

Izabela Wysocka, Andrzej Brudniak, Jakub Kowalczyk

Uciążliwość zapachowa związana z rekultywacją Jeziora Kortowskiego metodą selektywnego odprowadzania wody z hypolimnionu

Jedną z pierwszych wdrożonych na świecie metod rekultywacji jezior jest tzw. metoda Olszewskiego, zwana także eksperymentem kortowskim, stosowana do poprawy jakości wód Jeziora Kortowskiego w Olsztynie od 1956 r. do dziś [1, 2]. Warunkiem jej stosowania jest przepływowy charakter jeziora i dodatni bilans wodny [3]. Zasada tej metody opisana jest szczegółowo w pracach [3, 4] i polega na odprowadzaniu rurociągiem lewarowym odtlenionej wody ze strefy hypolimnionu jeziora (odznaczającej się wysoką żyznością, obecnością związków organicznych ulegających procesom gnilnym oraz znaczną zawartością metanu i siarkowodoru) bezpośrednio do wypływającej z niego rzeki Kortówki [5]. Proces ten powoduje uwalnianie do atmosfery odorów w miejscu wprowadzania wody do rzeki oraz wzdłuż jej biegu. Od momentu uruchomienia tej metody rekultywacji Jeziora Kortowskiego stwierdzano organoleptycznie charakterystyczny nieprzyjemny zapach (siarkowodoru) wydzielający się przy ujściu rurociągu do rzeki. Zapach ten występuje z różną intensywnością przez cały czas pracy rurociągu. W związku z tym, że Jezioro Kortowskie jest zbiornikiem miejskim, Kortówka przepływa wzdłuż kampusu akademickiego, a ujście rurociągu sąsiaduje z plażą, nieprzyjemny zapach powoduje negatywne postrzeganie prowadzonego procesu rekultywacji jeziora, sugerując jego nieprawidłowy przebieg. Dodatkowo nieprzyjemny zapach wpływa na jakość życia i ma negatywny wpływ na zdrowie ludzi, powodując m.in. stres, bezsenność czy też utratę apetytu [6].

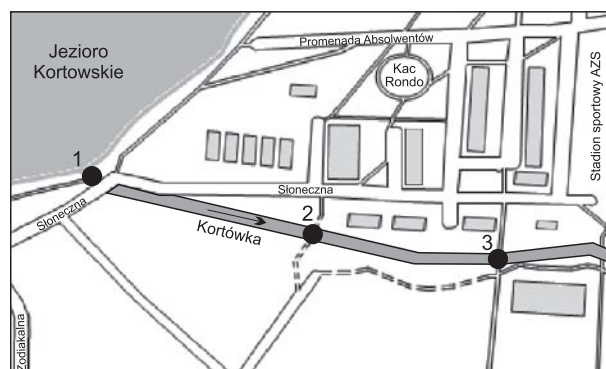
W ramach niniejszego artykułu podjęto próbę zastosowania badań olfaktometrycznych do oceny wpływu rekultywacji jeziora metodą selektywnego odprowadzania wody z hypolimnionu na jakość powietrza wzdłuż biegu rzeki, która jest odbiornikiem wody z Jeziora Kortowskiego.

Obiekt badań

Obiektem badań była rzeka Kortówka, wypływająca z poddawanego wieloletniej rekultywacji Jeziora Kortowskiego. Jezioro o powierzchni 89,7 ha i maksymalnej głębokości 17,2 m położone jest w południowo-zachodniej części Olsztyna, sąsiadując z osiedlami mieszkaniowymi (w części wschodniej znajduje się kampus Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego). Jezioro ma charakter przepływowy, przy czym Kortówka jest jego głównym dopływem. Rzeka

swój początek bierze z Jeziora Ukiel, następnie wpływa do Jeziora Kortowskiego w części północno-wschodniej, wpływa w części południowej i dalej w odległości ok 1,2 km uchodzi do Łyny. Na odpływie z jeziora (tuż nad dnem) w zastawce umieszczony jest wylot rurociągu służącego do rekultywacji Jeziora Kortowskiego. Kortówka ma długość 1,6 km, a jej zlewnia o powierzchni 2588,7 ha jest największą zlewnią cząstkową Jeziora Kortowskiego.

Badania przeprowadzono na odcinku Kortówki o długości 520 m, w trzech punktach umiejscowionych wzdłuż nurtu rzeki, tuż nad powierzchnią wody. Pierwszy punkt pomiarowy (stanowisko 1) znajdował się w miejscu ujścia rurociągu wprowadzającego wodę z hypolimnionu Jeziora Kortowskiego do rzeki, drugi (stanowisko 2) w odległości (mierzonej wzdłuż nurtu rzeki) około 300 m od miejsca wprowadzenia wody, a trzeci (stanowisko 3) po kolejnych 220 m biegu rzeki (rys. 1). Daty poboru próbek oraz warunki ich poboru i analizy zestawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Rozmieszczenie stanowisk poboru próbek powietrza wzdłuż biegu rzeki Kortówki

Fig. 1. Distribution of air sampling stands along the course of the Kortówka river

Pobór i analiza próbek gazowych

Ze względu na brak unormowań prawnych dotyczących badań imisji, zaadaptowano metodę opisaną w normie PN-EN 13725 [7]. Metodę tę zaadaptowano w pełnym zakresie, zmieniając jedynie rodzaj pobieranych próbek. Imisja związków odorotwórczych w nurcie Kortówki była na tyle znacząca, że możliwe było oznaczanie stężenia substancji odorotwórczych z użyciem olfaktometru dynamicznego. Uzyskane wyniki przedstawiają więc chwilowe stężenie odorantów w miejscu poboru próbki. Czas poboru próbki wynosił od 30 s do 60 s.

Dr inż. I. Wysocka, mgr A. Brudniak, mgr J. Kowalczyk: Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauk o Środowisku, Katedra Inżynierii Środowiska, ul. Warszawska 117, 10-957 Olsztyn
iwysocka@uwm.edu.pl

Tabela 1. Terminy oraz warunki poboru i analizy olfaktometrycznej próbek powietrza
Table 1. Dates and conditions of the air sampling and of the sample olfactometric analysis

Data	Stano-wisko	Godzina poboru	Godzina analizy	Warunki pogodowe
5 lipca 2012 r.	1	9:26	10:45	słonecznie, temp. 28°C, lekki wiatr
	2	9:47	11:03	
	3	10:09	11:41	
6 lipca 2012 r.	1	9:51	11:14	słonecznie, temp. 30°C, lekki wiatr
	2	10:14	11:27	
	3	10:30	12:10	
9 lipca 2012 r.	1	12:01	13:51	słonecznie, po deszczu, temp. 26°C, lekki wiatr
	2	12:27	14:03	
	3	12:51	14:13	
11 lipca 2012 r.	1	10:02	11:26	słonecznie, temp. 26°C, lekki wiatr
	2	10:22	11:34	
	3	10:45	11:48	
13 lipca 2012 r.	1	9:58	11:18	słońce za chmurami, temp. 20°C, wietrznie
	2	10:15	11:29	
	3	10:32	11:38	
30 lipca 2012 r.	1	10:57	12:07	słonecznie, temp. 24°C, lekki wiatr
	2	11:18	12:18	
	3	11:32	12:27	
31 lipca 2012 r.	1	8:45	11:44	słonecznie, temp. 22°C, lekki wiatr
	2	9:07	10:11	
	3	9:27	10:21	
3 sierpnia 2012 r.	1	9:14	10:40	słonecznie, temp. 29°C, lekki wiatr
	2	9:34	11:10	
	3	9:55	11:20	
10 sierpnia 2012 r.	1	8:49	10:18	pochmurnie, temp. 29°C, silny wiatr
	2	9:09	11:10	
	3	9:30	11:59	
20 sierpnia 2012 r.	1	9:08	10:48	słonecznie, temp. 31°C, lekki wiatr
	2	9:29	11:08	
	3	9:51	11:54	
21 sierpnia 2012 r.	1	9:01	10:36	słonecznie, temp. 25°C, lekki wiatr
	2	9:22	11:04	
	3	9:42	10:55	
22 sierpnia 2012 r.	1	9:25	11:36	burzowo, temp. 26°C, wiatr
	2	9:46	12:14	
	3	10:12	11:45	
23 sierpnia 2012 r.	1	10:53	12:31	słonecznie, temp. 22°C, lekki wiatr
	2	11:18	12:40	
	3	11:40	12:49	
24 sierpnia 2012 r.	1	9:03	10:12	duszno, słonecznie temp. 22°C, lekki wiatr
	2	9:25	10:21	
	3	9:48	10:28	

Próbki pobierano z wykorzystaniem tzw. zasady płuca. Pobór odbywał się przy użyciu cylindrów gazowych z wentylatorem do worka tedlarowego umieszczonego wewnątrz cylindra. Zmniejszanie ciśnienia w cylindrze na zewnątrz worka (podciśnienie maks. $0,2 \cdot 10^5$ Pa) powodowało pobieranie badanego gazu do wnętrza worka. Worki przed poborem próbek kondycjonowano. Podczas pobierania próbek nie stosowano ich rozcieńczenia.

Stężenie zapachowe związków odorotwórczych wyznaczono metodą TAK/NIE z zastosowaniem olfaktometrii dynamicznej przy udziale zespołu oceniającego, który został wybrany zgodnie z zaleceniami normy [7]. Badanie polegało na rozcieńczeniu próbki powietrzem wolnym od zapachu i prezentacji próbki o zmienionym stężeniu odorantów zespołowi, który wyznaczał liczbę jednostek zapachowych w metrze sześciennym (ou_E/m^3). Zespół wybrano w drodze selekcji spośród 30 osób. Selekcję rozpoczęto na tydzień przed rozpoczęciem badań. Przeprowadzono trzy sesje pomiarowe, pomiędzy którymi oceniający mieli jednodniową przerwę. Każda osoba poddana była 10 ocenom indywidualnym. Wybrano osoby spełniające następujące kryteria:

- średnia geometryczna indywidualnych ocen prognozy gazu odniesienia (n-butanol w azocie) mieściła się w zakresie $0,20 \pm 0,80 \mu\text{mol/mol}$,

- antylogarytm z odchylenia standardowego obliczane-go z logarytmów dziesiętnych indywidualnych ocen prognozy (wyrażony w jednostkach masowego stężenia gazu odniesienia) był mniejszy niż 2,3.

Badania przeprowadzono z użyciem olfaktometru T-08 w Laboratorium Olfaktometrycznym Katedry Inżynierii Środowiska (Wydział Nauk o Środowisku Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego). Laboratorium to spełnia wymogi normy [7], jest umieszczone z dala od źródeł hałasu, przeszkadzającego światła (jest osłonięte od bezpośredniego światła słonecznego) oraz odpowiednio wentylowane powietrzem wolnym od zapachów. Temperatura podczas pomiarów wynosiła $20 \pm 23^\circ\text{C}$.

Dyskusja wyników

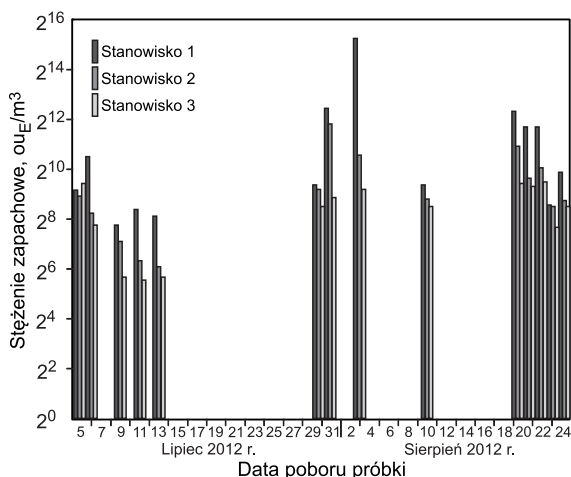
W przeciętnym pod względem warunków meteorologicznych roku Jezioro Kortowskie należy do typu eumiktycznego, a stagnacja letnia zaczyna się w maju lub nawet w czerwcu [8]. Po stwierdzeniu stratyfikacji termicznej, zwykle na początku lipca, otwierany jest przepływ wody w rurociągu i rozpoczyna się usuwanie wody z hypolimnionu jeziora do rzeki. Przepływ stabilizuje się w czasie od kilkunastu godzin do 2÷3 dób. W wyniku tego działania podczas stagnacji letniej miąższość hypolimnionu jeziora ulega zmianie. W czerwcu 2011 r., poprzedzającym prezentowane badania, poziom hypolimnionu w jeziorze utrzymywał się na głębokości poniżej 7 m (546 tys. m^3). Rurociąg odprowadzał wodę z wydajnością $250 \text{ dm}^3/\text{s}$, skutkiem czego w połowie sierpnia poziom hypolimnionu obniżył się do głębokości poniżej 9 m (307 tys. m^3), a pod koniec września do głębokości poniżej 11 m (171 tys. m^3).

Hypolimnion jeziora charakteryzuje się większą gęstością wody wynikającą ze zmian temperatury, co uniemożliwia jego mieszanie z wodami znajdującymi się powyżej. Jest on zasobny w substancje organiczne zawierające siarkę i azot, biogeny oraz gazy. W przypadku braku tlenu, jak w Jeziorze Kortowskim, wody tej warstwy są dodatkowo zasilane w azot i fosfor z osadów dennych (tzw. nawożenie wewnętrzne) oraz występują tam także siarkowodor

i siarczki. W trakcie trwania stagnacji letniej ich ilość stopniowo wzrasta wskutek rozkładu związków organicznych i biologicznej redukcji siarkowodoru [3]. Przekłada się to na uwalnianie siarkowodoru do atmosfery podczas procesu usuwania wody z hypolimnionu do Kortówki, czemu towarzyszą skutki zapachowe. Próg wyczuwalności siarkowodoru wynosi 0,018 ppm. W trakcie wieloletnich badań Jeziora Kortowskiego nigdy nie mierzono zawartości tego gazu w wodzie. Metody rekultywacji jezior skupiają się bowiem na fosforze, jako głównej przyczynie eutrofizacji i tak jest również w przypadku omawianego jeziora. Z doświadczeń eksploatacyjnych wiadomo, że w trakcie odprowadzania wody z warstwy przydennej jeziora ilość siarczków w hypolimnionie plosa południowego przyrasta wolniej niż w plosie kontrolnym, co wprost wynika z usuwania ich do rzeki.

Siarkowódor nie jest jedynym związkiem siarki, który może powodować nieprzyjemne doznania węchowe. Można spodziewać się w powietrzu również takich substancji, jak tiole czy sulfidy [9]. Próg wyczuwalności tych związków jest znacznie niższy od siarkowodoru. Tak więc również niewielkie ilości tych związków mogą powodować silne doznania zapachowe. Obok związków siarki problemem będą także związki azotu, do tego dochodzą interakcje (synergizm, maskowanie czy neutralizacja) pomiędzy wszystkimi związkami odorotwórczymi w mieszaninie gazów. Bezpośrednia analiza chemiczna składu powietrza, a tym bardziej wody, nie zawsze pokrywa się z określeniem uciążliwości zapachowej [1, 9]. Dlatego racjonalne wydaje się podjęcie analiz opartych na ludzkim nosie jako detektorze.

Wynikiem przebiegającej w warunkach beztlenowych biologicznej degradacji związków organicznych zawierających siarkę i azot są między innymi substancje odorotwórcze [2] powodujące nieprzyjemne doznania zapachowe. Tego typu związki będą zatem uwalniane przy ujściu rurociągu do rzeki, czego dowodem są dość niepokojące wyniki przeprowadzonych badań olfaktometrycznych (rys. 2).



Rys. 2. Zmiany stężenia zapachowego próbek powietrza wzdłuż biegu rzeki Kortówki

Fig. 2. Variations in odor concentration in the air samples collected along the course of the Kortowka river

U ujścia rurociągu (stanowisko 1) stężenie substancji zapachowych (emisja) ulegało silnym wahaniom w zakresie $218\div 38965 \text{ ouE/m}^3$, jednak zawsze wynosiło powyżej 200 ouE/m^3 (rys. 2). Średnia wartość stężenia w tym punkcie wynosiła 4410 ouE/m^3 przy wartości odchylenia standardowego aż 9745 ouE/m^3 . W miarę odsuwania się

od ujścia rurociągu wzdłuż biegu rzeki zaobserwowano tendencję spadkową stężenia substancji zapachowych. Na przykład, 3 sierpnia 2012 r., w odległości około 300 m od ujścia rurociągu stężenie substancji zapachowych wynosiło tylko 5% wartości stężenia odnotowanego w tym dniu w miejscu ujścia rurociągu. Odnotowywano również wzrost emisji substancji zapachowych, np. 30 lipca 2012 r. stężenie odorantów na stanowisku 1 wynosiło zaledwie 362 ouE/m^3 , a na stanowisku oddalonym o 300 m zwiększyło się o 60%. W kolejnym punkcie pomiarowym utrzymywała się tendencja spadkowa stężenia zapachowego. Na stanowisku 3, oddalonym od ujścia rurociągu o 520 m, odnotowywano zmniejszenie emisji substancji odorotwórczych w zakresie $46\div 99\%$. Można więc przypuszczać, że większość substancji odorotwórczych pochodzi ze związków wprowadzanych do Kortówki wraz z wodą odprowadzaną z hypolimnionu Jeziora Kortowskiego i uwalniana jest na skutek zmian ciśnienia i temperatury. Część związków może ulec przemianie i zostać zdeponowana w osadach dennych lub pozostać w toni wody rzecznej. Zmiana warunków wraz z biegiem rzeki (temperatura, ciśnienie) może wpływać na uwalnianie kolejnych porcji substancji odorotwórczych, bądź powodować ich neutralizację.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania pozwalają jednoznacznie stwierdzić, że rekultywacja Jeziora Kortowskiego (likwidacja negatywnych zjawisk w hydrosferze) prowadzona jest kosztem zanieczyszczenia powietrza wokół odbiornika wód hypolimnionu, którym jest rzeka Kortówka. Zanieczyszczenie powietrza substancjami złośliwymi w miejscu wprowadzania wody z hypolimnionu jeziora do rzeki wahało się w zakresie $218\div 38967 \text{ ouE/m}^3$. Stężenie odorantów malało w miarę oddalania się od ujścia, ale było wyczuwalne nawet do 520 m wzdłuż biegu rzeki. Należy podkreślić, że przedstawione wyniki dotyczą jedynie chwilowych stężeń odorantów w konkretnych miejscach poboru próbek (emisja). Dalsze badania mają na celu określenie tzw. godzin odorowych, emisji powierzchniowej rzeki Kortówki oraz wyznaczenie mapy zasięgu uciążliwości zapachowej tego obiektu.

LITERATURA

1. K. PARZUTO: POC, chlorophyll and pheophytin a vertical distribution in restored Kortowskie lake (Poland). *Limnological Papers* 2008, Vol. 3, pp. 79–88.
2. J. DUNALSKA, G. WIŚNIEWSKI, C. MIENCKI: Assessment of multi-year (1956–2003) hypolimnetic withdrawal from Lake Kortowskie, Poland. *Lake and Reservoir Management* 2007, Vol. 23, No. 4, pp. 377–387.
3. C. MIENCKI: Wpływ usuwania wód hypolimnionu na układy termiczne i tlenowe oraz zawartość związków azotu i fosforu w wodzie Jeziora Kortowskiego. *Acta Academiae Agriculturae ac Technicae Olstenensis. Protectio Aquarum et Piscatoria* 1986, vol. 14, suppl. A, ss. 1–53.
4. G. WIŚNIEWSKI: Permanence of the effects of the Lake Kortowskie restoration, started in 1956. *Polish Limnological Society* 2007, Vol. 1, pp. 126–128.
5. R. TANDYRAK, M. LIZURAJ: Multiannual observations of iron and sulphur content in the waters of recultivated Lake Starodworskie waters, with comparison to selected physical and chemical parameters. *Limnological Review* 2008, Vol. 8, No. 4, pp. 129–136.

6. B. CALDERON, I. ARACIL, A. FULLANA: Deodorization of a gas stream containing dimethyl disulfide with zero-valent iron nanoparticles. *Chemical Engineering Journal* 2012, Vol. 183, pp. 325–331.
7. PN-EN 13725:2007: Jakość powietrza – Oznaczanie stężenia zapachowego metodą olfaktometrii dynamicznej.
8. K. LOSSOW, H. GAWROŃSKA, C. MIENCKI, M. ŁOPATA, G. WIŚNIEWSKI: Jeziora Olsztyna, stan troficzny, zagrożenia. Studio Przygotowawcze Wydawnictw EDYCJA, Olsztyn 2005.
9. P. GOSTELOW, S.A. PARSONS, R.M. STUETZ: Odour measurements for sewage treatment works. *Water Research* 2001, Vol. 35, No. 3, pp. 579–597.

Wysocka, I., Brudniak, A., Kowalczyk, J. Odor Nuisance Related to Lake Kortowskie Restoration by the Hypolimnetic Withdrawal. *Ochrona Srodowiska* 2014, Vol. 36, No. 4, pp. 29–32.

Abstract: Results of analysis of air quality around the receiver of hypolimnetic discharge demonstrate that such corrective measures take place at the expense of air pollution. Lake Kortowskie (Olsztyn, Poland) restoration is being carried out by selective hypolimnetic water withdrawal through a pipeline to Kortowka river, the receiver of the lake water. This is the reason why olfactometric studies were undertaken to evaluate the impact of lake restoration on the odor nuisance related to the use of this method. The

analyses demonstrated that the odorant (*e.g.* hydrogen sulfide) concentration (immission) in the air just at the river outlet was subject to strong fluctuations. However, it always exceeded $200 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. The highest concentration recorded at this site reached almost $40,000 \text{ ou}_E/\text{m}^3$. As the distance from the pipeline outlet increased, the immission usually decreased, until no odor could be detected. However, the odor was still detectable for about 500 m along the course of the river. Further studies are being carried out in order to determine the 'odor hours' and produce an odor map for the site.

Keywords: Odors, immission, hydrogen sulfide, water stratification, olfactometry.