

## ZAPACHOWA UCIAŹLIWOŚĆ OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW KOMUNALNYCH

JOANNA KOŚMIDER, BARTOSZ WYSZYŃSKI

Politechnika Szczecińska, Instytut Inżynierii Chemicznej i Procesów Ochrony Środowiska,  
Pracownia Zapachowej Jakości Powietrza, Aleja Piastów 42, 71-065 Szczecin

Keywords: sewage treatment, odours emission, odours dispersion, field inspections.

### ODOUR NUISANCE OF THE MUNICIPAL SEWAGE TREATMENT PLANT

Field measurements of the near-ground odorant concentrations were made in surrounding of the mechanical sewage treatment plant with separated digestive chamber. The concentrations downwind the pollutants plume in several different meteorological situations were the basis for the estimations by a process of trial and error. The estimations encompassed the total emission of odorants and emission rates related to the volume of the purified sewage, to the amount of the removed pollutants and to the area of the unorganized emission sources during the autumn. Parallel research concerning other seasons and different surface sources of odorants are planned.

#### Streszczenie

Wykonano terenowe pomiary przygruntowych stężeń odorantów w otoczeniu mechanicznej oczyszczalni ścieków z wydzieloną komorą fermentacyjną. Na podstawie stężeń w smudze zanieczyszczeń powietrza w kilku różnych sytuacjach meteorologicznych oszacowano metodą prób i błędów łączną emisję odorantów oraz wskaźniki emisji odniesione do jednostki objętości oczyszczanych ścieków, ilości usuwanych zanieczyszczeń i powierzchni źródeł emisji niezorganizowanej w okresie jesiennym. Projektowane są analogiczne badania dotyczące innych sezonów oraz innych powierzchniowych źródeł odorantów.

#### WPROWADZENIE

Rozbudowa systemu oczyszczalni ścieków jest konieczna, napotyka jednak zdecydowany opór mieszkańców otoczenia inwestycji. Jedną z przyczyn protestów jest spodziewana uciążliwość zapachu planowanych obiektów.

Uciążliwość zapachu wielu istniejących oczyszczalni jest znaczna, czego przyczyną jest bardzo często prowadzenie procesu oczyszczania ścieków w spo-

sób niewłaściwy. Ludzie narażeni na tego rodzaju uciążliwości często proszą o interwencje, kierując swoje skargi do stacji sanitarno-epidemiologicznych, inspektoratów ochrony środowiska, wydziałów ochrony środowiska urzędów wojewódzkich i innych adresatów. W latach 1996–1997 stwierdzono [13], że wśród 2402 skarg ludności na jakość środowiska 9% dotyczy uciążliwości zapachu nieprawidłowo gromadzonych nieczystości płynnych i źle pracujących systemów kanalizacyjno-ściekowych. Grupa obejmująca dodatkowo skargi na uciążliwość składowisk odpadów i oczyszczalni ścieków komunalnych stanowi około 15% całego zbioru.

Zgodnie z rozporządzeniami Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, obowiązującymi od roku 1998 [10, 11] analiza skutków inwestycji, poprzedzająca decyzje dotyczące lokalizacji nowych oczyszczalni ścieków, powinna obejmować prognozę zasięgu uciążliwości zapachu. Opracowanie prognozy nie jest łatwe – brakuje jednoznacznych informacji o rzeczywistej uciążliwości istniejących obiektów podobnego typu lub o wskaźnikach emisji odorantów odniesionych na przykład do jednostki objętości ścieków oczyszczanych wybraną metodą.

Podjęmowane są próby zastąpienia wskaźników emisji odorantów – mieszanin związków o uciążliwym zapachu – wskaźnikami emisji wybranych związków, których stężenie może być bez trudu monitorowane. Za „związek wskaźnikowy” bywa uznawany na przykład siarkowodór [3, 4] lub dwutlenek węgla [14]. Jednoznaczne potwierdzenie założenia, że stężenia  $H_2S$  lub  $CO_2$  są skorelowane z łącznym stężeniem odorantów lub intensywnością zapachu, wymaga wykonania wielu równoczesnych analiz ilościowych i odorymetrycznych. Wyniki takich badań nie były dotychczas publikowane. Wydaje się prawdopodobne, że ich efekty nie mogą być jednoznaczne – tym samym ilościom  $CO_2$  i  $H_2S$  mogą towarzyszyć różne ilości pozostałych lotnych produktów biodegradacji związków organicznych. O wyraźnych zmianach rodzaju i intensywności zapachu mieszaniny mogą decydować bardzo małe zmiany stężeń śladowych zanieczyszczeń o najniższych progach węchowej wyczuwalności. Orientacyjne informacje o rodzaju zanieczyszczeń powietrza nad powierzchnią ścieków, zakresie zmienności ich stężeń i progach wyczuwalności zestawiono w tabeli 1 [1, 2, 4].

Zespół Pracowni Zapachowej Jakości Powietrza (Politechnika Szczecińska) konsekwentnie preferuje oznaczanie emisji zapachowo uciążliwych zanieczyszczeń powietrza i ich stężeń przygruntowych bezpośrednimi metodami odorymetrycznymi (węchowymi) [7, 8].

W latach 1990–2000 grupy pracowników i studentów wielokrotnie wykonywały sensoryczne pomiary emisji odorantów oraz terenowe oceny uciążliwości zapachu gazów odlotowych dla mieszkańców otoczenia emitatorów. Wykazano, że zapachowa uciążliwość emitatorów punktowych może być przewidywana z wykorzystaniem ogólnie stosowanych modeli rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza [5, 6, 12]. Emisję „typowych” zanieczyszczeń – podczas rutynowych obliczeń wyrażaną w miligramach określonego związku na sekundę,

Tabela 1. Stężenie zanieczyszczeń powietrza nad powierzchnią ścieków komunalnych  
Air pollutants concentrations above the surface of the municipal sewage

Substancja Substance	Stężenie Concentration $S$ [ppm] [4]	Próg węchowej wyczuwalności Odour detection threshold $SPW$ [ppm] [1,2]	Liczba jednostek zapachowych Number of odour units $LJZ = S/SPW^*$ [jz/m <sup>3</sup> ]
siarkowodor hydrogen sulphide	$1,1 \cdot 10^{-3} \pm 0,78$	0,008; 0,018	$0,09 \pm 65$
metanotiol methanotiol	$1 \cdot 10^{-4} \pm 0,55$	0,002; 0,001	$0,07 \pm 393$
etanotiol ethanotiol	$1,6 \cdot 10^{-5} \pm 7,4 \cdot 10^{-2}$	0,00076; 0,0011	$0,011 \pm 85$
n-propanotiol n-propanotiol	$7,5 \cdot 10^{-5} \pm 1,6 \cdot 10^{-3}$	0,001	$0,075 \pm 1,6$
n-butanotiol n-butanethiol	$8,2 \cdot 10^{-4} \pm 6 \cdot 10^{-3}$	0,00097; 0,0014	$0,68 \pm 5$
sulfid dimetylowy dimethyl sulphide	$1,5 \cdot 10^{-3} \pm 2 \cdot 10^{-2}$	0,0023	$0,65 \pm 8,7$
sulfid dietylowy diethyl sulphide	$2,5 \cdot 10^{-4} \pm 6 \cdot 10^{-4}$	0,004	$0,063 \pm 0,15$
disulfid dietylowy diethyl disulphide	$5,4 \cdot 10^{-5}$	0,00043	0,013
amoniak ammonia	$1,9 \cdot 10^{-2} \pm 5,5$	5,2; 5,75	$0,003 \pm 1$
metyloamina methylamine	3,3	3,2; 0,02	13,2
trimetyloamina trimethylamine	1,7	0,00044; 0,002	1810
pirydyna pyridine	$1,3 \cdot 10^{-2} \pm 0,82$	0,17; 0,084	$0,11 \pm 6,8$
indol indole	brak danych	0,000032	*
skatol skatole	$7,5 \cdot 10^{-8} \pm 1,9 \cdot 10^{-2}$	0,000565	$10^{-4} \pm 33,6$
etanamid (acetamid) acetamide	brak danych	60	*
kwas butanowy (masłowy) butyric acid	$2,8 \cdot 10^{-4} \pm 5,6 \cdot 10^{-4}$	0,004	$0,07 \pm 0,14$
kwas pentanowy (walerianowy) n-pentanoic acid	$6 \cdot 10^{-4}$	0,005	0,12
fenol phenol	$4,7 \cdot 10^{-2} \pm 0,65$	0,040; 0,109	$0,71 \pm 9,9$
p-krezol p-cresol	$4,7 \cdot 10^{-4}$	0,0018	0,26

\* Iloraz średnich geometrycznych ze skrajnych wartości przedziału  $S$  [ppm] oraz obu wartości  $SPW$  [ppm] zaczerpniętych z literatury.

\* Quotient of the geometric means of the  $C$  (concentration, ppm) interval extreme values and both  $TDC$  (threshold detection concentration, ppm) values taken from the literature.

$E$  [mg/s] – należy w tym wypadku zastąpić łączną emisją wszystkich odorantów,  $EO$  [jz/s] (jednostek zapachowych na sekundę). Wynikiem obliczeń są przygruntowe stężenia odorantów odniesione do 30 minut – liczba jednostek zapachowych,  $LJZ_{30}$  [jz/m<sup>3</sup>] – oraz częstości przekroczeń w skali roku stężenia progowego węchowej wyczuwalności i stężeń odpowiadających kolejnym stopniom skali intensywności zapachu (słaby, wyraźny, mocny).

Badania zapachowej uciążliwości wytwórni kwasu fosforowego pozwoliły wykazać, że obliczeniowo przewidywana częstość przekroczeń w skali roku granicznego stężenia  $LJZ_{30} = 0,1$  jz/m<sup>3</sup> (1/10 stężenia progowego) w przybliżeniu odpowiada częstości występowania zapachu, określonej metodą ankietowego sondażu opinii mieszkańców otoczenia zakładu. Weryfikacja prognozy dotyczącej przygruntowych stężeń odorantów w otoczeniu wytwórni nie została zakończona. Realizacja obszernego programu systematycznych kilkuletnich pomiarów stężeń przygruntowych, umożliwiającego określenie rzeczywistych wartości percentyla 99,8  $LJZ_{30}$  w różnych punktach siatki pomiarowej, przekroczyła możliwości zespołu. Efekty zrealizowanej części programu dostarczyły jednak częściowego potwierdzenia prognozy opracowanej na podstawie pomiarów emisji [5, 9].

Opracowane metody pomiarów liczby jednostek zapachowych oraz interpretacji wyników komputerowych symulacji rozprzestrzeniania się odorantów zostały wykorzystane podczas ocen zapachowej uciążliwości mechanicznej oczyszczalni ścieków. Na podstawie wyników terenowych pomiarów stężeń przygruntowych w kilku różnych sytuacjach meteorologicznych oszacowano łączną emisję odorantów oraz wskaźniki emisji odniesione do jednostki objętości oczyszczanych ścieków, ilości usuwanych zanieczyszczeń i powierzchni źródeł emisji niezorganizowanej.

## OBIEKT BADAŃ

Badania dotyczyły zapachowej uciążliwości mechanicznej oczyszczalni, w której oczyszcza się średnio 12 000 m<sup>3</sup> ścieków komunalnych na dobę (przepustowość projektowa: 30 000 m<sup>3</sup>/24 h).

Do oczyszczalni doprowadzane są ścieki o pH 7,12; ChZT 1300 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup> i BZT<sub>5</sub> 980 mg O<sub>2</sub>/dm<sup>3</sup>, zawierające około 1000 mg/dm<sup>3</sup> zawiesiny ogólnej, 80 mg N/dm<sup>3</sup> i 14 mg P/dm<sup>3</sup>. Ścieki są kierowane do przepompowni z kratami łukowymi, a następnie piaskownika trójkomorowego i osadników wstępnych. W celu uniknięcia „zagniwania” osadu – zbyt długo przetrzymywanego w osadnikach – wykorzystywane są tylko trzy spośród sześciu dostępnych osadników o pojemności czynnej 640 m<sup>3</sup> każdy i eksploatacyjnej przepustowości 5500 m<sup>3</sup>/24 h.

Ścieki opuszczające osadniki są odprowadzane, poprzez kanał zbiorczy i rurociąg podwodny, do odbiornika (głowica wylotowa jest umieszczona w dnie środkowego nurtu rzeki). Przy wylocie kanału zbiorczego pH wynosi

około 6,6, ChZT 580 mg  $O_2/dm^3$  i BZT<sub>5</sub> 380 mg  $O_2/m^3$ . Zawierają około 100–120 mg/ $dm^3$  zawiesiny ogólnej, 54–58 mg  $N/dm^3$  i 6,1–6,5 mg  $P/dm^3$ .

Osady o uwodnieniu 97,5% są poddawane zagęszczaniu do poziomu 95,0% w dwóch cylindrycznych zbiornikach żelbetowych o przepustowości 5000–7000 kg/24 h w przeliczeniu na suchą masę. Osady zagęszczone kieruje się do wydzielonej komory fermentacyjnej o całkowitej pojemności użytkowej 3500  $m^3$ . Nominalne obciążenie komory substancją organiczną wynosi 3  $kg/m^3 \cdot 24$  h. Fermentację prowadzi się w temperaturze 34–35°C (nominalny czas fermentacji: 15 dób). Otrzymywany biogaz jest gromadzony w standardowym zbiorniku teleskopowym (TZM-6) o pojemności 2000  $m^3$ . Jest spalany w kotłowni gazowej (ogrzewanie budynków i komór fermentacyjnych) oraz – okresowo – w pochodni o wysokości 9 metrów.

Przefermentowane osady są kierowane do wirówek o wydajności 2\*20  $m^3/h$  (HUMBOLDT S3-01), a następnie układane w pryzmy o wysokości do 2 metrów na składowisku o powierzchni 3300  $m^2$ . W porównaniu z osadami składowanymi bez wcześniejszej fermentacji z odzyskiem biogazu (w innych oczyszczalniach) charakteryzują się znacznie mniej uciążliwym zapachem (ze względu na intensywność i jakość hedoniczną).

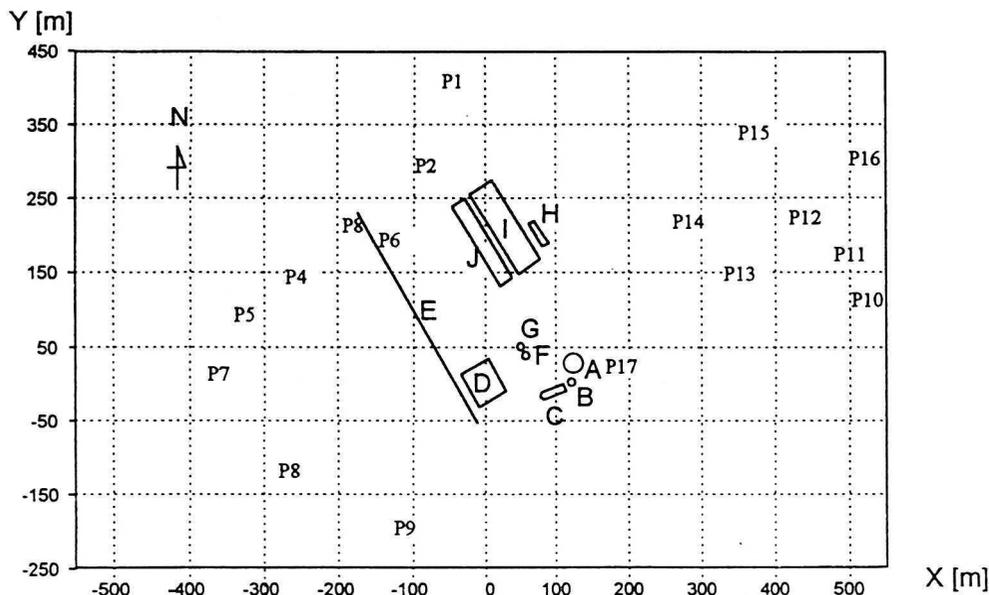
Poza składowiskiem przefermentowanego i odwodnionego osadu na terenie oczyszczalni znajduje się kryte poletko suszenia osadu (21 kwater o łącznej powierzchni 4500  $m^2$ ), wykorzystywane jako miejsce awaryjnego odwadniania osadów w przypadku wyłączenia wirówek, składowania osadów ciekłych dowożonych taborem asenizacyjnym oraz magazynowania i kompostowania osadu odwodnionego.

## METODYKA POMIARÓW

Oznaczano intensywność zapachu powietrza na kilkunastu obszarach kontrolnych znajdujących się w odległości do 600 metrów od oczyszczalni. Ich położenie względem najważniejszych źródeł odorantów przedstawiono na rysunku 1.

Przed rozpoczęciem pomiarów obserwowano zmiany kierunku wiatru, określając obszar leżący w zasięgu smugi zanieczyszczeń (wybór punktów kontrolnych leżących w zasięgu smugi zanieczyszczeń). Jednocześnie wykonywano pomiary prędkości wiatru i temperatury oraz określano stan pionowej równowagi atmosfery (obserwacja kształtu smug dymów).

Pomiary wykonywał czteroosobowy zespół ekspertów. Stosowano skalę intensywności zapachu (I): 0 – niewyczuwalny, 1 – bardzo słaby, ledwo wyczuwalny, 2 – wyraźny, 3 – mocny, chwilami bardzo mocny. Zapach określano w okresach 5-minutowych (lub 3-minutowych), notując oceny, niezależnie od siebie, co 15 sekund. Na podstawie zbioru osiemdziesięciu (lub czterdziestu ośmiu) ocen indywidualnych określano intensywność średnią w pięciominutowym okresie kontroli ( $I_{5-min}$ ) i chwilową maksymalną ( $I_{5,s}$ ). Dodatkowo



Rys. 1. Rozmieszczenie obszarów kontrolnych (P1, P2, P3...) w otoczeniu emitorów odorantów, znajdujących się w oczyszczalni ścieków: A – pompownia, B – komora wylotowa pompowni, C – piaskownik, D – osadniki, E – kanał, F, G – zagęszczacze osadu, H – hala wirówek, I, J – składowiska osadu

Location of the control areas (P1, P2, P3...) in the surroundings of the odorant emitters situated in the sewage treatment plant: A – sewage pumping station, B – outlet chamber of the sewage pumping station, C – sand trap, D – sedimentation tank, E – sewer, F, G – sludge concentrators, H – sludge centrifuges station, I, J – sludge sites

obliczano procentowy udział opinii „zapach jest wyczuwalny” (% tak) oraz „zapach jest co najmniej wyraźny” (% 2+3) [8].

Stężenia odorantów – średnie i maksymalne w okresie kontroli liczby jednostek zapachowych,  $LJZ_{5-min}$  i  $LJZ_{5-s}$  – obliczano, wykorzystując prawo Webera-Fechnera:

$$I = k \cdot \log LJZ.$$

W celu wyznaczenia empirycznego współczynnika Webera-Fechnera ( $k$ ) pobrano próbkę bardzo zanieczyszczonego powietrza (bezpośrednio z nad powierzchni ścieków). Próbkę rozcieńczano w różnym stopniu czystym, bezwonnym powietrzem. Intensywność zapachu każdej z rozcieńczonych próbek oznaczano natychmiast po ich przygotowaniu. Oceny wykonywał ten sam czteroosobowy zespół, korzystając z tej samej skali intensywności zapachu. Współczynnik Webera-Fechnera wyznaczono, aproksymując wyniki ocen równaniem:

$$I_R = m - k \cdot \log R,$$

gdzie:  $I_R$  – intensywność zapachu próbki po  $R$ -krotnym rozcieńczeniu czystym powietrzem (średnia z niezależnych opinii wszystkich oceniających),

$R$  – rozcieńczenie: objętość próbki po rozcieńczeniu: objętość próbki nierozcieńczonej,  $m$  – współczynnik przesunięcia prostej  $I_R = f(\log R)$  określający intensywność zapachu próbki nierozcieńczonej. Wyznaczono wartość:  $k = 1,85$ , która była zgodna z wyznaczonymi wcześniej w innych obiektach podobnego typu (pomiaru nie powtarzano).

Zespołowe oceny intensywności zapachu i równanie:  $I = 1,85 \cdot \log \text{LJZ}$  wykorzystano dodatkowo do oszacowania zorganizowanej emisji odorantów (gazy wentylacyjne z pompowni i hali wirówek).

## METODY OBLICZEŃ

Stężenie odorantów w otoczeniu oczyszczalni oraz stężenia emisyjne (określane w wypadkach emisji zorganizowanej) obliczano, korzystając z zależności:

$$\text{LJZ} = 10^{I/1,85}$$

Obliczone wartości chwilowe maksymalne w okresie kontroli ( $\text{LJZ}_{5-s}$ ) wykorzystano do oszacowania stężeń średnich odniesionych do trzydziestu minut ( $\text{LJZ}_{30-\text{min}}$ ), przyjmując, że [6]:

$$\text{LJZ}_{30-\text{min}} \approx 0,1 \cdot \text{LJZ}_{5-s}$$

Wartości  $\text{LJZ}_{30-\text{min}}$ , wyznaczone w różnych sytuacjach meteorologicznych, wykorzystano do oszacowania całkowitej emisji odorantów z obiektów oczyszczalni. W tym celu wykonano komputerowe symulacje rozprzestrzeniania się odorantów z dziesięciu źródeł (Rys. 1): dwóch emitatorów punktowych (pompownia ścieków i wentylacja hali wirówek) i ośmiu źródeł powierzchniowych (komora wylotowa pompowni, piaskownik, osadniki, kanał, zagęszczacze i składowiska osadu). Problem zapachowej uciążliwości kotłowni został pominięty. Zapach spalin uznano za znacznie słabszy i mniej nieprzyjemny od zapachu gazów emitowanych z pozostałych źródeł.

Zorganizowaną emisję odorantów ze źródeł punktowych obliczono na podstawie natężenia przepływu gazów wentylacyjnych i emisyjnego stężenia  $\text{LJZ}$  [ $\text{jz}/\text{m}^3$ ]. W odniesieniu do źródeł powierzchniowych arbitralnie przyjęto, że:

– emisja może być obliczona jako iloczyn powierzchni przez jednostkowy strumień odorów;  $SJ$  [ $\text{jz}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ],

– stosunek strumieni odorów z jednostki powierzchni przefermentowanego osadu, świeżego osadu oraz ścieków – oszacowany na podstawie intensywności zapachu odpowiednich próbek – wynosi:  $SJ_{I,J} : SJ_{F,G} : SJ_{B-E} = 1 : 1,5 : 2$ ,

– temperatura powietrza bezpośrednio nad powierzchnią ścieków i osadów jest o 5 stopni wyższa od temperatury przyziemnej masy powietrza (w dniach pomiarów – odpowiednio: 290 i 285 K).

Całkowitą emisję z oczyszczalni oszacowano metodą prób i błędów – jako wartość najlepiej odpowiadającą stężeniom przygruntowym w wybranych sytuacjach meteorologicznych. Słuszność różnych założeń dotyczących emisji sprawdzano metodą komputerowej symulacji rozprzestrzeniania się odoran-

tów z zastosowaniem programu stosowanego do rutynowych obliczeń stanu zanieczyszczenia powietrza [12]. Podczas obliczeń wykorzystywano możliwość wprowadzania – zamiast rocznej lub sezonowej róży wiatrów – parametrów meteorologicznych określonego dnia pomiarów.

Jednocześnie z emisją odorantów oszacowano jednostkowe strumienie odniesione do jednego metra kwadratowego powierzchni ścieków i osadów ( $SJ$  [ $\text{jz}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ]). Korzystając z informacji o obciążeniu oczyszczalni oraz o różnicy między zawartością „zawiesiny ogólnej” na wlocie i wylocie, obliczono wskaźniki emisji odorantów odniesione do jednego metra sześciennego oczyszczanych ścieków i jednego grama usuwanych zawiesin.

### WYNIKI POMIARÓW I OBLICZEŃ

Rezultaty terenowych kontroli intensywności zapachu zestawiono w tabeli 2 wraz z obliczonymi wartościami przygruntowych stężeń odorantów:  $LJZ_{5-s}$ ,  $LJZ_{5-min}$  i  $LJZ_{30-min}$ .

Próby oszacowania łącznej emisji odorantów z terenu oczyszczalni rozpoczęto od określenia wielkości emisji zorganizowanej. Wykorzystując zmierzoną wartość współczynnika Webera-Fechnera ( $k = 1,85$ ) oraz informacje o natężeniu emisji i intensywności zapachu gazów wentylacyjnych z pompowni ( $V_A = 6\text{m}^3/\text{s}$ ,  $I_A = 4$ ) i stacji wirówek ( $V_H = 2\text{m}^3/\text{s}$ ,  $I_H = 2$ ), obliczono odpowiednie wartości emisji  $E_A$  i  $E_H$ :

$$E_A = V_A [\text{m}^3/\text{s}] * LJZ_A [\text{jz}/\text{m}^3] = V_A * 10^{I_A/k} = 6 * 10^{4/1,85} = 870 \text{ jz/s},$$

$$E_H = V_H [\text{m}^3/\text{s}] * LJZ_H [\text{jz}/\text{m}^3] = V_H * 10^{I_H/k} = 12 * 10^{2/1,85} = 144 \text{ jz/s}.$$

Wykorzystując założenie o stosunku strumieni odorantów z różnych źródeł powierzchniowych, wyrażono emisję całkowitą jako funkcję strumienia  $SJ_I$  [ $\text{jz}/\text{s}\cdot\text{m}^2$ ] i powierzchni  $F$  [ $\text{m}^2$ ] ścieków (Rys. 1, źródła B–E) i osadów (Rys. 1, źródła F, G, I, J):

$$\begin{aligned} (E [\text{jz/s}] = E_A + SJ_B * F_B + SJ_C * F_C + SJ_D * F_D + SJ_E * F_E + SJ_F * F_F + SJ_G * F_G \\ + SJ_I * F_I + E_H + SJ_J * F_J) = E_A + E_H + SJ_I * (2 * F_B + 2 * F_C + 2 * F_D + 2 * F_E \\ + 1,5 * F_F + 1,5 * F_G + F_I + F_J) \\ E [\text{jz/s}] = 1014 + 4580 * SJ_I \end{aligned}$$

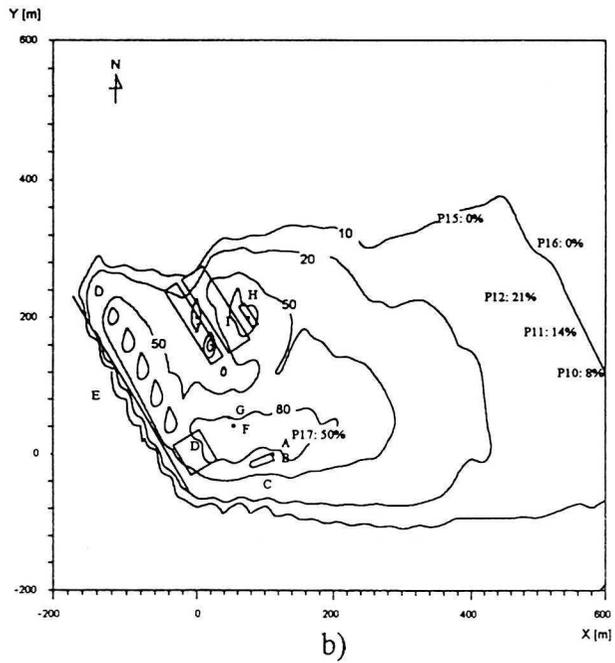
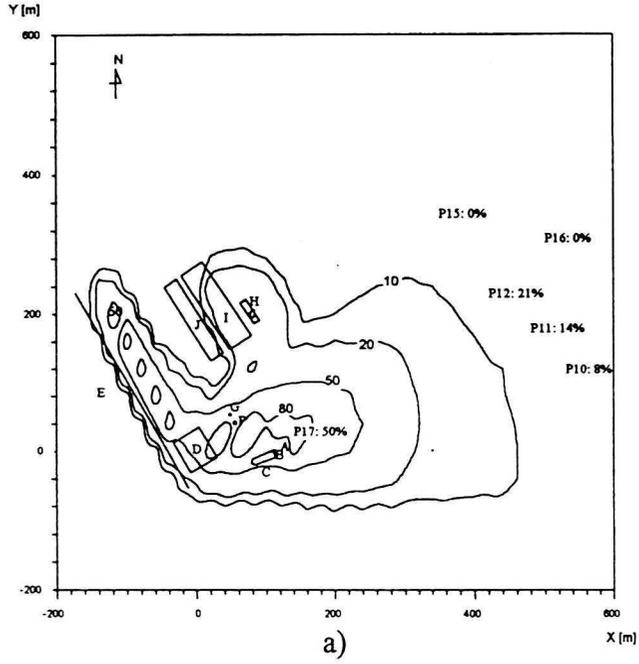
Przebieg poszukiwań wartości  $E$  i  $SJ_I$  najlepiej odpowiadających wynikom pomiarów terenowych (Tab. 2) ilustruje przykład przedstawiony na rysunku 2. Przykład dotyczy częstości występowania zapachu określanego jako wyraźny lub mocny ( $I \geq 2$ ) przy wietrze południowo-zachodnim o prędkości 2 m/s w i warunkach obojętnej – lekko stałej pionowej równowagi atmosfery (stan 4÷5).

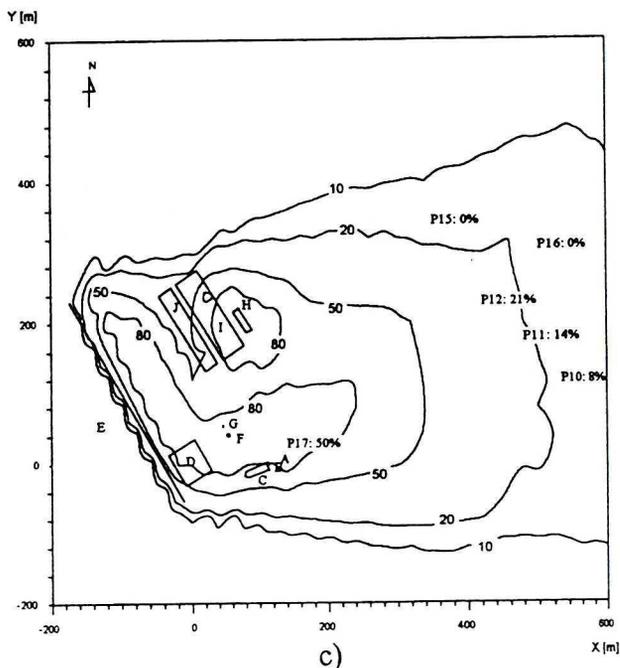
Tabela 2. Wyniki terenowych badań zapachowej jakości powietrza w otoczeniu oczyszczalni ścieków

Wyniki pomiarów wykonanych w ciągu 1 dnia są przedstawione w porządku chronologicznym

Results of the odour air quality field research in the surroundings of the sewage treatment plant (results of the measurements made during one day are presented in a chronological order)

Warunki meteorologiczne Meteorological conditions	Miejsce ocen (L – odległość od centrum osadników) Evaluation spots (L – distance from sediment trap centre)		Częstość występowania zapachu Frequency of odour occurrence		Intensywność zapachu Odour intensity		Liczba jednostek zapachowych Number of odour units [jz/m <sup>3</sup> ]		
	Symbol na rys. 1	L [m]	% tak yes	% 2+3	I <sub>5-s</sub> maks. max	I <sub>5-min</sub> średnia mean	LJZ <sub>5-s</sub> maks. max	LJZ <sub>5-min</sub> średnia mean	LJZ <sub>30-min</sub> średnia mean
SW (sektory 8–9) (sectors 8–9) 2 m/s stan 4–5 state 4–5 11°C	P15 P16 P10 P11 P12 P17	620 720 670 615 600 150	10 28 66 52 52 90	0 0 8 14 21 50	0,25 0,75 1,75 2,00 1,50 3,00	0,05 0,28 0,74 0,66 0,73 2,15	1,4 2,5 8,8 12,1 6,5 41,8	1,1 1,4 2,5 2,3 2,5 14,5	0,1 0,1 0,9 1,2 0,7 4,2
SE (sektor 4) (sector 4) 2–3 m/s stan 6 state 6 14°C	P1 P2 P3 P4 P5 P6	430 330 280 280 320 240	10 88 100 90 98 98	0 61 94 35 52 68	0,75 2,50 2,75 1,75 2,00 3,00	0,05 1,58 2,69 1,29 0,93 2,75	2,5 22,5 30,7 8,8 12,1 41,8	1,1 7,1 28,4 5,0 3,2 30,7	0,3 2,3 3,1 0,9 1,2 4,2
0–1,5 m/s (cisza/wszystkie sektory) (silence/all sectors) stan 1 state 1 12°C	P2 P4 P3 P7 P8 P9	330 280 280 370 300 200	5 10 50 0 0 0	0 0 15 0 0 0	0,25 0,25 1,25 0 0 0	0,05 0,05 0,65 0 0 0	1,4 1,4 4,7 < 1 < 1 < 1	1,1 1,1 2,2 < 1 < 1 < 1	0,1 0,1 0,5 < 0,01 < 0,01 < 0,01
SW (sektory 8–9) (sectors 8–9) 3 m/s stan 4–6 state 4–6 12°C	P11 P12 P14 P13 P12 P17	615 600 470 480 600 150	51 65 19 35 63 90	18 38 0 2 25 60	1,25 2,00 0,25 1,25 1,50 3,00	0,63 1,15 0,19 0,38 0,88 2,25	4,7 12,1 1,4 4,7 6,5 41,8	2,2 4,2 1,3 1,6 3,0 16,5	0,5 1,2 0,1 0,5 0,7 4,2





Rys. 2. Częstości rejestrowania opinii: „Zapach jest co najmniej wyraźny” ( $I \geq 2$ ) na tle izolinii przewidywanego czasu przekroczenia stężenia:  $LJZ_{30-\min} = 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ jz/m}^3$ ; Założenia dotyczące emisji: a)  $E = 20\,000 \text{ jz/s}$ , b)  $E = 30\,000 \text{ jz/s}$ , c)  $E = 40\,000 \text{ jz/s}$ ; Warunki meteorologiczne: wiatr: SW (sektory 8–9), 2 m/s, równowaga atmosfery: stan 4–5 (obojętna–lekką stałą)

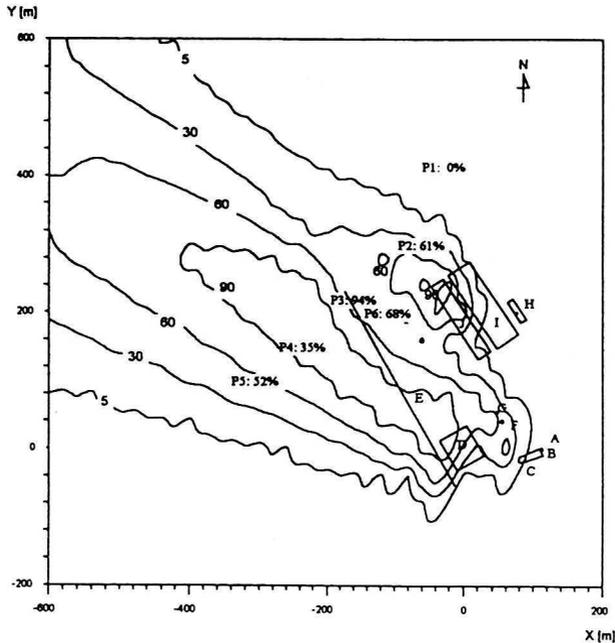
Frequencies of the recording of the opinion: „The odour is at least distinct” ( $I \geq 2$ ) against the background of the isolines of the predicted exceedance time of the concentration:  $TON_{30-\min} = 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ ou/m}^3$ ; Emission assumptions: a)  $E = 20\,000 \text{ ou/s}$ , b)  $E = 30\,000 \text{ ou/s}$ , c)  $E = 40\,000 \text{ ou/s}$ ; Meteorological conditions: wind: SW (sectors 8–9), 2 m/s, atmosphere stability: 6 (stable)

Wyniki wykonanych w tych warunkach pomiarów – częstości rejestrowania opinii  $I = 2$  lub  $I = 3$  (%2 + 3) – zamieszczono obok symbolu odpowiedniego obszaru (P). Izolinie określają czas przekroczeń stężenia odorantów:  $LJZ_{30} [\text{jz/m}^3] = 0,1 \cdot 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ jz/m}^3$ , przewidywany na podstawie trzech serii obliczeń:

	$E$ [kjz/s]	$SJ_{I,J}$ [jz/s*m <sup>2</sup> ]	$SJ_{F,G}$ [jz/s*m <sup>2</sup> ]	$SJ_{B-E}$ [jz/s*m <sup>2</sup> ]
Seria 1 (Rys. 2a)	20	4,15	6,23	8,3
Seria 2 (Rys. 2b)	30	6,30	9,45	12,6
Seria 3 (Rys. 2c)	40	8,50	12,75	17,0

Porównanie wyników pomiarów i obliczeń wskazuje, że całkowita emisja odorantów jest większa od 20 kjz/s i mniejsza od 40 kjz/s. Za najbardziej prawdopodobną wartość z zakresu  $30 \pm 10 \text{ kjz/s}$  ( $30 \text{ kjz/s} \pm \text{około } 30\%$ ) uznano  $E = 30 \text{ kjz/s}$ . Potwierdzenia tego wyboru dostarczyły porównania rzeczywistej

i przewidywanej częstości przekroczeń stężenia odpowiadającego ocenom „zapach słaby” ( $I = 1$ ) oraz podobne zestawienia wyników obliczeń i pomiarów dotyczących innych sytuacji meteorologicznych. Wybrane spośród nich – dotyczące częstości występowania zapachu o intensywności  $I = 2$  (wyraźny) – przedstawiono na rysunku 3 (wiatr 2–3 m/s, stan 6) i rysunku 4 (wiatr 1 m/s, stan 1).



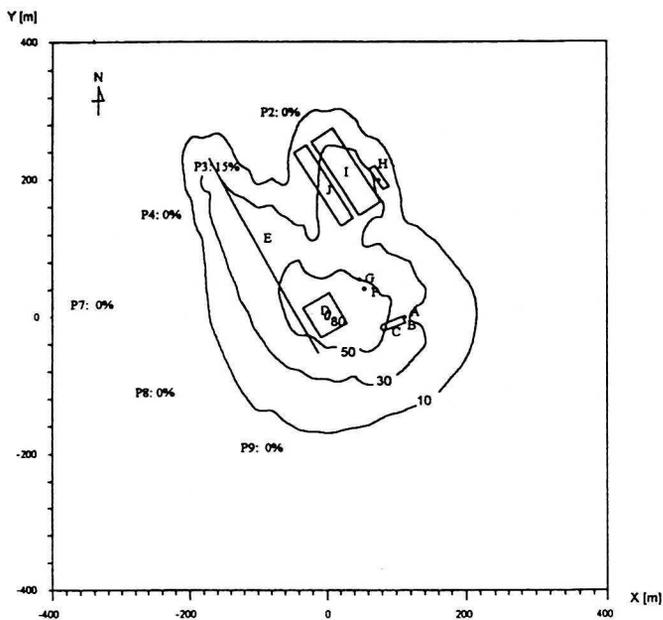
Rys. 3. Częstości rejestracji opinii: „Zapach jest co najmniej wyraźny” ( $I \geq 2$ ) na tle izolacji przewidywanego czasu przekroczeń stężenia:  $LJZ_{30-\min} = 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ jz/m}^3$ ; Założenie dotyczące emisji:  $E = 30\,000 \text{ jz/s}$ ; Warunki meteorologiczne: wiatr: SE (sektor 4) 2–3 m/s, równowaga atmosfery: stan 6 (stała)

Frequencies of the recording of the opinion: „The odour is at least distinct” ( $I \geq 2$ ) against the background of the isolines of the predicted exceedance time of the concentration:  $TON_{30-\min} = 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ ou/m}^3$ ; Emission assumption:  $E = 30\,000 \text{ ou/s}$ ; Meteorological conditions: wind: SE (sector 4), 2–3 m/s, atmosphere stability: 6 (stable)

Wymieniona wartość całkowitej emisji odorantów ( $E = 30 \text{ kJz/s}$ ) oraz odpowiadające jej strumienie z jednostki powierzchni ścieków i składowanych osadów (SJ) dotyczą oczyszczalni o obciążeniu  $12\,000 \text{ m}^3/24 \text{ h}$ , co odpowiada wartości średniej  $0,139 \text{ m}^3/\text{s}$ . Stosunek emisji do obciążenia może być traktowany jako orientacyjny wskaźnik emisji odorantów, odniesiony do jednego metra sześciennego oczyszczanych ścieków:

$$WE [\text{jz/m}^3] \approx 30 \text{ kJz/s} / 0,139 \text{ m}^3/\text{s} = 216 \text{ kJz/m}^3.$$

Ilość uwalnianych do powietrza lotnych produktów biodegradacji jest proporcjonalna nie tylko do ilości oczyszczanych ścieków. Zależy również od



Rys. 4. Częstości rejestrowania opinii: „Zapach jest co najmniej wyraźny” ( $I \geq 2$ ) na tle izolunii przewidywanego czasu przekroczenia stężenia:  $LJZ_{30\text{-min}} = 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ jz/m}^3$ ; Założenie dotyczące emisji:  $E = 30\,000 \text{ jz/s}$ ; Warunki meteorologiczne: cisza/wiatr  $1 \text{ m/s}$  (wszystkie sektory), równowaga atmosfery: stan 1 (silnie chwiejna)

Frequencies of the recording of the opinion: „The odour is at least distinct” ( $I \geq 2$ ) against the background of the isolines of the predicted exceedance time of the concentration:  $TON_{30\text{-min}} = 10^{2/1,85} = 1,2 \text{ ou/m}^3$ ; Emission assumption:  $E = 30\,000 \text{ ou/s}$ ; Meteorological conditions: calm/wind  $1 \text{ m/s}$  (all the sectors), atmosphere stability: 1 (strongly unstable)

stopnia ich zanieczyszczenia i skuteczności oczyszczania. W największym uproszczeniu można przyjąć, że emisja odorantów jest proporcjonalna do ilości usuwanej ze ścieków zawiesiny lub związków utleniających się (zmiana  $ChZT$  i  $BZT_5$ ). W badanym obiekcie ogólna ilość zawiesiny zmniejszała się o około  $880 \text{ g O}_2/\text{m}^3$ , co odpowiada ilości  $122 \text{ g/s}$ . Pozwala to oszacować emisję odorantów związaną z usuwaniem  $1 \text{ grama}$  zawiesiny:  $30 \text{ kJz/s} / 122 \text{ g/s} \approx 250 \text{ kJz/g}$ .

## WNIOSKI

1. Węchowe oznaczenia przygruntowych stężeń odorantów w smudze zanieczyszczeń z zespołów emitorów punktowych i powierzchniowych pozwalają oszacować – metodą prób i błędów – łączną emisję ( $E$  [ $\text{jz/s}$ ]) oraz strumienie z jednostki powierzchni ( $SJ$  [ $\text{jz/m}^2 \cdot \text{s}$ ]). Emisja ustalona może być oszacowana z dokładnością około  $30\%$  już po wykonaniu kilku serii zespołowych terenowych ocen intensywności zapachu w smudze w różnych – dokładnie określonych – warunkach meteorologicznych.

2. Dokładność oszacowania emisji odorantów metodą, o której mowa w punkcie 1, jest zależna przede wszystkim od prawidłowości określenia stanu równowagi atmosfery w chwili pomiarów terenowych. Wskazane jest wykonywanie tych pomiarów we współpracy ze stacjami prowadzącymi rutynowe sondáže atmosfery (kompletne badania aerologiczne).

3. Mechaniczna oczyszczalnia ścieków komunalnych (12 000 m<sup>3</sup>/24 h) z wydzieloną komorą fermentacji osadów emituje w okresie jesiennym (11 ÷ 150°C) około 30 000 jz/s, w tym: z powierzchni ścieków (piaskownik, osadniki) – około 13 jz/m<sup>2</sup>\*s, z powierzchni osadów przed fermentacją (zbiorniki odwadniania) – około 9 ÷ 10 jz/m<sup>2</sup>\*s, i z powierzchni osadów przefermentowanych (składowiska) – około 6 jz/m<sup>2</sup>\*s. Wskaźniki emisji odorantów – odniesione do jednostki objętości oczyszczanych ścieków i ilości usuwanej zawiesiny – wynoszą odpowiednio: 216 kJz/m<sup>3</sup> i 250 kJz/g. Określenie stopnia zapachowej uciążliwości oczyszczalni w skali roku wymaga wykonania podobnych oznaczeń w innych sezonach.

4. Zastosowana procedura pomiarów i obliczeń emisji odorantów umożliwia rozpoczęcie systematycznych badań zapachowej uciążliwości różnych typów oczyszczalni ścieków oraz takich powierzchniowych źródeł zanieczyszczeń powietrza, jak składowiska odpadów komunalnych, kompostownie, hałdy odpadów przemysłowych, osadniki ścieków przemysłowych i inne. Zgromadzenie odpowiednich wskaźników emisji ułatwi formułowanie planów zagospodarowania terenów.

## LITERATURA

- [1] Amoore J.E., E. Hautala: *Odor as an Aid to Chemical Safety*, J. of App. Toxicol., 3, 272–290 (1998).
- [2] Devos M., F. Patte, J. Rouault, P. Laffort, L.J. Van Gemert: *Standardized Human Olfactory Thresholds*, IRL Press at Oxford University Press, New York 1990.
- [3] Hławiczka S.: *Determination of odour nuisance range in the vicinity of municipal wastewater treatment plants on the basis of H<sub>2</sub>S emission*, Arch. Ochr. Środ., 1–2, 53–66 (1989).
- [4] Hławiczka S.: *Uciążliwość zapachowa jako element ocen oddziaływania na środowisko*, Wyd. Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993.
- [5] Kośmider J., B. Mazur-Chrzanowska: *Uciążliwość zapachowa, Terenowa weryfikacja wyników obliczeń komputerowych*, Arch. Ochr. Środ., 3–4, 7–21 (1998).
- [6] Kośmider J., B. Wyszyński: *Uciążliwość zapachowa. Prognozowanie wrażeń chwilowych*, Arch. Ochr. Środ., 2, 21–32 (2000).
- [7] Kośmider J.: *Problemy normalizacji oznaczania stężenia odorów, Normalizacja*, 1, 8–14 (2000).
- [8] Kośmider J.: *Uciążliwość zapachowa. Metodyka terenowych oznaczeń stężenia odorów w powietrzu na przykładzie fermi norek*, Arch. Ochr. Środ., 1–2, 19–32 (1998).
- [9] Mazur-Chrzanowska B.: *Zapachowa uciążliwość produkcji kwasu fosforowego*, praca doktorska (maszynopis), Politechnika Szczecińska, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Szczecin 1998.
- [10] *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 w sprawie określenia rodzajów inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska oraz wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko tych inwestycji*, Dz.U. Nr 93/1998, poz. 589.

- [11] *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 14 lipca 1998 w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać oceny oddziaływania na środowisko inwestycji nie zaliczonych do inwestycji szczególnie szkodliwych dla środowiska i zdrowia ludzi albo mogących pogorszyć stan środowiska, obiektów oraz robót zmieniających stosunki wodne*, Dz.U. Nr 93/1998, poz. 590.
- [12] *Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 3 września 1998 w sprawie obliczania stanu zanieczyszczenia powietrza dla źródeł istniejących i projektowanych*, Dz.U. Nr 122/1998, poz. 805.
- [13] Siwek U.: *Klasyfikacja źródeł uciążliwości zapachowej powietrza na podstawie analizy skarg ludności*, [in:] *Materiały V Międzynar. Symp.: Integrated Air Quality Control For Industrial And Commercial Sectors*, Wyd. Ekochem Szczecin, Międzyzdroje 1997, 291 – 301.
- [14] *Ustne informacje uzyskane w WIOŚ – Szczecin.*

Wpłynęło: 30 listopada 2000, zaakceptowano do druku: 25 stycznia 2001.