

TOMASZ ŚCIEŻOR, WOJCIECH BALCERZAK

Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Krakowska
Warszawska 24, 31-155 Kraków
E-mail: sciezor@vistula.pk.edu.pl
wb@vistula.pk.edu.pl

WPŁYW ZANIECZYSZCZENIA ŚWIETLNEGO NA EUTROFIZACJĘ ZBIORNIKA DOBCZYCKIEGO

WSTĘP

Wpływ jasności nieba na wertykalną migrację zooplanktonu w zbiornikach wodnych stwierdzono już w latach 60. XX w. (HUTCHINSON 1967), jednak badania te dotyczyły jedynie efektów związanych z zapadaniem zmroku lub świtem.

W latach 80. XX w. zwrócono uwagę na możliwość wpływu zmian jasności nocnego nieba na pionową dystrybucję zooplanktonu w zbiornikach wodnych (JERLING i WOOLDRIDGE 1991). Przedmiotem badań, przeprowadzonych w okresie marzec 1986-marzec 1987 w estuarium Sundays River był widłonóg *Pseudodiaptomus hessei*. Stwierdzono, że w czasie księżycowych nocy większość osobników znajdowała się w niższych partiach zbiornika, podczas gdy w czasie nocy bezksiężycowych efekt ten nie występował. Liczba osobników dorosłych, rejestrowanych w słupie wody, była wyraźnie niższa w okresie pełni Księżyca niż w okresie nowiu. Podobne zależności, wykazujące na korelację między fazą Księżyca i zawartością zooplanktonu, stwierdzono w Cahora Bassa Reservoir w południowo-wschodniej Afryce (GLIWICZ 1986), w Moreton Bay w Australii (JACOBY i GREENWOOD 1989) oraz w Puerto Rico (RIOS-JARA 2005).

Niektóre prace publikowane w tym okresie (RINGELBERG 1987, HANEY 1993) sugero-

wały wręcz, że oświetlenie powierzchni wody w nocy jest podstawowym czynnikiem kontrolującym pionową migrację zooplanktonu.

Podobne badania przeprowadzono w 2003 r. na jeziorze Bajkał (JUNG i współaut. 2004). Badano zachowanie widłonogów *Epischura baicalensis* oraz *Marohectopus branickii* pod wpływem zmieniającego się oświetlenia nieba w czasie zmierzchu lub świtu, jak również przy zmieniającej się fazie Księżyca. Stwierdzono również negatywne fototaktyczne zachowanie badanych gatunków, co tłumaczono unikaniem przez nie jasno oświetlonych warstw wody, gdzie są one zagrożone pożarciem przez ryby. Jednym z istotniejszych rezultatów opisywanych badań było stwierdzenie bardzo szybkiej reakcji widłonogów na zmiany oświetlenia, występującej nawet w ciągu zaledwie 20 min po takiej zmianie. Zapewne tak szybka reakcja umożliwia szybką ucieczkę organizmu w głębsze warstwy wody w przypadku nagłego wyłonięcia się Księżyca zza chmur.

W związku z tym, że w obszarach zurbanizowanych często jasność nocnego nieba jest zdominowana przez sztuczną poświatę niebieską (ang. artificial sky glow), będącą jedną z form zanieczyszczenia świetlnego (ŚCIEŻOR i współaut. 2010), pojawiły się su-

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie świetlne, sztuczna poświata niebieska, eutrofizacja, uzdatnianie wody, chlo-rofil *a*, glony, zooplankton, fitoplankton

gestie o możliwym wpływie tego zjawiska na pionową migrację zooplanktonu w tak zlokalizowanych zbiornikach wodnych. Badania przeprowadzone w 1997 r. w Lake Waban na przedmieściach Bostonu (USA) wykazały rzeczywiście, że intensywne światło w nocy redukuje zarówno amplitudę migracji zooplanktonu (konkretnie gatunku *Daphnia retrocurva*), jak i koncentrację osobników, w porównaniu do nieoświetlonego zbiornika (MOORE i współaut. 2000).

Równolegle prowadzone były badania laboratoryjne wpływu zmian słabego oświetlenia na fotofizjologię cyjanobakterii (MULLINEAUX 2001) i glonów, konkretnie na fotofizjologię *Microcystis aeruginosa* (POULIN i współaut. 2013). Stwierdzono wyraźny wpływ nawet niewielkich zmian słabego oświetlenia m.in. na zmiany koncentracji wewnątrzkomórkowego chlorofilu *a*.

W 2010 r. jeden z autorów niniejszej pracy (ŚCIEŻOR i współaut. 2010) przeprowadził wstępną analizę zmian sezonowych, jak również wieloletnich, zawartości chlorofilu *a* w warstwach powierzchniowych Zbiornika Dobczyckiego, szukając ewentualnej korelacji tej wielkości z jasnością nocnego nieba. Analiza wykazała możliwość istnienia takiej korelacji.

Przedstawiona literatura przedmiotu pozwala wysnuć wniosek, że świecenie nocnego nieba powinno mieć wpływ na zawartość fitoplanktonu w warstwach powierzchniowych zbiornika wodnego zarówno bezpośrednio, poprzez wpływ na jego namnażanie (POULIN i współaut. 2013), jak również pośrednio, poprzez wpływ na pionową migrację odżywiającego się nim zooplanktonu (MOORE i współaut. 2000). W obu przypadkach efektem zwiększonej jasności nocnego nieba powinna być zwiększona zawartość chlorofilu *a*, który uważany jest za wskaźnik zawartości fitoplanktonu, w warstwach powierzchniowych badanego zbiornika wodnego w okresach, w których dominują jasne noce. Powoduje to zaburzenie równowagi ekosystemu zbiornika i może prowadzić do jego eutrofizacji.

Pragnąc zweryfikować powyższe ustalenia, w prowadzonych obecnie badaniach podjęto próbę sprawdzenia, czy rzeczywiście w warunkach naturalnych zbiornika wodnego w okresie wegetacyjnym (zwykle marzec-wrzesień) widoczny jest efekt wpływu zmiennej jasności nocnego nieba na poziom chlorofilu *a*.

CHARAKTERYSTYKA ZBIORNIKA DOBCZYCKIEGO

Badania wykonywane były na ujęciu wody na Zbiorniku Dobczyckim (49° 52' 36" N, 20° 05' 05" E). Jest on zbiornikiem zaporowym (retencyjnym) położonym w województwie małopolskim pomiędzy Myślenicami a Dobczycami. Zbiornik został wybudowany w latach 1984–1987 jako główny rezerwuuar wody pitnej dla Miasta Krakowa i miejscowości położonych nad Rabą. Powstał przez wzniesienie na sześćdziesiątym kilometrze rzeki Raby zapory ziemno-betonowej (31,7 m maksymalnej wysokości i 617 m długości w koronie zapory), z blokiem przelewowo-upustowym oraz elektrownią o mocy 2,5 MW. Całkowita długość zbiornika wynosi około 10 km, maksymalna głębokość osiąga 26,9 m, średnia głębokość wynosi 11,9 m, natomiast szerokość waha się w granicach od 0,8 do 1,3 km. Zbiornik ma powierzchnię maksymalną ok. 1065 ha i pojemność całkowitą 125 mln m³. Zbiornik Dobczycki zasilany jest głównie wodami rzeki Raby (ok. 90% wód) wraz z jej dopływami, a także wo-

dami dwóch większych potoków: Wolnicy i Trzemeśnianki (odpowiednio około 2% i 4% wód), oraz wodami pięciu małych cieków (ok. 2,5% wód).

Związki fosforu i azotu zawarte w wodzie Raby stanowią podstawowe zagrożenie eutroficzne (PAWELEK i SPYTEK 2005) objawiające się postępującą degradacją tego zbiornika. Negatywne skutki eutrofizacji to między innymi: wtórne zanieczyszczenia wody, spadek stężenia tlenu, osłabienie zdolności samoregulujących ekosystemu, konieczność stosowania kosztownych technologii uzdatniania wody oraz pojawianie się zakwitów sinic mogących wytwarzać niebezpieczne dla życia i zdrowia toksyny. Zgodnie z zaleceniami OECD w latach 1995-2000 wykonana została ocena stanu trofii Zbiornika Dobczyckiego. Zastosowano ocenę przebiegu sukcesji planktonu w zbiorniku w stosunku do modelu PEG (ang. Plankton Ecology Group) (SOMMER i współaut. 1986) i stwierdzono, że przebieg sukcesji odpowiada modelowi dla zbiornika

zeutrofizowanego (BOCHNIA 2001). Również w latach następnych tendencja ta nie uległa zmianie (PAWELEK i SPYTEK 2006a, b).

Ujęcie wody na Zbiorniku Dobczyckim dostarcza wodę pitną (w ilości 1,0–1,1 m³/s) między innymi do Krakowa (aktualnie zaspokaja ponad 60% całkowitego zapotrzebowania). Ocena stanu monitorowanych, jednolitych części wód powierzchniowych w 2013 r. w województwie małopolskim wykazała, że woda w rzece Rabie aż do zbior-

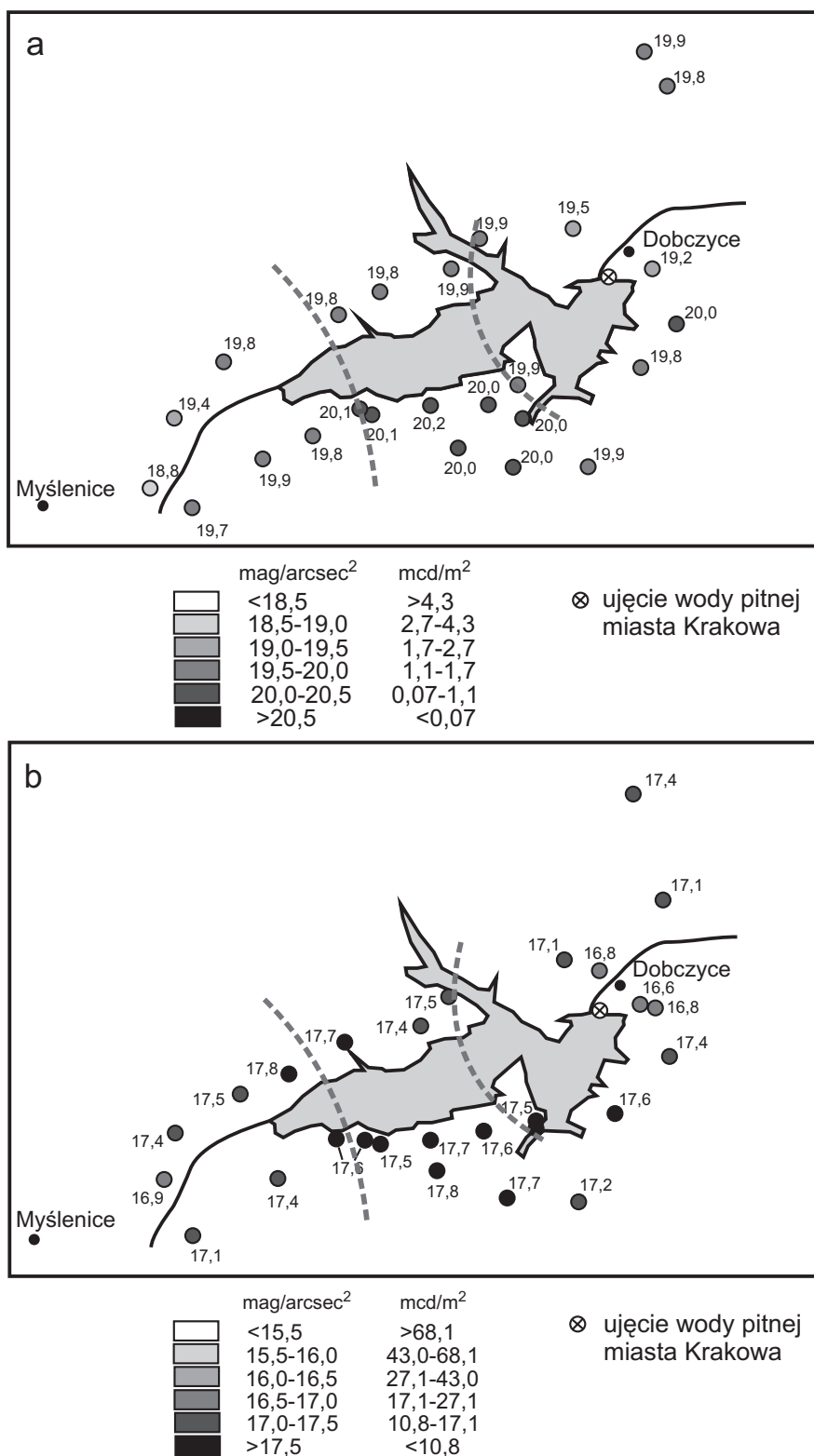
nika Dobczyce wykazuje stan/potencjał ekologiczny dobry: II klasa (RAPORT 2013). Badania jakości wody na ujęciu wodociągowym wykazały, że jakość ujmowanej wody spełnia wymagania kategorii A2 (WIOŚ 2014). Woda taka wymaga typowego uzdatniania fizycznego i chemicznego, w szczególności utleniania wstępnego, koagulacji, flokulacji, dekantacji, filtracji oraz dezynfekcji (ROZPORZĄDZENIE 2002).

NATURALNE I SZTUCZNE ŹRÓDŁA ŚWIATŁA W OTOCZENIU UJĘCIA WODY NA ZBIORNIKU DOBCZYCKIM

Głównym, a w aspekcie badanego problemu jedynym naturalnym źródłem światła w nocy jest Księżyc. W związku z tym, że ujęcie wody, a nawet wręcz cały zbiornik, położony jest w terenie o niewielkiej deniwelacji, czyli obniżonym horyzoncie, światło Księżyc oświetla powierzchnię wody przez cały okres znajdowania się go na niebie. Zgodnie z zasadami optyki, w aspekcie penetracji światła księżycowego w głąb wody istotne oczywiście są jedynie te okresy nocy, gdy Księżyc znajduje się na niebie wysoko nad horyzontem. Należy oczekiwać, że najsilniejszy wpływ tego efektu wystąpi w przypadku Księżyc świecącego przez całą noc, wznośzącego się o północy najwyżej nad horyzontem. Warunek ten najlepiej spełniony jest w okresie pełni, co dodatkowo wzmacnia efekt penetracji światła w głąb wody. Dla Zbiornika Dobczyckiego wysokość górowania Księżyc w czasie pełni w ciągu roku zmienia się od nieco powyżej 50° w miesiącach zimowych do zaledwie ok. 20° w miesiącach letnich. W interesującym nas okresie wegetacyjnym (marzec–wrzesień) wielkość ta zmienia się w granicach od 40° na wiosnę (marzec), poprzez 19° w lecie (lipiec), do 36° w jesieni (wrzesień). Powyższe dane oznaczają, że najsilniejsza penetracja naturalnego światła księżycowego w głąb wody występuje na wiosnę i jesienią, i w tych okresach, zgodnie z literaturą przedmiotu, należałoby oczekiwać zmniejszonej zawartości zooplanktonu, a co się z tym wiąże, zwiększonej zawartości fitoplanktonu w warstwach powierzchniowych. Odrębnym zagadnieniem jest oświetlenie badanej części zbiornika światłem sztucznym. O ile nie występuje tu efekt oświetlenia bezpośredniego (brak na brzegu zbiornika lamp ulicznych, oświetlonych zabudowań itp.), o

tylko trzeba pamiętać, że cały zbiornik znajduje się na peryferiach tzw. wyspy świetlnej odległego o 20 km Krakowa (KUBALA i współaut. 2009, ŚCIEŻOR i współaut. 2010), a samo ujęcie wody zlokalizowane jest praktycznie w środku wyspy świetlnej, miasta Dobczyce (ŚCIEŻOR i KUBALA 2011). Sztuczne światła naziemne w Krakowie i w Dobczycach rozpraszają się na aerozalach atmosferycznych (przy niebie bezchmurnym) bądź odbijają się od chmur (przy niebie zachmurzonym), w efekcie powodując powstanie tzw. sztucznej poświaty niebieskiej (SPN), która jest jednym z rodzajów zanieczyszczenia świetlnego. W obu przypadkach źródłem światła staje się cała sfera niebieska, która niekiedy może oświetlać powierzchnię wody bardziej niż Księżyc w pełni (ŚCIEŻOR i współaut. 2010, ŚCIEŻOR i KUBALA 2011). Stwierdzono już wcześniej, że jasność SPN jest ściśle skorelowana ze stężeniem pyłów zawieszonych w atmosferze (ŚCIEŻOR i KUBALA 2014). Pyły te pochodzą przede wszystkim z niskiej emisji, której poziom jest najwyższy w okresie od października do marca, w związku z ogrzewaniem domów piecami opalanymi węglowo w chłodniejszych miesiącach roku. W efekcie, jasność nocnego, bezksiężycowego nieba jest najwyższa w miesiącach zimowych, a najniższa w miesiącach letnich (ŚCIEŻOR i KUBALA 2014).

Stwierdzono, że w pobliżu ujęcia wody w Dobczycach oświetlenie powierzchni wody Zbiornika Dobczyckiego pochodzące od SPN przy całkowicie zachmurzonym niebie zawsze przekracza oświetlenie przez Księżyc w pełni (ŚCIEŻOR i KUBALA 2011). Na omawianym obszarze zachmurzenie o wartości 7 (chmury w większości zakrywające niebo) lub 8 oktanów (całkowite zachmurzenie) wy-



Ryc. 1. Schemat Zbiornika Dobczyckiego z zaznaczonymi punktami pomiaru jasności nieba przy bezksiężycowym niebie a) bezchmurnym, b) całkowicie zachmurzonym.

Stopień zaczerńnienia punktów odpowiada zmierzonym wartościom jasności powierzchniowej nocnego nieba. Jasności podane są zarówno w logarytmicznej odwrotnej skali astronomicznej magnitudo na sekundę łuku do kwadratu ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), jak również w liniowej skali układu SI milikandela na metr kwadratowy (mcd/m^2) (ŚCIEŻOR i KUBAŁA 2011).

stępuje przez ponad 140 dni w ciągu roku (LORENC 2005), a większość pochmurnych dni przypada na miesiące jesienno-zimowo-wiosenne (<http://klimat.imgw.pl/>). Stanowi to kolejny czynnik, zwiększający jasność nieba w tym okresie w porównaniu z miesiącami letnimi. Oznacza to, że niezależnie od tego, czy źródłem nocnego oświetlenia powierzchni wody jest światło naturalne (Księżyc), czy światło sztuczne (sztuczna poświata niebieska), najciemniejsze noce, zarówno przy niebie bezchmurnym, jak też zachmurzonym, na badanym obszarze występują w miesiącach letnich, najjaśniejsze zaś w miesiącach jesienno-zimowo-wiosennych. Efekt ten potwierdzono w trakcie ciągłych pomiarów aparaturowych jasności nocnego nieba

prowadzonych w tej części Małopolski od 2009 r. (ŚCIEŻOR i współaut. 2010).

Pomiary jasności SPN w otoczeniu Zbiornika Dobczyckiego przeprowadził jeden z autorów niniejszej pracy w 2010 r. (ŚCIEŻOR i KUBALA 2011) (Ryc. 1). Stwierdzono, że w przypadku nieba bezchmurnego znacząca część zanieczyszczenia świetlnego, zwłaszcza w okresie zimowym, pochodzi z lokalnych źródeł światła znajdujących się na omawianych obszarach. Wykonywano pomiary jasności wzdłuż linii brzegowej całego zbiornika, zarówno w bezksiężycową noc przy niebie całkowicie bezchmurnym, jak też przy pełnym zachmurzeniu.

METODY POMIAROWE

W celu określenia jasności SPN opracowano kilka metod opierających się na obserwacjach astronomicznych, pozwalających na określenie jasności nocnego, bezchmurnego nieba (ŚCIEŻOR i współaut. 2010). W przypadku opisywanych badań metody te mają drugorzędne znaczenie, gdyż jasność bezchmurnego nieba ma znaczenie w zasadzie jedynie w przypadku tzw. „astronomicznego zanieczyszczenia świetlnego” (ŚCIEŻOR i współaut. 2010), natomiast dla interesującego nas „ekologicznego zanieczyszczenia świetlnego”, wpływającego na lokalne ekosystemy, istotniejsze jest światło odbite od chmur i innych aerozoli. Jednakże, jeżeli nie dysponuje się aparaturowymi pomiarami jasności nocnego nieba, do analizy jakościowej można wykorzystywać również wartości jasności SPN otrzymane metodami astronomicznymi dla nieba bezchmurnego, gdyż jasność SPN nieba bezchmurnego w danym obszarze jest silnie skorelowana z jasnością SPN nieba zachmurzonego (ŚCIEŻOR i współaut. 2010).

Pojawienie się na rynku prostego, niewielkiego, a przede wszystkim taniego miernika jasności nieba (ang. Sky Quality Meter, SQM), produkcji firmy Unihedron, pozwoliło na przeprowadzanie bezpośrednich pomiarów w dowolnym miejscu, w warunkach polowych, nie tylko w przypadku nieba

bezchmurnego, lecz również przy dowolnych warunkach atmosferycznych (ŚCIEŻOR i współaut. 2010). W pomiarach wykorzystywano zarówno model wyzwalany ręcznie (SQM-L), jak również (od lutego 2014 r.) zautomatyzowaną stacją pomiaru ciągłego (SQM-LE), zamontowaną na ujęciu wody w Dobczycach (pełny opis mierników wraz parametrami: ŚCIEŻOR i współaut. 2010). Oznaczenie zawartości chlorofilu *a* wykonuje regularnie Miejskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji w Krakowie (MPWiK) w ramach wyznaczania wskaźników jakości wody, zgodnie z polskimi normami: PN-86/C/05560.01 (*Badanie zawartości chlorofilu w wodach powierzchniowych*) oraz PN-86/C/05560.02 (*Badanie zawartości chlorofilu *a* w wodach powierzchniowych*). Próbkę pobierane są raz w tygodniu z trzech poziomów: 3,0 m pod powierzchnią wody (poziom I), 9,6 m pod powierzchnią wody (poziom II) i 15,8 m pod powierzchnią wody (poziom III). Dla każdej próbki badane są następujące wskaźniki: temperatura, mętność, odczyn, tlen rozpuszczony, krzemionka, fosforany rozpuszczone, fosfor ogólny, azot Kieldahla, BZT₅, CHZT, zawiesina, przewodnictwo właściwe, chlorofil *a*, fito- i zooplankton oraz klasa czystości (indeks saprobo).

STOSOWANE JEDNOSTKI

Mierzona przy pomocy SQM jasność powierzchniowa nieba (oznaczana jako S_a) po-

dawana jest w powszechnie używanych w astronomii jednostkach magnitudo na sekun-

dę łuku do kwadratu ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$). Jest to skala pochodna względem skali magnitudo (mag , wielkość gwiazdowa, m), określającej wizualne wrażenie jasności gwiazdy jako źródła punktowego. Skala magnitudo jest skalą logarytmiczną, względną i odwrotną, w której obiekt o jasności 0 mag jest jaśniejszy 100 razy od obiektu o jasności 5 mag . Skala $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ określa jasność powierzchniową obiektów astronomicznych rozciągłych, takich jak mgławice, galaktyki, komety czy właśnie tło nieba. Jednostką jasności powierzchniowej w układzie SI jest kandela na metr kwadratowy (cd/m^2). Zależność pomiędzy

tymi wielkościami opisuje wzór (ŚCIEŻOR i KUBALA 2011):

$$[\text{cd}/\text{m}^2] = 10,8 \cdot 10^4 \cdot 10^{(-0,4[\text{mag}/\text{arcsec}^2])}$$

W związku z niską jasnością powierzchniową nocnego nieba stosowaną jednostką jest w tym przypadku milikandela na metr kwadratowy (mcd/m^2). Ze względu na odniesienie do innych publikacji, jak również do odczytów z mierników SQM, będziemy posługiwać się skalą ($\text{mag}/\text{arcsec}^2$), podając jednocześnie odpowiednie wartości w skali (mcd/m^2). Stężenie chlorofilu a podajemy w powszechnie stosowanych jednostkach $\mu\text{g}/\text{dm}^3$.

STATYSTYKA POMIARÓW

W analizie wykorzystano dwie bazy danych pomiarowych: jasności nocnego nieba na obszarze Zbiornika Dobczyckiego oraz zawartości chlorofilu a w warstwach powierzchniowych tego zbiornika.

Ciągły pomiar jasności nieba w zenicie prowadzony jest (z niewielkimi przerwami technicznymi) począwszy od 21 lutego 2014 r. Pomiar wykonywany jest w odstępach 5 minutowych, przy czujniku miernika SQM-LE skierowanym w zenit, mierzącym jasność nieba w kącie bryłowym 40° . Do analizy wykorzystano dane z okresu marzec-wrzesień 2014, gdyż w okresie zimowym stężenie chlorofilu a było na bardzo niskim, stałym poziomie, natomiast zarówno w lutym, jak i w październiku procesy zachodzące w zbiorniku były niestabilizowane. W okresie stabilnym (marzec-wrzesień), zwanym dalej „okresem wegetacyjnym”, wykonano łącznie 42028 pomiarów. Ponieważ celem badań był potencjalny wpływ jasności nieba w nocy, której długość w ciągu roku się zmienia, jak również w celu uniknięcia efektu zmierzchu i świtu, do dalszej analizy wybrano jedynie

pomiary, wykonane w okresie stabilizacji jasności nieba na prawie stałym poziomie; w badanym okresie był to przedział godzin 23:30–0:30. W efekcie do analizy pozostało 12 pomiarów dla każdej nocy, co daje łącznie 1746 pomiarów w badanym okresie (marzec: 108, kwiecień: 210, maj: 234, czerwiec: 90, lipiec: 372, sierpień: 372, wrzesień: 360). Ponieważ celem badań było stwierdzenie charakteru zmian sezonowych analizowanych wielkości w ciągu roku, jak również w celu minimalizacji wpływu efektów losowych (np. deszcz), do dalszej analizy wyznaczono średnie miesięczne otrzymywanych wartości.

Wartości poziomu chlorofilu a w warstwach powierzchniowych Zbiornika Dobczyckiego, oznaczone na ujęciu wody pitnej, wraz z wartościami innych wskaźników jakości wody, otrzymano z cotygodniowych raportów MPWiK. Dla badanego okresu w 2014 r. wykorzystano 29 tych raportów. Podobnie jak w poprzednim przypadku, do analizy wykorzystano średnie miesięczne wszystkich wskaźników, w szczególności chlorofilu a .

ANALIZA DANYCH POMIAROWYCH Z LAT 1995–2004

W ramach programu badawczego nr N N305 336134 prowadzonego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej w latach 2008–2011 wstępnie sprawdzono, czy w posiadanej wieloletniej bazie pomiarów daje się zauważyć efekt wpływu zanieczyszczenia świetlnego, a konkretnie, sztucznej poświaty niebieskiej, na poziom chlorofilu a w warstwach powierzchniowych Zbior-

nika Dobczyckiego. Wstępne spostrzeżenia opisano w monografii poświęconej nowej metodzie określania poziomu zanieczyszczenia świetlnego (ŚCIEŻOR i współaut. 2010). Poniżej przedstawione zostaną szczegóły przeprowadzonej analizy.

Jako źródło danych o zawartości chlorofilu a wykorzystano cotygodniowe raporty Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów

i Kanalizacji w Krakowie o stanie jakości wody na poziomie I (3,0 m) ujęcia wody w Dobczycach, obejmujące lata 1995–2004. Stwierdzono, że zmiany stężenia chlorofilu *a* w odpowiednich, kolejnych miesiącach każdego roku badanego okresu są powtarzalne zarówno jakościowo, jak też ilościowo. W związku z tym, że celem analizy było jedynie stwierdzenie ewentualnej korelacji z, również powtarzalnymi sezonowo, zmianami jasności nocnego nieba, dane te zostały uśrednione dla każdego miesiąca w ciągu roku dla całego okresu pomiarowego. Nie wykorzystano danych z lat 2003 i 2005 w związku z obfitymi deszczami w okresie letnim i związanym z tym dużym zamuleniem wody w zbiorniku.

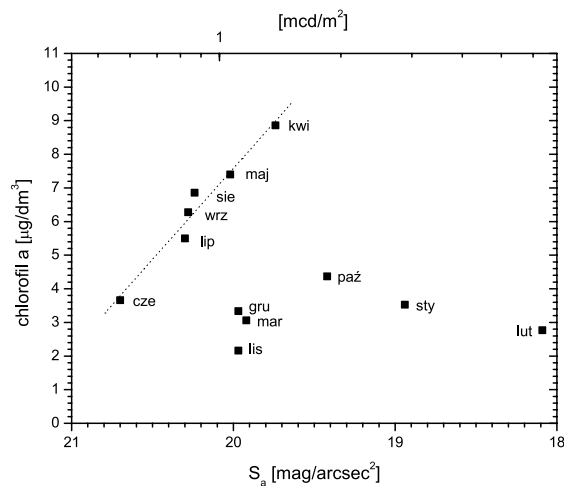
Niestety, w podanym okresie nie prowadzono jeszcze aparaturowych pomiarów jasności nocnego nieba (S_a). W tych samych latach na polanie Kudłaczce położonej w paśmie Lubomira i Łysiny w Beskidzie Makowskim, 12 km SE od ujęcia wody w Dobczycach, prowadzone były jednak regularne obserwacje astronomiczne, dzięki którym możliwe było wyznaczenie przybliżonej wartości jasności nocnego, bezchmurnego nieba w tym rejonie poprzez wykorzystanie opracowanej własnej tzw. „metody kometarnej” (ŚCIEŻOR 2013). Należy pamiętać, że wartość S_a wyznaczona metodą astronomiczną dotyczy nieba bezchmurnego, natomiast dominującym czynnikiem zanieczyszczenia świetlnego, który może mieć znaczenie ekologiczne, jest światło odbite od chmur, jednak wielkości te są wzajemnie proporcjonalne (ŚCIEŻOR i współaut. 2010). Określone w ten sposób średnie miesięczne wartości S_a okazały się również powtarzalne sezonowo w kolejnych latach badanego okresu zarówno jakościowo, jak też ilościowo. Dodatkowo, wartości te zostały również pozytywnie zweryfikowane aparaturowo w 2009 r., gdy w Mogilanach, 10 km na północny-zachód od zbiornika w kierunku Krakowa, została uruchomiona stacja pomiarowa zanieczyszczenia świetlnego (MOG), wykorzystująca ręczny miernik SQM-L (ŚCIEŻOR 2013). Kolejne aparaturowe pomiary weryfikacyjne, przeprowadzone w następnych latach, również w tym przypadku potwierdziły dużą powtarzalność średnich miesięcznych jasności nocnego nieba (ŚCIEŻOR 2013).

Ta rokroczna sezonowa powtarzalność cyklu zmian jasności nocnego nieba, jak również zawartości chlorofilu *a* w warstwach powierzchniowych Zbiornika Dobczyckiego,

skłoniła do sprawdzenia, czy cykle te nie są wzajemnie powiązane (ŚCIEŻOR i współaut. 2010). Zdawano sobie sprawę, że teza ta ma wiele słabych punktów, w szczególności ten, że posiadane dane na temat jasności nieba nie pochodzą bezpośrednio z okolic ujęcia wody na Zbiorniku Dobczyckim, jednak możliwość ich wykorzystania uzasadniały wcześniejsze badania rozkładu jasności nieba w obszarze wysp świetlnych Krakowa i Dobczyc (KUBALA i współaut. 2009, ŚCIEŻOR i współaut. 2010, ŚCIEŻOR i KUBALA 2011). Należy poza tym pamiętać, że głównym celem analizy było sprawdzenie, czy zauważalna jest jakakolwiek korelacja zmian sezonowych opisywanych wielkości.

Na wykresie tak określonych średnich miesięcznych zawartości chlorofilu *a* względem średnich miesięcznych jasności nocnego nieba S_a wyraźnie dają się wyróżnić dwie grupy punktów: (1) grupa „zimowa”, reprezentująca pomiary wykonane w okresie od października do marca oraz (2) grupa „letnia”, reprezentująca pomiary wykonane w okresie wegetacyjnym, który w badanych latach trwał od kwietnia do września (Ryc. 2).

W badanym okresie w przypadku grupy zimowej zmierzone stężenie chlorofilu *a* jest



Ryc. 2. Zależność średniej miesięcznej zawartości chlorofilu *a* (podanej w mikrogramach na decymetr sześcienny) w latach 1995–2004 na ujęciu wody w Dobczycach (Poziom I) od średniej miesięcznej jasności nocnego nieba S_a (podanej zarówno w odwrotnej skali astronomicznej: magnitudo na sekundę łuku do kwadratu – dolna oś pozioma, jak również w skali SI: milikandela na metr kwadratowy – górna oś pozioma) w tym okresie, wyznaczonej na Polanie Kudłaczce.

praktycznie stałe i wynosi około $3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. W przypadku grupy letniej stężenie chlorofilu a zmienia się w zakresie od $4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$ do $9 \mu\text{g}/\text{dm}^3$. O ile samo istnienie tych dwu grup jest oczywiste, gdyż o ich istnieniu decyduje zarówno długość dnia, jak również temperatura powietrza i wody, sprzyjające rozwojowi glonów w miesiącach letnich, o tyle można zauważyć wyraźną liniową korelację w tych miesiącach zawartości chlorofilu a i S_a przy współczynniku dopasowania $R^2=0,96$.

W ramach analizy archiwalnych pomiarów z lat 1995–2004 postanowiono również sprawdzić, czy istnieje jakakolwiek korelacja między długoterminowymi, wieloletnimi zmianami średniego rocznego poziomu chlorofilu a w Zbiorniku Dobczyckim a średnią roczną jasnością nocnego nieba. Ponieważ nie dysponowano żadnymi pomiarami aparaturowymi dla tego okresu, wykorzystano jedyne dostępne wartości S_a otrzymane przy pomocy wspomnianej wcześniej metody kometarnej dla stano-

wiska pomiarowego na polanie Kudłaczce (ŚCIEŻOR 2013). Również i tym razem zauważono liniową korelację między zawartością chlorofilu a a wartością S_a przy współczynniku dopasowania $R^2=0,74$. Wiadomo, że wieloletnie zmiany jasności nocnego nieba związane są głównie z jedenastoletnim cyklem aktywności słonecznej (WALKER 1988, OSTERBROCK i MARTEL 1992), co oznacza, że w skali wieloletniej również zmiany poziomu chlorofilu a związane są z tym cyklem. To powiązanie jest nieco zaskakujące i niewątpliwie wymaga dalszych, ukierunkowanych badań.

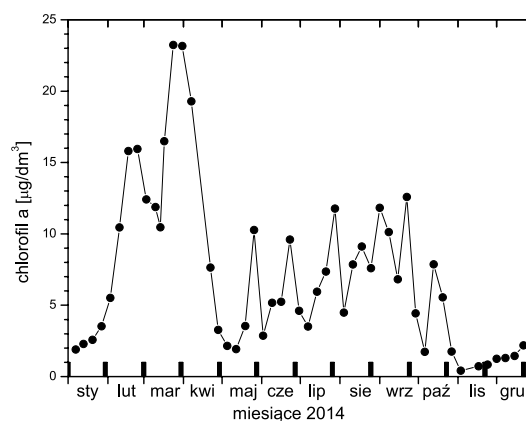
Wyżej opisane zależności oraz wysoki stopień korelacji w obu opisywanych przypadkach, pomimo ich modelowego charakteru, sugerowały, że zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba może być jednym z głównych czynników wpływających na eutrofizację badanego zbiornika wodnego, co stało się przyczyną przeprowadzenia szczegółowych badań w tym kierunku.

POMIARY WERYFIKACYJNE WYKONANE W 2014 R.

W celu weryfikacji hipotezy o wpływie jasności nocnego nieba na stężenie chlorofilu a w Zbiorniku Dobczyckim, na ujęciu wody pitnej w Dobczycach w marcu 2014 r., ustawiono automatyczną stację pomiarową jasności nocnego nieba SQM-LE. W tym samym miejscu pobierane były również próbki wody do analizy. Pobór prób odbywał się za pomocą automatycznego systemu pompki dostarczających próby wody do laboratorium. Stwierdzono, że w ciągu roku zmiany stężenia chlorofilu a mierzone na Poziomie I ujęcia wody pitnej mają charakter wyraźnie okresowy o okresie ok. 28 dni, co zapewne należy wiązać z długością miesiąca księżycowego (Ryc. 3).

W 2014 r. okres wegetacyjny trwał od marca do września. W celu dokonania analizy i umożliwienia porównania obu wielkości, dla każdego miesiąca w tym okresie wyznaczono zarówno średnie wartości każdego z wyznaczanych wskaźników jakości wody, jak też średnie wartości jasności nocnego nieba S_a . Stwierdzono, że spośród wszystkich wskaźników jakości wody jedyna zauważalna korelacja z wartością S_a występuje dla chlorofilu a , zwłaszcza w najwyższym Poziomie I. Dla tego poziomu potwierdzono zależność liniową stężenia chlorofilu a od jasności noc-

nego nieba przy współczynniku dopasowania $R^2=0,97$. Analizując wykres przedstawiony na Ryc. 4 można zauważyć zaburzenie korelacji liniowej dla punktów reprezentujących okres od maja do lipca. Szukając przyczyny tego zaburzenia przeanalizowano zmiany wszystkich



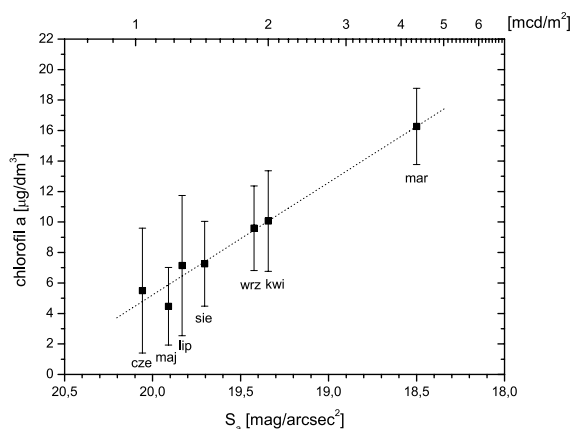
Ryc. 3. Sezonowe zmiany zawartości chlorofilu a (podanej w mikrogramach na decymetr sześcienny) w 2014 r. na poziomie I na ujęciu wody przy Zbiorniku Dobczyckim (cotygodniowe raporty MPWiK). Pionowe czarne kolumny wyznaczają daty nowiu Księżyca w każdym miesiącu.

wskaźników jakości wody, rejestrowanych w badanym okresie na ujęciu wody w Dobczycach; stwierdzono, że o ile we wszystkich pozostałych miesiącach średnia mętność wody mieściła się w granicach od 0 do 5 NTU, o tyle w maju wynosiła ona aż 23 NTU. Podobnie zawiesina, we wszystkich pozostałych miesiącach nie przekraczająca 5 mg/dm³, w maju wynosiła prawie 20 mg/dm³. Wynika z tego, że w maju nastąpiło silne zamulenie wody w okolicy ujęcia, związane zapewne z odnotowanymi wtedy dużymi opadami deszczu, co musiało spowodować zmniejszenie przenikalności światła w głąb wody. Oznacza to, że rzeczywista jasność światła w wodzie była mniejsza niż rejestrowana przez znajdującą się nad wodą stację pomiarową. Dzięki temu punkt pomiarowy, reprezentujący maj, w rzeczywistości powinien „przesunąć się” ku większej wartości S_a (czyli mniejszej jasności nocnego nieba). Kierunek tego przesunięcia stanowi dodatkowe potwierdzenie realności zaobserwowanej korelacji. Jeżeli w analizie odrzucimy punkt, odpowiadający majowi, to współczynnik dopasowania R^2 wzrasta do 0,99.

Podobną korelację stężenia chlorofilu a i jasności nocnego nieba zauważono dla Poziomu II, jednak staje się ona istotna głównie dla miesięcy o wyraźnie wyższej średniej jasności nocnego nieba. Dla Poziomu III opisywana korelacja w zasadzie przestaje być widoczna, jedynie wysoki poziom chlorofilu a w marcu nadal odpowiada dużej jasności nocnego nieba w tym miesiącu. Prawdopodobnie, na Poziomie II, a zwłaszcza na Poziomie III, widoczne są efekty opadania materii organicznej z warstw przy powierzchniowych (w tym warstwy I).

Przeprowadzona analogiczna analiza zależności całkowitej ilości fito- i zooplanktonu w osadzie od jasności nocnego nieba wykazała również ogólną korelację tych wielkości o wartości współczynnika dopasowania $R^2=0,55$, jednak wykazuje ona dosyć duży rozrzut punktów pomiarowych. Niestety, nie jest możliwe przeanalizowanie tego wskaźnika, gdyż na ujęciu wody MPWiK nie rejestruje się oddzielnie ilości tych dwóch rodzajów planktonu.

W celu sprawdzenia ewentualnego wpływu innych czynników zewnętrznych na zawartość chlorofilu a w wodzie Zbiornika Dobczyckiego, przeanalizowano również możliwość wystąpienia korelacji tej wielkości z innymi wskaźnikami jakości wody, takimi jak temperatura wody czy poziom tlenu rozpuszczonego w wodzie.



Ryc. 4. Zależność średniej miesięcznej zawartości chlorofilu a (podanej w mikrogramach na decymetr sześcienny) na ujęciu wody w Dobczycach (Poziom I) od średniej miesięcznej wartości S_a (podanej zarówno w odwrotnej skali astronomicznej: magnitudo na sekundę łuku do kwadratu – dolna oś pozioma, jak również w skali SI: milikandela na metr kwadratowy – górna oś pozioma) w okresie wegetacyjnym 2014 r.

czonego w wodzie. Najwyższy poziom chlorofilu a wystąpił w marcu i kwietniu, gdy woda była najchłodniejsza (tzw. wiosenny zakwit glonów). W okresie od maja do września średnia miesięczna temperatura wody utrzymywała się na prawie stałym poziomie ok. 20°C i w tym okresie również poziom chlorofilu a wahał się w niewielkich granicach, nie korelując się z tą wielkością. Analogicznie, również najwyższy poziom tlenu rozpuszczonego w wodzie odnotowano w kwietniu i maju. W pozostałych miesiącach okresu wegetacyjnego średni miesięczny poziom tlenu rozpuszczonego zmieniał się w niewielkich granicach od 8,7 do 9,8 mg/dm³, nie korelując się w tym okresie z zawartością chlorofilu a . Zbadano również możliwość wystąpienia korelacji zawartości chlorofilu a z parametrami meteorologicznymi, takimi jak średnia dobowa temperatura powietrza, zachmurzenie oraz indeks nasłonecznienia (http://zdpk.krakow.pl/pub/meteo/zdpk01/Current_Vantage.htm). Nie stwierdzono jednakże korelacji między poziomem chlorofilu a i wymienionymi parametrami. Oznacza to, że jedynym stwierdzonym czynnikiem wpływającym na zawartość chlorofilu a w warstwie powierzchniowej Zbiornika Dobczyckiego w całym okresie wegetacyjnym pozostaje jasność nocnego nieba.

Zauważono, że zależność stężenia chlorofilu *a* od jasności nocnego nieba wyznaczona w 2014 r. jest podobna do zależności wyznaczonej dla okresu 1995–2004, pomimo różnych warunków zbierania danych pomiarowych i wysoce spekulatywnej, opisananej wcześniej, metodyce pozyskiwania danych na te-

mat jasności nocnego nieba w tym okresie. Na tej podstawie można postawić wstępną hipotezę o ogólności stwierdzonej zależności, przynajmniej w stosunku do Zbiornika Dobczyckiego. Oczywiście, weryfikacja tej hipotezy wymaga dalszych badań.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone całoroczne pomiary jasności nocnego nieba, połączone z danymi dotyczącymi jakości wody w warstwie powierzchniowej Zbiornika Dobczyckiego, pozwoliły stwierdzić wyraźną korelację liniową między zawartością chlorofilu *a* a jasnością nocnego nieba. Co więcej, brak jakichkolwiek korelacji tej wielkości z innymi parametrami zewnętrznymi pozwala postawić hipotezę o decydującym wpływie nocnego oświetlenia powierzchni zbiornika na poziom jego eutrofizacji. Jako główne źródło tego oświetlenia należy wskazać Księżyc; zauważono, że sezonowe zmiany poziomu chlorofilu *a* wykazują cykliczność o okresie równym średnio 28 dni, co jest zbliżone do okresu trwania miesiąca synodycznego (związanego ze zmianą faz Księżyca) równego ok. 29 dni, oraz miesiąca syderecznego (związanego z położeniem Księżyca na tle gwiazd) równego ok. 27 dni. Warto zauważyć, że w okresie pełni Księżyc góruje (znajduje się najwyżej nad horyzontem) około lokalnej północy, świecąc na niebie praktycznie całą noc. O ile opisaną okresowość można tłumaczyć właśnie zmianami faz Księżyca, o tyle natężenie światła księżycowego, penetrującego wodę Zbiornika Dobczyckiego, związane jest z opisaną wcześniej zmienną wysokością Księżyca nad horyzontem w okresie pełni w ciągu roku, czyli ze zmieniającym się kątem padania światła na powierzchnię wody.

Wydaje się, że równie istotnym czynnikiem, wpływającym na jasność nocnego nieba, a w związku z tym na poziom chlorofilu *a*, jest zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba, a konkretnie tzw. sztuczna poświata niebieska. Stwierdzono, że przy pełnym zachmurzeniu oświetlenie powierzchni wody w Zalewie Dobczyckim, pochodzące głównie od oświetlenia miejskiego odbitego od chmur, często przekracza oświetlenie przez Księżyc w pełni, co więcej, obiektem świecącym jest wtedy

cała sfera niebieska, co znacznie ułatwia penetrację światła w głąb wody. Elementem zwiększającym ten efekt jest pył zawieszony, związany z niską emisją pochodzącą z nieefektywnych systemów grzewczych lokalnych gospodarstw domowych. W marcu, gdzie stwierdzono wysoki poziom zarówno jasności nieba, jak też chlorofilu *a*, czynnik ten jest jeszcze bardzo istotny, a w powiązaniu z częstym zachmurzeniem dodaje się do opisanego wcześniej efektu, związanego z dużą wysokością Księżyca nad horyzontem.

Bez odpowiedzi pozostaje na razie pytanie, w jaki sposób światło nocne wpływa na poziom chlorofilu *a* w wodzie? Wydaje się, że poziom oświetlenia jest zbyt niski, aby wpływał na poziom fotosyntezy fitoplanktonu, chociaż oczywiście nie można tego wykluczyć. Zapewne głównym czynnikiem jest tutaj opisany w literaturze wpływ światła na migracje zooplanktonu (MOORE i współaut. 2000). Efektem zwiększonego natężenia światła jest unikanie przez zooplankton warstw powierzchniowych zbiornika, co sprzyja niezakłóconemu rozwojowi fitoplanktonu. Wskazówką, że jest to rzeczywiście główny czynnik, mogą być dane na temat łącznej zawartości fito- i zooplanktonu w pobieranych próbkach. Niestety, w zliczeniach te dwie grupy planktonu nie są rozróżniane, niemniej jednak, pomimo dużej dyspersji, zauważone tendencje wydają się potwierdzać tę tezę.

Podsumowując, należy stwierdzić, że poziom oświetlenia powierzchni Zbiornika Dobczyckiego w nocy jest głównym czynnikiem wpływającym na rozwój glonów w jego warstwach powierzchniowych. Nadmiar tego rodzaju oświetlenia może w efekcie prowadzić do eutrofizacji zbiorników wodnych. O ile nie mamy wpływu na zmianę oświetlenia powierzchni wody przez czynniki naturalne (Księżyc), o tyle poprawa jakości oświetlenia w okolicach zbiornika powinna zmniejszyć poziom sztucznej

poświaty niebieskiej, przywracając w ten sposób stan naturalny.

Dalsze, planowane badania, powinny odpowiedzieć na następujące pytania:

– w jakim stopniu stwierdzona zależność jest powtarzalna w kolejnych latach?

– czy podobne zależności występują też dla innych zbiorników wodnych, w szczególności położonych w obszarach silnie zanieczyszczonych świetlnie?

– co jest dominującym czynnikiem, wiążącym ze sobą jasność nocnego nieba z poziomem chlorofilu *a*? Jaka jest w tym rola zooplanktonu?

– jak szybka jest reakcja ekosystemu zbiornika na zmiany jasności nocnego nieba? Czy widoczne są korelacje badanych wielkości w skali poszczególnych nocy?

PODZIĘKOWANIA

Autorzy pragną niniejszym złożyć podziękowania wszystkim osobom, które przyczyniły się do powstania tej pracy. Składamy podziękowania panu Jackowi Stasikowi z MPWiK w Krakowie za nadzór nad ciągłymi pomiarami jasności nocnego nieba na ujęciu wody w Dobczycach oraz panu Tadeuszowi Bochni za udostępnienie cotygodniowych raportów dotyczących jakości wody.

LITERATURA

- BOCHNIA T., 2001. *Ocena skażenia wody dla miasta Krakowa toksynami produkowanymi przez śniece*. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków.
- GLIWICZ M. Z., 1986. *A lunar cycle in zooplankton*. Ecology 67, 883–897.
- HANEY J. F., 1993. *Environmental control of diel vertical migration behaviour*. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 39, 1–17.
- HUTCHINSON G. E., 1967. *A treatise on limnology*, v. 2. Wiley.
- JACOBY C. A., GREENWOOD J. G., 1989. *Emergent zooplankton in Moreton Bay, Queensland, Australia: seasonal, lunar and diel patterns in emergence and distribution with respect to substrata*. Mar. Biol. 51, 131–154.
- JERLING H. L., WOOLDRIDGE T. H., 1991. *Population dynamics and estimates of production for the calanoid copepod Pseudodiaptomus hessei in a warm temperate estuary*. Estuar. Coast. Res. Sci. 33, 121–135.
- JUNG J., HOJNOWSKI C., JENKINS H., ORTIZ A., BRINKLEY C., CADISH L., EVANS A., KISSINGER P., ORDAL L., OSIPOVA S., SMITH A., VREDEVELD B., HODGE T., KOHLER S., RODENHOUSE N., MOORE M., 2004. *Diel vertical migration of zooplankton in Lake Baikal and its relationship to body size*. [W:] *Ecosystems and Natural Resources of Mountain Regions. Proceedings of the first international symposium on Lake Baikal: The current state of the surface and underground hydrosphere in mountainous areas*. SMIRNOV A. I., IZMEST'EVA L. R. (red.). Nauka, Novosibirsk, 131–140.
- KUBALA M., ŚCIEŻOR T., DWORAK T. Z., KASZOWSKI W., 2009. *Artificial sky glow in Cracow agglomeration*. Pol. J. Environ. Stud. 18, 194–199.
- LORENC H., 2005. *Atlas klimatu Polski*. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- MOORE M. V., PIERCE S. M., WALSH H. M., KVALVIK S. K., LIM J. D., 2000. *Urban light pollution alters the diel vertical migration of Daphnia*. Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie 27, 1–4.
- MULLINEAUX C. W., 2001. *How do cyanobacteria sense and respond to light?* Mol. Microbiol. 41, 965–971.
- OSTERBROCK D. E., MARTEL A., 1992. *Sky spectra at a light-polluted site and the use of atomic and OH sky emission lines for wavelength calibration*. Publ. Astronom. Soc. Pacific 104, 76–82.
- PAWELEK J., SPYTEK M., 2005. *Substancje biogenne w dopływach do Zbiornika Dobczyckiego*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 4, 99–113.
- PAWELEK J., SPYTEK M., 2006a. *Dynamika ładunków związków azotu i fosforu wnoszonych przez Rabę do Zbiornika Dobczyckiego w latach hydrologicznych 2003–2005*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna 11, 32–38.
- PAWELEK J., SPYTEK M., 2006b. *Ładunki biogenów wnoszone przez Rabę do Zbiornika Dobczyckiego w latach 2003–2005*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich 3, 107–115.
- POULIN C., BRUYANT F., LAPRISE M., COCKSHUTT A. M., VANDERHECKE J. M., HUOT Y., 2013. *The impact of light pollution on diel changes in the photophysiology of Microcystis aeruginosa*. J. Plancton Res. 36, 286–291.
- RAPORT, 2013. *Raport o stanie środowiska województwa małopolskiego*. WIOŚ Kraków.
- ROZPORZĄDZENIE, 2002. *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 roku w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia*. Dz.U.2002.204.1728.
- RINGELBERG J., 1987. *Light induced behaviour in Daphnia*. [W:] *Daphnia*. PETERS R. H., DE BERNARDI R. (red.). Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 285–323.
- RIOS-JARA E., 2005. *Effects of lunar cycle and substratum preference on zooplankton emergence in a tropical, shallow-water embayment, in southwestern Puerto Rico*. Caribbean J. Sci. 41, 108–123.
- SOMMER U., GLIWICZ Z.M., LAMPERT W., DUNCAN A., 1986. *The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters*. Arch. Hydrobiol. 106, 433–471.
- ŚCIEŻOR T., 2013. *A new astronomical method for determining the brightness of the night sky and its application to study long-term changes in the level of light pollution*. Monthly Not. Royal Astronom. Soc. 435, 303–310.
- ŚCIEŻOR T., KUBALA M., 2011. *Zanieczyszczenie świetlne w otoczeniu wybranych zbiorników retencyjnych Małopolski*. Czasopismo Techniczne - Środowisko 108, 235–245.
- ŚCIEŻOR T., KUBALA M., 2014. *Particulate matter as an amplifier for astronomical light pollution*. Monthly Not. Royal Astronom. Soc. 444, 2487–2493.

- ŚCIEŻOR T., KUBALA M., KASZOWSKI W., DWORAK T. Z., 2010. *Zanieczyszczenie świetlne nocnego nieba w obszarze aglomeracji krakowskiej. Analiza pomiarów sztucznej poświaty niebieskiej*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.
- WALKER M. F., 1988. *The effect of solar activity on the V and B band sky brightness*. Publ. Astronom. Soc. Pacific 100, 496-505.
- WIOŚ 2014. *Ocena wód wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia w województwie małopolskim w 2013 roku*. WIOŚ Kraków.

TOMASZ ŚCIEŻOR, WOJCIECH BALCERZAK

*Wydział Inżynierii Środowiska
Politechnika Krakowska
Warszawska 24, 31-155 Kraków*

WPLYW ZANIECZYSZCZENIA ŚWIETLNEGO NA EUTROFIZACJĘ ZBIORNIKA DOBCZYCKIEGO

Streszczenie

W literaturze przedmiotu od dawna opisywany jest wpływ światła Księżyca na pionowe migracje zooplanktonu w zbiornikach wodnych. Biorąc pod uwagę oczywisty fakt, że pożywieniem zooplanktonu jest fitoplankton, postawiono hipotezę o możliwej korelacji między jasnością nocnego nieba a zawartością fitoplanktonu w warstwach powierzchniowych zbiornika wodnego. W celu weryfikacji tej hipotezy wykonano całoroczne pomiary jasności nocnego nieba w rejonie ujęcia wody na Zbiorniku Dobczyckim. Stwierdzono wyraźną liniową korelację między poziomem chlorofilu *a* w warstwach powierzchniowych tego zbiornika a jasnością nocnego nieba. Nie stwierdzono jakichkolwiek podobnych korelacji między poziomem chlorofilu *a* a innymi wskaźnikami jakości wody, takimi jak temperatura czy natlenienie, jak również z parametrami meteorologicznymi, takimi jak temperatura powietrza czy nasłonecznienie w ciągu dnia. Postawiono tezę, że jasność nocnego nieba, na którą składają się zarówno czynniki naturalne (światło Księżyca), jak sztuczne (zanieczyszczenie świetlne w postaci sztucznej poświaty niebieskiej), jest głównym i decydującym czynnikiem wpływającym na rozwój glonów w warstwie powierzchniowej Zbiornika Dobczyckiego. Postawiono tezę, że poprawne oświetlenie okolic ujść wody może znacząco obniżyć eutrofizację zbiorników wodnych. Teza ta wymaga dalszych, wieloletnich badań na szeregu zbiorników wodnych.

TOMASZ ŚCIEŻOR, WOJCIECH BALCERZAK

*Faculty of the Environmental Engineering
Cracow University of Technology
Warszawska 24, 31-155 Kraków*

THE IMPACT OF LIGHT POLLUTION ON EUTROPHICATION OF THE DOBCZYCE RESERVOIR

Summary

The effect of moonlight on the vertical migration of zooplankton in reservoirs is widely known. Given the fact that phytoplankton provides food for zooplankton, we hypothesized about the possible correlation between the night sky brightness and the content of phytoplankton in the surface layers of reservoir. This hypothesis was tested for the Dobczyce Reservoir. We found the strict linear correlation between a level of chlorophyll *a* and brightness of the night sky, noticed in the surface layers of this reservoir. We have not noticed any other similar correlation between the level of chlorophyll *a* and other physical parameters of water such as temperature and oxygenation, as well as meteorological conditions such as air temperature or insolation during the daytime. We believe that brightness of the night sky, which consists of both natural factors (moonlight) as well as artificial ones (light pollution in a form of artificial airglow) is the main and crucial factor in the growth of algae in the surface layers of the Dobczyce Reservoir. We also believe that the correct lighting of the area of the water intake can significantly reduce eutrophication of such reservoirs.