

# Ocena wpływu założeń dotyczących pracy systemu wentylacyjnego budynków inwentarskich na wyniki prognozy zapachowego oddziaływania

Assessment of the impact of assumptions regarding the ventilation system operation in livestock buildings on the results of odour impact forecasts

MAŁGORZATA LATZKE

DOI 10.36119/15.2025.12.22

Produkcja zwierzęca z natury wiąże się z emisją zapachową, jednak ze względu na charakter źródła tej emisji, zazwyczaj nie mają tu zastosowania metody "końca rury". W celu ograniczenia uciążliwości zapachowej, kluczowa jest właściwa lokalizacja ferm, przy wyborze której uwzględnia się wyniki prognozy zapachowego oddziaływania. Istotnym elementem takich prognoz jest sposób odwzorowania pracy systemu wentylacyjnego budynków inwentarskich. W literaturze brakuje wytycznych dotyczących akceptowalnego stopnia założeń upraszczających dotyczących pracy systemu wentylacyjnego, dla których wyniki prognozy są jeszcze wiarygodne. W artykule oceniono wpływ różnych założeń dotyczących pracy wentylacji na wyznaczenie obszarów uciążliwości zapachowej, analizując przypadek planowanej fermy trzody w Polsce. Porównano 33 warianty modelowania, różniące się sposobem określania trybów pracy wentylatorów. Wyniki wskazują, że kluczowe znaczenie ma całkowita wydajność wentylacyjna, a szczegóły konfiguracji wentylatorów są mniej istotne. Stwierdzono również, że jest dopuszczalne stosowanie maksymalnego uproszczenia opisu pracy systemu wentylacyjnego budynków inwentarskich, opartego na ciągłej pracy wszystkich wentylatorów ze stałą wydajnością, przy czym, aby zachować margines bezpieczeństwa, zalecono przyjmowanie wartości wydajności niższej niż nominalna.

*Słowa kluczowe: emisja zapachowa, budynek inwentarski, system wentylacyjny, modelowanie dyspersji zanieczyszczeń, tuczniaki, intensywność wymiany powietrza, uciążliwość zapachowa*

Animal production inherently involves odour emissions, but due to the nature of the source of these emissions, end-of-pipe methods are usually not applicable in this area. In order to reduce odour nuisance, it is crucial to select the right location for farms, taking into account the results of the odour impact forecast. An important element of such forecasts is the way in which the operation of the ventilation system in livestock buildings is represented. The literature lacks guidelines on the acceptable degree of simplifying assumptions regarding the operation of the ventilation system for which the forecast results are still reliable. The article assesses the impact of various assumptions regarding ventilation operation on the determination of odour nuisance areas, analysing the case of a planned pig farm in Poland. Thirty-three modelling variants were compared, differing in the way the fan operating modes were determined. The results indicate that the total ventilation efficiency is of key importance, while the details of the fan configuration are less important. It was also found that it is acceptable to use the maximum simplification of the description of the ventilation system of livestock buildings, based on the continuous operation of all fans at a constant capacity, while, in order to maintain a safety margin, it was recommended to assume a capacity lower than the nominal value.

*Keywords: odour emission, livestock building, ventilation system, air dispersion modelling, fattening pigs, ventilation intensity, odour nuisance*

## Wprowadzenie

W ostatnich dekadach obserwuje się dynamiczny rozwój wielkoprzemysłowych ferm zwierząt, które stały się fundamentem nowoczesnego rolnictwa. Jednak intensywna produkcja zwierzęca pociąga za sobą istotne konsekwencje środowiskowe i społeczne, w tym przede wszystkim związane z emisją zanieczyszczeń do atmosfery oraz uciążliwością zapachową [1,2].

Emisja zapachowa z budynków inwentarskich stanowi jedno z najczęściej zgłasza-

nych źródeł konfliktów pomiędzy mieszkańcami a inwestorami [3,4]. Produkcja zwierzęca z natury charakteryzuje się emisją związków odorowych, takich jak: amoniak, siarkowodór, merkaptany, indol, skatol czy lotne kwasy tłuszczowe, będących nieuniknionym efektem procesów metabolicznych zwierząt oraz rozkładu materii organicznej, obecnej w obiektach inwentarskich i systemach gospodarowania odchodami [5-6]. W celu ograniczenia emisji zapachowej standardem jest podejmowanie działań prewencyjnych, obejmujących m.in. dobór odpowiednio zbi-

lansowanej paszy oraz stosowanie dodatków paszowych, zmniejszających emisję m.in. amoniaku, siarkowodoru czy lotnych kwasów tłuszczowych już na etapie przemian metabolicznych u zwierząt [7]. Stosuje się również dodatki do gnojowicy lub obornika, które w zależności od mechanizmu działania, mogą obniżać pH, stabilizować mikroflorę lub wiązać gazy w strukturach sorpcyjnych, co w efekcie prowadzi do redukcji emisji związków odorowych [8]. Ponadto utrzymanie wysokich standardów higieny oraz optymalnej wilgotności w budynkach

inwentarskich, właściwe gospodarowanie gnojnicą lub obornikiem, a także odpowiednia wentylacja, ograniczają warunki do rozwoju bakterii bezludnych, odpowiedzialnych za powstawanie odorów [9]. Jednak pomimo stosowania szeregu działań prewencyjnych, emisja substancji zapachowych z obiektów inwentarskich jest zjawiskiem nieuniknionym i nie może zostać całkowicie wyeliminowana [10]. Z kolei tzw. metody „końca rury”, obejmujące technologie oczyszczania powietrza wentylacyjnego, są tu rzadko stosowane ze względu na charakter źródeł emisji, w tym przede wszystkim odprowadzany do atmosfery duży całkowity strumień powietrza wentylacyjnego i związane z tym duże koszty inwestycyjne oraz eksploatacyjne [11-12]. Kluczowym zatem narzędziem ochrony ludności przed uciążliwością zapachową obiektów hodowlanych jest ich racjonalna lokalizacja [13].

Racjonalna lokalizacja obiektów hodowlanych polega na uwzględnieniu uwarunkowań środowiskowych, przestrzennych i technicznych w procesie planowania inwestycji tak, aby ograniczyć ich uciążliwość zapachową. Podstawowym narzędziem wspomagającym wybór właściwej lokalizacji jest modelowanie dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu, które pozwala określić potencjalny zasięg oddziaływania fermy i dobrać optymalne położenie względem zabudowy mieszkaniowej i warunków meteorologicznych [14, 15].

Referencyjna metodyka modelowania dyspersji zanieczyszczeń w powietrzu [16] ustala jednolite zasady opisu źródeł emisji (zakresu danych wejściowych), pozyskiwania danych meteorologicznych i topograficznych oraz prowadzenia obliczeń, zapewniając porównywalność, powtarzalność i wiarygodność ocen zapachowego oddziaływania instalacji. Do przeprowadzenia obliczeń niezbędne jest – poza oszacowaniem wielkości emisji zapachowej z instalacji – podanie m.in. współrzędnych emitatorów, wysokości wylotów oraz parametrów wyrzutu, w tym prędkości przepływu, temperatury gazu oraz przekroju wylotu emitatora. Należy również uwzględnić rzeczywiste tryby pracy emitatorów poprzez podział roku na podokresy o stałych parametrach emisji. Podział ten opiera się na identyfikacji okresów, w których parametry, takie jak wielkość strumienia gazu odprowadzanego do atmosfery, prędkość wyrzutu, wielkość emisji i jej czas można uznać za względnie stałe i reprezentatywne. Liczba i długość podokresów są dobierane tak, aby zapewnić kompromis między dokładnością odwzorowania zmienności emisji a prostotą obliczeń modelowych. W przypadku budynków inwentarskich wydzielenie kilku reprezentatywnych podokresów emisji

w skali roku jest obciążone znaczną niepewnością ze względu na silną zależność emisji zapachowej od chwilowych warunków mikroklimatu (temperatura, wilgotność) oraz dynamicznie zmieniającej się wydajności systemu wentylacyjnego budynków inwentarskich, a także istotną dobową i sezonową zmienność emisji [17].

Poziom stężenia zapachowego w budynku inwentarskim – przy założeniu braku zanieczyszczeń – zależy zarówno od mikroklimatu panującego w budynku, jak i technologii produkcji, a także od wielkości i rodzaju obsady oraz wieku zwierząt i związanej z nim masy, przy czym tempo przyrostu masy nie jest liniowe. W praktyce wyodrębnienie podokresów reprezentatywnych z punktu widzenia wielkości emisji zapachowej jest determinowane dostępnymi w literaturze wskaźnikami emisji zapachowej dla danej technologii produkcji. Wskaźniki te zazwyczaj odnoszą się do sztuki hodowlanej lub jednostki masy, przy czym mogą być uśrednione dla roku lub reprezentatywne dla konkretnych warunków (np. lato, zima, koniec cyklu, konkretna grupa wiekowa itp.) [18].

Z kolei praca systemu wentylacyjnego (m.in. liczba wentylatorów pracujących w danej chwili oraz ich wydajność) zależy głównie od warunków meteorologicznych oraz potrzeb mikroklimatycznych zwierząt. Zimą intensywność wentylacji jest utrzymywana na minimalnym poziomie, aby ograniczyć straty ciepła i zachować odpowiedni mikroklimat wewnątrz budynku. W okresach przejściowych – wiosną i jesienią – systemy wentylacyjne budynków inwentarskich pracują w trybie umiarkowanym i dostosowują się dynamicznie do zmiennych warunków pogodowych. Latem natomiast wentylacja działa z maksymalną wydajnością, a podczas upałów – w celu skutecznego odprowadzania nadmiaru ciepła – często są uruchamiane dodatkowe wentylatory. Ponadto, poza sezonową zmiennością, może również występować duża zmienność w ciągu doby. Dlatego też idealne odwzorowanie w skali roku warunków emisji z budynku inwentarskiego jest niemożliwe i konieczne jest przyjęcie założeń upraszczających, dotyczących pracy systemu wentylacyjnego. W praktyce stosunkowo często są spotykane dwa podejścia. Pierwsze podejście zachowuje duży bufor bezpieczeństwa poprzez założenie, że emisja zachodzi 24h/dobę przez 365 dni w roku i jest na poziomie odpowiadającym sytuacji technologicznej, charakteryzującej się największą emisją (np. maksymalna obsada i końcowy etap tuczu). Drugie podejście polega na wyodrębnieniu kilku podokresów reprezentatywnych z punktu widzenia warunków pogodowych (zazwyczaj trzech: zima, lato i okres przejściowy), dla których

stosuje się rozróżnienie w warunkach meteorologicznych (poprzez zastosowanie odpowiedniej różnicy wiatrów) oraz intensywności wymiany powietrza i liczby pracujących wentylatorów. Niemniej jednak, niezależnie od podejścia, zdefiniowanie warunków emisji z budynków inwentarskich stanowi dużą trudność przy sporządzaniu prognoz zapachowego oddziaływania, ponieważ w literaturze przedmiotu brakuje informacji pozwalających ocenić, jaki wpływ na wyniki prognozy zapachowego oddziaływania ma stopień uproszczenia opisu pracy systemu wentylacyjnego budynku inwentarskiego.

Celem niniejszej pracy było częściowe wypełnienie tej luki poprzez określenie, czy stopień szczegółowości odwzorowania pracy systemu wentylacyjnego budynku inwentarskiego, a także czy przyjęta dla danego okresu obliczeniowego liczba aktywnych wentylatorów, ich konfiguracja oraz wydajność, mogą wpływać w stopniu znaczącym na określenie obszaru nadmiernej uciążliwości zapachowej budynku inwentarskiego.

## Metodyka badań

Badania przeprowadzono w oparciu o rzeczywisty przypadek przedsięwzięcia planowanego do realizacji na terenie jednej z polskich wsi, dla którego w ostatnim czasie toczyło się postępowanie administracyjne w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach. Przedmiotowe przedsięwzięcie obejmowało budowę jednego budynku inwentarskiego o obsadzie równej 198,7 DJP wraz z niezbędną infrastrukturą techniczną i drogową. W projektowanym budynku miał być prowadzony tuczą trzody chlewnej w sposób bezściółkowy na pełnym ruszcie, w cyklu otwartym (od wagi ok. 30 kg do ok. 115 kg), trwającym ok. 12 tygodni, a w ciągu roku miały mieć miejsce 4 cykle produkcyjne. Chlewnia miała być podzielona na trzy komory, a do każdej komory jednorazowo miało być wprowadzanych 473 warchlaków, przy czym zasiedlanie chlewni miało trwać trzy tygodnie (jedna komora na tydzień). W projektowanej chlewni miał być zastosowany system wentylacji mechanicznej, działający w funkcji temperatury zewnętrznej, obejmujący 18 wentylatorów dachowych o średnicy  $\varnothing$  63 cm i wydajności 10 800 m<sup>3</sup>/h każdy. Powietrze wentylacyjne miało być odprowadzane do atmosfery na wysokości 5,25 m.

Dla wyżej przedstawionego przypadku przeprowadzono modelowanie dyspersji zanieczyszczeń z zastosowaniem dwóch różnych podejść (warianty „A” i „B”). W obu wariantach obliczeń założono, że stężenie zapachowe w budynku inwentarskim rozkłada się równomiernie, a emisja zapachowa

z chlewni jest stała w danym okresie obliczeniowym i zachodzi w sposób ciągły przez cały czas trwania tego okresu.

W wariancie „A” przyjęto maksymalne uproszczenie, polegające na założeniu, że emisja zapachowa z chlewni zachodzi 24h/dobę przez 365 dni w roku i jest stała w ciągu roku. Wielkość tej emisji oszacowano dla maksymalnej obsady chlewni na końcowym etapie tuczu (1 419 szt. tuczników). Do obliczeń zastosowano wskaźnik emisji zapachowej wynoszący 450  $ou_E/s$  i odniesiony do 1000 kg masy tuczników na pełnym ruszcie. Zastosowany wskaźnik jest rutynowo używany do oceny zapachowego oddziaływania planowanych do budowy ferm trzody chlewnej w Danii [19]. Emisję zapachową z chlewni ( $q_{od,CH}$  [ $ou_E/s$ ]) wyznaczono jako iloczyn trzech wielkości: przyjętego wskaźnika, maksymalnej obsady chlewni, wyrażonej w DJP, oraz współczynnika przeliczeniowego wynoszącego 0,5, wynikającego z przeliczenia DJP na 1000 kg masy żywej.

W wariancie „B” przyjęto podejście bardziej szczegółowe, polegające na uwzględnieniu sezonowej zmienności emisji zapachowej, poprzez podzielenie roku na dwanaście podokresów, reprezentujących kolejne miesiące. Każdemu z podokresów przypisano identyczny czas trwania (730 h) oraz wielkość emisji zapachowej oszacowaną dla danego miesiąca. Aby zapewnić porównywalność wyników obu wariantów, do oszacowania całkowitej emisji zapachowej z chlewni ( $q_{od,CH}$ ) w poszczególnych miesiącach wykorzystano wielkość emisji obliczoną w wariancie „A”, traktując ją jako wartość średnioroczną. Wielkość emisji dla poszczególnych miesięcy obliczono poprzez pomnożenie udziału procentowego

**Tabela 1. Zestawienie danych literaturowych oraz wartości obliczonych w ramach oszacowania emisji zapachowej z chlewni dla wariantu „B”**

**Table 1. Summary of literature data and values calculated for estimating odour emissions from the pig house for variant „B”**

MIESIĄC	$F_{od}$ [20] [ $ou_E/s/kg$ ]	X [%]	$q_{od,CH}$ [ $ou_E/s$ ]
I	0,188	48,6	21 738
II	0,238	61,6	27 519
III	0,310	80,2	35 844
IV	0,583	150,8	67 410
V	0,421	108,9	48 679
VI	0,412	106,6	47 638
VII	0,476	123,1	55 038
VIII	0,642	166,1	74 232
IX	0,788	203,8	91 114
X	0,290	75,0	33 532
XI	0,315	81,5	36 422
XII	0,361	93,4	41 741
<b>ŚREDNIA ROCZNA</b>	<b>0,387</b>	<b>100</b>	<b>44 699</b>

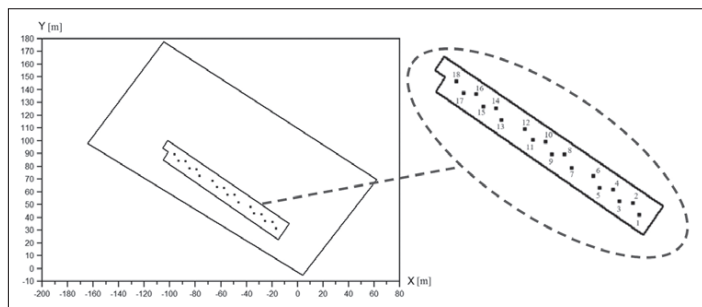
emisji dla danego miesiąca (X) przez przyjętą wartość emisji średniorocznej. To, jaką część wartości średniorocznej stanowi emisja reprezentatywna dla danego miesiąca, oszacowano na podstawie danych literaturowych pokazanych w tabeli 1, przedstawiających wskaźniki emisji zapachowej ( $F_{od}$ ) dla poszczególnych miesięcy, odniesione do masy tucznika chowanego na pełnym ruszcie. W tabeli 1 zestawiono również wyniki obliczeń zarówno udziału procentowego, jak i wartości emisji zapachowej dla poszczególnych podokresów.

Wszystkie symulacje komputerowe wykonano z zastosowaniem programu „Operat-FB” dla Windows v.8.3.1 firmy PROEKO Ryszard Samoć, wykorzystującego referencyjny model dyspersji zanieczyszczeń w atmosferze [16]. W obliczeniach zastosowano siatkę obliczeniową z krokiem 25 m, złożoną z 1927 punktów, i rozmieszczenie emitorów pokazane na rysunku 1. Obliczenia prowadzono na wysokości receptorów wynoszącej 1,5 m, odpowiadającej przeciętnej wysokości, na której znajduje się ludzki nos.

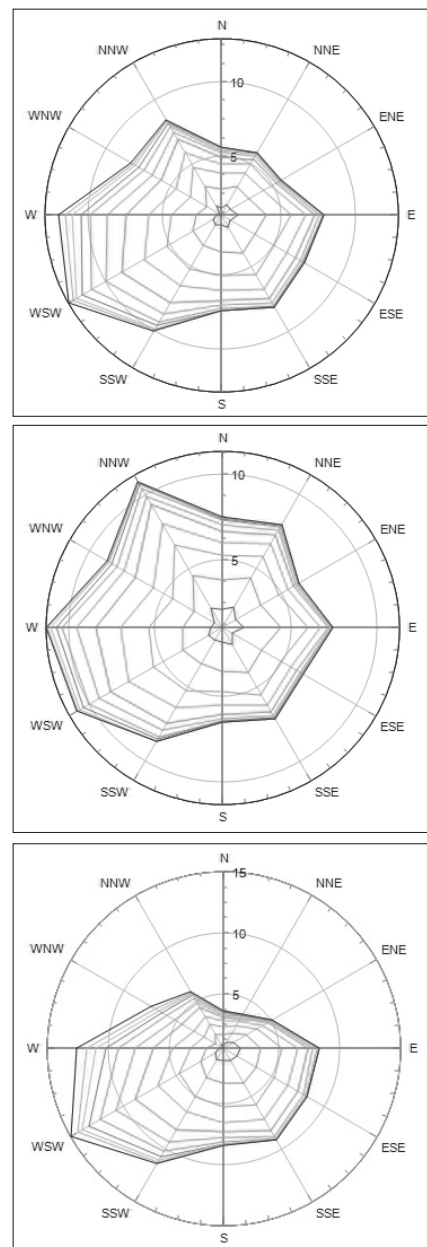
Przyjęto stały współczynnik aerodynamicznej szorstkości terenu równy 0,04 m, określony zgodnie z metodyką referencyjną [16] dla planowanej lokalizacji chlewni. Zastosowano różę wiatrów ze stacji meteorologicznej IMGW Chojnice, pokazaną na rysunku 2, przy czym w wariancie „A” – wykorzystano warunki średnioroczne (rys. 2a), a w wariancie „B”, zależnie od okresu, warunki średnioroczne (marzec, kwiecień i październik – rys. 2a), dla sezonu letniego (od maja do września – rys. 2b) lub grzewczego (od listopada do lutego – rys. 2c).

W obliczeniach przyjęto zerowe tło zapachowe, aby uzyskane wyniki modelowania odzwierciedlały wyłącznie oddziaływanie ocenianej instalacji i pozwalały na jednoznaczny interpretację. Wyniki modelowania oceniano w oparciu o dwa kryteria, pierwsze odpowiadające wartościom odniesienia rozważanym w jednym z krajowych opracowań legislacyjnych [21], a dru-

**Rys. 1. Rozmieszczenie emitorów w siatce obliczeniowej**  
**Fig 1. Layout of emission sources in the computational grid**



gie – odpowiadające standardom zapachowej jakości powietrza, obowiązującym w Danii dla terenów wiejskich w przypadku działalności związanej z hodowlą zwierząt gospodarskich [22]. Pierwsze kryterium oce-



**Rys. 2. Róża wiatrów dla stacji meteorologicznej IMGW Chojnice: a) warunki średnioroczne, b) sezon letni, c) sezon grzewczy**  
**Figure 2. Wind rose for the IMGW Chojnice meteorological station: a) the annual average conditions, b) summer season, c) heating season**

ny określa dopuszczalną częstość przekroczeń jednogodzinnego stężenia zapachowego 1  $ou/m^3$ , równą 3 % (docelowo) lub 8 % czasu roku (dla okresu przejściowego) [21], a drugie – dopuszczalną częstość

przekroczeń jednogodzinnego stężenia zapachowego 7 ou/m<sup>3</sup> równą 1 % czasu roku [22].

Wyniki obliczeń przedstawiano w postaci izolacji kryterialnych, określających obszar o nadmiernej uciążliwości zapachowej, tj. obszar, na którym są przekroczone ustalone wartości odniesienia (obszar wewnątrz izolacji). Wpływ poszczególnych czynników na wyniki prognozy oceniono porównując wzajemne położenie odpowiadających sobie izolacji.

W wariancie „A” ocenie poddano trzy scenariusze, różniące się założoną wydajnością pracy wentylatorów, wynoszącą: 100 %, 80 % lub 50 % wydajności maksymalnej, dla której prędkość gazu odprowadzanego do atmosfery wynosiła odpowiednio 9,6 m/s, 7,7 m/s lub 4,8 m/s. Dla każdego z wymienionych scenariuszy wariantu „A” przeprowadzono również hipotetyczne obliczenia (warianty „A6” i „A2”), których celem było zweryfikowanie, czy przy założeniu, że emisja zapachowa z chlewni jest stała w roku, założenia dotyczące liczby pracujących wentylatorów oraz ich rozmieszczenia mogą znacząco wpływać na wyniki prognozy zasięgu zapachowego oddziaływania. W tym celu zmodyfikowano pierwotne założenie, dotyczące równoczesnej pracy wszystkich emitorów przyjmując, że emisja zapachowa zachodzi jedynie 6 emitorami (wariant „A6”) lub 2 emitorami (wariant „A2”), wymienionymi w tabeli 2. Zarówno dla wariantu „A6,” jak i „A2”, ocenie poddano trzy różne konfiguracje aktywnych wentylatorów, przy czym każdą analizę powtarzano trzykrotnie, za każdym razem stosując inną założoną wydajność wentylatorów (100 %, 80 % lub 50 % wydajności maksymalnej). Wielkości emisji zapachowej dla aktywnych emitorów oszacowano, dzieląc całkowitą emisję zapachową z chlewni (oszacowaną w wariancie „A”) przez liczbę aktywnych wentylatorów.

**Tabela 2. Rozmieszczenie aktywnych wentylatorów w wariantach „A6” i „A2”**  
**Table 2. Distribution of active fans in variants „A6” and „A2”**

WARIANT	AKTYWNE WENTYLATORY (numercacja zgodna z rysunkiem 1)
A6-1	1, 2, 9, 10, 17, 18
A6-2	1, 4, 7, 12, 15, 18
A6-3	3, 6, 9, 10, 13, 16
A2-1	1, 18
A2-2	4, 15
A2-3	7, 12

W wariancie „B” analizie poddano trzy różne scenariusze pracy systemu wentylacyjnego, pokazane w tabelach 3 (wariant „B1”), 4 (wariant „B2”) i 5 (wariant „B3”). Dla każdego ze scenariuszy obliczenia po-

wtarzano czterokrotnie, za każdym razem przyjmując inne założenia dotyczące wydajności pracujących wentylatorów. Uwzględniono trzy założenia, że wszystkie aktywne wentylatory pracują przez cały okres ze stałą wydajnością, równą: 100 % (warianty „B1 100%”, „B2 100%” i „B3 100%”), 80 % (warianty „B1 80%”, „B2 80%” i „B3 80%”) lub 50 % (warianty „B1 50%”, „B2 50%” i „B3 50%”) wydajności maksymalnej oraz czwarte założenie, że wydajność wentylatorów jest zmienna w skali roku i zależy od okresu obliczeniowego (warianty „B1”, „B2” i „B3”). W ostatnim przypadku poszczególnym okresem przypisano następujące wydajności: I – 50 %, II – 80 %, III – 100 %, IV – 50 %, V – 80 %, VI – 80 %, VII – 100 %, VIII – 100 %, IX – 100 %, X – 80 %, XI – 50 %, XII – 50 %. W każdym przypadku emisję zapachową dla aktywnych wentylatorów w poszczególnych okresach oszacowano, dzieląc określoną dla danego okresu wielkość emisji zapachowej z chlewni (przedstawioną w tabeli 1) przez liczbę wentylatorów aktywnych w danym podokresie.

## Wyniki

Na rysunku 3 porównano izolacje kryterialne, otrzymane w wariancie „A” dla trzech scenariuszy, różniących się założoną wydajnością pracy wentylatorów, wynoszącą:

**Tabela 3. Charakterystyka pracy systemu wentylacyjnego chlewni w wariancie „B1” (numercacja wentylatorów zgodna z rysunkiem 1)**  
**Table 3. Operating characteristics of the pig house ventilation system for variant „B1” (numbering of fans consistent with Figure 1)**

OKRES	WENTYLATORY																	
	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
I	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
II	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
III	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
IV	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VI	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VIII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
IX	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
X	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
XI	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
XII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

**Tabela 4. Charakterystyka pracy systemu wentylacyjnego chlewni w wariancie „B2” (numercacja wentylatorów zgodna z rysunkiem 1)**  
**Table 4. Operating characteristics of the pig house ventilation system for variant „B2” (numbering of fans consistent with Figure 1)**

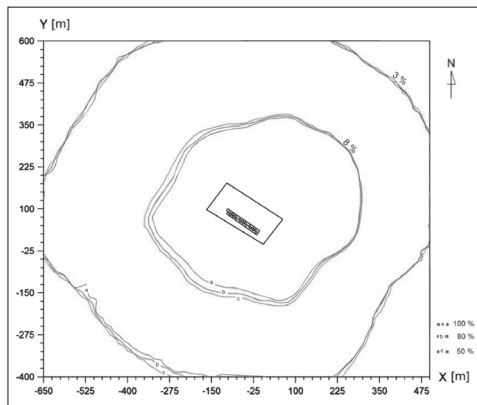
OKRES	WENTYLATORY																	
	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
I	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
II	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
III	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
IV	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VI	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VIII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
IX	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
X	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
XI	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
XII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

**Tabela 5. Charakterystyka pracy systemu wentylacyjnego chlewni w wariancie „B3” (numercacja wentylatorów zgodna z rysunkiem 1)**  
**Table 5. Operating characteristics of the pig house ventilation system for variant „B3” (numbering of fans consistent with Figure 1)**

OKRES	WENTYLATORY																	
	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
I	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
II	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
III	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
IV	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
V	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VI	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
VIII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
IX	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
X	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
XI	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
XII	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

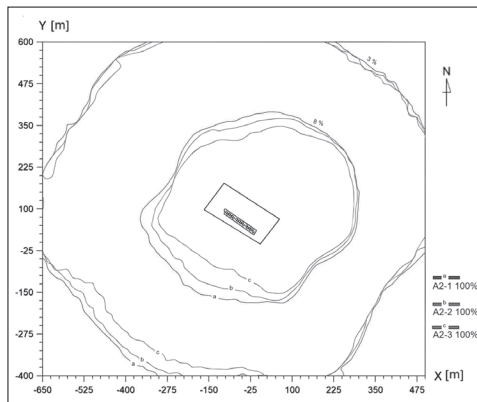
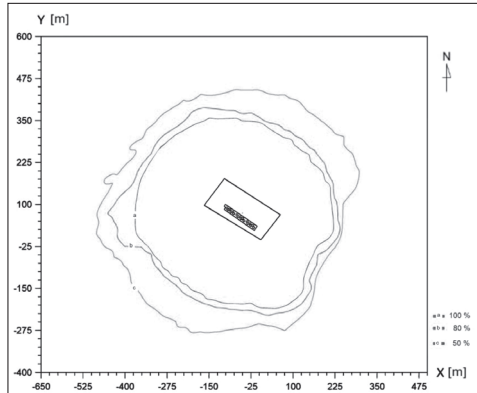
100 %, 80 % lub 50 % wydajności maksymalnej. Widoczne są wyraźne różnice we wzajemnym położeniu poszczególnych izolacji, w zależności od zastosowanego kryterium oceny. W przypadku polskich wartości odniesienia (rys. 3a) wszystkie trzy izolacje pokrywają się na kierunku wschodnim, a na pozostałych kierunkach odległość między skrajnymi izolacjami, tj. niebieską oraz czerwoną, nie przekracza 30 m. W przypadku duńskiej wartości odniesienia (rys. 3b) położenie izolacji odpowiadających wysokim wydajnościom wentylatorów (100 % i 80 %) jest zbliżone do siebie na większości kierunków geograficznych, zaś izolacja uzyskana dla wydajności 50 % wyraźnie odbiega od pozostałych. Odległość między skrajnymi izolacjami, tj. izolacją niebieską i czerwoną, miejscami sięga nawet 130 m. Otrzymane wyniki wskazują, że w przypadku polskiego kryterium oceny założenie dotyczące wydajności wentylacji, a tym samym przyjętej prędkości gazów odlotowych, nie na znaczącego wpływu na wyniki oceny, a w przypadku duńskiego kryterium – może istotnie wpływać na otrzymany prognozowany zasięg nadmiernej uciążliwości. Im wyższa jest uwzględniona w obliczeniach wydajność (a w konsekwencji prędkość gazu), tym prognozowany zasięg nadmiernej uciążliwości jest mniejszy.

Na rysunkach 4 i 5 pokazano przykładowe wyniki uzyskane dla hipotetycznych wariantów, zakładających, że tylko dwa wentylatory (rys. 4) lub tylko sześć wentylatorów (rys. 5) pracuje w sposób ciągły przez 24h/dobę 365 dni w roku ze stałą wydajnością, a pozostałe wentylatory są nieaktywne przez cały rok. Z rysunków tych wynika, że w przypadku maksymalnego uproszczenia, polegającego na założeniu, że wszystkie wentylatory chlewni pracują w sposób ciągły przez cały rok ze stałą wydajnością, zasięg nadmiernej uciążliwości, bez względu na zastosowane kryterium oceny, w sposób istotny może zależeć od liczby wentylatorów oraz ich rozmieszczenia, przy czym kierunek tej zależności zależy



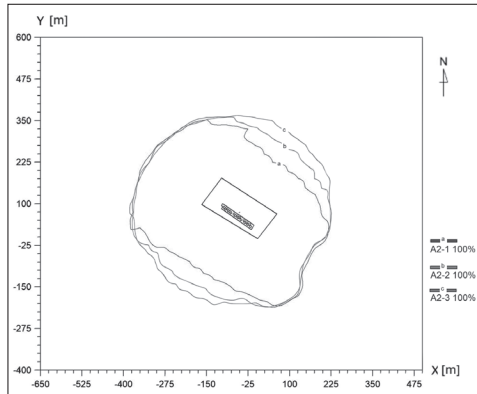
**Rys. 3.** Wyniki modelowania dyspersji odorów – wariant „A”: a) izolinie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) izolinie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$

**Fig. 3. Results of odour dispersion modelling – variant „A”:** a) isolines representing 3 % and 8 % annual exceedance of  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) isolines representing 1 % annual exceedance of  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$



**Rys. 4.** Wyniki modelowania dyspersji odorów – wariant „A2” przykład dla maksymalnej wydajności wentylatorów: a) izolinie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) izolinie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$

**Fig. 4. Results of odour dispersion modelling – variant „A2”:** example for maximum fan capacity: a) 3 % and 8 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) 1 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$

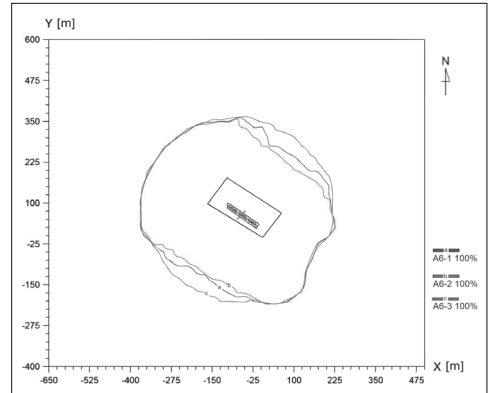
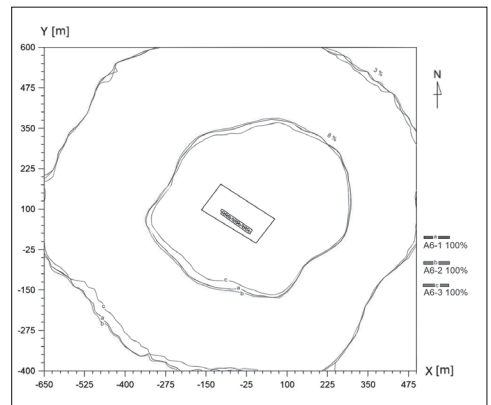


od przyjętego kryterium oceny. W przypadku polskich wartości odniesienia (rys. 4a i 5a) uzyskano mniejszy zasięg potencjalnej nadmiernej uciążliwości zapachowej dla sytuacji, w których emitory były zlokalizowane bliżej środka budynku inwentarskiego, przy czym im więcej emitorów zostało uwzględnionych w obliczeniach, tym różni-

ce pomiędzy izoliniami były mniejsze. W przypadku dwóch emitorów odległość między skrajnymi izoliniami (tj. izolinia czerwona i niebieska) sięgała do 100 m, a przy uwzględnieniu 6 emitorów – zmalała do 40 m. Z kolei w przypadku duńskich wartości odniesienia (rys. 4b i 5b) zaobserwowano odwrotną zależność, tzn. im emitory były

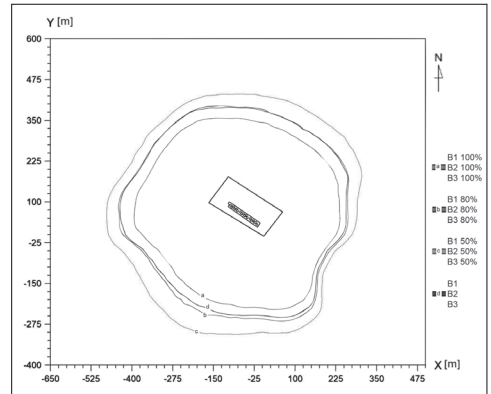
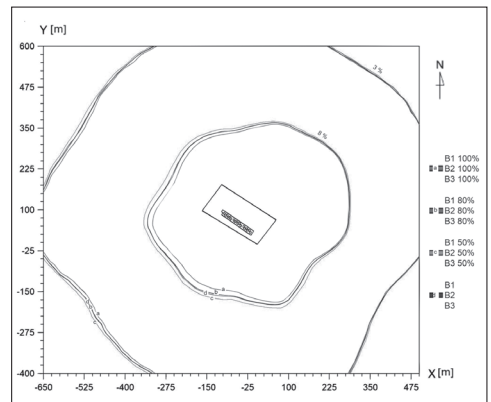
**Rys. 5.** Wyniki modelowania dyspersji odorów – wariant „A6” przykład dla maksymalnej wydajności wentylatorów: a) izolinie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) izolinie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$

**Fig. 5. Results of odour dispersion modelling – variant „A6”** example for maximum fan capacity: a) 3 % and 8 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) 1 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$



**Rys. 6.** Wyniki modelowania dyspersji odorów – wariant „B”: a) izolinie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) izolinie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$

**Fig. 6. Results of odour dispersion modelling – variant „B”:** example for maximum fan capacity: a) 3 % and 8 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ , b) 1 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$



zlokalizowane bliżej środka budynku inwentarskiego, tym uzyskano większy zasięg potencjalnej nadmiernej uciążliwości zapachowej. W tym przypadku również wraz ze zwiększeniem liczby aktywnych wentylatorów, odległość pomiędzy skrajnymi izoliniami zmalała z około 100 m dla dwóch emitorów do około 75 m dla sześciu emitorów.

Podobne tendencje uzyskano dla pozostałych dwóch scenariuszy, zakładających wydajność na poziomie 80 % i 50 % maksymalnej wydajności, przy czym im mniejsza wydajność, tym można było zaobserwować mniejszy wpływ położenia emitorów na prognozowany zasięg uciążliwości zapachowej chlewni.

Na rysunku 6 porównano izolynie kryterialne, otrzymane w wariancie „B”, uwzględniającym zmienność pracy systemu wentylacyjnego chlewni w skali roku. Dla każdej z poddanych analizie wartości wydajności wentylatorów otrzymano identyczne przebiegi poszczególnych izolunii kryterialnych, niezależnie od scenariusza pracy systemu wentylacyjnego („B1”, „B2” lub „B3”), określającego liczbę i rozkład aktywnych wentylatorów w wyodrębnionych okresach emisji. Obszar ograniczony poszczególnymi izoluniami zwiększa się odwrotnie proporcjonalnie do założonej wydajności wentylatorów (co jest zgodne z wnioskami uzyskanymi w wariancie „A”).

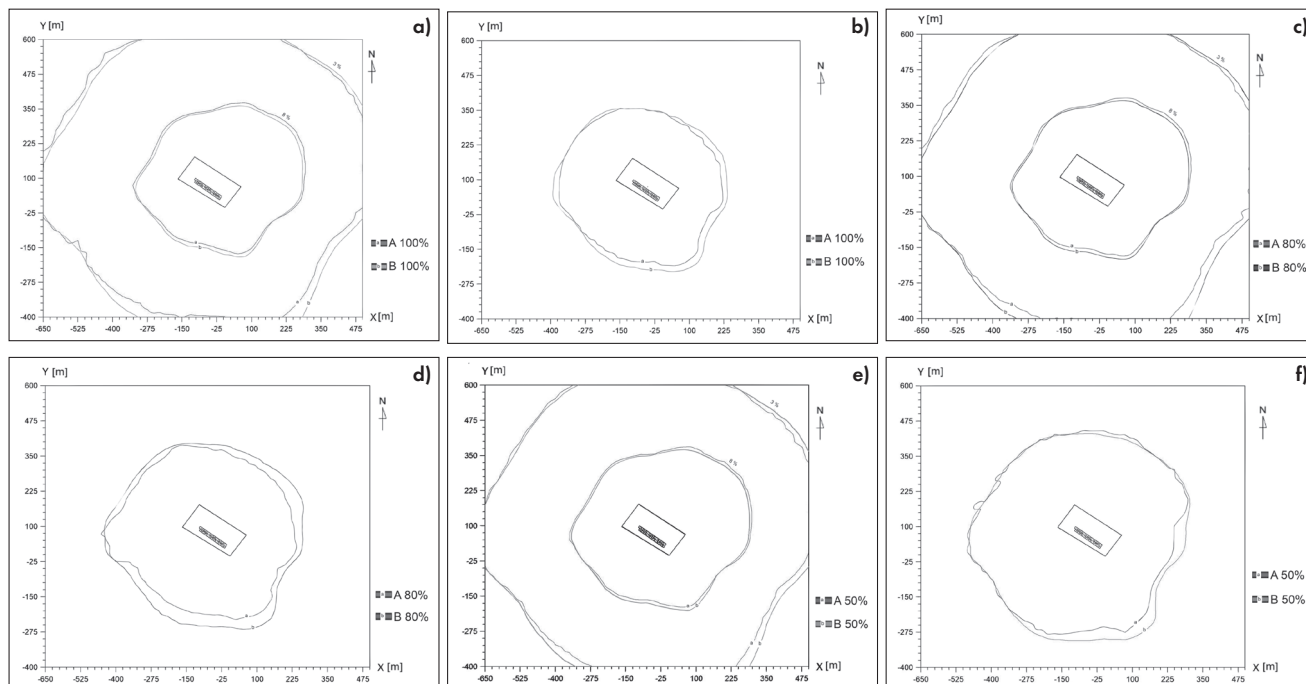
Z kolei położenie izolunii otrzymanej dla przypadku uwzględniającego zmienność wydajności wentylatorów w skali roku (warianty „B1”, „B2” i „B3”, w których wyodrębnionym podokresom przypisano różne wydajności wentylatorów), zbliżone do położenia izolunii odpowiadającej pracy wen-

tylatorów ze stałą wydajnością na poziomie 80% maksymalnej wydajności (24h/dobę przez 365 dni w roku), wskazuje, że zmienność wewnątrzroczna pracy systemu wentylacyjnego ma drugorzędne znaczenie przy sporządzaniu prognoz zapachowej uciążliwości budynku inwentarskiego, a determinującym parametrem jest średnia wielkość rocznego strumienia powietrza usuwanego z tego budynku. Dla porównywanych izolunii na rysunku 6 wartość średniego rocznego strumienia powietrza usuwanego z chlewni w przypadku stałej 100% wydajności wyniosła 129 600 m<sup>3</sup>/h (izolinia czerwona), w przypadku zmiennej intensywności wentylacji – 104 760 m<sup>3</sup>/h (izolinia zielona), w przypadku stałej 80 % wydajności – 103 680 m<sup>3</sup>/h (izolinia niebieska) oraz w przypadku stałej 50% wydajności – 64 800 m<sup>3</sup>/h (izolinia fioletowa).

Ponadto, z porównania rysunków 6a i 6b wynika, że to, w jakim stopniu założenia dotyczące pracy systemu wentylacyjnego budynku inwentarskiego, uwzględnione podczas modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w atmosferze, wpływają na wynik prognozy zapachowego oddziaływania, istotnie zależy od wartości odniesienia przyjętych za kryterium oceny nadmiernej uciążliwości zapachowej. W przypadku polskiego kryterium (97-percentyl  $c_{od,60} =$

1 ou/m<sup>3</sup> lub 92-percentyl  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$ ) uzyskano zdecydowanie bardziej stabilne wyniki prognozy – prognozowany zasięg obszarów nadmiernej uciążliwości pozostawał stosunkowo odporny na różnice między założeniami dotyczącymi pracy systemu wentylacyjnego. Odległość między skrajnymi izoluniami (tj. między czerwoną o fioletową izolunią na rys. 6a) wyniosła w przypadku izolunii 8 % maksymalnie około 30 ÷ 35 m, a w przypadku izolunii 3 % – 20 ÷ 25 m. Z kolei zmiany w opisie pracy systemu wentylacyjnego chlewni w przypadku kryterium duńskiego (99-percentyl  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$ ) skutkowały istotnymi różnicami w położeniu izolunii kryterialnych. Odległości między skrajnymi izoluniami dla tego kryterium (tj. między czerwoną o fioletową izolunią na rys. 6b) były rzędu nawet 100 ÷ 110 m. Świadczy to o zdecydowanie większej wrażliwości tego kryterium na zmienność parametrów pracy systemu wentylacyjnego.

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie izolunii kryterialnych uzyskanych dla wariantu „A”, zakładającego maksymalne uproszczenie w zakresie pracy systemu wentylacyjnego chlewni (wszystkie wentylatory pracują przez 24 h/dobę 365 dni w roku ze stałą wydajnością) z izoluniami otrzymanymi w wariancie „B” (w którym uwzględniono sezonową zmienność emisji, rozdzielając



Rys. 7.

Porównanie wyników modelowania dyspersji odorów dla wariantów „A” i „B”: a) izolynie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$  przy 100 % wydajności wentylatorów, b) izolynie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$  przy 100 % wydajności wentylatorów, c) izolynie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$  przy 80 % wydajności wentylatorów, d) izolynie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$  przy 80 % wydajności wentylatorów, e) izolynie 3 % i 8 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$  przy 50 % wydajności wentylatorów, f) izolynie 1 % czasu roku występowania  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$  przy 50 % wydajności wentylatorów

Fig. 7. Comparison of odour dispersion results for variants „A” and „B”: a) 3 % and 8 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$  assuming 100 % fan capacity, b) 1 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$  assuming 100 % fan capacity, c) 3 % and 8 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$  assuming 80 % fan capacity, d) 1 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$  assuming 80 % fan capacity, e) 3 % and 8 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 1 \text{ ou/m}^3$  assuming 50 % fan capacity, f) 1 % exceedance isolines for  $c_{od,60} = 7 \text{ ou/m}^3$  assuming 50 % fan capacity

rok na 12 podokresów odpowiadających różnym trybom pracy systemu wentylacyjnego) dla poszczególnych wydajności wentylatorów. Minimalnie większy obszar uzyskano w przypadku wariantu „B”, co może mieć związek z danymi meteorologicznymi. W wariancie „B” zastosowano sezonowe róże wiatrów, które wyraźnie różnią się od róży zastosowanej w wariancie „A”, reprezentującej warunki średnioroczne, zwłaszcza w przypadku okresu letniego. W okresie letnim występują zdecydowanie silniejsze wiatry zwłaszcza z kierunku północno zachodniego, co w połączeniu z charakterystyczną dla lata wyższą emisją zapachową może powodować zwiększenie obszaru nadmiernej uciążliwości w kierunku południowo-wschodnim. Z przedstawionych porównań wynika, że dla przykładu poddane go analizie różnica między zasięgiem oszacowanym przy maksymalnym uproszczeniu opisu systemu wentylacyjnego chlewni, a zasięgiem określonym przy uwzględnieniu bardziej szczegółowego opisu pracy tego systemu, jest rzędu kilkudziesięciu metrów (około  $30 \div 50$  m). Tego rzędu różnica w większości przypadków nie powinna mieć większego znaczenia z punktu widzenia interpretacji wyników obliczeń, wobec czego uzyskane wyniki wskazują, że zastosowanie maksymalnego uproszczenia w opisie pracy systemu wentylacyjnego budynków inwentarskich jest akceptowalne, niemniej jednak należałoby to jeszcze potwierdzić, przeprowadzając podobną analizę dla innych danych meteorologicznych, topograficznych, a także wielkości instalacji i emisji zapachowej.

## Wnioski

Uzyskane wyniki analizy mają istotne implikacje dla praktyki modelowania zapachowego oddziaływania budynków inwentarskich i oceny ich zasięgu nadmiernej uciążliwości.

Wskazują, że kluczowym parametrem opisującym pracę systemu wentylacyjnego budynku inwentarskiego, determinującym wielkość obszaru nadmiernej uciążliwości jest średnia roczna wydajność wentylacji, natomiast liczba aktywnych w danym okresie emitorów oraz ich konfiguracja nie wpływają w sposób istotny na wyniki prognozy. Ponadto wrażliwość prognozowanego zasięgu uciążliwości zapachowej na parametr determinujący (tj. uśredniony roczny strumień powietrza usuwanego z budynku) jest funkcją zastosowanego kryterium oceny. Kryterium w postaci dopuszczalnej częstości przekroczeń jednogodzinnego stężenia zapachowego  $1 \text{ ou}/\text{m}^3$ , odpowiadającego środowiskowemu progowi rozpoznawalności

zapachu, można uznać za bezpieczne w zastosowaniu praktycznym, ponieważ charakteryzuje się zdecydowanie większą odpornością na niepewność wyników prognozy zasięgu nadmiernego oddziaływania zapachowego, wynikającą z uproszczeń stosowanych do opisu pracy systemu wentylacyjnego budynku inwentarskiego.

Uzyskane wyniki wskazują również, że dopuszczalne jest zastosowanie maksymalnego uproszczenia opisu pracy systemu wentylacyjnego budynku inwentarskiego, polegającego na przyjęciu ciągłej i stałej dla roku pracy wszystkich wentylatorów z jedną, uśrednioną wydajnością. W celu zachowania odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa rekomenduje się jednak przyjmowanie wartości wydajności niższej niż nominalna, ponieważ wzrost wydajności prowadzi do zmniejszenia zasięgu prognozowanego oddziaływania zapachowego. Jednocześnie zasadne wydaje się kontynuowanie badań w kierunku zweryfikowania, czy zastosowanie w obliczeniach odrębnych warunków meteorologicznych dla sezonu letniego i grzewczego wpływa znacząco na wyniki prognozy zapachowego oddziaływania. Wskazane jest również potwierdzenie otrzymanych wniosków w przypadku bardziej skomplikowanych instalacji, o różnej charakterystyce systemu wentylacyjnego (obejmujących m.in. również wentylację grawitacyjną i/lub wentylatory szczytowe), a także składających się z wielu budynków inwentarskich.

## WYKAZ LITERATURY

- [1] Hoyk E., Farkas J., Kőszegi I., Szalai Á.; Environmental impacts and future challenges of livestock sector in Hungary; *Gradus*; 2023; 10(2); DOI: 10.47833/2023.2.AGR.004
- [2] Ibragimov A., Borulko V.; Environmental problems of animal husbandry development; *Gla-vnyj Zootehnik (Head of Animal Breeding)*; 2021; (8): 20–28; DOI: 10.33920/sel-03-2108-03
- [3] Radon K., Peters A., Praml G., Ehrenstein V., Schulze A., Hehl O., Nowak D.; Livestock odors and quality of life of neighbouring residents; *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*; 2004; 11(1): 59–62
- [4] Muñoz-Quezada M., Pasten P., Landeros N., Valdés C., Zúñiga-Venegas L., Castillo B., Buralli R.; Bioethical analysis of the socio-environmental conflicts of a pig industry on a Chilean rural community; *Sustainability*; 2024; 16(13): 5457; DOI: 10.3390/su16135457
- [5] Ren Y., Liu X., Fan J., et al.; The Characteristics of Key Odorants from Livestock Farms and Their Odor Activity Value (OAV); *Atmosphere*; 2025; 16(9): 1097; DOI: 10.3390/atmos16091097
- [6] Song J.; Emission characteristics of odorous compounds from a swine farm on Jeju Island, Korea; *Atmosphere*; 2024; 15(3): 327; DOI: 10.3390/atmos15030327
- [7] Cao T., Li B., Li X., Zhang Q., et al.; Control of odor emissions from livestock farms: A review; *Journal of Environmental Management*; 2023; nr 333; DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.117323
- [8] Madhavaraj L., Lim H., Kim K., Kim D., Han G.; Influence of Sargassum homeri mitigating odo-

rous gas emissions from swine manure storage facilities; *Sustainability*; 2020; 12(18): 7587; DOI: 10.3390/su12187587

- [9] Rahman S.; Typical odor mitigation technologies for swine production facilities – a review; *Journal of Civil & Environmental Engineering*; 2012; 02(04); DOI: 10.4172/2165-784x.1000117
- [10] Hamon L., Andrés Y., Dumont É.; Aerial pollutants in swine buildings: a review of their characterization and methods to reduce them; *Environmental Science & Technology*; 2012; 46(22): 12287–12301; DOI: 10.1021/es3025758
- [11] Zhang G., Bjerg B., Zong C.; Partial Pit Exhaust Improves Indoor Air Quality and Effectiveness of Air Cleaning in Livestock Housing: A Review; *Applied Engineering in Agriculture*; 2017; 33(2): 243–256; DOI: 10.13031/aea.11751
- [12] Melse R.W., Ogink N.W.M., Rulkens W.H.; Air Treatment Techniques for Abatement of Emissions from Intensive Livestock Production; *The Open Agriculture Journal*; 2009; 3; 10–16; DOI: 10.2174/1874331500903010006
- [13] Ministerstwo Środowiska; Kodeks Przewidziania Uciążliwości Zapachowej; Departament Ochrony Powietrza i Klimatu; Warszawa, 05.09.2016
- [14] Boers D., Geelen L., Erbrink H., Smit L., Heederik D., Hooiveld M., Wouters I.; The relation between modeled odor exposure from livestock farming and odor annoyance among neighboring residents; *International Archives of Occupational and Environmental Health*; 2015; 89(3): 521–530; DOI: 10.1007/s00420-015-1092-4
- [15] Zarra T., Belgiorno V., Naddeo V.; Environmental odour nuisance assessment in urbanized area: analysis and comparison of different and integrated approaches; *Atmosphere*; 2021; 12(6): 690; DOI: 10.3390/atmos12060690
- [16] Ministerstwo Środowiska RP, Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu, wraz z Załącznikiem nr 3: Referencyjne metody modelowania poziomów substancji w powietrzu, Dz.U. nr 16, poz. 87, Warszawa, 26.01.2010 r.
- [17] Schaubberger G., Piringer M., Mikovits C., Zolitsch W., Hörtenhuber S.J., Baumgartner J., Niebuhr K., Anders I., Andre K., Hennig-Pauka I., Schönhart M.; Temporal Trend of Odour Emission of Livestock Buildings for Fattening Pigs Due to Climate Change; *Chemical Engineering Transactions*; 2018; 68; 121–126; DOI: 10.3303/CET1868021
- [18] Santonja G.G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Sancho L.D.; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry and Pigs, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control); 2017; DOI: 10.2760/020485
- [19] Miljøstyrelsen; Teknologitype: Staldindretning – Delvist fast gulv, Version: 3. udgave, Dato: 15.03.2004, Revideret: 29.03.2011; Kopenhaga, Dania; 2011
- [20] Rzeźnik W., Mielcarek-Bocheńska P.; Odour Emissions from Livestock Buildings. *Atmosphere*; 2022; 13(2); 254; DOI: 10.3390/atmos13020254
- [21] Ministerstwo Środowiska RP; Ustawa o przeciwdziałaniu uciążliwości zapachowej; Warszawa; projekt z dn. 18 października 2008 r.
- [22] DEPA; Order Amending the Order on Permits and Approvals Etc. For Livestock Farms. Order No 294 of 31 March 2009; Danish Environmental Protection Agency; Kopenhaga, Dania; 2009