadze powyższe zarekomendowano powtórzenie testu z uwzględnieniem wniosków z opisanego powyżej badania tj.:

- utrzymanie dawki ciągłej azotu amonowego na poziomie 0,75 mg/l (korekta dawki 2 i 3 dobie badań – celem utrzymania 0,75 mg/l),
- prowadzenie badań (tlen, przewodność, pH, liczebność, toksyny, azot amonowy i azotany) jak w opisanym powyżej eksperymencie.

Badania powinny być przeprowadzone w warunkach nasłonecznienia i temperatury sprzyjających rozwojowi *Prymnesium parvum*.

IV. Badania terenowe – FAZA II

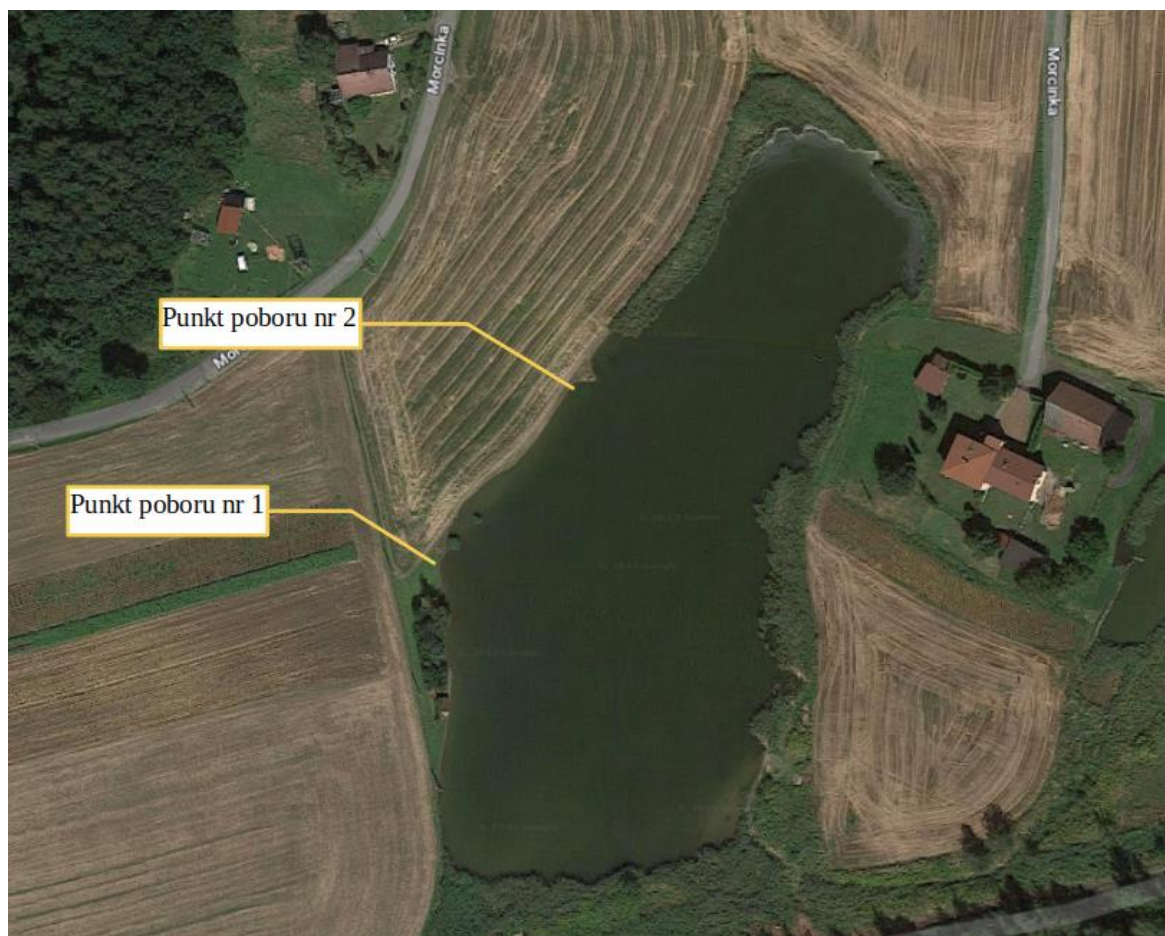
Głównym zadaniem w fazie II testów z siarczanem amonu było utrzymywanie stałego stężenia azotu amonowego przez minimum trzy doby od pierwszej aplikacji.

W tym celu zaplanowano dodatkowe aplikacje siarczanu amonu po analizie wyników stężenia azotu amonowego w zbiorniku

Zbiornikiem, na którym przeprowadzono badania wpływu siarczanu amonu był zbiornik oznaczany przez GDOŚ jako PSZ18, położony przy Hałdzie Pochwacie na terenie miasta Jastrzębie-Zdrój.

Zbiornik oraz punkty poboru wody ze zbiornika zaznaczono na rysunku nr 5.

Rysunek 5. Zbiornik PSZ18 (www.google.maps)



Badania przeprowadzone w dniu 26.09.2023 wykazały, że poziom algi w tym zbiorniku wynosi ok. 6.000.000 org/l, natomiast w dniu 27.09.2023 (przed aplikacją) odpowiednio: ok. 5.000.000 org/l w punkcie nr 1 i 3.335.000 org/l w punkcie nr 2.

Pozostałe parametry fizykochemiczne:

- przewodność wody: ok. 9800 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- odczyn wody: 8,0 pH
- azot amonowy: 0,05 mgN-NH₄⁺/l

Aplikację siarczanu amonu prowadzono w 3 dawkach, w odstępach dobowych. Pierwsza aplikacja miała miejsce 27.09.2023. Oczekiwane stężenie azotu amonowego po aplikacji to 0,75 mgN-NH₄⁺/l. Sposób aplikacji, rodzaj aplikowanego środka, były identyczne jak w fazie I eksperymentu.

Uzyskano stężenia 0,52 mg/l do 1,16 mg/l. Dla kolejnych dni testów i aplikacji dawek korygujących ustalono szczegółowy harmonogram, który zaprezentowano w tabeli 8.

Tabela 8. Szczegółowy harmonogram postępowania – Faza II testu.

L.p.	Data	Godzina	Zadanie	Podmiot	Uwagi
1	28.09.2023 (Czwartek)	10:00	Pobór prób do badań liczebności algi w dwóch punktach.	PGWiR + IOŚ	Przekazanie do analizy do GIOŚ - Bielsko-Biała
			Pobór prób na poziom toksyny (2 pkt-y)	PGWiR + RDOŚ	Przekazanie prób do RDOŚ Katowice (wysyłka do Gdańska w piątek)
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów - badania laboratoryjne	PGWiR + CLBP	Pobór przez PGWiR, przekazanie do CLPB
			Analiza azotu amonowego na miejscu w punkcie nr 1 i 2.	IOŚ-PIB	Analiza pobranych próbną miejscu
2		11:00	Analiza wyników i wyznaczenie dawki siarczanu amonu do ponownej aplikacji. Aplikacja siarczanu amonu w wyliczonej dawce	IOŚ-PIB + RDOŚ + PSP	

3		18:00	Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów	CLPB	Pobór przez PGWiR, przekazanie do CLPB
4	29.09.2023 (Piątek)	10:00	Pobór prób do badań liczebności algi w dwóch punktach.	PGWiR + IOŚ	Przekazanie do analizy do GIOŚ - Bielsko-Biała
			Pobór prób na poziom toksyny (2 pkt-y)	PGWiR	Przekazanie prób do RDOŚ Katowice (wysyłka do Gdańska w piątek)
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów - badania laboratoryjne	PGWiR + CLPB	Pobór przez PGWiR, przekazanie do CLPB
			Analiza azotu amonowego na miejscu w punkcie nr 1 i 2.	IOŚ-PIB	Analiza pobranych próbna miejscu
5		11:00	Analiza wyników i wyznaczenie dawki siarczanu amonu do ponownej aplikacji. Aplikacja siarczanu amonu	IOŚ-PIB + RDOŚ + PSP	
6		18:00	Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów - badania laboratoryjne	PGWiR + CLPB	Pobór przez PGWiR, przekazanie do CLPB
7	30.09.2023 (Sobota)	10:00	Pobór prób do badań liczebności algi w dwóch punktach.	PGWiR	Przekazanie do analizy do GIOŚ – Bielsko-Biała
			Pobór prób na poziom toksyny (2 pkt-y)	PGWiR	Przekazanie prób do RDOŚ Katowice (w poniedziałek)
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów - badania laboratoryjne	PGWiR + CLPB	Pobór przez PGWiR, przekazanie do CLPB
8		18:00	Pobór prób i analiza tlenu, przewodności	PGWiR	Wyniki rozesłane wg

			oraz pH (2 pkt-y)		listy
9	01.10.2023 (Niedziela)	10:00	Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów - badania laboratoryjne	PGWiR + CLBP	Pobór przez PGWiR, przekazanie do CLPB
10		18:00	Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
11	02.10.2023 (Poniedziałek)	9:00 - ...	Pobór prób na liczebność algi w punktach PSZ01, PSZ02, PSZ04 i PSZ18 (po jednym punkcie – optymalnie – w miejscach aplikacji siarczanu amonu)	PGWiR	Przekazanie do analizy do GIOŚ – Bielsko-Biała
12			Pobór prób na poziom toksyny (TYLKO w PSZ018)	PGWiR	Przekazanie prób do RDOŚ Katowice (w poniedziałek)
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH w miejscach aplikacji (po jednym punkcie na zbiornik)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy

Na podstawie wyników podjęto decyzję o kontynuacji testów, zgodnie z zakresem określonym w tabeli nr 9.

Tabela 9. Szczegółowy harmonogram postępowania – Faza II testu (kontynuacja).

1	03.10.2023	18:00	Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y) – identyczne jak w zeszłym tygodniu.	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
2	04.10.2023	10:00	Pobór prób do badań liczebności algi w dwóch punktach.	PGWiR	Przekazanie do analizy do GIOŚ - Bielsko-Biała
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów (2 pkt-y)	CLBP	

7	05.09.2023	10:00	Pobór prób do badań liczebności algi w dwóch punktach.	PGWiR	Przekazanie do analizy do GIOŚ - Bielsko-Biała
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów (2 pkt-y)	CLBP	
10	06.09.2023 - ... (wg zaleceń)	10:00	Pobór prób do badań liczebności algi w dwóch punktach.	PGWiR	Przekazanie do analizy do GIOŚ - Bielsko-Biała
			Pobór prób i analiza tlenu, przewodności oraz pH (2 pkt-y)	PGWiR	Wyniki rozesłane wg listy
			Pobór prób i analiza jonu amonowego oraz azotanów (2 pkt-y)	CLBP	

Uzyskane wyniki zestawiono w tabeli nr 10, 11, 12 i 13.

Tabela 10. Wyniki badań parametrów fizykochemicznych i *Prymnesium parvum* – zbiornik PSZ18, punkt 1.

Data	Godzina	Punkt 1						
		Tlen [mg/l]	Przewodność [uS/cm]	Odczyn [pH]	Temperatura	Azot amonowy	Azotany [mg/l]	Prymnesium parvum [org/l]
2023-09-26 08:00	08:00:00	6,7	9490,0	8,0	18,9			6 058 846
2023-09-26 18:35	18:35:00	7,4	9450,0	8,0	21,0	0,05	0,46	
2023-09-27 08:40	08:40:00	7,6	9480,0	8,0	19,1	0,05	1,12	4 969 615
2023-09-27 11:20	11:20:00	7,4	9710,0	7,9	22,6			
2023-09-27 18:00	18:00:00	7,6	9410,0	8,1	22,8	0,68	0,23	
2023-09-28 09:00	09:00:00	7,1	9610,0	8,2	21,8	0,57	0,23	1 361 538
2023-09-28 18:00	18:00:00	7,1	9610,0	8,2	21,0	0,60	0,17	
2023-09-29 09:30	09:30:00	7,3	9440,0	8,0	20,8	0,44	0,26	3 250 673
2023-09-29 18:20	18:20:00	7,8	9560,0	8,0	20,1	0,62	0,26	
2023-09-30 10:10	10:10:00	6,7	9680,0	8,0	18,7	0,50	0,24	970 096
2023-09-30 18:10	18:10:00	7,2	9480,0	8,0	18,8			
2023-10-01 10:00	10:00:00	5,8	9570,0	8,1	17,0	0,62	0,29	
2023-10-01 18:10	18:10:00	4,7	9520,0	8,0	17,9			
2023-10-02 08:50	08:50:00	5,1	9600,0	7,9	17,1	0,67	0,31	1 684 904
2023-10-03 18:10	18:10:00	5,8	9480,0	8,1	19,3			
2023-10-04 09:50	09:50:00	4,6	9560,0	8,0	18,0	0,50	0,31	1 266 764
2023-10-05 10:00	10:00:00	3,6	9630,0	8,0	17,0	0,55	0,20	1 361 538
2023-10-06 09:00	09:00:00	2,7	9610,0	7,8	16,5			1 021 153
2023-10-09 10:20	10:20:00	1,9	9270,0	7,9	14,7			
2023-10-10 07:55	07:55:00	1,1	9700,0	7,9	13,3			748 846
2023-10-11 15:30	15:30:00	2,5	9600,0	8,0	17,9			
2023-10-12 07:50	07:50:00	2,3	9700,0	7,9	14,9			85 096

Tabela 11. Wyniki badań *Prymnesium parvum* i toksyn – zbiornik PSZ18, punkt 1.

Data	Godzina	Punkt 1			
		Prymnesium parvum [org/l]	Prymnesyny w komórkach [nM/l]	Prymnesyny w wodzie [nM/l]	Suma prymnesyn [nM/l]
2023-09-26 08:00	08:00:00	6 058 846			
2023-09-26 18:35	18:35:00				
2023-09-27 08:40	08:40:00	4 969 615	152,7	306,8	459,5
2023-09-27 11:20	11:20:00				
2023-09-27 18:00	18:00:00				
2023-09-28 09:00	09:00:00	1 361 538	88,3	121	209,3
2023-09-28 18:00	18:00:00				
2023-09-29 09:30	09:30:00	3 250 673	123,4	118,8	242,2
2023-09-29 18:20	18:20:00				
2023-09-30 10:10	10:10:00	970 096	27,8	89,7	117,5
2023-09-30 18:10	18:10:00				
2023-10-01 10:00	10:00:00				
2023-10-01 18:10	18:10:00				
2023-10-02 08:50	08:50:00	1 684 904	32,7	87,3	120,0
2023-10-03 18:10	18:10:00				
2023-10-04 09:50	09:50:00	1 266 764			
2023-10-05 10:00	10:00:00	1 361 538			
2023-10-06 09:00	09:00:00	1 021 153			
2023-10-09 10:20	10:20:00				
2023-10-10 07:55	07:55:00	748 846			
2023-10-11 15:30	15:30:00				
2023-10-12 07:50	07:50:00	85 096			

Tabela 12. Wyniki badań parametrów fizykochemicznych i *Prymnesium parvum* – zbiornik PSZ18, punkt 2.

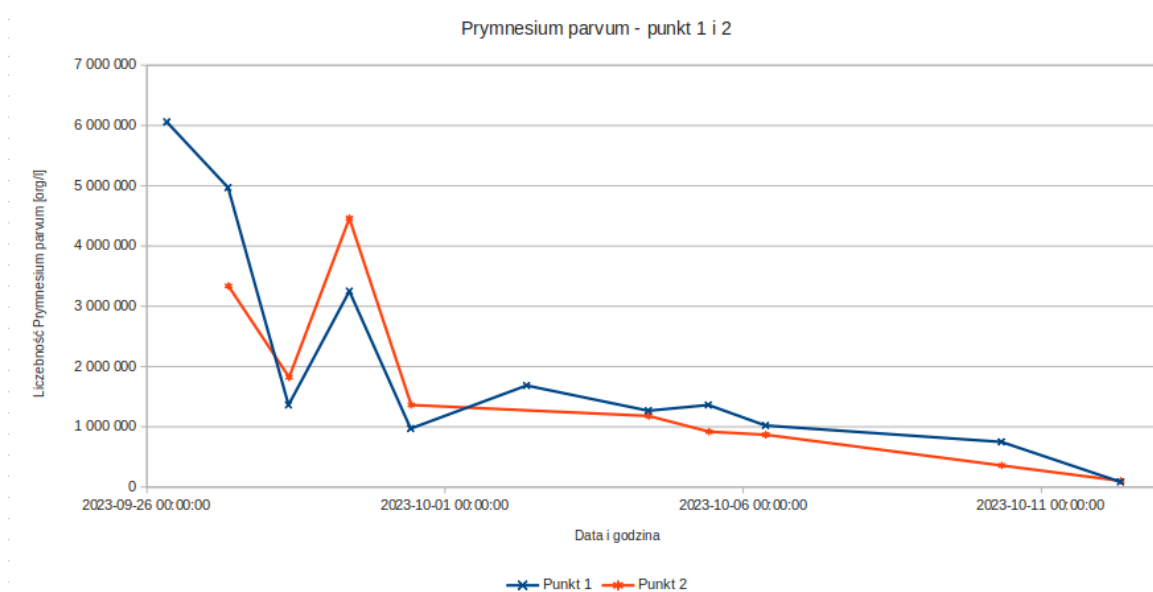
Data	Godzina	Punkt 2						
		Tlen [mg/l]	Przewodność [uS/cm]	Odczyn [pH]	Temperatura	Azot amonowy	Azotany [mg/l]	Prymnesium parvum [org/l]
2023-09-26 18:35	18:35:00	7,6	9460,0	8,0	20,9	0,05	0,46	
2023-09-27 08:50	08:50:00	7,8	9500,0	8,1	19,2	0,06	0,40	3 335 769
2023-09-27 11:25	11:25:00	7,4	9710,0	7,9	22,6			
2023-09-27 18:08	18:08:00	7,7	9430,0	8,1	21,9	0,73	0,30	
2023-09-28 09:15	09:15:00	6,9	9580,0	8,2	21,2	0,60	0,17	1 821 058
2023-09-28 18:20	18:20:00	7,9	9530,0	8,2	21,2	1,99	0,17	
2023-09-29 09:30	09:30:00	7,3	9440,0	8,0	20,8	0,38	0,24	4 459 038
2023-09-29 18:20	18:20:00	7,6	9560,0	8,0	20,1	0,66	0,53	
2023-09-30 10:25	10:25:00	6,9	9520,0	8,1	18,7	0,28	0,28	1 361 538
2023-09-30 18:20	18:20:00	7,3	9510,0	8,0	19,0			
2023-10-01 10:25	10:25:00	5,6	9510,0	8,1	17,1	0,59	0,17	
2023-10-01 18:15	18:15:00	5,2	9500,0	8,0	18,0			
2023-10-02 08:50	08:50:00							
2023-10-03 18:25	18:10:00	5,9	9510,0	8,1	19,4			
2023-10-04 10:00	09:50:00	5,4	9580,0	8,0	18,2	0,47	0,36	1 180 000
2023-10-05 10:15	10:15:00	3,7	9630,0	8,0	17,0	0,59	0,28	919 038
2023-10-06 09:10	09:10:00	2,5	9650,0	7,8	16,7			867 980
2023-10-09 10:30	10:30:00	1,9	9270,0	7,9	14,7			
2023-10-10 08:06	08:06:00	1,3	9720,0	7,9	13,1			357 403
2023-10-11 15:40	15:40:00	3,1	9630,0	8,0	17,6			
2023-10-12 08:02	08:02:00	2,5	9710,0	8,0	14,8			102 115

Tabela 13. Wyniki badań parametrów fizykochemicznych i *Prymnesium parvum* – zbiornik PSZ18, punkt 2.

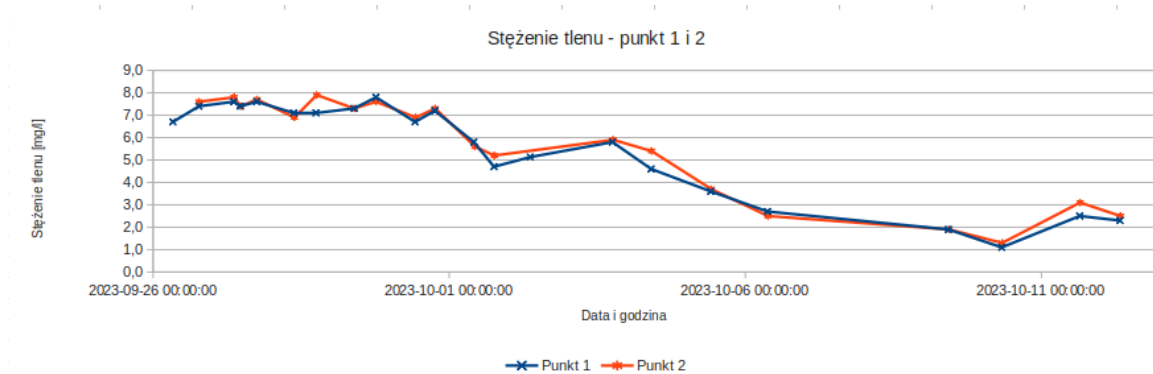
Data	Godzina	Punkt 2			
		Prymnesium parvum [org/l]	Prymnesyny w komórkach [nM/l]	Prymnesyny w wodzie [nM/l]	Suma prymnesyn [nM/l]
2023-09-26 18:35	18:35:00				
2023-09-27 08:50	08:50:00	3 335 769	179,7	180	359,7
2023-09-27 11:25	11:25:00				
2023-09-27 18:08	18:08:00				
2023-09-28 09:15	09:15:00	1 821 058	105,5	152,1	257,6
2023-09-28 18:20	18:20:00				
2023-09-29 09:30	09:30:00	4 459 038	114,7	202,4	317,1
2023-09-29 18:20	18:20:00				
2023-09-30 10:25	10:25:00	1 361 538	59,8	94,5	154,3
2023-09-30 18:20	18:20:00				
2023-10-01 10:25	10:25:00				
2023-10-01 18:15	18:15:00				
2023-10-02 08:50	08:50:00				
2023-10-03 18:25	18:10:00				
2023-10-04 10:00	09:50:00	1 180 000			
2023-10-05 10:15	10:15:00	919 038			
2023-10-06 09:10	09:10:00	867 980			
2023-10-09 10:30	10:30:00				
2023-10-10 08:06	08:06:00	357 403			
2023-10-11 15:40	15:40:00				
2023-10-12 08:02	08:02:00	102 115			

Podstawowe parametry przedstawiono na wykresach.

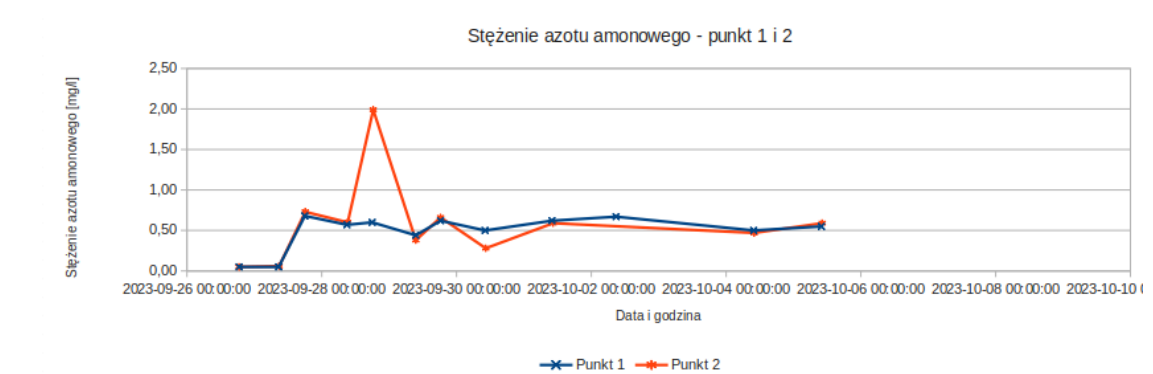
Wykres 31. Liczebność *Prymnesium parvum* w obu punktach badawczych – zbiornik PSZ18.



Wykres 32. Stężenie tlenu w wodzie w obu punktach badawczych – zbiornik PSZ18.



Wykres 33. Stężenie azotu amonowego w wodzie w obu punktach badawczych – zbiornik PSZ18.



Analiza wyników pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Osiągnięto cel techniczny eksperymentu – powtarzanie aplikacji siarczanu amonu w dawkach dostosowanych do stężenia azotu amonowego, badanego na miejscu, przenośnym spektrofotometrem umożliwiło utrzymanie zadanego stężenia przez pierwsze doby trwania testów. Stężenie azotu amonowego utrzymywało się w zakresie 0,75 – 0,5 mg/l. Również po zakończeniu aplikacji siarczanu amonu obserwowano przez kolejne doby stały poziom azotu amonowego w wodzie. Pojedynczy, gwałtowny wzrost azotu amonowego, odbiegający od krzywych w punkcie nr 2, należy tłumaczyć błędem badawczym.
2. Badania prowadzono przy temperaturze wody w granicach 20°C, oraz ok. 14°C pod koniec badań.
3. Odczyn wody w trakcie testów kształtował się w granicach 7,9 – 8,2 pH.
4. Aplikacja siarczanu amonu spowodowała znaczny spadek liczebności *Prymnesium parvum* po pierwszej dobie od aplikacji, następnie zaobserwowano skok liczby komórek w dobie drugiej i systematyczny spadek do wartości ok. 100.000 org/l przez kolejnych 10 dni trwania badań.
5. Aplikacja siarczanu amonu obniżyła również sumaryczny poziom toksyn w obu punktach badawczych.
6. Zaobserwowano systematyczny spadek tlenu w wodzie, szczególnie w okolicach 8 doby trwania testów. Spadek ten korelował ze spadkiem ilości komórek alg. Minimalne stężenie tlenu wyniosło ok. 1,0 mg/l, przy czym nie zaobserwowano śnięć ryb w zbiorniku. Od 11 doby trwania testów stężenie tlenu stopniowo wzrastało. W wynikach analizy mikroskopowej zwracano uwagę na pojawienie się sinic.

V. Podsumowanie

W toku prowadzonych testów i badań potwierdzono wpływ azotu amonowego na *Prymnesium parvum*.

W podsumowaniu należy zwrócić uwagę na następujące aspekty:

1. W badaniach laboratoryjnych wykazano duży wpływ azotu amonowego na algę dla dawek $> 2,5 \text{ mg N-NH}_4^+/\text{l}$. Dla takich dawek uzyskiwano redukcję na poziomie $> 98\%$.
2. W badaniach laboratoryjnych i testach terenowych I fazy, wskazano na szybki zanik azotu amonowego w wodzie uniemożliwiający utrzymanie na poziomie efektywnym amonu przy najniższych aplikowanych dawkach.
3. W II fazie testów terenowych powyższe problemy skompensowano aktywną aplikacją dawek siarczanu amonu przez pierwsze doby testu, utrzymując zadany poziom azotu amonowego.
4. Utrzymanie stałego stężenia azotu amonowego w warunkach terenowych umożliwiło eliminację *Prymnesium parvum* w ok. 99%.
5. Stosowanie tej metody kontroli zakwitów złotej algi w terenie wymaga dokładnego zaplanowania eksperymentu i przeprowadzenia analizy ryzyk związanych z aplikacją siarczanu amonu, do których niewątpliwie należą spadki tlenu oraz pojawienie się azotu w formie niezjonizowanej, toksycznego dla organizmów wodnych. Stąd kluczowy jest dobór odpowiedniej dawki oraz warunków pogodowych realizacji działań.
6. Powyższe testy potwierdziły istotny wpływ azotu amonowego na rozwój *Prymnesium parvum*, tym samym wspierają tezę podnoszoną w pierwszej części opracowania dotyczącą zaniku algi w Kanale Gliwickim na przełomie kwietnia i maja 2023 roku. Obecny w wodzie azot amonowy mógł doprowadzić do gwałtownego spadku liczebności algi w analizowanym okresie.

Rekomendacje:

1. Z uwagi na fakt, iż podstawowym źródłem azotu amonowego dla Kanału Gliwickiego jest rzeka Kłodnica, należy monitorować poziom tego wskaźnika w rzece, a pozyskaną wiedzę wykorzystać w zarządzaniu przepływami wody na Kanale Gliwickim. Rekomenduje się wykorzystanie do tego celu pomiarów online.

2. Należy kontynuować badania wpływu azotu amonowego na *Prymnesium parvum*, ze szczególnym uwzględnieniem roli odczynu w efektywnej eliminacji zakwitów.
3. Stosowanie siarczanu amonu w ograniczaniu rozwoju *Prymnesium parvum* obarczone jest wieloma ryzykami środowiskowymi (spadki tlenu w wodzie, pojawienie się amoniaku), które winny być uwzględniane przy podejmowaniu decyzji o dalszych badaniach i testach tej metody.

Nadrzędnym sposobem ograniczenia rozwoju *Prymnesium parvum* pozostaje znaczące obniżenie zasolenia wód Kanału Gliwickiego i Odry poprzez wdrażanie metod odsalania wody (wraz z odzyskiem soli) i stopniową eliminację źródeł zasolenia.