MAZOWSZE Studia Regionalne
DOI: 10.21858/msr.48.02
s. 37–61

Złote glony (algi-zabójcy) jako zagrożenie dla gospodarki i przyrody Polski

Adam Kapler

STRESZCZENIE

Bezprecedensowy zakwit „złotych alg" *Prymnesium parvum* w Odrze w 2022 r. był najgorszą klęską ekologiczną w Polsce i Niemczech od dekad. W 2023 r. udało się powstrzymać przenikanie „glonów-zabójców" z Kanału Gliwickiego, jak również zbiorników Czernica i Januszkowice do głównego nurtu Odry. Artykuł przedstawia aktualny stan wiedzy o tej katastrofie oraz wnioski z przeprowadzonych w Polsce, pionierskich testów metod wygaszania zakwitów w wodach płynących. Ponadto w niniejszej pracy zebrano i przedstawiono zagraniczne sposoby zwalczania „złotych alg" w stawach rybnych, na obszarach cennych dla przyrody, żeglarstwa i wędkarstwa, jak również restytucji fauny (w tym małży skójkowatych, istotnych tak dla gospodarki, jak dla ochrony przyrody) po masowym zakwicie *P. parvum*.

Słowa kluczowe: złote glony, *Prymnesium parvum,* prymnezyny, zakwit, HAB, klęska ekologiczna, Odra, starorzecza, $CuSO_4$, H_2O_2, Phoslock, La, PIX_{111}, biostabilizator jęczmienny

Wprowadzenie

Bezpośrednią przyczyną masowego śnięcia ryb i bezkręgowców w Odrze okazał się zakwit (ang. *harmful algal bloom, HAB*) tajemniczych „złotych alg/złotych glonów" (ang. *golden algae*), inaczej „glonów-zabójców" (ang. *killer algae*), a dokładniej mało u nas znanego haptofitu *Prymnesium parvum* N.Carter. Świadczą o tym doniesienia z polskiego Instytutu Rybactwa Śródlądowego im. Stanisława Sakowicza (IRŚ), jak również niemieckiego Instytutu Ekologii Słodkowodnej i Rybactwa Śródlądowego im. Leibniza (IGB) w Berlinie [https://www.igb-berlin.de/news/podejrzenie-jest-uzasadnione-w-wodzie-z-odry-wykryto-toksyne-z-glonow-zyjacych-w-wodach, https://www.infish.com.pl/news/konferencja-prasowa-19082022-press-conference-august-19th-2022, Kolada 2022; Marchowski, Ławicki 2023; Sługocki, Czerniawski 2023; Sobieraj, Metelski 2023].

Biologia i ekologia haptofitów, inaczej prymnezjofitów

Prymnesium parvum, opisywane w mediach jako „złote algi" lub „glony-zabójcy", zaliczane jest obecnie do gromady haptofitów Haptophyta, klasy kokkolitowych Coccolithophyceae, rzędu prymnezjowców Prymnesiales, rodziny prymnezjowatych *Prymnesiaceae* i rodzaju *Prymnesium* [systematykę przytoczono za Algaebase: Guiry M.D., Guiry G.M. 2024].

Czym są **haptofity** ***Hapotophyta***? To grupa jednokomórkowców, występujących zazwyczaj w postaci wiciowców, rzadziej tworzących nitkowate bądź okrągławe kolonie w galaretowatych osłonkach jak np. *Phaeocystis* dająca zakwity w morzach.

Posiadają dwie, gładkie wici oraz **haptonemę** – niespotykany u reszty organizmów, sztywny wyrostek (zależnie od rodzaju prosty, podobny do sprężyny lub haczyka) różniący się od prawdziwych wici budową wewnętrzną. O ile wici stanowią napęd tych organizmów, o tyle haptonema służy do kotwiczenia się w podłożu, obrony, ataku bądź pobierania pokarmu (przesuwa cząstki pokarmowe w stronę miejsca w komórce, gdzie błona wgłębi się, po czym dojdzie do fagocytozy). Podobnie jak doskonale znana nam ze szkoły, choć raczej niespokrewniona z nimi euglena, także haptofity odżywiają się dwojako: samożywnie jak rośliny oraz cudzożywnie jak zwierzęta i grzyby. Fotosynteza wygląda u nich podobnie jak u roślin lądowych i glonów. Cudzożywność podobnie jak u orzęsków i ameb: polują na mniejsze od nich drobnoustroje lub wchłaniają na drodze fagocytozy bardzo drobne resztki martwych ryb (rozmiarów bakterii). Chloroplasty haptofitów to całe, wtórnie uproszczone krasnorosty pobrane na drodze endosymbiozy. Identycznie powstały chloroplasty u lepiej znanych nam brunatnic (jak bałtycki morszczyn) i okrzemek (którym zawdzięczamy ziemię diatomitową, stosowaną jako filtr i środek odwadniający, coraz częściej także suplement diety). Wszystkie te trzy grupy glonów łączy obecność karotenoidów, nadająca im różne odcienie brązów i złota, dlatego haptofity zaliczano dawniej do złocienic (złotowiciowców). Barwnikami fotosyntetycznymi u prymnezjofitów są: chlorofile a, c. Najczęstszym materiałem zapasowym bywa chryzolaminaryna [Kriastansen, Andersen (red.) 1986; Medlin 1997; Edvardsen i in. 2000; Andersen 2004; Adl, Simpson 2005; Penot i in. 2022].

„Złota alga" *Prymnesium parvum* jako haptofit o nietypowej biologii i ekologii

Niemal wszystkie haptofity spotyka się w pełnosłonych morzach. Szczątki ich wapiennych pancerzyków, zwane kokolitami, stanowią podstawowy składnik kredy piszącej. To im swoją charakterystyczną biel zawdzięczają klify w angielskim Dover. *Prymnesium parvum* to prawdziwy unikat wśród haptofitów. Po pierwsze: nie posiada typowego dla swej klasy kokkolitowych Coccolithophyceae wapiennego pancerzyka. Ma jedynie delikatne łuski celulozowe okrywające komórkę. Po drugie: coraz częściej spotykamy go stosunkowo daleko od mórz, w wodach śródlądowych. Tym niemniej w środowiskach śródlądowych *P. parvum* generalnie występuje w wodach wtórnie zasolonych, a nie typowo, naturalnie słodkich. Jako organizm euryhaliczny może przetrwać przy stosunkowo niskim zasoleniu, jednak wody słodkie nie są dlań optymalne ekologicznie ani fizjologicznie. „Złote glony" rozwijają się dobrze, w tym mogą tworzyć zakwity, tylko przy dosyć wysokim zasoleniu wtórnym, nigdy w akwenach i ciekach o rzeczywiście słodkich wodach.

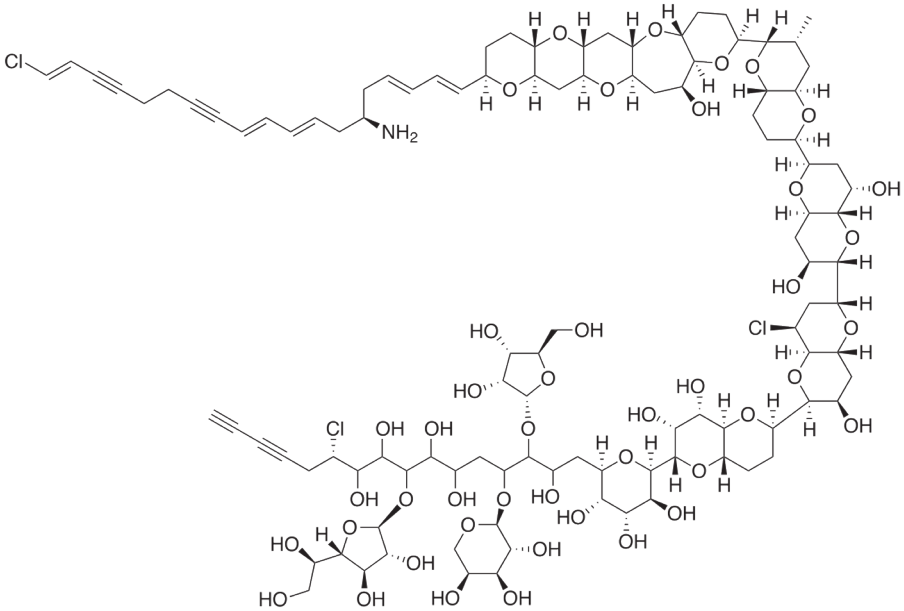
Od półwiecza obserwuje się go w rzekach, jeziorach i stawach rybnych tylko z wyraźnie podwyższonym poziomem zasolenia np.: wskutek zrzutu wód kopalnianych albo nieprawidłowego nawadniania gleb tropikalnych. Uwielbia wody bardzo żyzne (eutroficzne) i ciepłe, jednak może przetrwać w wodach ubogich oraz chłodnych [Uronen (red.) 2007; Śliwińska i in. 2013], (ryc. 1).

Ryc. 1. Złote algi *Prymnesium parvum*
Źródło: Wikipedia

Prymnezyny jako ichtiotoksyny „złotej algi" Biochemia i fizjologia działania na inne organizmy

Najwięcej danych o niebezpiecznych zakwitach *P. parvum* pochodzi z rzek Teksasu, Australii oraz Izraela, zatem z krajów o suchym i gorącym klimacie oraz zasolonych wodach śródlądowych. Najważniejszym powodem zasolenia wód w wyżej wymienionych krajach jest sam typ miejscowych gleb: wysokozmineralizowanych z natury, a jednocześnie poddawanych przez wieki nieprawidłowo wykonanym irygacjom. Ewaporacja dodatkowo dostarczanej wody w gorącym i suchym klimacie przy równoczesnym niedoborze opadów i mgieł wywołuje zasolenie powierzchniowych warstw gleb oraz wód, jak również zasolenie wód podziemnych. Drugą, istotną bardziej lokalnie, przyczyną antropogenicznego zasolenia gruntów, wód powierzchniowych i podziemnych bywa funkcjonowanie kopalń, hut oraz innych zakładów przemysłowych. Kolejnymi powodami może być nieprawidłowe nawożenie mineralne i brak płodozmianów w rolnictwie [Southard i in. 2010; Roelke i in. 2011]. Wiciowiec ten wydziela

toksyny zwane **prymnezynami**. Ich trujące właściwości dla ryb odkryto już w 1939 r., jednak dopiero w 1995 udało się je wyizolować i scharakteryzować budowę chemiczną. Prymnezyny okazały się **złożonymi eterami epoksydowymi**, zawierającymi dodatkowo atomy chloru. Z czasem opisano ich trzy klasy, nazwane A, B i C. Obecnie pojawia się tendencja do dalszego rozbijania klas A, B i C na mniejsze, węziej definiowane jednostki. Do wody trafiają w formie **miceli** czyli mikroskopijnych pęcherzyków zbudowanych z części hydrofilowej i hydrofobowej, trochę tak jak niektóre kosmetyki, detergenty albo środki do odzysku ropy naftowej z wycieków. Są one szczególnie groźne dla wszystkich organizmów oddychających skrzelami, od małży i raków po ryby oraz kijanki płazów. W kwaśnym środowisku żołądka ptaków i ssaków mają ulegać inaktywacji. Także mocne nasłonecznienie powinno je dość szybko dezaktywować. Na podstawie drobnych różnic w budowie tych eterów oraz we wzajemnym stosunku prymnezyn A, B i C można odróżniać ekotypy, nawet osobne, dotąd nieznane gatunki „alg zabójców" [Igarashi i in. 1996; Manning i in. 2010; Binzer i in. 2019; Sundaravadivelu i in. 2022; Sobieraj, Metelski 2023]. W polsko-niemieckiej Odrze wykazano jednoczesną obecność kilku takich ekotypów/gatunków kryptycznych, być może także ich mieszańców [Mazur-Marzec 2023], (ryc. 2).



Ryc. 2. Prymnezyny – wzory chemiczne
Źródło: Wikipedia

Prymnezynom towarzyszy szereg innych substancji wydzielanych do środowiska, potęgujących ich działania na inne organizmy żywe. Złote algi wydzielają też mieszanki różnych **proteaz** – enzymów trawiących białka – które rozkładając same komórki oraz ich macierz pozakomórkową ułatwiają penetrację prymnezyn wewnątrz skrzel. Według innej hipotezy proteazy te stanowią raczej pozostałość po rozpadzie komórek „złotych glonów" wskutek infekcji wirusowych. Tak czy inaczej, to również upodabnia działanie wydzielin „glonów-zabójców" na skrzelodyszne zwierzęta do nowoczesnych środków czyszczących, złożonych zarówno z mydeł, jak i proteaz [Vasas i in. 2012; Hartman i in. 2021].

Nauczona klęską ekologiczną w Odrze Polska dysponuje obecnie najbardziej na świecie zaawansowanym systemem monitoringu wód pod kątem „złotej algi". Polscy naukowcy wyprodukowali pierwszy na świecie wzorzec do analiz ilościowych tych metabolitów wtórnych. W dużym uproszczeniu dzięki temu wzorcowi można nie tylko rozróżniać prymnezyny A, B i C w próbkach wody i materiałów biologicznych, ale także oznaczać ich stężenia w wodzie, co do tej pory było niewykonalne. Dlatego w badaniach prowadzonych nad zakwitami *P. parvum* oraz masowymi śnięciami ryb i bezkręgowców nie było do tej pory informacji o zmierzonych stężeniach prymnezyn. Nie było też wiedzy o tym, jakie stężenia wystarczą do spowodowania masowej śmiertelności organizmów oddychających skrzelami: kijanek, ryb, wielu skorupiaków i mięczaków.

Kalibracja próbek toksyn w wodzie, osadach dennych i materiałach biologicznych stała się możliwa dopiero teraz, dzięki standardom opracowanym na Uniwersytecie Gdańskim w laboratorium prof. Mazur-Marzec [Mazur-Marzec 2023 [w:] Min. Klimatu 2023a, 2023b i 2023c].

Masowe śnięcia ryb powodowane przez złote algi

Pierwsze doniesienia o złotych glonach z polskich wód pochodzą z Zatoki Gdańskiej, z 1938 r. [Bursa 1938]. Rok później odnotowano masowe śnięcie ryb w duńskich jeziorach [Otterstrøm, Nielsen 1939]. Zestawienie klęsk ekologicznych (zaczynając od zakwitów w Großer Binnensee/Waterneverstorfer w 1909, 1914, 1920 i 1932 r. oraz holenderskiego Workum w 1920, a kończąc na 1992 r.) spowodowanych przez *Prymnesium* i jego pełnomorską kuzynkę *Chrysochromulina* znajduje się u Edvardesna i Paaschego [1998]. *P. parvum* powodowało zakwity w fińskim archipelagu Dragsfjard, fiordach Norwegii i Szwecji, delcie hiszpańskiej rzeki Ebro, nowozelandzkiej zatoce Bream Bay, gospodarstwach rybackich Izraela, Ukrainy oraz Chin Ludowych (koło Tiencinu i Szantungu), tudzież w brytyjskim Norfolk Broads [Edvardsen, Paasche 1998]. Od niedawna przypuszcza się, że niewyjaśnione dotąd masowe śnięcie ryb, zachodzące co 5–10 lat w węgierskim jeziorze Téglagyár, w jakże popularnym wśród Polaków uzdrowisku Hajdúszoboszló, to również skutek masowych pojawów *Prymnesium* [Vasas i in. 2012, Vasas 2014]. Częstotliwość tych klęsk żywiołowych oraz długość pojedynczego zakwitu zwiększają się razem ze wzrostem stężenia soli oraz żyzności (trofii) wody. Wielu rzeczy o tych truciznach wciąż nie wiemy. Być może ich wydzielanie było początkowo

tylko skutkiem ubocznym szoku osmotycznego (w tym przypadku nagłej zmiany zasolenia), głodu i/lub nadmiaru pokarmu w środowisku? Dopiero później przekształciło się w metodę eliminowania konkurentów (przede wszystkim sinic) oraz drapieżców polujących na *P. parvum* (drobnych skorupiaków, dużych orzęsków i innego zooplanktonu)? Jaki jest związek obecności wirusów zakażających „glony-zabójców" ze zdolnością tychże alg do wytwarzania prymnezyn oraz ich toksycznością dla skrzelodysznych zwierząt? Może najpierw następuje masowe zamieranie złotych alg porażonych przez megawirusy PpDNAV-BW1, a dopiero po lizie (rozpuszczeniu) ich komórek zaczyna się śnięcie ryb i makrobezkręgowców, zatrutych prymnezynami? Czasem występują dalsze fale śmiertelności u organizmów wprawdzie odpornych na trucizny *P. parvum*, lecz padających z głodu po utracie bazy pokarmowej i/lub zużyciu tlenu w procesach dekompozycji szczątków martwych ryb i bezkręgowców. Dlatego wtórne fale śmiertelności powodowane są albo głodem, albo uduszeniem (brakiem dostępnego tlenu) [Fistarol i in. 2003; Tillmann 2003; Liu i in. 2015; Wagstaff i in. 2017; Li i in. 2019].

Masowy pomór ryb i bezkręgowców w Odrze, w 2022 r.

Lato 2022 r. przyniosło jedną z największych w Europie klęsk ekologicznych: masowe śnięcie ryb, małży oraz innych zwierząt oddychających skrzelami w Odrze. Na polskich odcinkach rzeki pierwsze objawy katastrofy odnotowano 26 lipca. Po okresie początkowej niepewności, niemiecki Instytut Ekologii Wód Słodkich oraz Rybactwa Śródlądowego im. Leibniza wykazał na początku sierpnia, że doszło do masowego zakwitu „złotych glonów" oraz wydzielania się prymnezyn. Najwięcej zwierząt padło w środkowych i dolnych odcinkach Odry, po czym ich szczątki spływały na dół [Kolada 2022, 2023; PZW 2022; Czerniawski 2023a, 2023b, 2023c; Marchowski, Ławicki 2023; Sługocki, Czerniawski 2023; Szlauer-Łukaszewska i in. 2024].

Padło co najmniej 3,3 miliona ryb, przede wszystkim najpospolitszych w Odrze leszczy, okoni i jazgarzy. Śnięciu ulegały wszystkie ryby i kręgouste, także gatunki rzadkie, chronione prawem polskim i Dyrektywą Siedliskową jak minogi, kozy zwyczajne i różanki. Szczególnie bolesna była strata tarlaków ryb drapieżnych (sumów, szczupaków, miętusów i boleni), prądolubnych (cert i świnek) oraz dwuśrodowiskowych: węgorzy, łososi atlantyckich, w tym restytuowanych w Polsce i Niemczech, rodzimych jesiotrów bałtyckich (ostronosych). Istniały obawy, że z dorzecza Odry znikną endemiczne sabanajewie (kozy złotawe) bałtyckie/bałkańskie i strzeble bałtyckie. Spośród obcych, inwazyjnych w Europie gatunków ryb zdechło sporo sumików karłowatych oraz bassów słonecznych. Całkowitą nekromasę ryb i smoczkoustych szacuje się na 1025–1650 ton. Oznacza to 60% ubytek biomasy w porównaniu z czasami sprzed katastrofy ekologicznej [PZW 2022; Kolada 2023; Czerniawski 2023a, 2023b, 2023c; Sługocki, Czerniawski 2023; Szlauer-Łukaszewska i in. 2024], (ryc. 3).

Ryc. 3. Klęska ekologiczna w Odrze, 2022 r.
Źródło: Wikipedia

Niespotykaną dotąd śmiertelność odnotowano wśród mięczaków (małży i ślimaków). Zdechło około 65 milionów osobników małży z rodziny skójkowatych *Unionidae* czyli 88% wcześniejszej populacji. Ginęły przede wszystkim gatunki rodzime dla Polski, już wcześniej zanikające, podczas gdy obca dla naszej fauny, inwazyjna szczeżuja wielka *Sinanodonta woodiana* okazała się zadziwiająco odporna na skutki tego HAB-u. Padło bowiem 95% osobników szczeżuj pospolitych *Anodonta anatina*, a tylko 15% ww. *Sinanodonta woodiana*. Ogromną śmiertelność obserwowano także wśród inwazyjnych gatunków małży z innych rodzin – korbikul *Corbicula* spp., racicznic: zwyczajnej *Dreissena polymorpha* i rzadko podawanej z Polski, być może jednak tylko nierozpoznawanej racicznicy bużańskiej *D. rostriformis* ssp. *bugensis*. Za wcześnie jednak, by wyrokować o dalszych losach populacji tych rodzajów obcych małży.

Wśród padłych ślimaków notowano zarówno gatunki skrzelodyszne np.: zagrzebki *Bithynia* spp. (identyfikowane do rodzaju), żyworódki rzeczne *Viviparus viviparus*; jak i słodkowodne rodzaje płucodysznych, przede wszystkim błotniarkowatych *Lymnaeidae* (oznaczanych tylko do rodziny) oraz zatoczków rogowych *Planorbarius corneus* [Szlauer-Łukaszewska i in. 2024], (ryc. 4a, 4b).

Ryc. 4a. Małże padłe w Odrze w 2022 r. Szczeżuja pospolita *Anodonta anatina*
Źródło: Wikipedia

Ryc. 4b. Małże padłe w Odrze w 2022 r. Szczeżuja wielka *Sinanodonta woodiana*
Źródło: Wikipedia

Katastrofalny HAB *P. parvum* potwierdził w praktyce słuszność ochrony prawno-administracyjnej Międzyodrza. Ten rozległy obszar starorzeczy, zdziczałych kanałów i ostrowów na Regalicy i Odrze Zachodniej zadziałał niczym gigantyczna, naturalna oczyszczalnia ścieków i zakład utylizacji odpadów biologicznych. Wchłonął i rozłożył setki ton padłych makrobezkręgowców i ryb. Zachował przy tym niemal całą, własną biomasę bezkręgowców oraz różnorodność biologiczną, pozostając istotnym tarliskiem ryb tudzież żerowiskiem, pierzowiskiem i punktem postojowym ptaków wodnych i błotnych [Szlauer-Łukaszewska i in. 2024]. Potwierdza to wysoką ocenę usług ekosystemowych wód i bagien Międzyodrza, jak również słuszność trwających od końca lat 40. zeszłego stulecia starań o zwiększenie ochrony tej rzeki i mokradeł poprzez ustanowienie tu parku narodowego, ewentualnie sieci rezerwatów [Wodziczko i in. 1948; Wołejko 2015; Jasnowska (red.) 2022; Wołejko i in. 2024], (ryc. 5).

Ryc. 5. Międzyodrze – widok z lotu ptaka
Źródło: Wikipedia

Nie potwierdziły się medialne doniesienia o masowym padaniu ptaków i ssaków np. wydr i bobrów. Mimo wytężonych poszukiwań potwierdzono jedynie zgon dwu okazów rzęsorka rzeczka *Neomys fodiens*. Dorosłe okazy płazów, oddychające skórą i płucami, przykładowo żab zielonych z kompleksu *Pelophylax*, także przeżywały zakwit [Szlauer-Łukaszewska i in. 2024].

Eksperymentalne usuwanie *P. parvum* oraz prymnezyn z Kanału Gliwickiego w 2023 r.

Wielkoskalowe eksperymenty prowadzone w Kanale Gliwickim wspólnie przez naukowców (z Politechniki Koszalinskiej, UWM w Olsztynie oraz UW w Warszawie), firmę Biopro, Wojsko Polskie, Wody Polskie, GIOŚ oraz Straż Pożarną w 2023 r. testowały skuteczność trzech środków neutralizujących *P. parvum*:

1) komercyjnie dostępnego, popularnego w Polsce i krajach sąsiednich koagulantu **PIX_{111}**, opartego na chlorku żelaza (III) **$FeCl_3$**,
2) innowacyjnej glinki zawierającej **lantan (La)** klasy **Phoslock,**
3) **wody utlenionej (perhydrolu, H_2O_2)**.

Koagulant komercyjny PIX_{111} dobrze działał punktowo na odcinkach o stagnującej wodzie, jednak – jak było do przewidzenia – zawiódł w wodzie płynącej. Stężenie fosforanów w wodzie spadło wyraźniej niż po podaniu Phoslocku. Trudniej dostrzegalne były obniżenia się stężeń azotu oraz całkowitej materii organicznej. Prymnezyny były adsorbowane dopiero przez koagulat powstały po aplikacji środka, a nie wytrącały się od razu po reakcji z chlorkiem żelazowym (III). Liczebność „alg-zabójców" początkowo spadła, ale potem wzrosła. Stężenie wolnych prymnezyn również najpierw się obniżyło, by później wzrosnąć. Pod koniec eksperymentu osiągnęło poziom wyższy niż przed rozpoczęciem doświadczenia z PIX_{111} [Panek 2022, 2023; Szczepański i in. 2023].

Phoslock z lantanem obniżył liczebność żywych komórek alg o 80%, jak również wiązał już wydalone do wody prymnezyny. Spadek zagęszczenia komórek „złotych alg" nastąpił od razu po podaniu glinki lantanowej, jednak już po 2–3 dniach *P. parvum* znowu zaczęło się namnażać. Liczebność nie tylko wróciła do stanu początkowego, ale go przewyższyła po kilku dniach trwania eksperymentu. Potem ponownie zaczęła się obniżać. Malało także stężenie wolnych prymnezyn w wodzie [Panek 2022, 2023; Szczepański i in. 2023]. Wadami tej metody będą jednak nie w pełni zbadane skutki uboczne podania lantanu, jak również jego rosnąca cena i brak na rynku. Uważa się, że lantan nie pełni żadnej roli w ludzkim organizmie jako mikroelement, słabo się wchłania i równie słabo wydala po podaniu doustnym. Bywa kofaktorem enzymów u bakterii metanotroficznych, podobnie jak cer, neodym i prazeodym. Wchodzi w skład leku Fosrenal, usuwającego nadmiar wapnia u pacjentów z ciężko chorymi nerkami. Jony lantanu mogą zastępować kationy cynku jako modulator allosteryczny receptorów GABA u ssaków, w tym ludzi. Wstrzyknięcie roztworów lantanu może uśmierzać bóle (mechanizm działania na poziomie komórkowym i cząsteczkowym pozostaje nieznany), poza tym wywołuje hiperglikemię, obniża ciśnienie krwi i poziom cholesterolu, szkodzi jednak wątrobie, płucom i śledzionie. Lantanu używa się czasem jako zamiennika jonów wapnia w niektórych badaniach medycznych. Toksyczność dla ludzi budzi kontrowersje fachowców, bywa oceniana jako niska lub umiarkowanie wysoka [Boldyreva 2005; Emsley 2011; Arjan i in. 2013], (ryc. 6).

Ryc. 6. Testy różnych metod likwidacji zakwitu złotych glonów w Kanale Gliwickim
Źródło: Wikipedia

Nadtlenek wodoru H_2O_2, potocznie zwany „wodą utlenioną", może skutecznie hamować wzrost „złotych alg". Podstawami naukowymi do wykonania doświadczeń z tą substancją były zarówno dane literaturowe, jak liczne, niepublikowane wyniki i wnioski z mitygacji zakwitów sinic. Przed rozpoczęciem prac terenowych w Kanale Gliwickim wykonano badania w mniejszej, laboratoryjnej skali, aby dokonać właściwego doboru stężenia H_2O_2. W tym celu zastosowano wariant kontrolny w postaci wody bez jakichkolwiek dodatków oraz trzy różne warianty doświadczalne z odmiennymi stężeniami, po 40, 80 i 120 mg/l nadtlenku wodoru o stężeniu 35%. Podczas prac kameralnych w laboratorium zespołu prof. Iwony Jasser monitorowano:

- parametry fizycznochemiczne wody *in situ*, analizując zmiany przewodności elektrycznej, zasolenia, pH, temperatury, stężenia tlenu i procent nasycenia wody tlenem;
- skład, liczebność i strukturę fitoplanktonu.

Jednocześnie w gdańskim laboratorium prof. Hanny Mazur-Marzec wykonano pionierskie w skali świata pomiary stężenia prymnezyny w komórkach *P. parvum* oraz w wodzie. Analizy laboratoryjne pokazały, iż nadtlenek wodoru efektywnie redukuje zakwit *P. parvum,* jak również usuwa same „złote algi" z otoczenia. W efekcie zaproponowano bardziej wielkoskalową aplikację nadtlenku wodoru w śluzie Sławęcice w Kanale Gliwickim. **H_2O_2** aplikowano analogicznie do chlorku żelaza, tj. po wcześniejszym rozcieńczeniu 206 L nadtlenku wodoru w jednym m^3 wody, za pomocą węża z otworami na głębokości ok. 0,5 do 1 m, przechodzącego parokrotnie wzdłuż

śluzy. Polecano także, by po dodaniu nadtlenku wodoru wodę w śluzie wymieszać, np. pływając motorówką.

Podczas eksperymentu polowego na śluzie Sławięcice odnotowano, iż stężenie wody utlenionej wyraźnie się obniżyło w ciągu 12 h. Po upływie 72 h nie można było jej wykryć. Tak stężenia prymnezyn, jak i biomasa fitoplanktonu w wodzie malały w ciągu 24 h. Przez następnych 14 dni nie wykazano zakwitu „złotych glonów", jak i reszty glonów eukariotycznych. Niepokojący był jednak obserwowany wtedy krótkotrwały, lecz istotny wzrost biomasy fitoplanktonu po 96 h (wprawdzie bez *P. parvum*, być może jednak z sinicami?). Odłowiono ryby ze śluzy, po czym zbadano, czy nie wykazują cech patologicznych wskutek kontaktu z reaktywnymi formami tlenu (ang. *ROS*) po zastosowaniu nadtlenku wodoru? Z uwagi na poddanie analizie na śluzie Sławięcice wyłącznie jednego gatunku ryb oraz na ryzyko wystąpienia interakcji z innymi czynnikami działającymi poza laboratorium, należałoby przeegzaminować szereg innych gatunków ryb, kijanek płazów i makrobezkręgowców, typowych dla dorzecza Odry.

Zgodnie z założeniami wykonawców „woda utleniona" podana w odpowiednich proporcjach nie powinna zaszkodzić ekosystemowi. Po zaaplikowaniu przeciwko „złotym algom" rozłoży się w ciągu kilkunastu godzin do wody i tlenu. Odróżnia to ją jaskrawo od siarczanu amonowego i siarczanu miedzi, gdyż nadtlenek wodoru nie pozostawi żadnych śladów w środowisku [Jasser 2023; Szczepański i in. 2023].

Z kolei **siarczan miedzi $CuSO_4$** zawiera miedź – dla ryb i wielu bezkręgowców prawie tak trującą jak rtęć dla człowieka. Miedź wprowadzona do środowiska wodnego w czasie likwidacji zakwitu *P. parvum*, będzie akumulowała się w środowisku. Może zatem zatruwać organizmy jeszcze długo po aplikacji, prowadząc albo do zatruć ostrych, albo przewlekłych. Właśnie ta długotrwała toksyczność oraz gromadzenie się w środowisku (a potem biomagnifikacja w organizmach żywych, najwyższa u szczytowych drapieżników, nierzadko zatem u ludzi) sprawiły, że wiele państw i przedsiębiorstw zakazało używania $CuSO_4$ do odkażania wody, konstrukcji hydrotechnicznych, łodzi, narzędzi rybackich i/lub leczenia ryb. Odkażanie akwakultur $CuSO_4$ jest niedopuszczalne z prawno-administracyjnego i etycznego punktu widzenia, choć wciąż nielegalnie praktykowane z racji swej taniości, prostoty aplikacji i pozornej przynajmniej skuteczności.

Z kolei stosowanie **siarczanu amonu $(NH_4)_2SO_4$** użyźnia wodę wprowadzając dodatkowy azot. Wykorzystanie tej soli przyśpiesza zatem eutrofizację (przeżyźnienie wód i osadów dennych). Eutrofizacja z kolei sprzyja rozwojowi zarówno *P. parvum.* jak i innych glonów (sinic i zielenic) w dłuższej perspektywie czasowej. O ile zakwit zielenic stanowi „jedynie" problem estetyczny, czasem także techniczny, o tyle zakwit sinic może być zagrożeniem zdrowia i życia nie tylko dla ryb i małży, lecz także dla człowieka i zwierząt gospodarskich.

Żadna z charakteryzowanych wyżej metod wygaszania zakwitów „glonów-zabójców" nie jest idealna. Niektóre mogą być w długoterminowej perspektywie szkodliwsze od samego pomoru ryb. Inne są bezpieczniejsze dla organizmów żywych, jednak przynoszą tylko chwilową poprawę, nie eliminując w pełni samych *P. parvum*, ani ich prymnezyn

już obecnych w wodzie i osadach. Dlatego trzeba dalej eksperymentować z ich zastosowaniem w niewielkich skalach: akwariów, akwakultur i stawów rybackich, jak również sprawdzać dalsze, innowacyjne produkty, oparte o inne metale ziem rzadkich i/lub inne materiały sorpcyjne naturalne i sztuczne [Jasser 2023; Szczepański i in. 2023].

Współczesne środki przeciwglonowe (algicydy) nie nadają się jednak do użycia w większych skalach ani w wodach płynących. Zahamowanie rozwoju „glonów-zabójców" w kanałach, rzekach czy jeziorach przepływowych wymaga punktowego użycia biostabilizatorów. Najlepiej naturalnych, ulegających biodegradacji, tanich i łatwych w produkcji. Dlatego w państwach o cieplejszym, zwrotnikowym klimacie duże nadzieje wiąże się z ciepłolubną trzciną – lasecznicą trzcinowatą *Arundo donax*. W Polsce – w Kanale Gliwickim i starorzeczach Odry (Czernica, Januszkowice, Łacha Jelcz) – natomiast testuje się siatki oraz biostabilizatory ze słomy jęczmiennej. Z uwagi na możliwe zwiększenie przepływów zaleca się zmianę ich położenia, np. na zakotwiczenie ich na środku zbiornika zimą i wiosną, po czym oznakowanie bojami [Panek 2022, 2023; Courseau 2023; Szczepański i in. 2023].

Rekomendacje Ministerstwa Klimatu i agend rządowych

W 2023 r. uniknęliśmy masowego śnięcia ryb, kijanek i makrobezkręgowców w głównym nurcie Odry [Courseau 2023]. Znaczące, potencjalnie niebezpieczne dla przyrody i gospodarki liczebności *P. parvum* odnotowano jednak w Kanale Gliwickim, zbiorniku Czernica (woj. dolnośląskie) oraz zbiorniku Januszkowickim (woj. opolskie). Sporo jej było również w rezerwacie „Łacha Jelcz". Złote algi przedostawały się do nurtu głównego podczas okresowych wezbrań po ulewach. Zespół Zarządzania Kryzysowego MKiŚ wydał rekomendacje dla odpowiednich służb oraz wszystkich użytkowników wód. Powstawały także szersze wskazania do dalszych działań, przeznaczone dla wszystkich obywateli oraz kolejnych rządów.

Priorytety na najbliższe sezony to:

- utrzymanie stałego monitoringu jakości wód dorzecza Odry;
- monitoring Wisły, zwłaszcza górnej, gdzie także wykształciły się warunki potencjalnie sprzyjające „glonom-zabójcom";
- utrzymanie i doskonalenie inteligentnego zarządzania zrzutami ścieków, przede wszystkim dostosowanie ilości spuszczanych solanek do bieżących warunków hydrologicznych;
- w razie potrzeby: rozcieńczanie ścieków poprzez zrzuty czystej wody ze zbiorników retencyjnych podczas niżówek/w sytuacji niemożności dalszego retencjonowania solanek i ścieków, szczególnie ważne przy zrzutach ze zbiorników: Mietków na rzece Bystrzycy, Turawa na Małej Panwi oraz kaskady zbiorników: Topola, Otmuchów i Nysa na Nysie Kłodzkiej;
- ciągłe, wzmożone kontrole użytkowników wód;
- likwidacja nielegalnych wylotów ściekowych;

- odbudowa ekosystemów odrzańskich, w tym zarybianie liniami genetycznymi/gatunkami rodzimymi dla dorzecza Odry;
- dalsze testy uczonych i praktyków (strażaków, wojsk obrony chemicznej, GIOŚ, WIOŚ, RDOŚ, IOŚ-PIB, IRŚ-PIB, PGW WP, komercyjnych firm zajmujących się biomanipulacją jeziorami i rekultywacją gospodarstw rybackich) nad neutralizacją „złotych alg" w wodach płynących i rozległych akwenach;
- punktowe stosowanie biostabilizatorów, przynajmniej do czasu opracowania lepszych metod;
- inwestycje w odsalanie wód kopalnianych przez zakłady wydobywcze;
- dalsze inwestycje w gospodarkę wodno-ściekową;
- powstanie nowych banków genów dla ryb dorzecza Odry;
- przesiewowe badania na obecność *P. parvum* w wodach Czech i Niemiec;
- dla dorzecza Wisły na okres zimowy 2023/24: kontynuacja monitoringu interwencyjnego na rzeczce Pszczynce, wykonanie przez zakłady wydobywcze monitoringu pod kątem obecności *P. parvum* w zbiornikach technicznych nie tylko w kopalni Pniówek, wreszcie rozbudowa możliwości retencyjnych zakładów komunalnych oraz przemysłowych [Courseau 2023; Ministerstwo Klimatu i Środowiska 2023b, 2023c].

Rekomendacje naukowców oraz organizacji pozarządowych

Uczeni oraz aktywiści organizacji społecznych i ekologicznych, zwłaszcza Polskiego Związku Wędkarskiego (PZW), Polskiego Towarzystwa Hydrobiologiczego (PTHydrobiol.), Greenpeace, Greenmind, World Wide Fund for Nature (WWF) i Koalicji „Ratujmy Rzeki!" domagają się, prócz zadań rekomendowanych przez władze, wielu dalszych działań:

- wstrzymania wszystkich prac budowlanych i remontowych, prowadzących do regulacji koryta rzecznego, jego betonowania, tworzenia zbiorników retencyjnych;
- stopniowej likwidacji budowli regulacyjnych, przegród poprzecznych i podłużnych, a przynajmniej kompensowania ich obecności poprzez nowe przepławki, oddalania wałów przeciwpowodziowych od koryta;
- likwidacji wszystkich zrzutów ścieków i solanki, nie tylko nielegalnych, ale tych działających do tej pory zgodnie z prawem;
- przywrócenia naturalnych ekosystemów rzecznych i nadrzecznych, zwłaszcza lasów łęgowych, szuwarów i łąk na równinach zalewowych;
- wdrażania innych rozwiązań przyjaznych środowisku i wzorowanych na działaniach samej przyrody (*nature based solutions, NBS*) np.: oddzielania pól ornych od rzeki strefami buforowymi złożonymi z gatunków rodzimych, a przynajmniej nieinwazyjnych w Polsce i Niemczech, ponownego zabagnienia użytków zielonych oraz przestawiania rolnictwa na paludikultury;
- powstrzymania się z zarybieniami do czasu odbudowy bazy żerowej ryb oraz smoczkoustych, odtworzenia tarlisk oraz założenia wielu nowych tarlisk;

- wzmocnionej kontroli nad zarybieniami, obejmującej nie tylko nadzór sanitarny nad sprzętem, stan zdrowotny ryb, lecz także ich proweniencję (genetykę) wg podwyższonych standardów naukowych i etycznych (gdyż wg najnowszych badań nie tylko kozy złotawe, lecz także strzeble z Odry reprezentują osobne gatunki, a przynajmniej linie ewolucyjne, zatem i jednostki zarządzania populacją, ang. *ecologically significant units*, *management units*, *ESU*, *MU*);
- odbudowy nie tylko pogłowia ryb, ale przede wszystkim i w pierwszej kolejności całych zgrupowań makrobezkręgowców oraz wodnych i ziemnowodnych siedlisk roślinnych, w tym powstania banków genów oraz refugiów dla bezkręgowców;
- reintrodukcji szeregu gatunków parasolowych i specjalnej troski, nie tylko jesiotra bałtyckiego, lecz także alozy, parposza, stynki, piekielnicy, sabanajewii bałtyckiej, strzebli bałtyckiej, jesiotra zachodniego i/lub minogów;
- tworzenie refugiów oraz banków genów nie tylko dla ryb, lecz także wielu innych grup organizmów żywych;
- wzmocnienia prawno-administracyjnej ochrony dorzecza Odry poprzez powiększenie istniejących rezerwatów i obszarów Natura 2000, jak również ustanowienie następnych, może nawet kolejnych parków narodowych (np.: Doliny Dolnej Odry, Doliny Środkowej Odry, Puszczy Bukowej/Szczecińskiego PN, Borów Dolnośląskich oraz Stawów Milickich) [Klub 2022; PZW 2022; Czerniawski 2023a, 2023b, 2023c; Kolada 2023; Sługocki, Czerniawski 2023; Szlauer-Łukaszewska i in. 2024].

Wnioski oraz rekomendacje Najwyższej Izby Kontroli (NIK)

Najwyższa Izba Kontroli zawnioskowała do **Prezesa Rady Ministrów** o:
- „wykonanie przeglądu i dokonanie oceny rozwiązań dotyczących gospodarowania wodami, pod kątem zapewnienia skutecznej ochrony wód oraz ich monitorowania;
- zaangażowanie Rządowego Centrum Analiz w wypracowanie propozycji ograniczenia zasolenia wód powodowanych działalnością górniczą;
- wprowadzenie ogólnopolskiego systemu wspomagającego zarządzanie w sytuacji kryzysowej".

Z kolei dla **Ministra Infrastruktury** NIK sformułował szereg wniosków nt. prac legislacyjnych mających:
- zapewnić dokonywanie oceny skumulowanego wpływu zrzutu ścieków przez odpowiednie organy wydające i przedłużające pozwolenie wodnoprawne;
- zmienić przepisy tak, by ograniczyć możliwość wzrostu zasolenia wód słodkich;
- usprawnić przepływ informacji, a szczególnie: wyników badań i pomiarów wody, wyników badań zrzucanych ścieków tudzież działań podejmowanych podczas realizacji Planów Gospodarowania Wodami;
- doprecyzować przepisy i procedury dotyczące przekazywania informacji pomiędzy: Ministerstwem Infrastruktury, PGW Wody Polskie a organami Inspekcji Ochrony Środowiska i pozostałymi organami ochrony przyrody [NIK 2023].

Amerykańskie doświadczenia w odtwarzaniu bioróżnorodności małży i ryb po zakwitach złotych alg

Dla naszej Odry do pewnego stopnia przydatne mogą być doświadczenia renaturyzacji potoku Dunkard, jednego z dopływów Ohio w Pensylwanii i Zachodniej Wirginii, dotkniętego masowym śnięciem zwierząt skrzelodysznych po zakwicie złotych glonów w następstwie zrzutu wód kopalnianych. Klimat i biota dorzecza Ohio podobniejsze są do polskich niż w przypadku rzek i zbiorników zaporowych Teksasu. Większość gatunków ryb skolonizowała ponownie rzeczkę Dunkard już po roku, jednak część gatunków jeszcze 10 lat po klęsce ekologicznej nie osiągnęła dawnej liczebności. W przypadku małży z rodziny skójkowatych *Unionidae* (zatem o biologii zbliżonej do naszych skójek i szczeżuj, z larwami typu glochidium pasożytującymi na rybach) sytuacja była gorsza. Podjęto decyzję o przeniesieniu dojrzałych okazów małży 10 gatunków na tereny spustoszone przez algi, a jednocześnie zarybiano potok gatunkami teoretycznie najbardziej odpowiednimi dla glochidiów tychże mięczaków. Monitoring restytucji w latach 2011, 2015 i 2018 potwierdził obecność jedynie coraz starszych, przeniesionych osobników, nie wykazał natomiast obecności ich potomstwa. Wynikało to zapewne ze wciąż zbyt niskiej jakości wody [Hartman i in. 2021], (ryc. 7).

Ryc. 7. Pomór ryb i bezkręgowców w Dunkard Creek
Źródło: Wikipedia

Brytyjskie doświadczenia z obszaru chronionego Norfolk Broads

Zakwity złotych alg powodują masowe śnięcia ryb w Norfolk Broads (Suffolk Broads, the Broads), angielskim, mokradłowym obszarze chronionym o statusie prawnym zbliżonym do parków narodowych. Zachowała się tam sieć kanałów i rzek oraz ponad 60 zbiorników wodnych, z reguły dawnych torfianek. To znany ośrodek wędkarstwa, żeglarstwa i ptasiarstwa, odwiedzany corocznie przez miliony turystów. Coraz częstsze zakwity *P. parvum* zagrażają miejscowej turystyce i bioróżnorodności. Po klęsce ekologicznej w 2015 r. zintensyfikowano badania nad „złotą algą". Wyniki badań wskazują rolę rosnących temperatur letnich dla powstawania zakwitów oraz wirusa PpDNAV w kończeniu zakwitu. Testuje się tu podawanie nadtlenku wodoru jako metodę wygaszania HAB-ów w torfiankach i kanałach stosunkowo bezpieczną dla unikatowej flory i fauny. Najskuteczniejszą metodą ratowania ryb, mięczaków i skorupiaków pozostaje jednak ich prędki odłów, po czym przeniesienie w bezpieczne miejsca [Wagstaff i in. 2021], (ryc. 8).

Ryc. 8. Masowy pomór ryb i bezkręgowców w Norfolk Broads. Ratowanie ryb
Źródło: Wikipedia

Wnioski ogólne

My – ludzie – ponosimy pewną część winy za masowy pojaw „złotych alg". Gdyby nie zmiany klimatu, skażenie wód solanką z kopalń oraz ciepłem z elektrowni ten głównie morski, ciepłolubny glon nie odnalazłby tak wspaniałych warunków w naszej Odrze, jak również zbiorniku kopalni Pniówek już w dorzeczu Wisły. Gdyby

nie biogeny z nawozów, antybiotyki ze ścieków bytowych i rolniczych, wreszcie wciąż wymagające zbadania trucizny z tysięcy nielegalnych ujść ścieków micele prymnezyn mogłyby nie ulec aktywacji [Majewski 2023; Marchowski, Ławicki 2023; Marchowski i in. 2023; Sobieraj, Metelski 2023; Szlauer-Łukaszewska i in. 2024].

Polskie Towarzystwo Hydrobiologiczne (PTHydrobiol.) jako jedno z pierwszych towarzystw naukowych wypowiedziało się publicznie w sprawie przyczyn klęski ekologicznej w Odrze. Sformułowało i opublikowało rekomendacje w celu uniknięcia następnych zakwitów „złotych glonów" oraz innych katastrofalnych zjawisk, powodowanych bądź nasilanych dotychczasowym gospodarowaniem polskimi rzekami oraz kanałami [http://www.pth.home.pl/pobierz/StanowiskoPTHwsprawieOdry.pdf], podjęło też uchwałę dostępną publicznie [http://www.pth.home.pl/portal/].

Dlatego tak ważne są działania władz i społeczeństwa, we wszystkich skalach (międzynarodowej, państwowej, wojewódzkiej, lokalnej), jasny podział zadań i szybki obieg informacji między różnymi agendami rządowymi i społeczeństwem. Pozwoli to na dalszą, sprawną likwidację nielegalnych źródeł zanieczyszczeń, wzmożenie nadzoru nad ściekami spuszczanymi legalnie, zapobieganie niżówkom, teraz zaś kompleksową odbudowę ekosystemów Odry we współpracy z innymi podmiotami. Pierwsze korzyści z monitoringu interwencyjnego oraz działań ograniczających liczebność „glonów-zabójców" i stężenia wolnych prymnezyn w wodzie dało się dostrzec już w 2023 r. podczas powstrzymywania przenikania złotych alg do głównego nurtu Odry. O ile w 2022 r. padło ponad 249 ton ryb w głównym nurcie Odry, o tyle następnego roku zginęło już tylko 5 ton ryb w starorzeczach i Kanale [https://m.facebook.com/PGWWodyPolskie/photos/a.1522580467837421/5154154018013363/, https://www.wody.gov.pl/aktualnosci/2924-wyniki-kontroli-nielegalnych-wylotow-do-rzek-w-calej-polsce; Courseau 2023; Wody Polskie 2022; NIK 2023].

Po zmianie rządu w 2023 r. ruszyły prace nad ustanowieniem nowego parku narodowego – Doliny Dolnej Odry, inaczej Międzyodrza. Powinien to być ważny krok w kierunku pełnej rewitalizacji środowisk odrzańskich po zakwicie „glonów-zabójców". Objęcie najwyższą formą ochrony ekosystemów spustoszonych klęską może wydawać się absurdalnym pomysłem, wynikającym z bieżącej walki politycznej. Tym niemniej Kampinoski PN ustanowiono na terenach silnie zmienionych przez człowieka, gdzie trzeba było dopiero rekonstruować faunę i szatę roślinną m.in. reintrodukować łosia i rysia, jak również usuwać na masową skalę inwazyjne gatunki obcych drzew, a dosadzać rodzime. Proponuje się, by nowy park narodowy objął teren obecnego Parku Krajobrazowego Doliny Dolnej Odry. Analogicznie powstał m.in. Wigierski PN na bazie parku krajobrazowego czy PN Ujście Warty na bazie rezerwatu „Słońsk" jako obszarów chronionych o zbliżonych granicach i zadaniach statutowych. Władze Kołbaskowa same zaproponowały, żeby PN Doliny Dolnej Odry (Międzyodrza) objął większą powierzchnię, w tym lasy zachodniego brzegu Odry, wzgórza i zbocza z murawami kserotermicznymi oraz źródliska [Kojzar 2023; Świerszczyńska 2023; https://pnddo.pl/]. Piętą Achillesową wszystkich praktycznych prób odbudowy populacji płazów, ryb,

makrobezkręgowców, makroglonów i wodnych roślin naczyniowych pozostaje brak banków genów dla tych organizmów, jak również niedostatki praktycznej wiedzy nt. ich przenoszenia, kwarantannowania oraz restytucji w docelowym zbiorniku lub rzece [Kapler 2024].

Materiały źródłowe

Literatura

Adl S., Simpson A., 2005, *The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists,* Journal of Eukaryotic Microbiology, 52, 5, s. 399–451.

Andersen R., 2004, *Biology and systematics of heterokont and haptophyte algae*, American Journal of Botany, 91, 10, s. 1508–1522.

Arjan P., Barends T., Dietl A., Khadem A., Eygensteyn J., Jetten M.S.M, Huub J. M. Op den Camp, 2013, *Rare earth metals are essential for methanotrophic life in volcanic mudpots,* Environmental Microbiology, 16, 1, s. 255–264.

Binzer S. B., Svenssen D. K., Daugbjerg N., Alves-de-Souza C., Pinto E., Hansen P. J., Varga E., 2019, *A- B-and C-type prymnesins are clade specific compounds and chemotaxonomic markers in Prymnesium parvum*, Harmful Algae, 81, s. 10–17.

Boldyreva A.A., 2005, *Lanthanum Potentiates GABA-Activated Currents in Rat Pyramidal Neurons of CA1 Hippocampal Field*, Bulletin of Experimental Biology and Medicine, 140, 4, s. 403–405.

Bursa A., 1938, *Notatka o kilku godnych uwagi gatunkach planktonowych dotychczas nieznanych z Zatoki Gdańskiej,* Biuletyn Stacji Morskiej w Helu, II, 3, s. 63–68.

Courseau L., 2023, *Ekspert wyjaśnia: dlaczego w 2023 roku nie wystąpił toksyczny zakwit „złotej algi" w nurcie Odry. Podsumowanie,* Serwis Rzeczypospolitej Polskiej, Odra, https://www.gov.pl/web/odra/ekspert-wyjasnia-dlaczego-w-2023-roku-nie-wystapil-toksyczny-zakwit-zlotej-algi-w-nurcie-odry-podsumowanie [dostęp 18.12.2023].

Czerniawski R., 2023a, *Oficjalnie powiedziano, że wpływ na katastrofę na Odrze miał człowiek,* https://naukadlaprzyrody.pl/2023/04/26/oficjalnie-powiedziano-ze-wplyw-na-katastrofe-na-odrze-mial-czlowiek/ [dostęp 24.11.2023].

Czerniawski R., 2023b, *Jaka masa ryb zginęła podczas zeszłorocznego apogeum Katastrofy Odrzańskiej?* https://naukadlaprzyrody.pl/2023/04/05/jaka-masa-ryb-zginela-podczas-zeszlorocznego-apogeum-katastrofy-odrzanskiej/ [dostęp 24.11.2023].

Czerniawski R., 2023c, *Droga wodna nie jest w żadnym stopniu proekologiczna,* https://naukadlaprzyrody.pl/2023/03/22/droga-wodna-nie-jest-w-zadnym-stopniu-proekologiczna/ [dostęp 24.11.2023].

Edvardsen B., Eikrem W., Green J., Andersen R., Moon S-Y., Medlin L., 2000, *Phylogenetic reconstructions of the Haptophyta inferred from 18s ribosomal DNA sequences and available morphological data*, Phycologia, 39, 1, s. 19–35.

Edvardsen B., Paasche E., 1998, *Bloom dynamics and physiology of Prymnesium and Chrysochromulina*, NATO ASI Series, Series G: Ecological Sciences, 41, s. 193–208.

Emsley J., 2011, *Nature's building blocks: An A-Z guide to the elements,* Oxford University Press, Oxford.

Fistarol G.O., Legrand C., Granéli E., 2003, *Allelopathic effect of Prymnesium parvum on a natural plankton community,* Marine Ecology Progress Series, 255, s. 115–125.

Guiry M.D., Guiry G.M., 2024, *AlgaeBase,* World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway [dostęp 17.02.2024].

Igarashi T., Satake M., Yasumoto T., 1996, *Prymnesin-2: a potent ichthyotoxic and hemolytic glycoside isolated from the red tide alga Prymnesium parvum*, Journal of the American Chemical Society, 118, 2, s. 479–480.

Jasnowska J. (red.), 2002, *Dolina Dolnej Odry. Monografia przyrodnicza parku krajobrazowego*, Szczecińskie Towarzystwo Naukowe, Szczecin.

Hartman K.J., Wellman D.I., Kingsbury J.W., Cincotta D.A., Clayton J.L., Eliason K.M., Jernejcic F.A., Owens N.W., Smith D.M., 2021, *A case study of a Prymnesium parvum harmful algae bloom in the Ohio River drainage: Impact, recovery and potential for future invasions/range expansion,* „Water", 13, 22, s. 3233.

Kapler A., 2024, *Banki genów nie tylko dla ryb*, Wodne Sprawy, https://wodnesprawy.pl/banki-genow-nie-tylko-dla-ryb-w-polsce-funkcjonuja/ [dostęp 17.02.2024].

Klub P., 2022, *Propozycja uzupełnienia sieci polskich parków narodowych,* Fundacja Dziedzictwo Przyrodnicze, Kraków.

Kojzar K., 2023, *Dzika kraina między ramionami Odry. Międzyodrze zasługuje, by stać się parkiem narodowym,* https://oko.press/miedzyodrze-park-narodowy-doliny-dolnej-odry [dostęp 17.02.2024].

Kristiansen J., Andersen R. (red.), 1986, *Chrysophytes: aspects and problems,* Cambridge University Press, Cambridge.

Li Y., Endo H., Gotoh Y., Watai H., Ogawa N., Blanc-Mathieu R., Yoshida T., Ogata H., 2019, *The Earth is small for "Leviathans": Long distance dispersal of giant viruses across aquatic environments*, Microbes and Environments, 34, 3, s. 334–339.

Liu Z., Jones A. C., Campbell V., Hambright K. D., Heidelberg K. B., Caron D. A., 2015, *Gene expression in the mixotrophic prymnesiophyte, Prymnesium parvum, responds to prey availability,* Frontiers in Microbiology, 6, s. 319.

Majewski S., 2023, *W Wiśle są złote algi. Czy grozi nam powtórka z Odry?*, „Teraz Środowisko", https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/zlote-algi-w-Wisle-powtorka-z-Odry-14302.html [dostęp 17.02.2024].

Manning S.R., la Claire J., 2010, *Prymnesins: toxic metabolites of the golden alga, Prymnesium parvum Carter (Haptophyta),* Marine Drugs, 8, 3, s. 678–704.

Marchowski D., Ławicki Ł., 2023, *Unprecedented mass mortality of aquatic organisms in the River Oder,* Oryx, 57, 1, s. 8–9.

Marchowski D., Szlauer-Łukaszewska A., Ławicki Ł., Engel J., Drewniak E., Ciężak K., 2023, *A dataset on quantifying a mass mortality event in freshwater wildlife within the Lower Odra River,* Data in Brief, 51, s. 109753.

Medlin L., 1997, *Phylogenetic relationships of the 'golden algae' (haptophytes, heterokont chromophytes) and their plastids,* Plant Systematics and Evolution, 11, s. 187–219.

Otterstrøm C.V., Nielsen S., 1939, *Two cases of extensive mortality in fishes caused by the flagellate Prymnesium parvum*, Report of the Danish Biological Station to the Board of Agriculture, 44, s. 5–24.

Panek P., 2022, *Odra: złota alga, czyli kolejne wyzwanie dla rzeki,* „Projekt Pulsar", https://www.projektpulsar.pl/srodowisko/2178164,1,odra-zlota-alga-czyli-kolejne-wyzwanie-dla-rzeki.read [dostęp 18.12.2023].

Panek P., 2023, *Zakwity złotej algi: mało optymistyczne wnioski z bardzo udanych eksperymentów,* „Projekt Pulsar", https://www.projektpulsar.pl/srodowisko/2218754,1,zakwity-zlotej-algi-malo-optymistyczne-wnioski-z-bardzo-udanych-eksperymentow.read [dostęp 18.12.2023].

Penot M., Dacks J.B., Read B., Dorrell R., 2022, *Genomic and meta-genomic insights into the functions, diversity and global distribution of haptophyte algae*, Applied Phycology, 3, 1, s. 340–359.

Roelke D. L., Grover J. P., Brooks B. W., GlassJ., Buzan, D., Southard G. M., Nelson J., 2011, *A decade of fish-killing Prymnesium parvum blooms in Texas: roles of inflow and salinity,* Journal of Plankton Research, 33, 2, s. 243–253.

Sługocki Ł., Czerniawski R., 2023, *Water quality of the Odra (Oder) River before and during the ecological disaster in 2022: a warning to water management*, Sustainability, 15, 11, s. 8594.

Sobieraj J., Metelski D., 2023, *Insights into Toxic Prymnesium parvum Blooms as a Cause of the Ecological Disaster on the Odra River,* Toxins, 15, 6, s. 403.

Southard G. M., Fries L. T., Barkoh A., 2010, *Prymnesium parvum*: *the Texas experience*, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 46, 1, s. 14–23.

Sundaravadivelu D., Sanan T. T., Venkatapathy R., Mash H., Tettenhorst D., DAnglada L., Frey S., Tatters A.O., Lazorchak J., 2022, *Determination of cyanotoxins and prymnesins in water, fish tissue, and other matrices: A review,* Toxins, 14, 3, s. 213.

Szlauer-Łukaszewska A., Ławicki Ł., Engel J., Drewniak E., Ciężak K., Marchowski D., 2024, *Quantifying a mass mortality event in freshwater wildlife within the Lower Odra River: Insights from a large European river,* Science of The Total Environment, 907, s. 167898.

Śliwińska S. Parusel T., Latała A., 2013, *Human impact on the harmful algae blooms and allelopathic effects of cyanobacteria and microalgae in Baltic Sea: a review,* Acta Geographica Silesiana, 13, s. 87–92.

Świerszczyńska K., 2023, *Park narodowy na Międzyodrzu coraz bliżej. Jest poparcie wszystkich samorządów*, https://gs24.pl/park-narodowy-na-miedzyodrzu-coraz-blizej-jest-poparcie-wszystkich-samorzadow/ar/c1-18144787 [dostęp 17.02.2024].

Tillmann U., 2003, *Kill and eat your predator: a winning strategy of the planktonic flagellate Prymnesium parvum*, Aquatic Microbial Ecology, 32, 1, s. 73–84.

Uronen P. (red.), 2007, *Harmful algae in the planktonic food web of the Baltic Sea*, Finnish Environment Institute, Finland.

Vasas G., 2014, *Algavirágzások környezetterhelése és toxinjainak variabilitása.* Debrecen. (mscr pracy doktorskiej, https://9dok.org/document/q0524n8x-algavir%C3%A1g-z%C3%A1sok-k%C3%B6rnyezetterhel%C3%A9se-%C3%A9s-toxinjainak-variabilit%C3%A-1sa.html [dostęp 26.01.2023].

Vasas G., Márta M., Borics G., Gonda S., Máthé C., Jámbrik K., Nagy Z., 2012, *Occurrence of toxic Prymnesium parvum blooms with high protease activity is related to fish mortality in Hungarian ponds,* Harmful Algae, 17, s. 102–110.

Wagstaff B., Vladu I. C., Barclay J. E., Schroeder D. C., Malin G., Field R., 2017, *Isolation and characterization of a double stranded DNA megavirus infecting the toxin-producing haptophyte Prymnesium parvum*, Viruses, 9, 3, s. 40.

Wagstaff B., Pratscher J., Rivera P.P.L., Hems E.S., Brooks E., Rejzek M., Todd J.T., Murrell J.C., Field R., 2021, *Assessing the toxicity and mitigating the impact of harmful Prymnesium blooms in eutrophic waters of the Norfolk Broads,* Environmental Science & Technology, 55, 4, s. 16538–16551.

Wodziczko A., Urbański J., Czubiński Z., 1948, *Przyroda żywa doliny Odry i jej ochrona* [w:] A. Godek i in. (red.), *Monografia Odry*, Instytut Zachodni, Poznań, s. 302–350.

Wołejko L., 2015, *Nature recovery in the Lower Oder Valley,* Nationalpark-Jahrbuch Unteres Oderta, 12, s. 120–123.

Wołejko L., Ziarnek-Korchak M, Ziarnek K., 2024, *Dolina dolnej Odry* [w:] A. Obidziński, K. Marciszewska (red.), *Śladami Mistrzów – fascynacje przyrodnicze prekursorów polskiej geobotaniki,* PTB-SGGW, Warszawa.

Raporty naukowe

Kolada A. (red.), 2022, *Wstępny raport zespołu ds. sytuacji na rzece Odrze*, Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Kolada A. (red.), 2023, *Raport kończący prace zespołu ds. sytuacji na rzece Odrze*, Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Szczepański K., Zacharski P., Nowakowska W. (red.), 2023, *Raport z wykonania eksperymentów w zakresie neutralizacji złotej algi w śluzach Kanału Gliwickiego*, Instytut Ochrony Środowiska-Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

Doniesienia prasowe, oficjalne stanowiska instytucji

https://m.facebook.com/PGWWodyPolskie/photos/a.1522580467837421/5154154018013363/ [dostęp 26.01.2023].

https://www.igb-berlin.de/news/podejrzenie-jest-uzasadnione-w-wodzie-z-odry-wykryto-toksyne-z-glonow-zyjacych-w-wodach [dostęp 26.01.2023].

https://www.infish.com.pl/news/konferencja-prasowa-19082022-press-conference-august--19th-2022 [dostęp 26.01.2023].

https://www.wody.gov.pl/aktualnosci/2924-wyniki-kontroli-nielegalnych-wylotow-do-rzek-w-calej-polsce [dostęp 26.01.2023].

Jasser I. 2023, https://www.youtube.com/watch?v=QsdJIuuxJMs&t=12s&ab_channel=MinisterstwoKlimatui%C5%9Arodowiska [dostęp 17.02.2024].

Ministerstwo Klimatu i Środowiska, 2023a, Eksperci o złotej aldze – Prof. Hanna Mazur Marzec, Uniwersytet Gdański cz. 3, https://www.youtube.com/watch?v=XOBSxeVvfPg [dostęp 24.11.2023].

Ministerstwo Klimatu i Środowiska (red.), 2023b, Konkrety dla Odry 2022–2023. Podsumowanie. Systemowe działania w ramach ochrony przed zakwitami „złotej algi", ss. 36.

Ministerstwo Klimatu i Środowiska (red.), 2023c, Konkrety dla Odry 2022-2023. Rekomendacje. Systemowe działania w ramach ochrony przed zakwitami „złotej algi", ss. 11.

NIK, 2023, Złota alga – mały glon, który obnażył niemoc dużego państwa (zapis konferencji prasowej), https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/odra-kryzys-ekologiczny.html [dostęp 24.11.2023].

PZW, 2022, Katastrofa na Odrze – oświadczenie Polskiego Związku Wędkarskiego, 2022.08.13, Rada Naczelna PZW, https://www.pzw.org.pl/home/wiadomosci/242003/60/katastrofana_odrze_oswiadczenie_pzw [dostęp 26.01.2023].

Rekomendacje Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego w celu unikania w przyszłości zakwitów „złotej algi" oraz innych katastrofalnych zjawisk wywalonych dotychczasowym gospodarowaniem polskimi rzekami, 2022, http://www.pth.home.pl/pobierz/StanowiskoPTHwsprawieOdry.pdf [dostęp 17.02.2024].

Stwórzmy Park Narodowy Doliny Dolnej Odry, https://pnddo.pl/ [dostęp 10.02.2024].

Uchwała Polskiego Towarzystwa Hydrobiologicznego, 2022, http://www.pth.home.pl/portal/ [dostęp 17.02.2024].

Wody Polskie, 2022, Wyniki kontroli nielegalnych wylotów do rzek w całej Polsce, https://www.wody.gov.pl/aktualnosci/2924-wyniki-kontroli-nielegalnych-wylotow-do-rzek-w-calej-polsce [dostęp 24.11.2023].

Dyrektywy

Dyrektywa 91/271/EWG dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych, Dyrektywa Ściekowa.

Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 października 2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Ramowa Dyrektywa Wodna, RDW.

Dyrektywa Komisji 2014/101/UE z dnia 30 października 2014 r. zmieniająca dyrektywę 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającą ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej (Tekst mający znaczenie dla EOG), Ramowa Dyrektywa Wodna [dostęp 29.11.2022].

Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, 1992, Dyrektywa Siedliskowa.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/147/WE z dnia 30 listopada 2009 r. w sprawie ochrony dzikiego ptactwa (wersja ujednolicona), Dyrektywa Ptasia.

Dyrektywa z dnia 12 grudnia 1991 r. dotycząca ochrony wód przed zanieczyszczeniami powodowanymi przez azotany pochodzenia rolniczego (91/676/EWG), Dyrektywa Azotanowa.

Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE, ustanawiającą ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego, Dyrektywa Ramowa w Sprawie Strategii Morskiej, RDSM.

Ustawy

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. poz. 1566 i 2180).

Ustawa z dnia 27 sierpnia 2009 r. o finansach publicznych (Dz.U. z 2016 r. poz. 1870 z późn. zm.).

Rozporządzenia

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2017 r. Statut Wód Polskich (Dz.U. 2017 poz. 2506).

Golden algae ("killer algae") as a threat to Poland's economy and nature

ABSTRACT

The unprecedented bloom of "golden algae" *Prymnesium parvum* in the Oder River in 2022 was the worst ecological disaster in Poland and Germany in decades. In 2023, the penetration of those "killer algae" from the Gliwice Canal, as well as the Czernica and Januszkowice reservoirs into the main stream of the Oder River has been stopped by the Polish Waters. The article presents the current state of knowledge about this catastrophe and draws conclusions from pioneering tests conducted in Poland on methods to mitigate blooms in flowing waters (in the Gliwice Canal). Additionally, this work compiles and presents foreign methods of combating "golden algae" in fish ponds, in areas valuable for nature, sailing and fishing, as well as fauna restitution (including *Unionidae mussels*, significant for both the economy and for nature protection) following a mass bloom of *P. parvum*.

Key words: golden algae, *Prymnesium parvum*, prymnesins, algal bloom, HAB (harmful algal bloom), ecological disaster, Oder River, Gliwice Canal, oxbow lakes, $CuSO_4$, H_2O_2, Lanthanum, La, coagulants, barley biostabilizer

Adam Kapler
przyrodnik niezależny / independent biologist
e-mail: adam.kapler@wp.pl
0000-0002-6779-6512

CC BY SA

MAZOWIECKIE BIURO PLANOWANIA REGIONALNEGO W WARSZAWIE ©

cytacja:
Kapler A., 2024, *Złote glony (algi-zabójcy) jako zagrożenie dla gospodarki i przyrody Polski*, MAZOWSZE Studia Regionalne, 48, Mazowieckie Biuro Planowania Regionalnego w Warszawie, Warszawa, s. 37–61, https://www.doi.org/10.21858/msr.48.02