

URSZULA KOŁODZIEJCZYK\*, MAGDALENA CZARNA\*\*,  
ZBIGNIEW TARKA\*\*

**MODELOWANIE ROZPRZESTRZENIANIA  
ZANIECZYSZCZEŃ DO POWIETRZA  
ATMOSFERYCZNEGO Z PROJEKTOWANEJ  
KOMPOSTOWNI OSADÓW ŚCIEKOWYCH**

*Streszczenie*

*W artykule przedstawiono metodykę oceny zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego wskutek działalności kompostowni osadów ściekowych. Oceny dokonano poprzez identyfikację źródeł emisji, wskazanie rodzajów i ilości zanieczyszczeń z poszczególnych źródeł oraz określenie maksymalnych stężeń zanieczyszczeń i częstości ich przekraczania w stosunku do wartości odniesienia lub dopuszczalnych poziomów substancji w środowisku. Temat zrealizowano na przykładzie projektowanej kompostowni osadów ściekowych w miejscowości Zbarzewo (woj. wielkopolskie). Przeprowadzona analiza wykazała brak ponadnormatywnych stężeń zanieczyszczeń powietrza w rejonie planowanego przedsięwzięcia.*

Słowa kluczowe: zanieczyszczenie powietrza, kompostownia osadów ściekowych, siarkowodór, amoniak

**WSTĘP**

W latach 90-tych ubiegłego wieku działania związane z gospodarką osadową ograniczały się tylko do magazynowania osadów na terenie oczyszczalni – w lagunach bądź na poletkach osadowych [Dymaczewski 2011].

Obecnie projektowane oczyszczalnie ścieków zawierają dodatkowo tzw. koncepcję gospodarki osadowej, wymaganą z uwagi na konieczność usuwania ze ścieków związków biogenych (azotu i fosforu). W 2015 r., zgodnie z zapi-

---

\* Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Inżynierii Lądowej i Środowiska, Zakład Hydrologii i Geologii Stosowanej

\*\* Przedsiębiorstwo Handlowo-Usługowe ZBIGTAR, Osowa Sień

sami dyrektywy Rady 91/271 EWG z dnia 21 maja 1991 r., zakłada się stu-procentową redukcję ładunku zanieczyszczeń biodegradowalnych.

Według definicji zaproponowanej przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) osadem ściekowym jest mieszanina wody i ciał stałych. Skład chemiczny osadów ściekowych jest zmienny i zależy, między innymi, od rodzaju oczyszczanych ścieków oraz sposobów ich oczyszczania [Małej 2004]. Szacuje się, że osady ściekowe stanowią 1-3% całkowitej ilości oczyszczanych ścieków [Sadecka 2013]. Kompostowanie osadów ściekowych jest jedną z metod utylizacji odpadów biodegradowalnych [Przywarska, Kotowski 2003].

Kompostowaniu osadów ściekowych towarzyszy emisja odorów. Emisje te są częstym zjawiskiem w instalacjach biologicznego przetwarzania odpadów, a ich rodzaj i intensywność zależy od składu przetwarzanych surowców [Jędrzak 2008]. Aktualne prawodawstwo polskie nie wskazuje metodyki oszacowania zasięgu oddziaływania substancji zapachowych.

Obliczenia emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego z projektowanej kompostowni osadów ściekowych w Zbarzewie przeprowadzono w sposób zgodny z metodyką zamieszczoną w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87). Jako substancje wskaźnikowe przyjęto amoniak i siarkowodór, natomiast jako źródło ich emisji – zbiornik betonowy magazynujący osady ściekowe. Zbiornik będzie tylko częściowo odkryty – w czasie załadunku osadów, co będzie skutkowało wyłącznie okresowym rozprzestrzenianiem się substancji zapachowych.

### OPIS PROJEKTOWANEJ KOMPOSTOWNI

Kompostownia będzie zlokalizowana w miejscowości Zbarzewo, gmina Włoszakowice, woj. wielkopolskie (rys. 1) i zostanie przeznaczona do odzysku komunalnych osadów ściekowych. Obiekt składać się będzie z dwukomorowego zbiornika (laguny) o łącznej pojemności 4800 m<sup>3</sup>, instalacji do odprowadzania i gromadzenia odcieków (zbiornik stalowy o pojemności 10 m<sup>3</sup>) oraz wewnętrznych dróg i placów manewrowych. Ilość osadów przeznaczonych do przetworzenia (kompostowania) wyniesie 100 000 Mg/rok. Zimą, przy zamrożonej pokrywie glebowej, kiedy obowiązuje zakaz nawożenia gruntów osadami ściekowymi, obydwie komory mogą być napełnione. Poza okresem zimowym osady składowane będą głównie w pierwszej komorze, a dopiero po jej napełnieniu – w drugiej. Każdorazowo osady będą mieszane z wapnem i resztkami roślinnymi (słomą), po czym zostaną poddane badaniom fizyczno-chemicznym i bakteriologicznym, a następnie zostaną wywiezione na grunty rolne. Zgodnie z załącznikiem 1 do ustawy o odpadach będzie to proces odzysku R3 (odzysk substancji organicznych, w tym kompostowanie).



Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań  
 Fig. 1. Location of the study area

### METODYKA BADAŃ

Obliczenia emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego z projektowanej kompostowni wykonano zgodnie z metodyką zamieszczoną w rozporządzeniu (Dz. U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87).

W analizowanym przypadku uwzględniono tzw. referencyjne metodyki modelowania poziomów substancji w powietrzu, których podstawę stanowią formuły Pasquille'a. Ilość i różnorodność danych wymusiła konieczność zastosowania programów komputerowych do obliczeń stężeń maksymalnych i średniorocznych substancji w powietrzu, a ponadto – częstości przekroczeń oraz rozkładu tych stężeń w zadanej siatce obliczeniowej. Za reprezentatywną przyjęto różę wiatrów charakterystyczną dla miasta Leszno. Do obliczeń emisji użyto programu AERO 2010.

W pierwszej kolejności obliczono współczynnik aerodynamicznej szorstkości analizowanego obszaru  $Z_0$ , korzystając z zależności:

$$Z_0 = \frac{1}{F} \sum_c F_c \cdot Z_{0c}$$

gdzie:

$F$  – powierzchnia analizowanego obszaru (koła o promieniu 50 m),  
 $Z_0$  – średnia wartość współczynnika aerodynamicznej szorstkości terenu dla gruntów rolnych,  
 $c$  – obszar obliczeniowy (w tym przypadku  $c = 1$ ).

Biorąc pod uwagę powyższe uwarunkowania uzyskano współczynnik aerodynamicznej  $Z_0$  szorstkości terenu:

$$Z_0 = 0,035$$

W obliczeniach przyjęto, że na ogół obydwie komory będą przykryte plan-dekami; tylko podczas rozładunku i pobierania osadów ściekowych jedna z nich będzie okresowo odsłonięta – średnio przez około 2 godziny na dobę, przez 270 dni w roku. Stąd, rozpatrzono emisję amoniaku oraz siarkowodoru z emitora powierzchniowego o wymiarach 80 m x 20 m. Emitor ten podzielono na zespół emitorów zastępczych o boku  $d_k = 10$  m, natomiast powierzchniowe źródło zastąpiono zespołem 16 emitorów zastępczych o następujących parametrach: wysokość emitora  $h = 1,5$  m, średnica wewnętrzna wylotu emitora  $d = 3,7$  m, prędkość odlotowa gazów na wylocie emitora  $v = 3$  m/s, temperatura gazów odlotowych na wylocie emitora  $T = 293$  K, czas pracy emitora  $t = 540$  godz./rok.

Emisję z emitora zastępczego  $e_k$  obliczono z wzoru:

$$e_k = E \cdot \left(\frac{d_k}{D}\right)^2$$

gdzie:

$E$  – emisja substancji z emitora lub źródła powierzchniowego lub liniowego,

$d_k$  – długość boku kwadratowego źródła powierzchniowego lub długość odcinka źródła liniowego, powstałych z podziału źródła powierzchniowego lub liniowego,

$D$  – długość boku kwadratowego źródła powierzchniowego lub długość źródła liniowego.

Do obliczeń emisji amoniaku wykorzystano wskaźnik emisji  $E = 5 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ h}^{-1}$  [Hoff, Hornbuckle i in. 2002] oraz wartości odniesienia dla zawartości amoniaku w powietrzu dla jednej godziny ( $400 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) i dla roku kalendarzowego ( $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) podane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [Dz. U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87].

Obliczenia emisji siarkowodoru oparto o wskaźnik emisji wynoszący  $0,35 \text{ g/m}^2 \cdot 24 \text{ h}^{-1}$  [Ogunlaja 2009] oraz wartości odniesienia dla zawartości siarkowodoru w powietrzu dla jednej godziny ( $20 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) i roku kalendarzowego ( $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) podane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu [Dz. U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87].

Do obliczeń stężeń maksymalnych zanieczyszczeń zastosowano skrócony zakres obliczeń – pod warunkiem, że spełniona jest zależność:

$$S_{\text{mm}} \leq 0,1 D_1$$

gdzie:

$S_{\text{mm}}$  – najwyższe ze stężeń maksymalnych substancji w powietrzu,

$D_1$  – wartość odniesienia substancji w powietrzu lub dopuszczalny poziom substancji w powietrzu, uśredniony dla jednej godziny.

### WYNIKI BADAŃ

Emisja **amoniaku**  $E_{\text{NH}_3}$  ze źródła powierzchniowego dla projektowanej kompostowni wyniesie:

$$E_{\text{NH}_3} = 333,33 \text{ g/h}$$

$$E_{\text{NH}_3} = 92,59 \text{ mg/s.}$$

Emisja amoniaku z jednego z emitorów zastępujących źródło powierzchniowe  $e_{\text{kNH}_3}$  wyniesie:

$$e_{\text{kNH}_3} = 1,45 \text{ mg/s.}$$

Najwyższe ze stężeń maksymalnych amoniaku w powietrzu wyniesie:

$$\Sigma S_{\text{mm}} = 36,769 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \leq 0,1 D_1 = 40 \text{ } \mu\text{g/m}^3.$$

W wyniku analizy nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych stężeń amoniaku w powietrzu spowodowanych eksploatacją projektowanej kompostowni, a obszarowy zasięg oddziaływania w odniesieniu do wartości stężeń przedstawiono na rys. 2 i rys. 3.

Obliczenia emisji **siarkowodoru**  $E_{\text{H}_2\text{S}}$  z projektowanej kompostowni wskazują, że wyniesie ona:

$$E_{\text{H}_2\text{S}} = 23,33 \text{ g/h}$$

$$E_{\text{H}_2\text{S}} = 6,48 \text{ mg/s.}$$

Z kolei, emisja siarkowodoru z jednego z emitorów zastępujących źródło powierzchniowe  $e_{\text{kH}_2\text{S}}$  wyniesie:

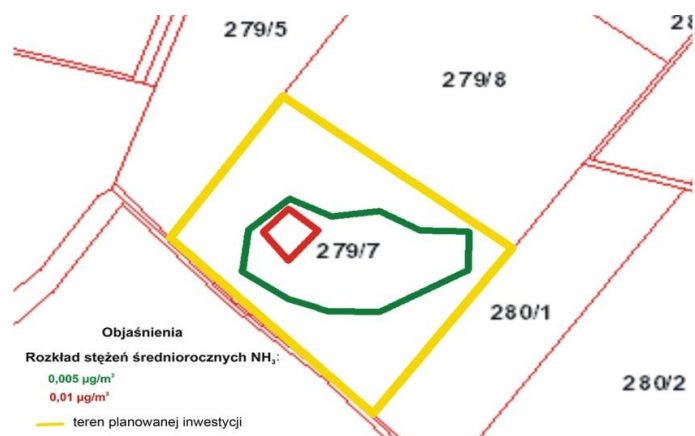
$$e_{\text{kH}_2\text{S}} = 0,10 \text{ mg/s.}$$

Najwyższe ze stężeń maksymalnych siarkowodoru w powietrzu wyniesie:

$$\Sigma S_{\text{mm}} = 1,096 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \leq 0,1 D_1 = 2,00 \text{ } \mu\text{g/m}^3.$$

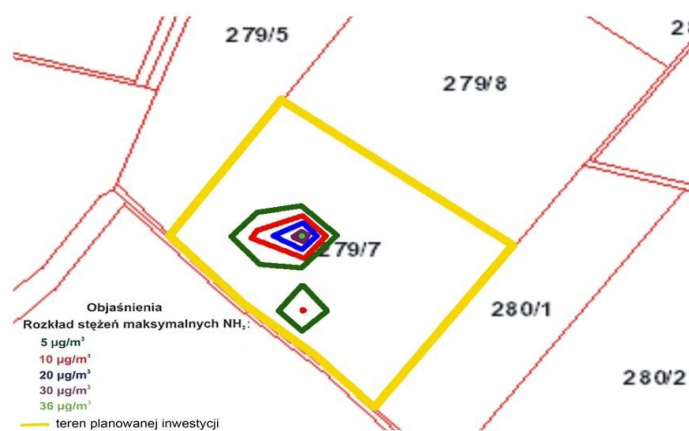
Emisja siarkowodoru wskutek eksploatacji projektowanej kompostowni nie przekroczy dopuszczalnych stężeń siarkowodoru w powietrzu. Obszarowy za-

się oddziaływania w odniesieniu do wartości stężeń przedstawiono na rys. 4 i rys. 5.



Rys. 2. Rozkład stężeń średniorocznych  $\text{NH}_3$  w projektowanej kompostowni (skala 1:5000)

Fig. 2. The distribution of average annual concentration of  $\text{NH}_3$  in the proposed composting plant (scale 1:5000)



Rys. 3. Rozkład stężeń maksymalnych  $\text{NH}_3$  w projektowanej kompostowni (skala 1:5000)

Fig. 3. The distribution of the peak concentration of  $\text{NH}_3$  in the proposed composting plants (scale 1:5000)



Rys. 4. Rozkład stężeń średniorocznych H<sub>2</sub>S w projektowanej kompostowni (skala 1:5000)

Fig. 4. The distribution of average annual concentration of H<sub>2</sub>S in the proposed composting plants (scale 1:5000)



Rys. 5. Rozkład stężeń maksymalnych H<sub>2</sub>S w projektowanej kompostowni (skala 1:5000)

Fig. 5. The distribution of the peak concentration of H<sub>2</sub>S in the proposed composting plants (scale 1:5000)

## PODSUMOWANIE

Analiza dokonana przez autorów wykazała, że przy zastosowaniu projektowanych rozwiązań technologicznych emisja zanieczyszczeń do powietrza z kompostowni osadów ściekowych w Zbarzewie nie przekroczy wartości dopuszczalnych określonych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87). Przyczyni się do tego zastosowanie specjalnych plandek, które zabezpieczą składowane osady ściekowe przed działaniem czynników atmosferycznych oraz zredukują rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń do atmosfery.

Progi wyczuwalności zapachowej, wynoszące odpowiednio 18 mg/m<sup>3</sup> dla amoniaku oraz 0,2 mg/m<sup>3</sup> dla siarkowodoru, również nie zostaną przekroczone.

Z przeprowadzonych badań wynika, że przy zachowaniu odpowiednich reżimów technologicznych możliwa jest realizacja inwestycji, które wbrew powszechnym opiniom nie musi oznaczać degradacji środowiska.

## LITERATURA

1. DYMACHEWSKI Z. 2011. Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. PZTTS o/Wielkopolski. Poznań.
2. HOFF S., HORNBuckle K., THORNE P., BUNDY D., O'SHAUGHNESSY P. 2002. Iowa concentrated operations air quality study. Iowa State University and The University of Iowa Study Group.
3. JĘDRczAK A. 2008. Biologiczne przetwarzanie odpadów. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa.
4. MALEJ J. 2004. Odpady i osady ściekowe. Charakterystyka – unieszkodliwianie – zagospodarowanie. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej. Koszalin.
5. OGUNLAJA O. 2009. Measurement of Air Pollutant Emissions from a Confined Poultry Facility. Utah State University.
6. PRZYWARSKA R., KOTOWSKI W. 2003. Podstawy odzysku, recyklingu i unieszkodliwiania odpadów. WSEiSA Bytom.
7. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 26 stycznia 2010 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. z 2010 r., Nr 16, poz. 87).
8. SADECKA Z. 2013. Toksyczność w procesie beztlenowej stabilizacji komunalnych osadów ściekowych. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska Polskiej Akademii Nauk vol. 105. Zielona Góra.
9. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. z 2013 r., poz. 21, z późn. zm.).



**MODELLING OF THE SPREAD OF POLLUTANTS  
IN THE AIR ON THE EXAMPLE OF THE PROPOSED  
SEWAGE SLUDGE COMPOSTING FACILITY**

*S u m m a r y*

*A method of assessment of ambient air pollution due to sewage sludge composting activities. The assessment was done by identifying the sources of emissions, an indication of the types and amounts of pollutants from various sources and to determine the maximum concentrations of pollutants, and the frequency of crossing in relation to the reference value or maximum levels of substances in the environment. Subject implemented on the example of the proposed composting of sewage sludge in Zbarzewo (province Greater). The analysis showed no abnormal concentrations of pollutants in the area of the proposed project.*

Key words: air pollution, composting plant, hydrogen sulfide, ammonium