



Główny Inspektorat Ochrony Środowiska
Departament Monitoringu Środowiska

Regionalny Wydział Monitoringu
Środowiska w Bydgoszczy

STAN CZYSTOŚCI
JEZIORA GOPŁO

Opracował: J. Goszczyński



BYDGOSZCZ 2021

Wstęp

Gopło jest największym jeziorem w województwie kujawsko-pomorskim i 11 pod względem wielkości w Polsce. Wg. danych Instytutu Rybactwa Śródlądowego w Olsztynie ma powierzchnię 2 154,5 ha w tym 25,5 ha wysp. Głębokość maksymalna osiąga 16,6 m, przy głębokości średniej 3,6 m. Wypełnia ono dna systemu rynien polodowcowych przebiegających południkowo o długości ok. 25 km. Jezioro charakteryzuje się bardzo urozmaiconą linią brzegową, z licznymi zatokami i półwyspami. Jej łączna długość wynosi 91300 m. Brzeg jest niski, w niektórych miejscach zabagniony. Przez jezioro przepływa Noteć, ponadto jest ono zasilane przez niewielkie cieki (rycina 1) oraz liczne rowy melioracyjne. Z uwagi na najniższe w Polsce zasilanie z obszaru zlewni, pogłębione występującymi w ostatnich latach deficytami opadów atmosferycznych, większość z nich prowadzi wodę tylko w okresie wiosennym. Zlewnia całkowita jeziora wg. IMGW oddział Poznań ma powierzchnię 1408,2 km², natomiast zlewnia bezpośrednia liczy 59,35 km². W jej użytkowaniu dominują żyzne grunty rolne stanowiące blisko 80% powierzchni. Jezioro wchodzi w skład parku krajobrazowego pod nazwą Nadgoplański Park Tysiąclecia. Znajduje się tu rezerwat ornitologiczny. Jest to obszar objęty ochroną programu Natura 2000 - Ostoja Nadgoplańska. Samo jezioro również zostało wpisane na listę obszarów Natura 2000 (PLH040007). Jezioro zaliczono do typu abiotycznego 3 a.

Cieki zasilające jezioro są jednocześnie odbiornikami oczyszczonych ścieków z takich miejscowości jak Strzelno, Piotrków Kujawski, Radziejów, Dobrze. Są one także obciążone ładunkiem biogenów pochodzącym ze spływów z terenów rolniczych, związanych przede wszystkim z uprawą ziemi a w mniejszym stopniu z hodowlą zwierząt. W tym przypadku największe potencjalne zagrożenie dla stanu czystości wód powierzchniowych stanowi ferma tuczu trzody chlewnej w Brześciu Kujawskim dysponująca 4700 stanowiskami oraz ośrodek w Polanowicach prowadzący hodowlę 1300 sztuk bydła. W północnej części Gopła położone są zabudowania Kruszwicy. Miasto do 1960 r. nie posiadało kanalizacji miejskiej. Ścieki odprowadzane były krótkimi kanałami deszczowymi do jeziora lub okolicznych rowów melioracyjnych. Po wybudowaniu kanałów sanitarnych, 55 % ścieków było podczyszczonych w osadnikach ziemnych. Oprócz ścieków komunalnych, kanalizacja odbierała ścieki 12 zakładów przemysłowych. Ich łączną ilość na początku lat 90. szacowano na około 3300 m³/d. Do szczególnie uciążliwych zakładów należały wytwórnia win, zakłady tłuszczowe, a przede wszystkim cukrownia. W latach 80. XX w. w okresie kampanijnym z tego zakładu odprowadzano ok. 12 tys. m³ ścieków na dobę, a w 1994 r. średnio 2700 m³/d. Z kolei zakłady tłuszczowe w 1993 roku, przed stopniowym przełączeniem swoich ścieków na oczyszczalnię,

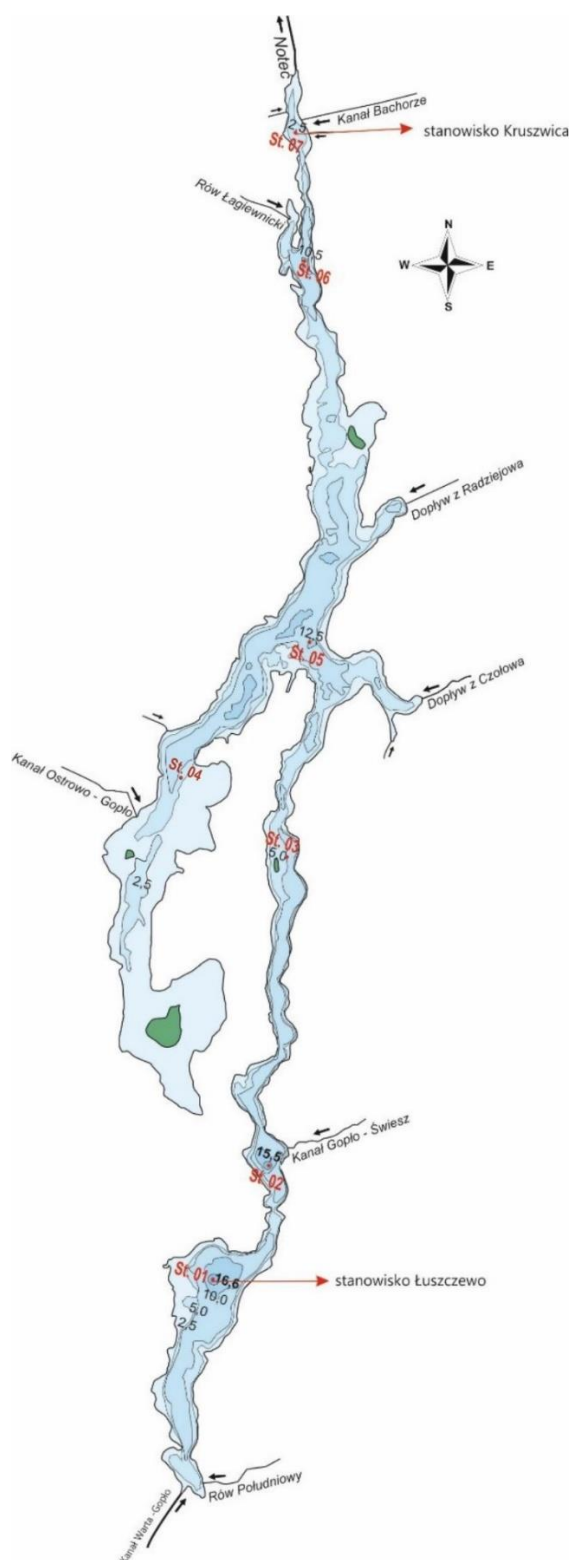
odprowadzały do jeziora średnio 4600 m³ ścieków na dobę. Oczyszczalnię miejską oddano do eksploatacji w 1993 r. Obydwa wymienione zakłady pobierały także wodę z jeziora na cele produkcyjne. Jej ilość w latach 90.XX w. wynosiła około 5800 m³/d. Aktualnie, z ujęcia korzysta tylko cukrownia czerpiąca w trakcie kampanii około 300 m³ wody na dobę. Po uporządkowaniu gospodarki wodno-ściekowej w Kruszwicy największy problem stwarzają obecnie zanieczyszczenia odprowadzane do dopływów jeziora. Łączna ilość oczyszczonych ścieków komunalnych powstających w zlewni całkowitej Gopła w granicach województwa kujawsko-pomorskiego szacowana jest na 2700 m³ na dobę.

Jednym z elementów mających na celu ograniczenie procesu degradacji jakości wód Gopła były projekty jego rekultywacji, które powstały w połowie lat 90. XX w. Dotyczyły one północnej części jeziora. Przewidywano napowietrzenie za pomocą aeratorów Zatoki Łagiewnickiej a następnie usunięcie z tego fragmentu jeziora osadów dennych. Kolejny projekt zakładał rekultywację głęboczek na południe od Półwyspu Rzępowskiego poprzez jego natlenienie. Miało to doprowadzić do likwidacji powstających w strefie naddennej deficytów tlenowych. Plany rekultywacji obejmowały także płaszczyznę północną, do którego odprowadzano największą ilość ścieków komunalnych i przemysłowych. Zrealizowano jedynie instalację aeratorów w Zatoce Łagiewnickiej. Działania te mogły mieć niewielki pozytywny efekt wyłącznie na niewielką skalę, polegający na przyspieszeniu mineralizacji osadów zdeponowanych w tej części jeziora. Nie przeprowadzono jednak żadnej oceny efektywności podjętych zabiegów.

W styczniu 2009 r. zostało uruchomione przez Kopalnię Węgla Brunatnego „KONIN” odwodnienie odkrywki węgla brunatnego „Tomisławice”. Zgodnie z udzielonym pozwoleniem wody z odkrywki w maksymalnej ilości ponad 89 tys. m³/dobę są po przejściu przez osadnik odprowadzane poprzez system rowów do rzeki Pichny i dalej do Noteci i Kanału Warta-Gopło uchodzącego do Gopła w jego najbardziej na południe wysuniętej części.

Jezioro Gopło było badane przez Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Bydgoszczy w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS) w latach 1976, 1985, 1989, 1995, 2002, 2007, 2016 i 2019 na stanowiskach pomiarowych naniesionych na rycinę 1. Nie zachowały się niestety materiały archiwalne z pierwszej kontroli stanu czystości oraz zdekompletowane są z 1989 r. W ostatnich 2 cyklach nie kontrolowano stanowiska oznaczonego symbolem 03. Dodatkowo w 2015 r. w związku z działalnością odkrywki „Tomisławice” przeprowadzono monitoring badawczy na stanowisku brzegowym zlokalizowanym w południowej części jeziora w miejscowości Nowe Połajewo.

Aktualny stan czystości jeziora podano w oparciu o wyniki monitoringu operacyjnego prowadzonego w 2019 r. Próby pobrano w terminach: 1.04., 24.06., 20.08., 14.10.



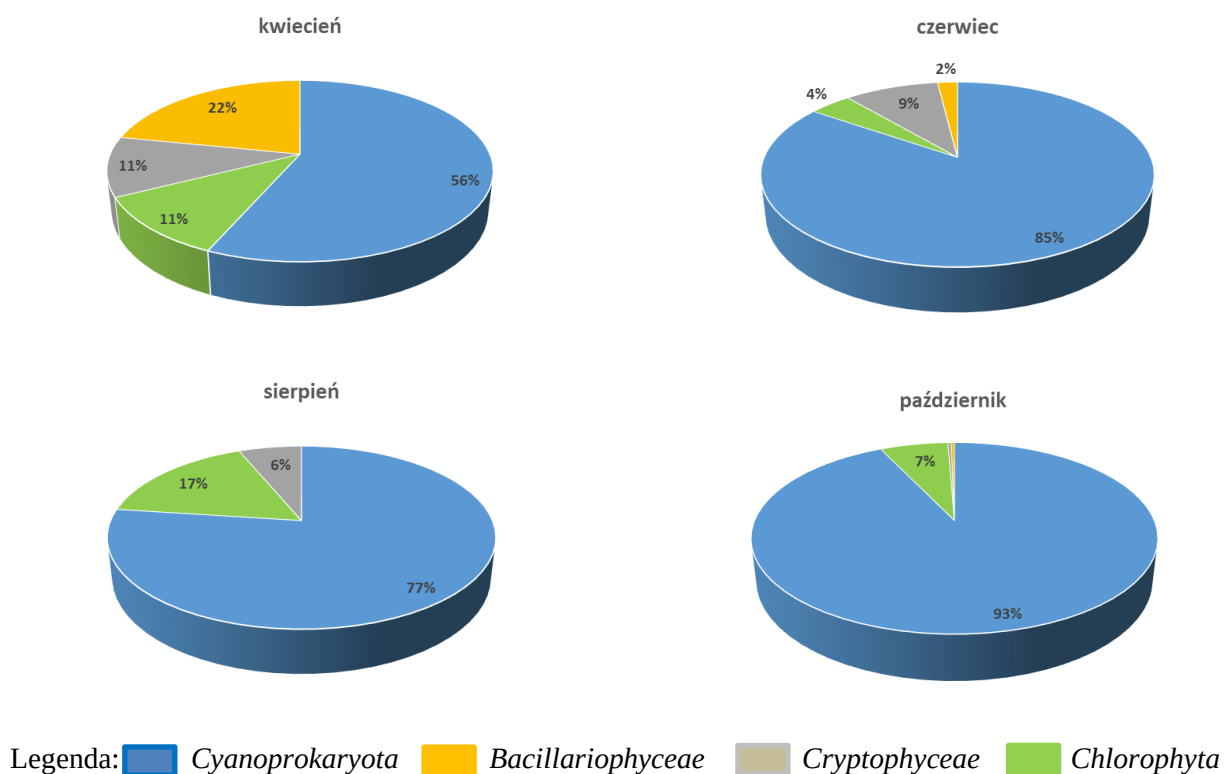
Ryc. 1. Plan batymetryczny jeziora Gopła z lokalizacją stanowisk pomiarowych (na podstawie IRS Olsztyn)

Wyniki monitoringu w 2019 r

Elementy biologiczne

Fitoplankton

Fitoplankton jeziorny wykazał zróżnicowanie sezonowe oraz przestrzenne pod względem składu gatunkowego, liczebności oraz biomasy ogólnej. Na wiosnę w południowej części (stanowisko 01) przeważały okrzemki (*Bacillariophyceae*) stanowiące ponad 50% składu. Stosunkowo liczne były także zielenice (*Chlorophyta*) stanowiące około 30% składu. Na tym liczebność całkowita wyniosła 37 tys. kom./ml przy biomasy 9,8 mg/l. W środkowej i północnej części jeziora zasadniczo zwiększył się udział sinic (*Cyanoprokaroyta*), które na stanowisku 06 stanowiły ponad 65% składu fitoplanktonu. Zdecydowała o tym obecność jednego gatunku *Limnотrix redeckei*. Również na tym stanowisku największa była ogólna liczebność glonów przekraczająca 100 tys. komórek w mililitrze oraz biomasa wynosząca 49,5 mg/l. Udział poszczególnych taksonów w poszczególnych porach roku dla centralnego stanowiska 05, prezentuje rycina 2. Zmiany biomasy ogólnej na poszczególnych stanowiskach w ciągu sezonu wegetacyjnego zamieszczono na rycinie 3.

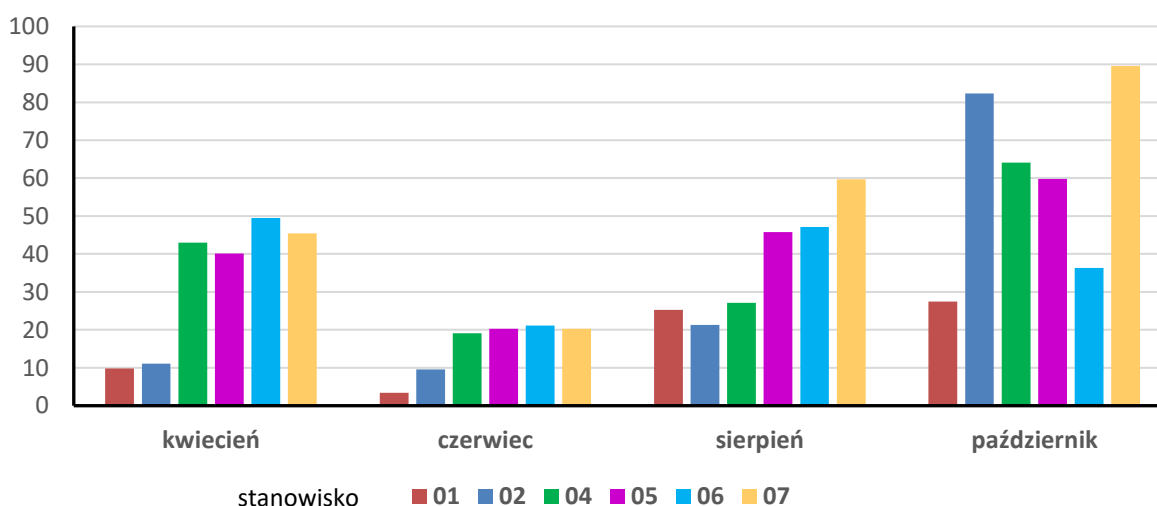


Ryc. 2. Sezonowe zmiany udziału poszczególnych taksonów glonów (w %) w Goplu w 2019 r. na stanowisku 05

Na początku lata wyraźnie wzrasta zróżnicowanie fykoflory w południowej części Gopła (stanowiska 01, 02, 04). Z kolei w części północnej utrzymuje się ponad 50% udział sinic. W okresie tym spada zarówno liczebność i biomasa glonów. Liczebność wahała się od 6 tys. kom./ml (stanowisko 01) do 45 tys. kom./ml (stanowisko 07), a biomasa odpowiednio od 3,4 mg/l do 20,3 mg/l.

Sinice zdominowały fitoplankton jeziora w okresie pełni lata w całym jeziorze. Stanowiły one ponad 70% całego składu fykologicznego. Taksonem, który występował najliczniej był *Planktothrix agardhii*. Liczebność w szczycie wegetacji najniższa była na stanowisku południowym 01 i wyniosła 27 tys. kom./ml osiągając maksimum 65 tys. kom./l na północy na stanowisku 07. Odpowiadała temu biomasa wahająca się odpowiednio od 25,3 mg/l do 59,7 mg/l. Z kolei udział biomasy sinic w biomasie ogólnej wahał się od 52% na stanowisku 01 do 95% na stanowisku 05 przy średniej dla całego jeziora 77%.

Jesienią odnotowano zubożenie składu fitoplanktonu przy pogłębiającym się udziale sinic. Stanowiły one ponad 90% składu na stanowisku 04. Liczebność fitoplanktonu w tym okresie wyniosła od 34 tys. kom./ml na stanowisku 01 do 175 tys. kom./ml na stanowisku 07 przy biomasie odpowiednio 27,5 mg/l i 89,7 mg/l.

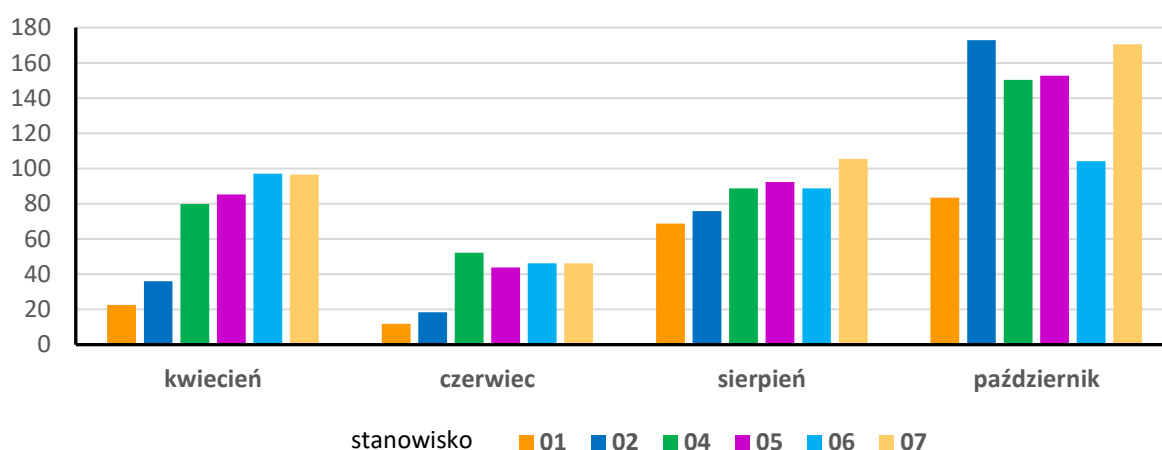


Ryc. 3. Biomasa fitoplanktonu (w mg/l) w Goplu w 2019 r.

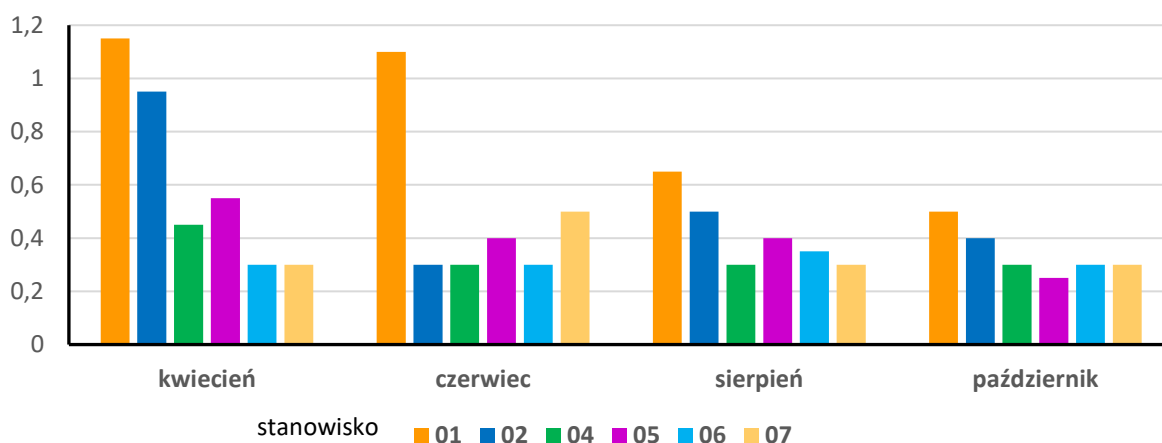
Średnia biomasa ogólna w całym sezonie wegetacyjnym (kwiecień–październik) na stanowisku 01 wyniosła 16,5 mg/l co zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w podręczniku do monitoringu i klasyfikacji elementów biologicznych (10) jest właściwa dla słabej - IV klasy jakości. Z kolei na stanowisku 07 biomasa ogólna 53,8 mg/l wskazywała na blisko dwukrotne przekroczenie wartości granicznej właściwej dla najslabszej - V klasy jakości wody.

Chlorofil i przeźroczystość

Wskaźniki te są elementami ściśle powiązane ze zbiorowiskami fitoplanktonowymi występującymi w ekosystemach wodnych. Zmiany sezonowe koncentracji chlorofilu „a” i przeźroczystości mierzonej widzialnością krążka Secchiego (SD) prezentują ryciny 4 i 5. Świadczą o występowaniu w ciągu całego cyklu pomiarowego zależności silnie skorelowanymi analizami algologicznymi. Polegają na systematycznym wzroście w ciągu roku natężenia procesów wegetacyjnych w toni jeziora, mającym swoje odbicie we wzroście ilości chlorofilu „a” przy jednoczesnym spadku przeźroczystości. W czerwcu dobrze widoczna jest także faza „czystej” wody, związana z spadkiem ilości glonów. W odniesieniu do tych dwóch wskaźników wyraźnie wyodrębnia się pod względem lepszej jakości wody stanowisko 01 (Łuszczewo). Natomiast średnia widzialność dla całego jeziora ze wszystkich cykli pomiarowych ze względu na intensywny rozwój fitoplanktonu była zdecydowanie ograniczona i wyniosła zaledwie 0,55 m i nie spełniała wymogów dobrego stanu wód (II klasa czystości).



Ryc. 4. Sezonowe zmiany zawartości chlorofilu „a” (w mg/l) w Goplu w 2019 r.



Ryc. 5 Sezonowe zmiany przezroczystości (w m)) w Goplu w 2019 r.

Analogicznie jak w przypadku biomasy, wytyczne służące ocenie elementów biologicznych określają dla koncentracji chlorofilu wartości graniczne właściwe dla poszczególnych klas jakości wody. Na ich podstawie można stwierdzić, że średnia zawartość w sezonie wegetacyjnym chlorofilu na stanowisku 01 wynosząca 46,6 µg/l odpowiada najgorszej V klasie jakości wody. Natomiast dla stanowiska 07 średnie stężenie chlorofilu to 101,9 µg/l 3. krotnie przekracza wartość graniczną wyznaczającą V klasę jakości.

Syntetycznym wskaźnikiem uwzględniającym elementy charakteryzujące zbiorowiska fitoplanktonowe tj. chlorofil „a”, biomasę ogólną oraz biomasę sinic jest multimetryczny wskaźnik fitoplanktonowy (PMPL). Jego wartość jest uwzględniana przy ocenie stanu czystości jezior.

Dla Gopła obliczony PMPL wynosi 4,77 co wskazuje na złą jakość wód.

Makrofity

Podczas badań prowadzonych 2016 r. na jeziorze wyznaczono 54 transekty, na których oznaczono 20 gatunków roślin makrofitowych. Średnia głębokość zasiedlenia wynosiła 1,2 m, co przełożyło się na pokrycie litoralu na powierzchni 387 ha. Maksymalna głębokość występowania roślin sięgała 2,5 m. Szuwar zdominowany był przez trzinę pospolitą *Phragmites communis*, która zajmowała 65% powierzchni fitolitoralu oraz przez pałkę wąskolistną *Typha angustifolia* (pokrycie 5,7%). Roślinności zanurzona składała się głównie z rogatka sztywnego *Ceratophyllum demersum*, który zajmował 7,4% fitolitoralu oraz wywłócznika kłosowego *Myriophyllum spicatum* (5,1%), grzybienia białego *Najas alba* (4,5%), jaskra krążkolistnego *Ranunculus circinatus* (2,5%) i rdestnicy połyskującej *Potamogeton lucens* (1,5%).

Analiza zbiorowisk roślinnych służy do wyznaczenia makrofitowego wskaźnika stanu ekologicznego (ESMI). Jest to element uwzględniany przy klasyfikacji stanu czystości. Wartość indeksu ESMI wyznaczona dla Gopła – 0,166 odpowiada słabemu potencjałowi ekologicznemu.

Elementy fizykochemiczne

Temperatura

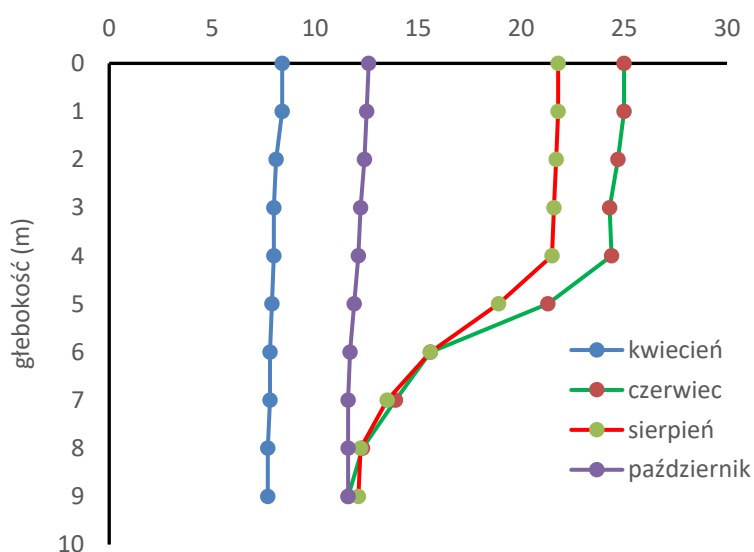
Pomiary temperatury wody w okresie wiosennym wskazywały na pełną homotermię mas wody. Powierzchniowa warstwa cechowała się stosunkowo wysoką jak na tę porę roku temperaturą wynoszącą 8,3 °C. W oddzielnym od głównego basenu wypłyconym płocie północnym (stanowisko 07) temperatura wyniosła 8,5 °C. Naddenne warstwy wody miały temperaturę minimalną 6,7 °C. W czerwcu, najniższą temperaturę powierzchniowej warstwy wody – 24,1 °C odnotowano na stanowisku 01. Najwyższą – 25,0 °C stwierdzono na stanowisku 06. W miesiącu tym w pionowym profilu już widoczna była dobrze rozwinięta stratyfikacja termiczna rozpoczynająca się przeważnie poniżej 4 m głębokości. Minimalną temperaturę warstwy naddennej – 11,3 °C odnotowano na stanowisku 02. W sierpniu temperatura epilimnionu uległa niewielkiemu obniżeniu. Maksimum – 22,4 °C wystąpiło na stanowisku 01. Podobna prawidłowość wystąpiła w strefie naddennej. Miąższość epilimnionu wzrastała i sięgała do 6 m głębokości. Maksymalny skok temperatury w metalimnionie wyniósł 3,6 °C. Pełna stratyfikacja termiczna wykształciła się jedynie na stosunkowo głębokim (14,5 m) stanowisku 02, na którym warunki morfometryczne misy jeziornej utrudniają mieszanie wody. W okresie miksji jesiennej (październik) nastąpiło ochłodzenie mas wody oscylujące pomiędzy 12,5-13,3 °C i wyrównanie jej temperatury w profilu pionowym. Pozostałość stratyfikacji letniej widoczne były tylko na stanowisku 02. Na podstawie pionowego rozkładu temperatury wody Gopło można zaliczyć do jezior o niepełnej stratyfikacji termicznej. W okresie letnim wszystkie warstwy wykształcają się jedynie na stanowisku 02, natomiast stanowiska 04 i 07 wykazują charakter polimiktyczny.

Tlen rozpuszczony

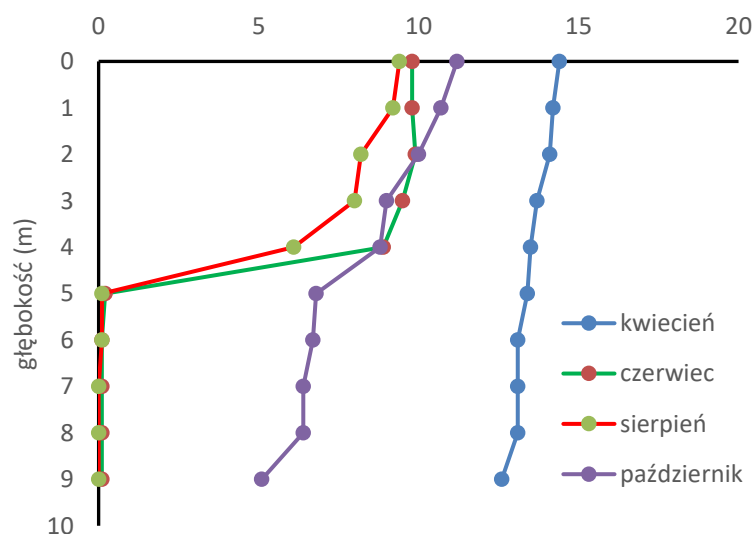
Zawartość tlenu rozpuszczonego podczas wiosennego mieszania wód była praktycznie jednorodna w całej objętości jeziora. Jedynie na stanowisku 02 panowały odmienne warunki. Stężenie tlenu zmieniało się tutaj od 13,8 mg O₂/l na powierzchni do 7,2 mg O₂/l nad dnem. Najwyższym nasyceniem wody tlenem – 125% charakteryzowała się północna część jeziora (stanowisko 06 i 07). Są to wartości typowe dla warunków zaawansowanej eutrofii. Natomiast już na początku lata obserwowano poniżej epilimnionu (od 5-6 m głębokości) deficyt tlenowy. W szczycie stagnacji letniej epilimnion był przetleniony. Na stanowisku 01 nasycenie tlenem na powierzchni wyniosło 135% przy zawartość tlenu wynoszącej 11,8 mg O₂/l. Na kolejnych stanowiskach warunki tlenowe uległy pogorszeniu. W Kruszwicy (stanowisko 07) było tylko 7,3 mg O₂/l, czemu odpowiadało natlenienie 83%. Gwałtowny skok zawartości tlenu

następował poniżej 4 m głębokości, aby na granicy epi- i metalimnionu znaleźć do analitycznego zera. Oprócz płytkich stanowisk 04 i 07 na wszystkich pozostałych, w próbach pobranych z dolnej warstwy metalimnionu, wyczuwalny był siarkowodor. W trakcie miksji jesiennej warunki tlenowe uległy wyraźnej poprawie. Na stanowisku 02 poniżej 12 m głębokości zalegały odtlenione masy wody wskazując, analogicznie jak w przypadku temperatury, na pozostałość letniego uwarstwienia termiczno-tlenowego.

Przebieg zmian sezonowych krzywych termiczno-tlenowych na przykładzie stanowiska 06 prezentują ryciny 6 i 7.



Ryc. 6. Sezonowe zmiany temperatury (w °C) w Gople w 2019 r na stanowisku 06



Ryc. 7. Sezonowe zmiany zawartości tlenu rozpuszczonego (w mg O₂/l) w Gople w 2019 r. na stanowisku 06

Biogeny

Zasobność jeziora w związku fosforu i azotu decyduje o poziomie jego trofii. W odniesieniu do związków azotu to zawartość azotanów w okresie wiosennego mieszania wód była wysoka. Średnia dla całego jeziora wyniosła 0,92 mg N-NO₃/l i wahała się od 1,55 mg N-NO₃/l na stanowisku 07 (Kruszwica) do 0,23 mg N-NO₃/l na stanowisku 01 (Łuszczewo). Dane te świadczą o znaczącym o tej porze roku zasilaniu jeziora ze strony spływów powierzchniowych. W pozostałych okresach limnologicznych, łącznie z miksą jesienną, ta forma azotu w związku z intensywnym rozwojem fitoplanktonu występowała w śladowych ilościach. W odniesieniu do azotu amonowego, to w epilimnionie jeziora był oznaczany sporadycznie. W większych stężeniach pojawiał się dopiero w okresie miksji jesiennej. Mógł to efekt wyniesienia ku powierzchni wód naddennych, które w warunkach występowania w okresie stratyfikacji braku tlenu, są szczególnie obciążone formą amonową pochodzenia autochtonicznego. Nie jest także wykluczone pochodzenie ściekowe, szczególnie, że najwyższa koncentracja - 1,13 mg N-NH₄/l ponad 5. krotnie przekraczająca poziom najczęściej spotykany w wodach niezanieczyszczonych, wystąpiła na przylegającym do przemysłowej strefy Kruszwicy stanowisku 07. Średnia zawartość azotu ogólnego z całego roku to 2,27 mg N/l przekraczając granicę 2,0 mg N/l wyznaczoną dla dobrego stanu wód. Największa średnia ilość azotu ogólnego - 3,23 mg N/l wystąpiła w północnej części jeziora (stanowisko 07). Najmniejszym stężeniem średnim - 1,31 mg N/l odpowiadającym dobremu stanowi wód, charakteryzowała się część południowa (stanowisko 01). Okresem występowania szczególnie wysokich koncentracji azotu było jesienne mieszanie wód. Bezwzględne maksimum - 3,99 mg N/l miało miejsce w październiku na stanowisku 07.

Fosfor jest podstawowym pierwiastkiem decydującym o poziomie żyzności wód jeziora. Największą wartość diagnostyczną mają stężenia formy mineralnej tj. fosforu fosforanowego w okresie homotermii wiosennej. W przypadku Gopła jedyny wynik potwierdzający obecność fosforanów – 0,029 mg P-PO₄/l udało się uzyskać na stanowisku 01. Na pozostałych stanowiskach stężenia były poniżej granicy oznaczalności wynoszącej 0,016 mg P-PO₄/l. Sytuacja taka utrzymywała się przez cały okres lata. Świadczy to o wyczerpywaniu zasobów tego pierwiastka przez rozwijający się fitoplankton. Ponownie fosforany wykryto na jesieni na stanowiskach 01 i 06 w ilościach 0,024 i 0,042 mg P-PO₄/l.

W przypadku średniej zawartości fosforu ogólnego w jeziorze wynoszącej dla wszystkich cykli badawczych 0,099 mg P/l jest to wartość nie odpowiadająca wodom w stanie dobrym. Rozkład przestrzenny był identyczny jak w przypadku azotu. Najmniejszą średnią koncentracją – 0,079 mg P/l charakteryzowała się południowa część Gopła. Wskazuje to na dobry stan wód.

Najwyższą wartość średnią – 0,123 mg P/l oznaczono w części północnej. Okresem występowania najwyższych stężeń fosforu ogólnego, analogicznie jak azotu ogólnego, była homotermia jesienna. W październiku, na najbardziej narażonych na antropopresję stanowiskach 06 i 07, było odpowiednio 0,18 i 0,17 mg P/l, podczas gdy w pozostałych fragmentach jeziora zawartość tego pierwiastka wahała się od 0,11 do 0,14 mg P/l.

Ocena stanu czystości jeziora

Na podstawie parametrów biologicznych oraz mających status wskaźników wspomagających ocenę biologiczną parametrów fizykochemicznych obliczonych dla całego jeziora jako wartość średnia z wszystkich cykli oraz stanowisk pomiarowych, potencjał ekologiczny jeziora w 2019 r. oceniono jako zły. Zdecydował o tym indeks fitoplanktonu PMPL. Na wartości indeksu wpływ miała koncentracja chlorofilu „a” oraz biomasa fitoplanktonu, w tym szczególnie biomasa sinic latem. Parametry fizykochemiczne również wskazywały na słabą jakość wód. Ocena wykonana dla poszczególnych stanowisk na podstawie wartości średniej ze wszystkich pomiarów w danym punkcie, pozwoliła wyodrębnić stanowisko 01 (Łuszczewo) jako charakteryzujące się stosunkowo najlepszą jakością wód, co jednak nie zmieniało oceny końcowej dla tego głęboczka, również odpowiadającej złemu stanowi ekologicznemu (tab.1).

Tabela 1 Ocena stanu czystości Gopla w 2019 r.

stanowisko	Fitoplankton (indeks PMPL)		Przeźroczystość (m)		Przewodność (μ S/cm)		Azot ogólny (mg N/l)		Fosfor ogólny (mg P/l)	
	Wartość średnia	klasa	Wartość średnia	klasa	Wartość średnia	klasa	Wartość średnia	klasa	Wartość średnia	klasa
01	4,16	5	0,9	>2	527	2	1,31	2	0,079	2
02	4,45	5	0,5	>2	521	2	2,04	>2	0,090	>2
04	4,67	5	0,3	>2	507	2	2,51	>2	0,096	>2
05	5,01	5	0,4	>2	506	2	2,38	>2	0,096	>2
06	4,94	5	0,3	>2	515	2	2,12	>2	0,112	>2
07	5,39	5	0,4	>2	526	2	3,23	>2	0,123	>2
średnia dla jeziora	4,77	5	0,5	>2	517	2	2,27	>2	0,099	>2

Osady dennie.

Badania powstających współcześnie osadów wodnych jezior wykonywane w ramach PMŚ obejmują określenie zawartości metali ciężkich i wybranych szkodliwych związków organicznych. Osady dennie Gopła badane były w 2016 r. na centralnym stanowisku 05. Wyniki oceny wg kryterium geochemicznego oraz kryterium ekotoksykologicznego umożliwiającym ocenę stopnia wpływu zanieczyszczonych osadów na organizmy wodne wskazują, że osady tego fragmentu Gopła nie są zanieczyszczone i odpowiadają wartościom tła geochemicznego lub poziomowi 1 w odniesieniu kryterium ekotoksykologicznego. Ostatnie badania zestawiono z analizami wykonanymi przez WIOŚ w Bydgoszczy w trakcie kontroli stanu czystości jeziora w 1995 r. (tab. 2).

Tabela 2. Zawartość wybranych wskaźników (w ppm) w osadach dennych Gopła

wskaźnik	1995		2016
	Stanowisko 07	Stanowisko 05	Stanowisko 05
Miedź	0,958	0,197	0,20
Cynk	11,25	2,5	8,34
Kadm	0,085	0,053	0,03
Nikiel	3,02	0,501	1,72
Ołów	n.w.	0,022	3,24
Chrom ogólny	1,08	0,565	3,44
Ekstrakt eterowy	0,87	0,30	-

 tło geochemiczne

 klasa I

Dane te wskazują, że zawartość metali ciężkich w osadach jest w rymnie jeziornej zróżnicowana przestrzennie. W większości przypadków najbardziej obciążonym stanowiskiem jest północny basen jeziora, do którego przylega przemysłowa część Kruszwicy (stanowisko 07). Charakterystycznymi wskaźnikami jest tutaj zawartość niklu oraz ekstrakt eterowy, których większą ilość w osadach w tej części, w porównaniu z pozostałymi stanowiskami, należy wiązać z działalnością zakładów tłuszczowych. Potwierdzają to także badania nad wpływem antropopresji na skład osadów Gopła (7).

Monitoring badawczy

W 2015 r. WIOŚ w Bydgoszczy z uwagi na potrzebę oceny oddziaływania odwodnienia odkrywki węgla brunatnego „Tomisławice” na stan czystości Gopła, prowadził w ramach monitoringu badawczego obserwację jakości wód Kanału Warta-Gopło w miejscowości Przewóz oraz południowej części jeziora na wysokości miejscowości Nowe Połajewo. W przypadku tych badań skupiono się na oznaczaniu wskaźników charakterystycznych dla odprowadzanych wód kopalnianych tj. zawartości zawiesiny z jej podziałem na frakcję: organiczną i mineralną. Oznaczano także zawartość żelaza ogólnego.

Najwięcej zawiesiny mineralnej – 12,0 mg/l, stwierdzono w wodach Kanału Warta-Gopło w listopadzie 2015 r. Jest to znacznie poniżej maksymalnej wartości – 30,8 mg/l wyznaczonej w obowiązujących przepisach. W wodach jeziora, w zdecydowanej większości przypadków, udział frakcji mineralnej spadał blisko o połowę, w stosunku do oznaczanych w Kanale. W przypadku zawiesiny organicznej to było jej w jeziorze najwięcej w październiku. Taki rozkład sezonowy mógł zostać wywołany kończącym się jesienią okresem wegetacji i pojawieniem się na powierzchni jeziora obumarłych komórek glonów i sinic. Dobrze wyodrębniały się fazy „czystej” wody poza okresem wegetacyjnym w lutym i listopadzie, kiedy glony pelagiczne występują w minimalnych ilościach.

Z kolei zawartość żelaza ogólnego w przypadku Kanału Warta-Gopło to maksymalne stężenie – 0,053 mg/l odnotowano w czerwcu. W Goplu stężenia tego pierwiastka wahało się od 0,038 do 0,264 mg/l.

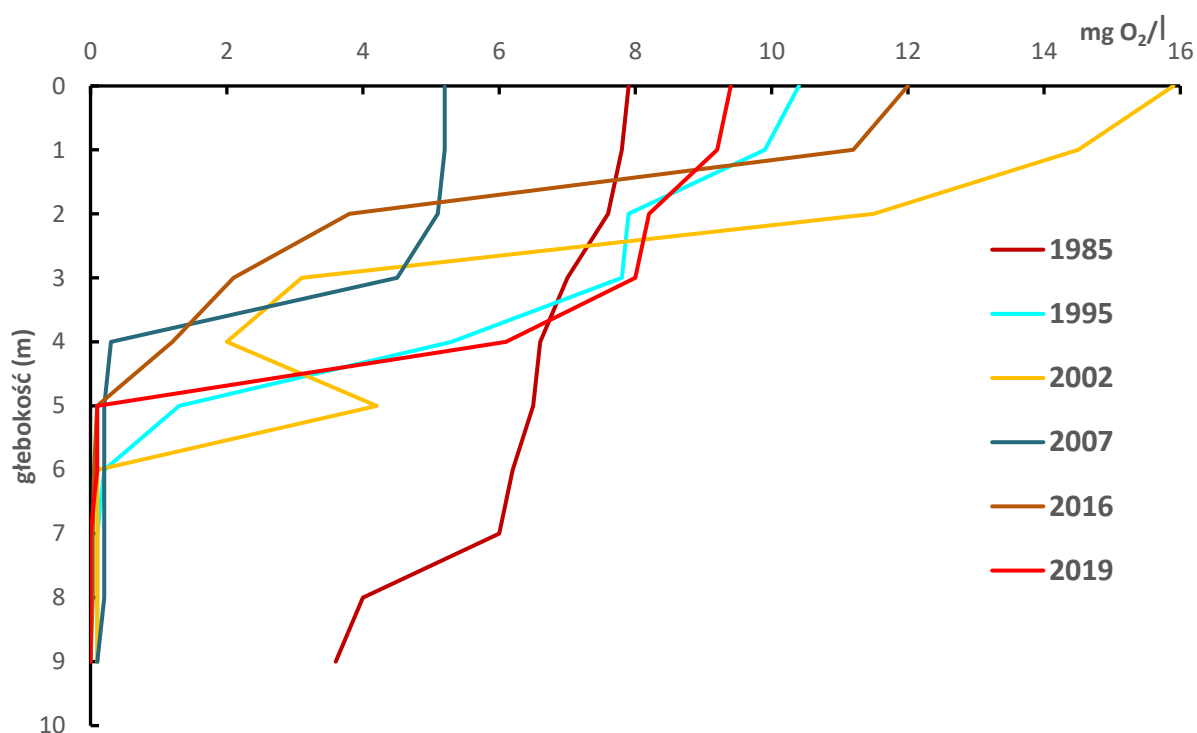
Na podstawie wykonanych analiz oraz kolejnych badań monitoringowych prowadzonych w 2016 i 2019 r. nie można stwierdzić istnienia negatywnego oddziaływania zrzutu wód kopalnianych na jakość wód Gopła.

Zmiany w wieloleciu 1985-2019

Na potrzeby analizy zmian jakości wody w wieloleciu wybrano wyniki pochodzące z 2 skrajnych stanowisk: płoza południowego na wysokości miejscowości Łuszczewo – stanowisko 01 oraz płoza północnego zlokalizowanego w Kruszwicy - stanowisko 07 (rycina 1). Natomiast do oceny zmian kondycji tlenowej wybrano stanowisko 06 z uwagi na jego stosunkowo dużą głębokość (10 m) sprzyjającą powstawaniu uwarstwienia termiczno-tlenowego oraz równoczesną istotną presję ze strony Kruszwicy.

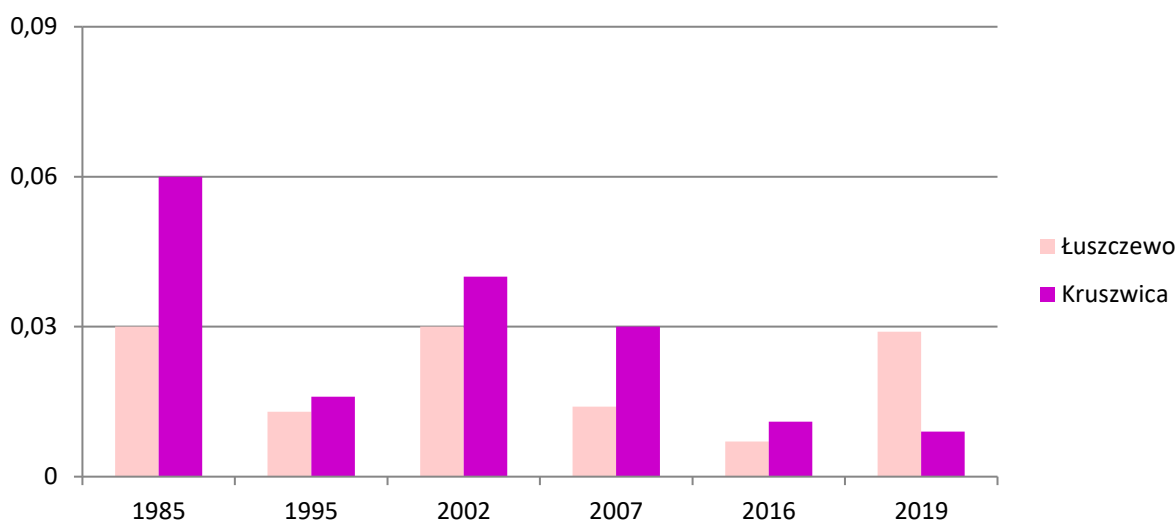
Zawartość tlenu w epilimnionie wahała się w szerokich granicach od 15,9 mg O₂/l w 2002 r. do 5,2 mg O₂/l w 2007 r (rycina 8). Wartości te wskazują na intensywną produkcję fitoplanktonu powodującą w niektórych latach silne przetlenienie powierzchniowych warstw

wody, a w innych z kolei na wyczerpywanie jego zasobów w wyniku procesów oddechowych glonów przeważających nad fotosyntezą i/lub rozkładu obumarłej materii organicznej. We wszystkich analizowanych latach niezmiennie na granicy epi- i metalimnionu tj. poniżej 4-6 m głębokości występowała strefa anaerobowa wraz z towarzyszącym jej siarkowodorem. Odmienny charakter oksykliny w 1989 r. wynika wyłącznie z metody analitycznej, jaką wówczas badano ilość tlenu w wodzie.

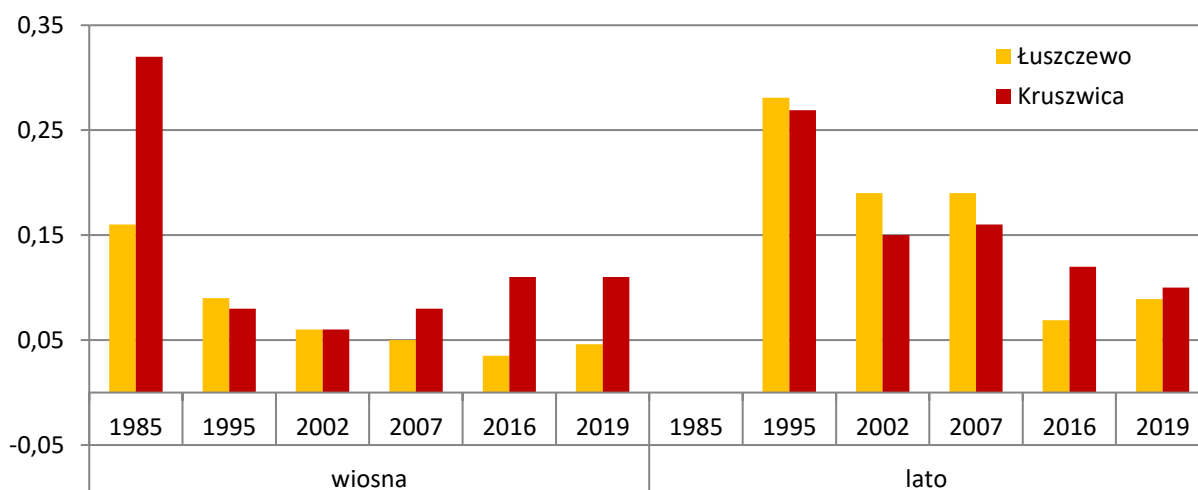


Ryc. 8. Zawartości tlenu (w mg O₂/l) w stagnacji letniej w Gople w latach 1985-2019 na stanowisku 06

W odniesieniu do koncentracji fosforu mineralnego w dekadzie pomiędzy rokiem 1985 a 1995 nastąpiła znaczna redukcja zawartości tego pierwiastka w wodach jeziora na stanowisku 07 (Kruszwica) oraz niewielki, jednak systematyczny spadek jego stężeń w kolejnych latach. Takiej prawidłowości nie stwierdzono na stanowisku 01 (Łuszczewo). Obniżenie koncentracji fosforanów w przymiejskiej części jeziora może być efektem likwidacji zrzutu ścieków, przede wszystkim cukrowniczych. Stanowisko w Kruszwicy, z wyłączeniem 2019 r., charakteryzowała się zawsze wyższą zawartością fosforanów w stosunku do płosa południowego (rycina 9).



Ryc. 9. Stężenie fosforanów (w mg P-PO₄/l) w Gopłu w latach 1985-2019 w okresie wiosennym

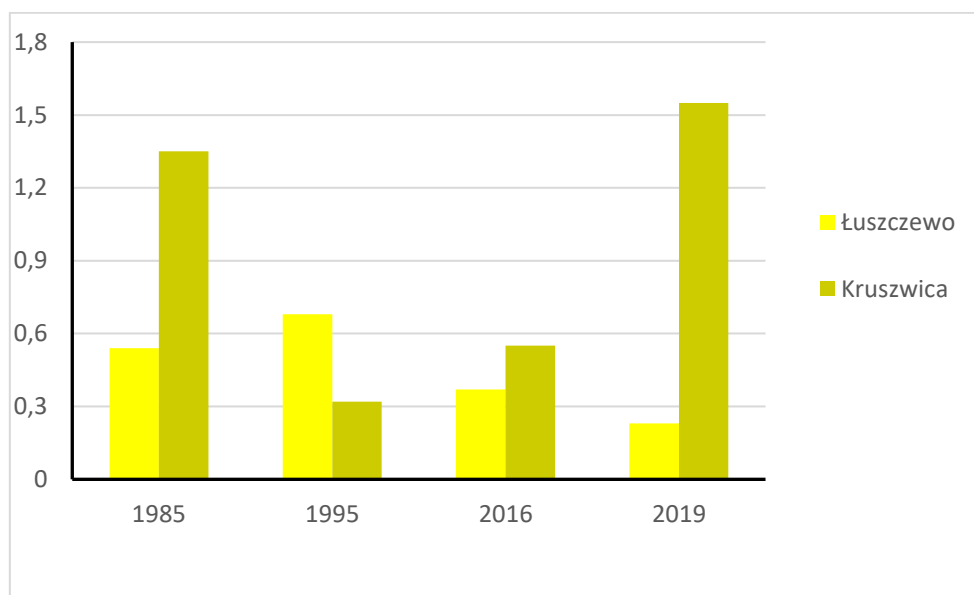


Ryc. 10 Sezonowa zmienność fosforu ogólnego (w mg P/l) w Gopłu w latach 1985-2019

W przypadku fosforu ogólnego analogiczne zależności wystąpiły w okresie wiosennym, natomiast latem obserwowano nieco inne tendencje (rycina 10). Generalnie na przestrzeni 24 lat notowano spadek koncentracji fosforu ogólnego w epilimnionie jeziora. Jednak latem w kolejnych 3 sezonach pomiarowych, południowa część (stanowisko 01), wykazywała obecność większej ilości tej formy, w stosunku do części północnej. Zarysowała się także tendencja (zaburzona w roku 2016 i 2019) wskazująca na znaczny wzrost stężeń na obu analizowanych stanowiskach od wiosny do lata, co można wiązać ze wzrostem biomasy fitoplanktonu.

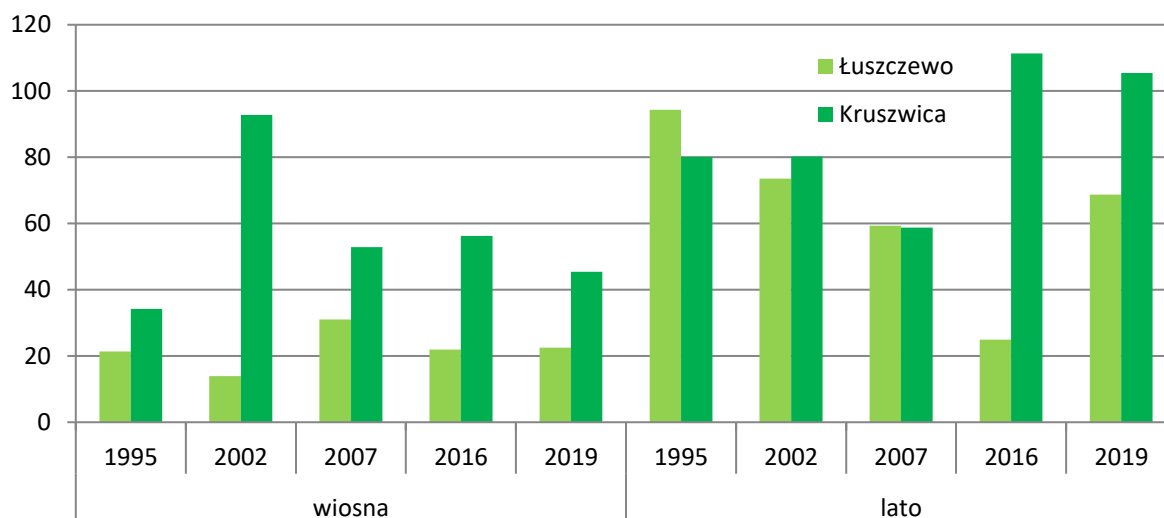
Dla azotu, z uwagi na brak kompletu danych z całego analizowanego okresu, porównanie zmian wieloletnich ograniczono tylko do zawartości azotanów w skrajnych latach badań (rycina 11). Wahania zawartości azotanów w jeziorze sugerują niewielki spadek obciążenia solami

pokarmowymi mający miejsce na stanowisku 01 (Łuszczewo) oraz przeciwną tendencję na stanowisku 07 (Kruszwica).



Ryc. 11. Stężenie azotanów (w mg N-NO₃/l) w Goplu w okresie wiosennym

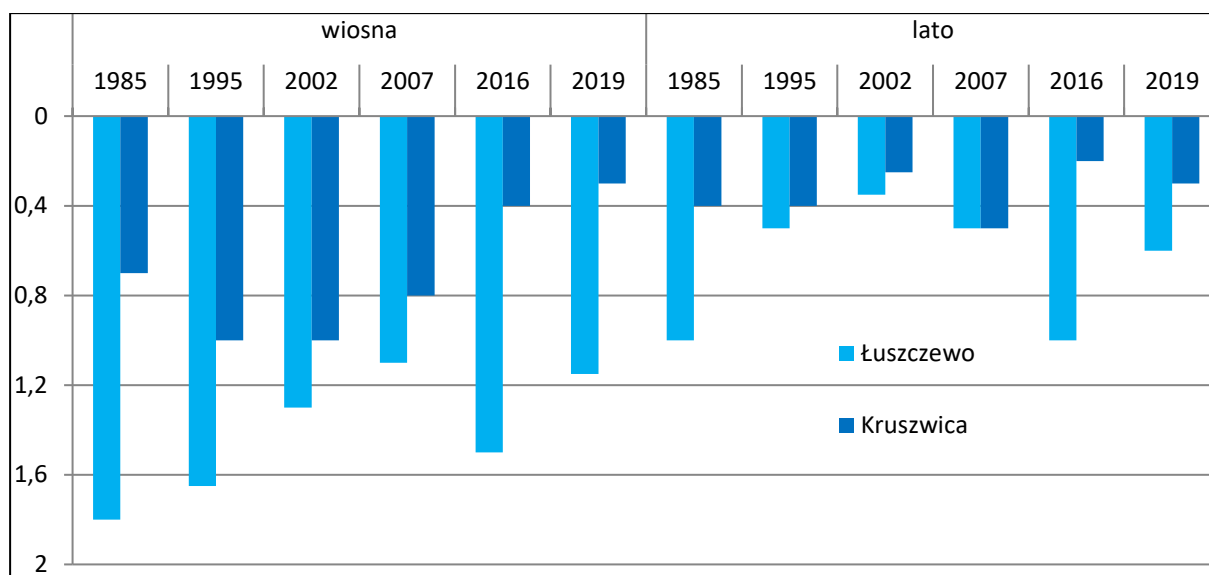
Reakcja ekosystemu jeziora na obecność związków biogenych to przede wszystkim rozwój fitoplanktonu, którego powszechnie stosowaną miarą jest stężenie chlorofilu „a”. W przypadku tego parametru bezwzględne wartości wskazywały w całym analizowanym okresie na skrajnie eutroficzny charakter jeziora w jego północnej części oraz poprawę warunków w południowej widoczną w dwóch ostatnich cyklach monitoringowych (rycina 12). Ilość barwnika fotosyntetycznego osiągała maksimum zawsze w okresie stagnacji letniej. Natomiast w przypadku zmian zachodzących w wieloleciu, brak jest wyraźnych tendencji. Niskie stężenia chlorofilu, które miały miejsce wiosną 1995 r. mogło być efektem występowania w terminie poboru prób, na początkach marca, niskich temperatur powietrza, powodujących ponowne pojawienie się ustępującej w ciągu dnia pokrywy lodowej, oraz wyjątkowo niskiej koncentracji fosforanów (rycina 6), co mogło powstrzymać rozwój fitoplanktonu. W przypadku płosa północnego obserwowana tendencja jest niejednoznaczna. Wynika to ze znacznego wzrostu, w stosunku do pierwszego okresu badawczego, ilości chlorofilu na stanowisku w Kruszwicy, mającego miejsce latem w latach 2016 i 2019.



Ryc. 12. Sezonowa zmienność chlorofilu „a” (w µg /l) w Goplu w latach 1995-2019

Przezroczystość wody mierzona widzialnością krążka Secchiego w przypadku zmian sezonowych wykazywała w większości przypadków prawidłowości analogiczne z dotyczącymi chlorofilu „a” (rycina 13). Wynika to z istniejącej silnej korelacji ujemnej pomiędzy tymi wskaźnikami. Również, podobnie jak w przypadku chlorofilu, przezroczystość wody zmieniała się w rytmie sezonowym. Największa była na wiosnę i pogarszała się w szczycie stagnacji letniej. Analogiczny był także rozkład przestrzenny obu wskaźników. Jedynie latem 2007 r. przezroczystość wody na porównywanych stanowiskach była identyczna. W pozostałych przypadkach zawsze była lepsza w południowej części jeziora. Największe różnice pomiędzy skrajnymi stanowiskami, zarówno wiosną jak i latem, wystąpiły w 1985 i ponownie w roku 2016 i 2019. Na obu tych stanowiskach w 2019 r. zarówno wiosną jak i latem uwiadcza się regresja widzialności w stosunku do bazowego roku 1985. Na podstawie tych danych nie można wnioskować o istnieniu na przestrzeni ponad 30. tendencji spadkowej. Jest to wniosek analogiczny jak w przypadku chlorofilu.

Końcowe oceny jeziora wykonywane w poszczególnych latach prowadzonego monitoringu nie mogą być ze sobą porównywane z uwagi na diametralnie zmieniające się metodyki pomiarowe oraz zasady klasyfikacji stanu czystości wód powierzchniowych. Jednak mając na uwadze te ograniczenie, można jednoznacznie stwierdzić, że jakość wód Gopla w latach 1985-2019 zawsze była niska, charakterystyczna dla stanu zaawansowanej eutrofii.



Ryc. 13. Sezonowa zmienność widzialności krążka Secchiego (w m) w Gopie w latach 1985-2019

Stan troficzny jeziora na podstawie indeksu Carlsona

Szeroko stosowanym wskaźnikiem stanu trofii jest Trophic State Index (TSI) opracowany dla jezior przez Carlsona (2). Podstawą teoretyczną dla utworzenia wskaźnika było założenie, że stan troficzny jest uzależniony liniowo od ilości znajdujących się w danym zbiorniku glonów. Można ją ocenić za pomocą widzialności krążka Secchiego (SD), koncentracji chlorofilu „a” oraz stężenia fosforu całkowitego. Wskaźnik przyjmuje wartości od 0 do 100, przy czym wartości poniżej 40 oznaczają oligotrofię natomiast powyżej 70 hipertrofię.

Tabela 3. Wskaźnik Stanu Trofii Carlsona dla jeziora Gopło

rok	1985	1995	2002	2007	2016	2019
wskaźnik	SD					
stanowisko	Łuszczewo					
Wartość TSI	60,0	70,0	75,1	70,0	60,0	67,4
trofia	EUTROFIA	EUTROFIA	HIPERTORIFIA	EUTROFIA	EUTROFIA	EUTROFIA
stanowisko	Kruszwica					
Wartość TSI	73,2	73,2	80,0	70,0	83,2	77,3
trofia	HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	EUTROFIA	HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA
Wartość TSI	chlorofil "a"					
stanowisko	Łuszczewo					
Wartość TSI	n.b.	75,2	72,8	70,7	62,1	72,1
trofia		HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	EUTROFIA	HIPERTORIFIA
stanowisko	Kruszwica					
Wartość TSI	n.b.	73,6	73,6	70,6	76,8	76,3
trofia		HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	HIPERTORIFIA	

wskaźnik	fosfor ogólny					
stanowisko	Łuszczewo					
Wartość TSI	n.b.	14,2	19,8	19,8	34,4	30,7
trofia		OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA
stanowisko	Kruszwica					
Wartość TSI	n.b.	14,8	23,2	22,3	26,4	29,1
trofia		OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA	OLIGOTROFIA

n.b. – nie badano

Wartość TSI dla Gopła wskazuje w większości przypadków na panowanie w jeziorze warunków hipertroficzych, czyli skrajnego przeżyźnienia, aczkolwiek są one w pewnym stopniu zróżnicowane przestrzennie, co pokrywa się z analizą pozostałych parametrów. Na przestrzeni ćwierćwiecza nie podlegały one zasadniczym zmianom. Od generalnej oceny odbiegają wartości indeksu obliczonego dla fosforu ogólnego. Przyczyn rozbieżności należy upatrywać w procesach zachodzących w toni jeziora.

Wnioski

Monitoring Gopła prowadzony w 2019 r. wykazał zły potencjał ekologiczny jeziora. O klasyfikacji zdecydowały element biologiczny – indeks fitoplanktonowy oraz wspomagające elementy fizykochemiczne: przejrzystość, zawartość azotu i fosforu ogólnego poniżej stanu dobrego.

Na podstawie rezultatów monitoringu jeziora prowadzonego w latach 1985-2019 można stwierdzić występowanie silnego zróżnicowania jakości wód w jego rynn timer. Płoso północne w Kruszwicy, poddane silnej, wielokierunkowej antropopresji, wykazywało cechy charakterystyczne dla politrofii. Basen południowy w Łuszczewie, pomimo że oceniany w niektórych latach jako wykazujący przejawy zaawansowanej eutrofizacji, zawsze był w lepszym stanie w stosunku do pozostałych części. Dla oceny zmian eutrofizacyjnych istotne ograniczenie stanowi zmiana metodyki badań jezior w państwowym monitoringu środowiska. Wynika ona z wprowadzenia do prawodawstwa krajowego zapisów Ramowej Dyrektywy Wodnej. Zaprzestanie poborów z hypolimnionu podczas stagnacji letniej, pozbawiło niezwykle cennych dla oceny postępu eutrofizacji informacji, o koncentracji w tej strefie jezior np. fosforanów czy azotu amonowego. W przypadku tych związków to jeszcze w 2002 r. ich stężenia na stanowisku 06, zlokalizowanym naprzeciwko wylotu jednego z najbardziej zanieczyszczonych fragmentów jeziora jakim jest Zatoka Łagiewnicka, były na poziomie spotykanym tylko w pojedynczych przypadkach ekstremalnie zanieczyszczonych jezior.

W analizowanym wieloleciu obserwowane są niejednoznaczne tendencje w odniesieniu do podstawowych parametrów troficznych. Podobne zależności występowały także w Jeziorze Charzykowskim (4). Jednak można zaryzykować tezę o zahamowaniu procesów degradacji wód Gopła opisywanych przez różnych autorów już w latach 60. XX w. Dane literaturowe (3) wskazują na znaczące zmiany w ekosystemie jeziora, jakie zaszły w ostatnich dekadach XX w. Jeszcze w latach 70. widzialność krążka Secchiego w lipcu wyniosła 1,7 m, a w październiku aż 5,5 m. Przeobrażeniu uległy także zespoły roślinności zanurzonej. Pół wieku temu maksymalny zasięg roślinności podwodnej sięgał do głębokości 6 metrów, a obecnie to jedynie 2,5 metra. Pod wpływem drastycznego pogorszenia warunków świetlnych w toni jeziora ustąpiły także całkowicie ramienice, które są indykatorem wysokiej jakości wód (11).

Brak poprawy jakości wód, pomimo znacznego ograniczeniu presji wywieranej na jezioro, wynikać może z cech hydrograficzno-morfologiczno-zlewniowych Gopła, predysponujących jezioro do utrzymywania warunków eutroficznych (5). W przypadku północnej części jeziora osłabienie presji antropogenicznej jest ponad wszelką wątpliwość wynikiem uporządkowania gospodarki ściekowej w Kruszwicy, zarówno w sektorze komunalnym jak i przemysłowym. Istotne są także działania prowadzone w zlewni bezpośredniej jeziora, polegające na systematycznej likwidacji zrzutu nieoczyszczonych ścieków powstających w mniejszych jednostkach urbanistycznych i przekierowanie ich na modernizowane oczyszczalnie ścieków. Jednak nadal odprowadzanie ścieków może wywoływać problemy. Związane są one z niedoborami wody we wszystkich dopływach do jeziora. Redukcja przepływów w ciekach będących odbiornikami ścieków, wywołuje zjawisko ich wtórnego zanieczyszczenia, a w konsekwencji ma wpływ na samo jezioro. Negatywnym zjawiskiem są także cofki wód wywołane wiatrem, mające miejsce na odpływie Noteci z Gopła. W takich sytuacjach ścieki odprowadzane z kruszwickiej oczyszczalni zlokalizowanej poniżej jeziora w Kobylnikach mogą być kierowane w kierunku północnego plosa.

Prowadzony monitoring nie wykazał dotychczas wpływu zrzutu wód odprowadzanych z odkrywki węgla brunatnego „Tomisławice” na jakości wód Gopła. Nie potwierdził tego także eksperyment przeprowadzony w laboratorium WIOŚ nad wpływem zawiesiny pyłu węglowego na zawartość w wodzie fosforanów.

Analiza zmian zachodzących w Goplu w okresie prawie 35. lat prowadzonego monitoringu potwierdziła opisywane w literaturze (9) trendy klimatyczne. Są one widoczne w reżimie termiczno-tlenowym jeziora. Braki w ostatniej dekadzie pokrywy lodowej, lub jej krótkotrwałe występowanie, oraz wysoka temperatura powietrza w okresie wczesnowiosennym, przyspiesza ogrzewanie mas wody, a tym samym powstawanie stratyfikacji termiczno-tlenowej. Na

zaburzenie cykli limnologicznych oddziałują także letnie upały. Pociągają za sobą m.in. głębsze i jednocześnie dłużej trwające odtlenienie naddennych warstw wody. Uruchamia się w ten sposób zjawisko zasilania wewnętrznego związanego z wydzielaniem z osadów dennych fosforu – pierwiastka odpowiedzialnego za trofię wód. Może być to czynnik osłabiający, a nawet niwelujący efekt znacznego ograniczenia zewnętrznego ładunku zanieczyszczeń wprowadzanych do jeziora wraz ze ściekami. Jednocześnie wzrastająca temperatura warstwy powierzchniowej na wiosnę, jak również w kolejnych miesiącach, ma wpływ na przebudowę składu ilościowego i gatunkowego fitoplanktonu. Istotny jest zwłaszcza dominujący udział sinic, taksonu negatywnie wpływającego zarówno na pozostałe elementy ekosystemu jeziora, jak i na jego wykorzystanie rekreacyjne.

Możliwości poprawy jakości wód Gopła w wyniku naturalnych procesów wydają się być ograniczone (1). Również działania rekultywacyjne w świetle aktualnego stanu wiedzy oraz dotychczasowych doświadczeń mają niewielką szansę powodzenia. Zabiegi ochronne powinny obejmować w pierwszym rzędzie ochronę zlewni bezpośredniej jeziora poprzez zwiększoną efektywność oczyszczania powstających na jej terenie ścieków. Kolejnym elementem działań ochronnych może być stworzenie stref buforowych na wylotach dopływów zasilających jezioro. W odniesieniu do możliwości rekultywacji jeziora, to realnym rozwiązaniem wydaje się koncepcja (6) podjęcia punktowych działań, skoncentrowanych w rejonach o największym zanieczyszczeniu tj. Zatoce Łagiewnickiej, głęboczku przy Półwyspie Rzępowskim czy plosie północnym. Podobny katalog działań zmierzający do ochrony jeziora uwzględniony został w wykonanym na zlecenie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej projekcie pt. „Sformułowanie w warunkach korzystania z wód regionu wodnego ograniczeń w korzystaniu z wód jezior lub zbiorników oraz w użytkowaniu ich zlewni”. Celem projektu było określenie szczególnych działań dla poprawy stanu jezior, w tym zabiegów prowadzących do zminimalizowania presji zidentyfikowanych w ich zlewniach. Natomiast z punktu widzenia formalnego podstawowym dokumentem regulującym zakres prac podejmowanych na potrzeby ochrony wód są obecnie plany gospodarowania wodami.

Bez względu na przyjęte strategie, oczywistym wydaje się fakt, że jako społeczeństwo, którego korzenie wyrastały nad brzegami *Mare Polonorum*, jesteśmy winni poświęcić swoją większą uwagę współczesnym problemom Gopła.

W opracowaniu wykorzystano:

1. Burchardt L., 1996. Hydrobiologiczne prognozy przyszłości jezior Gopło i Lednica. Studia lednickie IV. Poznań
2. Carlson R., 1977. A trophic state index for lakes, *Limnology and Oceanography* 22.
3. Dzieduszycki W., Kupczyk M., 1993. Gopło. Przyroda i człowiek. PAN Instytut Archeologii i Etnologii.
4. Goszczyński J., 2013. Ocena jakości wód Jeziora Charzykowskiego zgodnie z wymogami Ramowej Dyrektywy Wodnej. w: EuLakes. Jeziora europejskie pod wpływem stresorów środowiskowych. Mat. niepublikowane. IMGW
5. Goszczyński J., Jutrowska E., 1996. Stan czystości wód jeziora Gopło. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
6. Jańczak J., 2001. Rekultywacja a ochrona jeziora Gopło. *Zeszyty Naukowe Inżynieria Środowiska* nr. 125: 141-148. Wydawnictwo Politechnika Zielonogórska.
7. Juśkiewicz W., 2015. Wpływ antropopresji na zróżnicowanie osadów dennych jeziora Gopło. Rozprawa doktorska. Wydział Nauk o Ziemi UMK w Toruniu.
8. Komunikaty o stanie czystości jeziora Gopło z lat 1985, 1995, 2002, 2007. Mat. niepublikowane. WIOŚ Bydgoszcz.
9. Marszelewski W., Skowron R., 2006. Ice cover as an indicator of winter air temperature changes: case study of the Polish Lowland lakes. *Hydrological Science Journal* 51(920): 236–349.
10. Podręcznik do monitorowania elementów biologicznych i klasyfikacji stanu ekologicznego wód powierzchniowych, red. A. Kolada. 2020. Biblioteka Monitoringu Środowiska.
11. Wiśniewski R., 1992. The eutrophication of Gopło lake : hydrological instability as a cause of zoobenthos changes. *Acta Universitatis Nicolai Copernici. Nauki Matematyczno-Przyrodnicze. Prace Limnologiczne* nr 17: 63-72.



Fot. 1 Zatoka w Siemionkach – na pierwszym planie stanowisko 04, w głębi 05 (zdjęcie: M. Maciejewski)



Fot. 2 Zatoka Łagiewnicka i Półwysep Rzępowski w rejonie stanowiska 06 (zdjęcie: M. Maciejewski)



Fot. 3 Północna część Gopła w rejonie stanowiska 07 – na pierwszym planie osadniki cukrowni (zdjęcie: M. Maciejewski)



Fot.4 Zakwit w centralnej części jeziora (stanowisko 05) w sierpniu 2019 r. (zdjęcie: J.Goszczyński)