

Lucyna SŁAWIK-DEMBICZAK, Anna KWARCIAK-KOZŁOWSKA*

OZNACZENIE POTENCJAŁU TROFICZNEGO WÓD KANALU ODPLYWOWEGO OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW METODĄ TESTÓW GŁONOWYCH

Termin „eutrofizacja” pochodzi od greckiego słowa *eutrophos* (*eu-* dobrze, *trophos-* pokarm, pożywienie) i charakteryzuje zasobność wód powierzchniowych w substancje biogenne. Na wzrost trofii wód wpływa szereg czynników: temperatura, światło, zawartość substancji odżywczych, a także właściwości morfologiczne, hydrodynamiczne, hydrobiologiczne. Do podstawowych czynników ograniczających procesy eutrofizacji należą związki fosforu i azotu. Celem pracy było określenie potencjału troficznego wód kanału odpływowego oczyszczalni ścieków, w którym w miesiącach letnich zaobserwowano pojawienie się glonów. Określono specyficzny współczynnik wzrostu mikroglonów jednokomórkowych *Chlorella vulgaris* w wodach kanału odpływowego komunalnej oczyszczalni ścieków (ścieki oczyszczone; C₁) oraz pożywce mineralnej (C₀), które wynosiły odpowiednio: $\mu_1=0,139 \text{ d}^{-1}$ ($t_d=4,987 \text{ d}$, $t_g=7,195 \text{ d}$) i $\mu_0=0,212 \text{ d}^{-1}$ ($t_d=3,270 \text{ d}$, $t_g=4,718 \text{ d}$). Wyznaczono krzywą wzrostu mikroglonów jako zależność liczby komórek mikroglonów od czasu hodowli. Opracowanie krzywej wzrostu mikroglonów pozwoliło na określenie i analizę poszczególnych faz wzrostu *Chlorella vulgaris*. Ponadto opracowano krzywą zależności suchej masy mikroglonów od absorbancji i wyznaczono równanie tej krzywej $y=0,299x+0,101$ ($R^2=0,989$). Obliczono również stopień usunięcia azotu i fosforu, co stanowiło punkt wyjścia do rozpoczęcia badań nad usuwaniem N i P z ścieków komunalnych.

1. WPROWADZENIE

Obecnie uważa się, że eutrofizacja jest głównym zagrożeniem dla bioróżnorodności środowisk słodkowodnych. Na wzrost trofii zbiorników wodnych wpływa szereg czynników, biotycznych i abiotycznych. Biogenami, które mają zasadniczy wpływ na postępek procesu eutrofizacji są azot i fosfor. Przyspieszenie eutrofizacji prowadzi do wzrostu produkcji pierwotnej, co w konsekwencji skutkuje nagromadzeniem materii organicznej

* Instytut Inżynierii Środowiska, Politechnika Częstochowska, ul. Brzeźnicka 60a, 42-200 Częstochowa, lslawik@is.pcz.czest.pl

w wodzie. Nadmierne ilości materii organicznej stanowią źródło wtórnego zanieczyszczenia wód, prowadząc do ich nieprzydatności do celów gospodarczych. W celu przeciwdziałania temu procesowi należy wpięrcw określić potencjał troficzny wód [1, 2].

Dane uzyskane metodami biologicznymi stanowią dobre narzędzie do określenia żywności wód. Istnieje kilka metod oznaczania trofii środowiska (troficznego potencjału wód), wśród których wyróżnia się m.in. metodę testów glonowych [1].

Potencjał troficzny wody to ilość glonów jaką można wyprodukować w wodzie w optymalnych warunkach świetlnych, termicznych, mieszania i dostępności CO₂. Zależy on od stężenia i biodostępności biogenów. Dolna granica stężeń określa minimum potrzebne do spełnienia podstawowych procesów fizjologicznych, zaś górna określa szkodliwe działanie nadmiaru składników. Produkcja biomasy glonowej zależy od tego składnika, którego jest najmniej [3].

Oprócz biogenów, wpływ na wzrost trofii wód mają inne czynniki, tj. temperatura oraz inne substancje stymulujące (hormony, witaminy) oraz inhibujące (substancje toksyczne, metale ciężkie) [4]. Wypadkowa tych wszystkich czynników świadczy o potencjale troficznym wód [1, 2, 3, 5].

1.1. PRZEGLĄD LITERATUROWY

Jakość wody była i jest przedmiotem wielu regulacji prawnych. Przez cały XX w., w polskim prawie obowiązywał system trzech klas czystości wód. Przełomem stało się przyjęcie Ramowej Dyrektywy Wodnej, według której woda jest nie tylko zasobem, ale także częścią ekosystemów. Obowiązujący w Polsce akt prawny dotyczący jakości wód powierzchniowych klasyfikuje je do jednej z pięciu klas jakości wód uwzględniając ich stan ekologiczny. Przy klasyfikacji jakości wód należy brać pod uwagę wskaźniki środowiska [6].

Wskaźnik środowiska powinien być: łatwy w użyciu, wrażliwy na zmiany środowiska, uniwersalny w zastosowaniu, a także dostosowany do potrzeb ekologicznych ekosystemów i powiązany z obowiązującym ustawodawstwem [7].

Za jeden z podstawowych wskaźników eutrofizacji można uznać zawartość węgla organicznego [8,9]. W krajach Unii Europejskiej dokonuje się oceny stanu troficznego następującymi wskaźnikami: fosfor ogólny (P_{og.}), fosfor fosforanowy (P-PO₄³⁻), azot ogólny lub azot Kjeldahla (N_{og.}), azot azotanowy (N-NO₃⁻), azot amonowy (N-NH₄⁺), chlorofil a (Chl_A), przezroczystość krążka Secchiego (SDT) [9,10]. W dokumencie EUROWATERNET Europejskiej Agencji Środowiska (EEA) dokonano zestawienia wskaźników służących do pomiaru stanu troficznego na [10]:

- pierwszorzędne: fosfor ogólny, fosfor rozpuszczony, amoniak, azot całkowity, azot organiczny oraz azot azotanowy;
- drugorzędne: makrobezkręgowce, ichtiofauna, makrofity, fitoplankton, oraz chlorofil.

Ponadto EEA zaproponowała wskaźniki fizyko-chemiczne i hydromorfologiczne, tj.: tlen rozpuszczony, pH, alkaliczność, przewodność, temperaturę, cząstki zawieszone, biologiczne zapotrzebowanie na tlen (BZT₅), chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), ogólny węgiel organiczny (OWO), przezroczystość krążka Secchiego (SDT), frakcje glinu, przepływ oraz poziom wód [10]. Oprócz podstawowych wskaźników stanu troficznego istnieją również wskaźniki integralne, na które składają się parametry biotyczne i abiotyczne.

Pierwsze próby oceny stanu środowiska za pomocą integralnego wskaźnika zostały podjęte przez Satmasjadis w 1982. Stanowiły one ocenę terenów przybrzeżnych za pomocą wskaźnika opartego o wielkość cząstek osadów i bioróżnorodność organizmów bentosowych [7, 11].

Metody testów glonowych, służące do określenia potencjalnej produktywności wody, wskazują maksymalny rozwój glonów, jaki mógłby wystąpić w tej wodzie przy optymalnych warunkach świetlnych, termicznych, mieszania i zawartości dwutlenku węgla [1, 9].

Wykorzystanie hodowli glonów jako metody do określenia trofii wody jest tematem znanym od dawna. Pierwsze wzmianki na ten temat pojawiły się już w 1927 roku [11]. Francev podjął się kontynuacji tych badań poprzez opracowanie biologicznej produktywności wód rzeki Moskwa. Podobne badania prowadzono dla wody użyźnionej dla potrzeb rybackich, a także dla zbiorników zaporowych. Opracowano metodę do oznaczania eutrofizacji wód powierzchniowych pozostających pod wpływem zanieczyszczeń. Inna metoda, oparta na tej samej zasadzie co w/w polegała na określeniu wzrostowego potencjału wody [1]. Niezależnie od wspomnianych, opracowano metodę określania wzrostowego potencjału glonów i wprowadzono skrót AGP (*ang. Algal Growth Potential*) [1, 13]. Kolejna modyfikacja metody polegała na dokonaniu podziału na dwie grupy: hodowle okresowe i hodowle ciągłe. Pierwsza z wymienionych grup jest wykorzystywana dla uzyskania informacji o zasobach biologicznie dostępnych nutrietów. Z kolei hodowle ciągłe pozwalają na określenie reakcji glonów na określone zmiany w hodowli. Ten typ hodowli prowadzony jest zarówno w skali laboratoryjnej (np. w hodowlach masowych glonów), jak i w warunkach terenowych, np. w oczyszczalniach ścieków [1].

Metoda Claessona również znalazła zastosowanie do określenia potencjalnej produktywności wody [14]. Za innowacyjną uznano metodę oznaczania AGP polegającą na pomiarze wzrostu glonów na podłożu zestalonym agarem [1].

W latach 90. XX wieku nastąpiło zminiaturyzowanie [15] i skrócenie [16] procedury określania AGP. Prowadzono wiele badań nad potencjałem troficznym wód, w tym rzek, które były kontynuowane do dzisiaj [17-19].

Jednym z bardziej popularnych integralnych wskaźników stanu troficznego jest wskaźnik TRIX (*ang. trophic index*) [20]. Wskaźnik ten początkowo służył do oznaczania stanu biologicznego wód na wybrzeżach Włoch oraz do badania wód Wenecji [6]. Obecnie TRIX jest wdrożony do włoskiego ustawodawstwa. Ponadto, wskaźnik

ten jest stosowny do oceny wód Morza Śródziemnego, Bałtyku, Morza Północnego, Adriatyku, Morza Czarnego i Morza Tyrreńskiego [21].

Uniwersalną wersją w/w wskaźnika jest UNTRIX, który umożliwia zastosowanie do różnych wód w różnych rejonach geograficznych [22].

Carlson opracował inny popularny wskaźnik stanu trofii dla jezior, TSI (*ang. Trophic State Index*) [23]. Podstawą teoretyczną do utworzenia wskaźnika TSI było założenie, że stan troficzny może być wyrażony poprzez ilość znajdujących się w danym zbiornikach wodnym glonów. Masę glonów można natomiast ocenić za pomocą zawartości chlorofilu, widzialności krążka Secchiego oraz całkowitego fosforu [8].

Obecnie, dużym zainteresowaniem cieszą się również badania nad potencjałem troficznym wód opierające się o testy toksyczności [24].

Pojawiający się w miesiącach letnich problem eutrofizacji wód kanału odpływowego oczyszczalni ścieków oraz analiza literatury przyczyniły się do podjęcia badań doświadczalnych nad potencjałem troficznym wód w/w kanału. Celem badań było określenie potencjału troficznego wód kanału odpływowego oczyszczalni ścieków, zwanych dalej ściekami oczyszczonymi.

2. MATERIAŁY I METODYKA

2.1. MIKROGLONY I MEDIUM

Substratem badań prowadzonych w skali laboratoryjnej były ścieki oczyszczone pochodzące z komunalnej oczyszczalni ścieków o przepustowości 90 000 m³·d⁻¹, 314 835 RLM. Jest to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna z podwyższonym usuwaniem biogenów. Charakterystyka ścieków oczyszczonych została przedstawiona w tabeli 1.

Tabela 1. Stężenia zanieczyszczeń w ściekach oczyszczonych

| Wskaźnik zanieczyszczeń | Jednostka | Wartość | Norma wg pozwolenia wodnoprawnego |
|-------------------------|------------------------------------|---------|-----------------------------------|
| BZT ₅ | mg O ₂ ·m ⁻³ | 4,1 | 15,0 |
| ChZT | mg O ₂ ·m ⁻³ | 36,6 | 125,0 |
| Zawiesina | mg·m ⁻³ | 11,7 | 35,0 |
| Azot ogólny | mg N·m ⁻³ | 8,2 | 10,0 |
| Fosfor ogólny | mg P·m ⁻³ | 0,6 | 1,0 |

W hodowli wykorzystano glony *Chlorella vulgaris* o symbolu katalogowym BA0002 pochodzące z Kolekcji Kultur Glonów Bałtyckich CCBA.

2.2. METODYKA

W celu oznaczenia troficznego potencjału ścieków oczyszczonych, glony hodowano w ściekach pobranych z kanału odpływowego komunalnej oczyszczalni ścieków. Do czasu rozpoczęcia hodowli, ścieki oczyszczone przechowywano w temperaturze 4°C. Przed zaszczepieniem glonami, ścieki zostały pozbawione biosestonu poprzez sedymentację, a następnie sączenie przez filtry membranowe o średnicy por 0,45 μm.

Wyjściowa kultura glonów była utrzymana w dobrych kondycyjnych warunkach poprzez prekultywację. Roztworem hodowlanym dla glonów była pożywka mineralna f/2 sporządzona na wodzie destylowanej [25].

Przed zaszczepem, kultura glonów była trzykrotnie przepłukana wodą dejonizowaną, a następnie badaną próbką ścieków oczyszczonych.

Szybkość wzrostu mikroglonów badano w hodowli okresowej stanowiącej układ zamknięty, w którym nie występowała wymiana masy z otoczeniem. Hodowlę glonów prowadzono kolbach Erlenmeyera (300 cm³) w trzech powtórzeniach w temperaturze 27±2°C w cyklu światło/ciemność 16/8. Równolegle prowadzono hodowlę kontrolną w pożywce mineralnej, tej samej jak w czasie prekultywacji. Przyrost gęstości kultury kontrolowano co 72 h metodą liczenia komórek przy użyciu komory Thoma i mikroskopu Olympus BX1. W celu zapobiegania sedymentacji komórek glonów mieszano kulturę co 12h. Hodowlę prowadzono przez 21 dob.

Ponadto określono suchą masę mikroglonów, stężenie biomasy, azot amonowy, azot ogólny, fosfor ogólny, fosfor ortofosforanowy.

Oznaczenie suchej masy wykonano metodą wagową zgodnie z PN-EN 12879:2004 oraz PN-EN 12880:2004.

Stężenie komórek oznaczono spektrofotometrycznie poprzez pomiar mętności przy długości fali $\lambda=680$ nm z wykorzystaniem spektrofotometru HACH Lange DR/4000. Wyznaczono krzywą kalibracyjną korelacji pomiędzy absorbancją a suchą masą mikroglonów (stężeniem biomasy). Równanie krzywej kalibracyjnej posłużyło do określenia teoretycznego stężenia biomasy badanych próbek.

Kinetykę wzrostu mikroglonów można opisać równaniami odpowiednio do poszczególnych faz wzrostu: adaptacyjna, wykładnicza (logarytmiczna), spowolnienia, stacjonarna, zamierania [26].

Określenie krzywych wzrostu mikroglonów miało na celu wyznaczenie poszczególnych faz wzrostu mikroglonów i ich analizę.

Przyjęto, że najistotniejszą fazą wzrostu w ocenie potencjału troficznego badanych wód była faza wykładnicza i określono parametry charakteryzujące tę fazę.

Tempo wzrostu biomasy mikroglonów określono w fazie wykładniczej jako specyficzną szybkość wzrostu, która jest definiowana jako przyrost masy nowego materiału komórkowego na jednostkę czasu i masy istniejącego materiału komórkowego [26]:

$$\mu = \frac{\ln(N_2 - N_1)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

gdzie:

μ - specyficzna szybkość wzrostu mikroglonów (d^{-1}),

N_1 - masa początkowa mikroglonów,

N_2 - masa końcowa mikroglonów,

t_1 - czas początkowy pomiaru,

t_2 - czas końcowy pomiaru.

W fazie wzrostu wykładniczego (faza II) podział komórek następował z szybkością proporcjonalną do ich liczby [25]:

$$t_g = \frac{t_d}{\ln 2} \quad (2)$$

gdzie:

t_g - wiek osobniczy (wielkość stała), (d^{-1}),

t_d - czas, w którym następuje podwojenie liczby komórek ($n=2n_0$), (d^{-1}).

Przyjmując, że t_d to czas, w którym nastąpiło podwojenie liczby komórek ($n=2n_0$) to [25]:

$$t_d = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3)$$

Azot amonowy ($N-NH_4$) oznaczano zgodnie z normą PN-73/C-04576/02.

Do oznaczenia azotu ogólnego wykorzystano analizator TOC/TN MULTI N/C 2100 HT 1300.

Fosfor ogólny i fosfor fosforanowy (ortofosforanowy) oznaczono metodą spektrofotometryczną zgodnie z normą PN-EN ISO 6878:2006.

Uzyskane wyniki zostały odniesione do wytycznych zawartych w [6].

3. WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Zmiana liczby komórek mikroglonów została przedstawiona w postaci krzywych wzrostu (rys. 1). W przedstawionym modelu opisującym szybkość wzrostu mikroglonów przyjęto, że specyficzna szybkość wzrostu jest wyrażona równaniem Monoda. Kształt krzywej uzależniony był od wyczerpywania substratu i powstawania produktu.

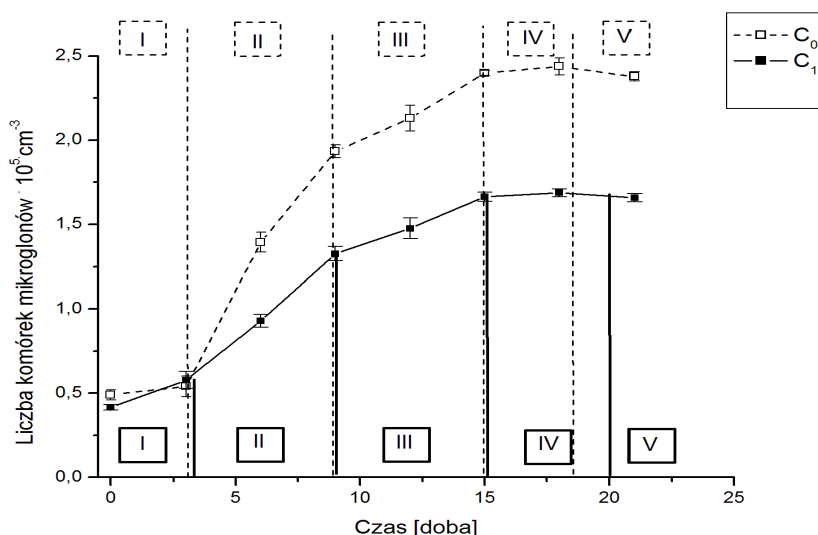
Opracowanie krzywej wzrostu mikroglonów pozwoliło na określenie poszczególnych faz wzrostu dla hodowli w ściekach oczyszczonych (C_1) oraz kontroli (C_0).

Fazy wzrostu mikroglonów dla (C_1) przedstawiały się następująco:

- adaptacyjna: 0-3 doba,
- wykładnicza (logarytmiczna): 3-9 doba,
- spowolnienia: 9-15 doba,
- stacjonarna: 15-20 doba,
- zamierania: > 20 doba.

Fazy wzrostu mikroglonów dla kontroli (C_0) przedstawiały się następująco:

- adaptacyjna: 0-3 doba,
- wykładnicza (logarytmiczna): 3-9 doba,
- spowolnienia: 9-15 doba,
- stacjonarna: 15-18,5 doba,
- zamierania: > 18,5 doba.



Rys. 1. Krzywe wzrostu glonów jednokomórkowych *Chlorella vulgaris* w ściekach oczyszczonych (C_1) i próbie kontrolnej (C_0) z podziałem na poszczególne fazy wzrostu

W fazie I (lag-faza) zachodziła adaptacja komórek mikroglonów. Za pomocą mikroskopu zaobserwowano zwiększenie się rozmiarów komórek mikroglonów. Zgodnie z doniesieniami literaturowymi, w lag-fazie następuje zahamowanie szybkości podziału komórek, co wynika ze zwiększenia zawartości enzymów i innych składników regulujących wzrost do poziomu pozwalającego na przyspieszenia procesów metabolicznych [26].

Tempo wzrostu biomasy glonów jednokomórkowych *Chlorella vulgaris* w funkcji czasu oszacowano na podstawie fazy logarytmicznej za pomocą właściwego współczynnika wzrostu (μ), który wynosił dla C_1 , $\mu_1=0,139 \text{ d}^{-1}$, a dla C_0 , $\mu_0=0,212 \text{ d}^{-1}$.

W celu wyznaczenia właściwego współczynnika wzrostu konieczne było wyznaczenie suchej masy mikroglonów. Zrealizowanie tego było możliwe poprzez wyznaczenie zależności suchej masy (stężenia biomasy) od absorbancji przy długości fali $\lambda=680 \text{ nm}$. Wyznaczono równanie krzywej kalibracyjnej następującej postaci:

$$s.m.mikroglonów = 0,299 \cdot O.D._{680nm} + 0,101 \quad (4)$$

Wartość współczynnika determinacji wynosiła $R^2 = 0,989$.

Niższa wartość właściwego współczynnika wzrostu dla próbki C_1 wynikała z mniejszego stężenia substratu limitującego (fosforu) w ściekach oczyszczonych (C_1) w porównaniu do pożywki mineralnej stanowiącej próbkę kontrolną (C_0), która wynosiła:

- dla C_1 : $P_{og.} = 0,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $P-PO_4^{3-} = 1,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$;
- dla C_0 : $P_{og.} = 1,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $P-PO_4^{3-} = 4,8 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$.

Określono również wiek osobniczy (t_g) oraz czas, w którym następuje podwojenie liczby komórek (t_d) (Tabela 2).

Tabela 2. Parametry t_g i t_d dla próbek C_0 i C_1

| Parametr | Jednostka | Próbka | |
|--|-----------|--------|-------|
| | | C_0 | C_1 |
| Wiek osobniczy (t_g) | doba | 4,718 | 7,195 |
| Czas, w którym następuje podwojenie liczby komórek (t_d) | doba | 3,270 | 4,987 |

W miarę wyczerpywania substancji pokarmowych z podłoża i przekształcania ich w produkty, szybkość podziału komórek zmniejsza się. Mikroglony wchodzą w III fazę wzrostu limitowanego.

Następna, IV faza wzrostu (stacjonarna) charakteryzowała się stałą liczbą żywych komórek, ponieważ procesom podziału i powstawania nowych komórek towarzyszy zamieranie i autoliza starych. W fazie tej odnotowano największą liczebność hodowli.

Gdy szybkość autolizy i szybkość wzrostu są sobie równe ($\mu \rightarrow k_d$), wówczas wartość biomasy mikroglonów w hodowli jest stałą i nie zależy od czasu.

Wskutek wyczerpania substancji pokarmowych, nagromadzenia metabolitów o stężeniu toksycznym, zagęszczenia populacji komórek mikroglonów dochodzi do pogorszenia warunków tlenowych, co powoduje przejście do fazy V (faza zamierania).

Obliczono stopień usunięcia fosforu oraz azotu w próbkach C_0 oraz C_1 i przedstawiono w tabeli 3. Odnotowano większy stopień usunięcia fosforu niż azotu.

Tabela 3. Stopień usunięcia fosforu ($P_{og.}$, $P-PO_4^{3-}$) i azotu ogólnego ($N_{og.}$) i azotu amonowego ($N-NH_4^+$)

| Wskaźnik | Próbka | Stopień usunięcia [%] |
|--|--------|-----------------------|
| Fosfor ogólny ($P_{og.}$) | C_1 | 63,0 |
| | C_0 | 65,2 |
| Fosfor ortofosforanowy ($P-PO_4^{3-}$) | C_1 | 68,2 |
| | C_0 | 75,3 |
| Azot ogólny ($N_{og.}$) | C_1 | 40,5 |
| | C_0 | 45,8 |
| Azot amonowy ($N-NH_4^+$) | C_1 | 42,0 |
| | C_0 | 50,3 |

Wyższy stopień usunięcia zarówno fosforu, jak i azotu odnotowano w hodowli C_0 niż C_1 . Ponadto, substratem, który w trakcie trwania hodowli zużywał się jako pierwszy był fosfor, więc przyjęto, że jest substratem limitującym wzrost mikroglonów.

Na podstawie uzyskanych wyników dokonano klasyfikacji wód kanału odpływowego oczyszczalni ścieków do klasy II zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych [6].

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Istnieje wiele metod oznaczania potencjału troficznego wód, które uwzględniają parametry zarówno biotyczne, jak i abiotyczne.

Przegląd literaturowy udowodnił, że wykorzystanie glonów jako wskaźnika potencjału troficznego wód choć nie jest tematem nowym, to nadal aktualnym.

Przedstawione wyniki badań pozwoliły na ocenę potencjału troficznego wód kanału odpływowego oczyszczalni ścieków jako wód klasy II zgodnie z klasą jakości wód powierzchniowych.

W przeprowadzonych badaniach określono parametry charakteryzujące fazę wykładniczą wzrostu mikroglonów, ponieważ uznano ją za najistotniejszą w ocenie potencjału troficznego badanych wód.

Odnotowano większy przyrost biomasy mikroglonów jednokomórkowych *Chlorella vulgaris* w pożywce mineralnej (C_0 , $\mu_0=0,212 \text{ d}^{-1}$, $t_d=3,270 \text{ d}$, $t_g=4,718 \text{ d}$) niż w ściekach oczyszczonych (C_1 , $\mu_1=0,139 \text{ d}^{-1}$, $t_d=4,987 \text{ d}$, $t_g=7,195 \text{ d}$), co świadczy o niższym potencjale troficznym wód z kanału odpływowego oczyszczalni ścieków.

Wyniki badań doświadczalnych pozwoliły na określenie poszczególnych faz wzrostu mikroglonów i ich analizę. Fazy adaptacyjna, wykładnicza i spowolnienia przebiegały w tym samym zakresie czasowym zarówno dla próbki C_0 , jak i C_1 . Różnice pojawiły się w fazie stacjonarnej (15-20 doba dla C_0 , 15-18,5 doba dla C_1) oraz w fazie zamierania (>20 doba dla C_0 , > 18,5 doba dla C_1).

Wyższy stopień usunięcia azotu i fosforu odnotowano w przypadku próbki C_0 niż C_1 , co przedstawiało się następująco: P_{og} o 2,2 punktów procentowych, $P\text{-PO}_4^{3-}$ o 7,1 punktów procentowych, N_{og} 53 punktów procentowych, $N\text{-NH}_4^+$ o 8,3 punktów procentowych. Określenie stopnia usunięcia azotu amonowego, azotu ogólnego, fosforu ortofosforanowego oraz fosforu ogólnego pozwoliły na ocenę możliwości wykorzystania mikroglonów w procesie oczyszczania ścieków komunalnych. Dalszym celem badań będzie optymalizacja hodowli mikroglonów w ściekach komunalnych biorąc pod uwagę aspekt usunięcia azotu i fosforu.

LITERATURA

- [1] BEDNARZ T., *Oznaczanie potencjału troficznego wód metodą testów glonowych*, Wiadomości Botaniczne, 1984, Vol. 28, No. 3, 201-209.
- [2] KUBIAK J., TÓRZ A., *Eutrofizacja. Podstawowe problemy ochrony wód jeziornych na Pomorzu Zachodnim*, Słupskie Prace Biologiczne, 2005, No. 2, 17-36.
- [3] KOZIEŁ W., WŁODARCZYK T., *Glony - produkcja biomasy*, Acta Agrophysica, 2011, Vol. 17, No. 1, 105-116.
- [4] JABŁOŃSKA B., *Estimating the Water Pollution in Potok Goławiecki, Poland, Based on Selected Water Quality Indicators*, Archives of Environmental Protection, 2008, Vol. 34, No. 1, 3-12.
- [5] BIEŃ J., ZABOCHNICKA-ŚWIĄTEK M., SŁAWIK L., *Możliwości wykorzystania glonów z biomasy zeutrofizowanych zbiorników wodnych jako surowca do produkcji biopaliw*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 13, No. 3, 197-209.
- [6] ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 9 listopada 2011 r. w sprawie sposobu klasyfikacji stanu jednolitych części wód powierzchniowych oraz środowiskowych norm jakości dla substancji priorytetowych, Dziennik Ustaw Nr 257.
- [7] KOWALEWSKI Z., *Metody oceny stanu troficznego wód powierzchniowych*, Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych. 2006, T. IV, 343-351.
- [8] PANEK P., *Wskaźniki biotyczne stosowane w monitoringu wód od czasu implementacji w Polsce Ramowej Dyrektywy Wodnej*, Przegląd Przyrodniczy, 2011, Vol. XXII, No. 3, 111-123.
- [9] NIXON S., *Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns*. 1995, Ophelia No. 41.
- [10] EUROWATERNET, The European Environment Agency's Monitoring and Information Network for Inland Water Resources, 1998, Technical Report No 7.
- [11] JØRGENSEN S., CONSTANZA R., XU F., *Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health*, CRC Press, USA 2005, 25-28.

- [12] ANDERSEN R.A., *Algal culturing techniques*, Elsevier Academic Press, London 2005, 142-143.
- [13] OSWALD W.J., GOLUEKE C.G., *Eutrophication trends in the United States- a problem?*, Journal Water Pollution Control Federation, 1966, Vol. 38, No.6, 964-975.
- [14] CLAESON A., *Use of a mixed algal culture to characterize industrial wastewater*, Ecotoxicology and Environmental Safety, 1984, Vol. 8, No. 1, 80-96.
- [15] LUKAVSKY J., *The evaluation of algal growth potential (AGP) and toxicity of water by miniaturized growth bioassay*, Water Research, 1992, Vol. 26, No. 10, 1409-1413.
- [16] SCHULTZ D.A., RASCHKE R.L., JONES R., *A shortened algal growth potential test*, Environmental Monitoring and Assessment, 1994, Vol. 32, No. 3, 201-205.
- [17] LÓPEZ E., DÁVALOS-LIND L., *Algal growth potential and nutrient limitation in a tropical river-reservoir system of the Central Plateau, Mexico*, Aquatic Ecosystem Health and Management, 1998, Vol. 1, No. 3-4, 345-351.
- [18] HONG H.C., WONG M.H., MAZUMDER A., LIANG Y., *Trophic state, natural organic matter content, and disinfection by-product formation potential of six drinking water*, Journal of Hydrology, 2008, Vol. 359, 164-173.
- [19] KERAKOVA M., IHTIMANSKA M., VARADINOVA E., *Application of trophic indices in ecological state assessment of riverine water bodies*, Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2013, Vol. 19, No. 2, 277-281.
- [20] VOLLEINWEIDER R., GIOVANARDI F., MONTANARI G., RINALDI A., *Characterization of the trophic conditions of coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index*, 1998, Environmetrics 9.
- [21] PRIMPAS I., KARYDIS M., *Scaling the trophic index (TRIX) in oligotrophic marine environments*, Environmental Monitoring and Assessment, 2011, Vol. 178, 257-269.
- [22] YUCEL-GIER G., PAZI I., KUCUKSEZGIN F., KOCAK F., *The composite trophic status index (TRIX) as a potential tool for the regulation of Turkish marine aquaculture as applied to eastern Aegean coast (Izmir Bay)*, Journal of Applied Ichthyology, 2011, Vol. 27, 39-45.
- [23] CARLSON R.E., *A trophic state index for lakes*, Limnology and Oceanography, 1977, Vol. 22, 361-369.
- [24] EMELOGU E. S., POLLARD P., DYMOND P., ROBINSON C. D., WEBSTER L., MCKENZIE C., DOSON J., BRESNAN E., MOFFAT C.F., *Occurrence and potential combined toxicity of dissolved organic contaminants in the Forth estuary and Firth of Forth, Scotland assessed using passive samplers and an algal toxicity test*, Science of the Total Environment, 2013, Vol. 461-462, 230-239.
- [25] TAO D. G., SALIHON J., MENG L., *Modelling of microalgae growth and oil production by using sewage and carbon dioxide for biodiesel*, National Conference on Postgraduate Research (NCON-PGR) 2009, Malaysia.
- [26] KLIMIUK E., LOSSOW K., BULIŃSKA M., *Kinetyka reakcji i modelowanie reaktorów biochemicznych w procesach oczyszczania ścieków*, ART, Olsztyn 1995, 58-65.

THE APPLICATION OF ALGAL GROWTH POTENTIAL TEST TO THE OUTFLOW CANAL OF WASTEWATER TREATMENT PLANT

One of the sign of eutrophication is excessive growth of algae. Eutrophication is a key problem in the caused by high concentrations of nitrogen (N) and phosphorus (P). It is especially important according to outflow water from wastewater treatment plant. The aim of the study was to determine the trophic potential of water from outflow canal of wastewater treatment plant, where in the summer months algae were observed. For this purpose the Algal Growth Potential (AGP) test was used. The Algal Growth Potential has been an accepted standard test for measuring trophic potential of water bodies. The average specific

growth rates in the exponential period were $0,139 \text{ d}^{-1}$ ($t_d=4,987 \text{ d}$, $t_g=7,195 \text{ d}$), $0,212 \text{ d}^{-1}$ ($t_d=3,270 \text{ d}$, $t_g=4,718 \text{ d}$) for C_1 and C_0 , respectively. The removal rate of ammonia nitrogen ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) was 8,3 pp higher for C_0 than C_1 . The removal rates of total nitrogen (TN) was 5,3 pp higher for C_1 and C_0 respectively. The phosphorus (TP) removal rate was 2,2 pp higher for C_0 than C_1 .