

# Mikrobiologiczna jakość powietrza w obiektach inwentarskich gospodarstw rolnych

## Microbiological air quality in livestock farm buildings

Dariusz Ropek<sup>1 (a, b, c, d)</sup>, Krzysztof Frączek<sup>2 (a, b, c, e)</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Rolniczo Ekonomiczny, Katedra Ochrony Środowiska Rolniczego.  
Kierownik Katedry: prof. dr hab. E. Boligłowa

<sup>2</sup> Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Rolniczo Ekonomiczny, Katedra Mikrobiologii.  
Kierownik Katedry: dr hab. inż. M. Chmiel

<sup>(a)</sup> pobieranie próbek

<sup>(b)</sup> analizy mikrobiologiczne

<sup>(c)</sup> opracowanie graficzne wykresów i tabel

<sup>(d)</sup> przygotowanie publikacji

<sup>(e)</sup> redakcja publikacji

### STRESZCZENIE

W obiektach inwentarskich często powstaje specyficzny mikroklimat stwarzający odpowiednie warunki dla zasiedlenia i życia różnorodnych mikroorganizmów. Z punktu widzenia sanitarno-epidemiologicznego obecność bakterii nawet potencjalnie patogennych, a w szczególności grzybów i ich produktów metabolicznych może zagrażać zdrowiu i życiu człowieka oraz egzystencji zwierząt hodowlanych.

Celem badań była ocena jakości mikrobiologicznej powietrza w budynkach inwentarskich w gospodarstwach rolnych. Pomiaru aerozolu biologicznego wykonywano w obiektach inwentarskich takich jak obory, stodoła, kurnik i budynek spichlerza. Próbkę powietrza pobierano przy użyciu 6-stopniowego impaktora Andersen. W trakcie poboru próbek wykonywano także pomiary temperatury oraz wilgotności względnej powietrza przy wykorzystaniu urządzenia Kestrel 4000. Analiza ilościowa wykazała, że stężenia aerozolu biologicznego w badanych obiektach inwentarskich i gospodarczych były wyższe niż dla powietrza zewnętrznego. Najwyższe stężenia aerozolu bakteryjnego jak i grzybowego stwierdzono w oborach. Analiza jakościowa mikroorganizmów wyizolowanych z próbek powietrza wykazała, że dominującymi gatunkami w badanych obiektach były bakterie z rodzajów *Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus* oraz grzyby z rodzajów *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* i *Penicillium*. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że najwyższe stężenia bioaerozolu występowały w obiektach, w których nagromadzone były odchody zwierząt oraz panowała w nich podwyższona wilgotność tj. powyżej wartości 70% i była niewłaściwa wentylacja.

**Słowa kluczowe:** jakość powietrza, pomieszczenia inwentarskie, bakterie, grzyby, promieniowce

### ABSTRACT

Specific microclimate is often present in livestock buildings, which creates conditions suitable for the invasion and development of various microorganisms. From the sanitary-epidemiological point of view, the presence of even potentially pathogenic bacteria, and in particular fungi and their metabolic products, may endanger human life and health and the livestock.

The aim of this study was to characterize microbial quality of livestock buildings in farms. The air samples were collected in farming buildings, such as cow houses, hen house, barn and granary. Bioaerosol samples were collected using a six-stage Andersen impactor. During sampling, air relative humidity (RH) and temperature were measured with thermohygrometer Kestrel 4000. Qualitative evaluation of the air microflora isolated from air revealed that the dominant microorganisms were bacteria from the genera *Staphylococcus*, *Micrococcus*, and *Bacillus* and fungi: *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* and *Penicillium*. On the basis of the results it was found that the highest concentration of bioaerosol was in buildings where sanitary standards were not met – animal faeces were not removed, air humidity was above 70% and the ventilation was insufficient.

**Key words:** air quality, livestock building, bacteria, fungi, actinomycetes

## WSTĘP

W pomieszczeniach inwentarskich często występują warunki mikroklimatyczne sprzyjające występowaniu wielu grup mikroorganizmów. Przebywające w obiektach inwentarskich zwierzęta oraz ich odchody, wydzieliny oraz pasze są źródłem wielu mikroorganizmów w tym chorobotwórczych dla ludzi [1, 2]. Również pył powstający podczas prac gospodarczych w pomieszczeniach przyczynia się do zwiększenia zawartości mikroorganizmów w powietrzu. Z dotychczasowych badań wynika, że zawartość mikroorganizmów w powietrzu budynków inwentarskich jest wyższa niż w powietrzu atmosferycznym [1]. Obiekty inwentarskie stają się źródłem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego w ich sąsiedztwie [3]. Występowanie nawet potencjalnie patogennych bakterii i grzybów oraz ich metabolitów w pomieszczeniach inwentarskich może stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt [4]. Brakuje obecnie norm, które określałyby dopuszczalną liczbę bakterii i innych mikroorganizmów w budynkach w tym również inwentarskich [5], a obecnie obowiązujące w naszym kraju Polskie Normy w Polsce: PN-89 Z-04111/02 oraz PN-89 Z-04111/03 dotyczą jedynie powietrza atmosferycznego. Celem niniejszych badań była charakterystyka jakości mikrobiologicznej powietrza w budynkach inwentarskich w gospodarstwach rolnych w południowej Polsce.

## MATERIAŁ I METODY

Próbki powietrza pobierano w obiektach inwentarskich w gospodarstwach rolnych w południowej Polsce (powiat brzeski). Badania przeprowadzono w następujących obiektach: budynki dla bydła (8 obór O/1–O/8), budynek dla kur (K), budynek stodoły (ST) i budynek magazynu/spichlerza (SP). W trakcie badań pobrano łącznie 216 próbek powietrza. Pomiary wykonano również na zewnątrz budynków inwentarskich – traktując je jako tło zewnętrzne (TZ). W przypadku obiektów przeznaczonych do utrzymania zwierząt pomiary wykonywano w czasie przebywania w nich zwierząt. Aby uwzględnić ewentualny wpływ parametrów mikroklimatycznych na ilość mikroorganizmów w powietrzu pomiary aerozolu biologicznego zostały wykonane w ciągu jednego roku, a próbki powietrza pobierano w sezonach letnim, jesiennym i zimowym. Wszystkie badane budynki były naturalnie przewietrzane. Próbki powietrza pobierano przy użyciu 6-stopniowego impaktora Andersen (model 10-710,

Graseby-Andersen, Inc., Atlanta, GA, USA). Aparat umieszczano na wysokości 1,0–1,5 m nad powierzchnią podłogi lub gruntu (pomiary zewnętrzne) w celu pobrania próbek ze strefy oddechowej człowieka. Zastosowano 5-minutowy czas poboru aerozoli bakteryjnych i grzybowych. Próbki pobierano przy prędkości przepływu strugi powietrza przez impaktor 28,3 l/min. W celu pobrania próbek aerozolu bakteryjnego i grzybowego zastosowano następujące podłoża mikrobiologiczne: agar tryptozowo-sojowy (TSA; Becton, Dickinson and Company, Sparks, MD, USA), agar z ekstraktem słodowym (MEA; Oxoid Ltd., Basingstoke, Hampshire, Great Britain) oraz podłoże Gauze'a dla promieniowców. Płytki TSA inkubowano przez 1 dobę w 37°C, a następnie przez 3 doby w 22°C i przez następne 3 doby w 4°C, a płytki MEA przez 4 doby w 30°C, a następnie przez 4 doby w 22°C. Po okresie inkubacji płytek przeprowadzono analizy ilościowe i jakościowe wyrosłych mikroorganizmów. Stężenie bioaerozolu obliczono jako liczbę jednostek tworzących kolonie na metr sześcienny powietrza ( $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ). W trakcie poboru próbek wykonywano także pomiary temperatury oraz wilgotności względnej powietrza przy wykorzystaniu urządzenia Kestrel 4000 (Nielsen-Kellerman, USA). Oceniono również stan sanitarny pomieszczeń inwentarskich oraz zwierząt. Przyjęto 3-stopniową skalę: 1 – pomieszczenia uprzątnięte, zwierzęta czyste, 2 – pomieszczenia nieuprzątnięte, zwierzęta czyste, 3 – pomieszczenia nieuprzątnięte, zwierzęta zabrudzone. Stan sanitarny oceniano podczas wszystkich serii pomiarowych. Szczepy bakteryjne identyfikowano przeprowadzając barwienie czystego szczepu metodą Grama, oceniając morfologię oraz przeprowadzając biochemiczne testy API (bioMérieux). Identyfikację grzybów przeprowadzono w oparciu o klucze do oznaczania grzybów [6–8]. Program Statistica 10.0 (StaSoft, US) został wykorzystany do wykonania podstawowych analiz statystycznych. Obliczono współczynnik korelacji Spearmana.

## WYNIKI BADAŃ

Stężenia bioaerozoli w badanych gospodarstwach rolnych przedstawiono w tabeli I i na ryc 1–3. Stężenia aerozolu biologicznego w wytypowanych obiektach inwentarskich i gospodarczych wahały się od 91 do 267 454  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$  i były do 43-krotnie wyższe niż wartości maksymalne zaobserwowane dla powietrza zewnętrznego (od 272 do 6090  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (tab. II). Najwyższe stężenia aerozolu bakteryjnego stwierdzono w oborze O/8 (267 454  $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) oraz

w oborach O/6 ( $264\ 818\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) oraz O/3 ( $264\ 090\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że wysokie stężenie aerozolu bakteryjnego występowało również wewnątrz budynku dla kur (maksymalnie  $232\ 400\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Znaczący wpływ na stężenie bakterii w obiektach miała pora roku w której przeprowadzono badania. Średnie stężenie aerozolu bakteryjnego w oborach w okresie zimy wynosiło  $157\ 658\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$  podczas gdy latem  $60\ 568\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ , a jesienią nawet  $205\ 579\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ . Porównując śred-

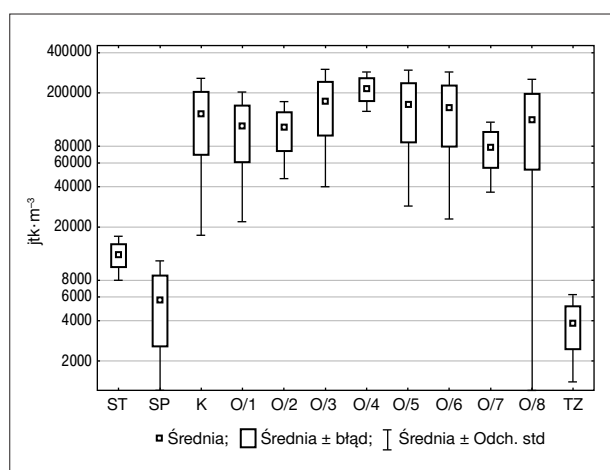
nie wartości stężeń bakterii pomiędzy badanymi wnętrzami, najwyższe różnice obserwowano między spichlerzem ( $5678\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a oborą dla bydła O/3 ( $169\ 985\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (ryc. 1). Analiza korelacji wykazała, że zwiększona liczba zwierząt w badanych obiektach nie wpływała w istotny sposób na stężenie aerozolu bakteryjnego. Natomiast stan sanitarny pomieszczeń oraz zwierząt miał istotny wpływ na stężenie aerozolu bakteryjnego (współczynnik korelacji Spearmana:  $R=0,77$  przy  $p<0,05$ ).

Tabela I. Stężenia bioaerozolu [ $\text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ] w obiektach inwentarskich

Table I. Concentration of bioaerosol [ $\text{cfu}\cdot\text{m}^{-3}$ ] in farm buildings

Pora roku	Stanowisko											
	ST*	SP	K	O/1	O/2	O/3	O/4	O/5	O/6	O/7	O/8	TZ
<b>Bakterie [<math>\times 10^3</math>]</b>												
Zima	9,3	3,4	175,2	187,9	175,7	223,9	135,2	220,8	191,1	102,7	23,9	1,3
Lato	10,7	1,7	2,9	11,5	51,7	22,0	265,5	9,2	8,6	29,8	86,1	4,1
Jesień	17,6	11,9	232,4	138,9	98,7	264,1	250,4	256,6	264,8	103,6	267,5	6,1
<b>Grzyby [<math>\times 10^3</math>]</b>												
Zima	10,47	6,27	24,87	37,93	22,00	71,13	10,87	29,93	5,47	1,87	8,47	0,86
Lato	7,18	9,64	5,27	3,18	11,91	28,18	53,27	9,82	10,36	10,09	44,91	7,18
Jesień	0,63	1,09	3,18	3,64	1,36	13,91	4,64	62,27	3,09	1,37	3,91	1,27
<b>Promieniowce [<math>\times 10^3</math>]</b>												
Zima	12,1	3,9	1,3	19,0	6,3	1,6	4,7	8,9	0,33	1,5	0,13	0,66
Lato	1,0	1,3	0,36	0,90	1,1	2,6	7,1	0,27	0,72	3,2	0,27	0,63
Jesień	1,2	13,7	1,4	13,1	2,8	37,1	11,1	19,1	10,2	4,7	13,1	0,27

\* ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne



\* ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne

Ryc. 1. Średnie stężenie aerozolu bakteryjnego w obiektach inwentarskich

Fig. 1. Mean concentration of bacterial aerosol in farm buildings

Najwyższe stężenia aerozolu grzybowego obserwowano w oborze O/3 (nawet  $71\ 134\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) oraz oborze O/5 ( $62\ 272\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (tab. II). Niemniej jednak należy podkreślić, że stężenia aerozolu grzybowego w powietrzu atmosferycznym na zewnątrz badanych budynków były wielokrotnie niższe niż obserwowane wewnątrz nich. W okresie zimy i lata średnie stężenia aerozolu grzybowego w oborach były około dwa razy wyższe niż w okresie jesienim, odpowiednio  $23\ 458$ ,  $21\ 465$  i  $11\ 772\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ . Stan sanitarny pomieszczeń i zwierząt oraz wilgotność względna powietrza miała istotny wpływ na stężenie aerozolu grzybowego (współczynnik korelacji Spearmana:  $R=0,41$  przy  $p<0,05$  oraz  $R=0,39$  przy  $p<0,05$ ).

Porównując średnie stężenia grzybów pomiędzy badanymi obiektami, najwyższe różnice obserwowano pomiędzy oborą O/7 ( $4441\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) a oborą O/3 ( $37\ 741\ \text{jtk}\cdot\text{m}^{-3}$ ) (ryc. 2). We wszystkich badanych obiektach średnie stężenie grzybów było wyższe niż na zewnątrz budynków. Różnice w stężeniu

aerozolu grzybowego pomiędzy badanymi obiektami były bardziej zauważalne niż w przypadku aerozolu bakteryjnego.

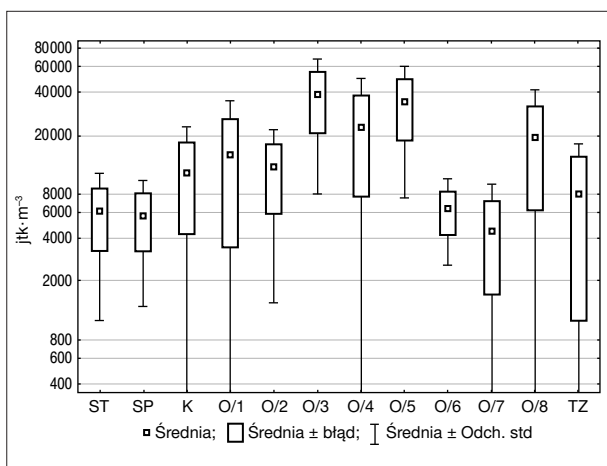
Stężenia promieniowców w powietrzu we wszystkich badanych obiektach przedstawiono w tab. I. Najwyższe stężenie promieniowców stwierdzono w oborze O/3 (37 090 jtk·m<sup>-3</sup>), a najniższe w oborze O/1 (91 jtk·m<sup>-3</sup>). Stężenie promieniowców w powietrzu pomieszczeń inwentarskich było najniższe

Tabela II. Udział [%] Rozkład ziarnowy aerozolu bakteryjnego w obiektach inwentarskich

Table II. Size distribution of bacterial aerosol in farm buildings

Stanowisko	Udział procentowy poszczególnych frakcji Zakres średnic aerozolu bakteryjnego [µm]					
	≥7,0	7,0-4,7	4,7-3,3	3,3-2,1	2,1-1,1	1,1-0,65
TZ*	22,4	37,6	4,4	12,4	15,2	8,1
K	15,4	20,3	24,2	28,2	5,5	6,4
ST	16,9	15,2	26,2	28,2	10,4	3,2
SP	15,3	32,1	23,7	12,4	13,9	2,6
O/1	29,0	14,0	15,0	22,9	16,3	2,9
O/2	19,8	17,8	25,6	18,1	17,0	1,6
O/3	32,2	10,7	24,3	11,1	11,0	10,7
O/4	46,2	16,4	14,5	13,2	8,8	0,9
O/5	20,6	22,5	15,8	25,4	13,2	2,6
O/6	7,6	20,1	14,5	36,7	18,0	3,1
O/7	29,9	15,4	30,2	15,1	7,4	2,0
O/8	25,3	24,4	23,3	22,1	3,4	1,4

\* ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne



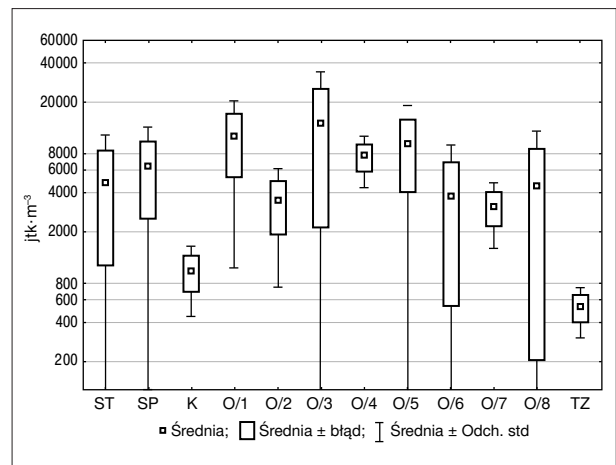
\* ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne

Ryc. 2. Średnie stężenie aerozolu grzybowego w obiektach inwentarskich

Fig. 2. Mean concentration of fungal aerosol in farm buildings

latem. Porównując średnie stężenia promieniowców pomiędzy badanymi pomieszczeniami, najwyższe różnice obserwowano pomiędzy kurnikiem K/1 (997 jtk·m<sup>-3</sup>) a oborą O/1 (10 726 jtk·m<sup>-3</sup>) (ryc. 3).

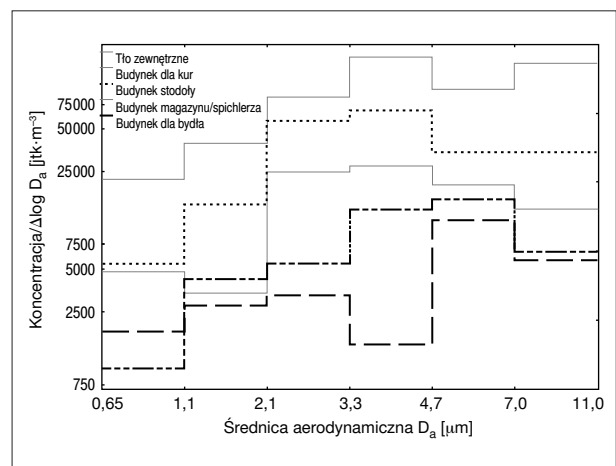
Ze względu na dodatkową emisję bakterii z ich głównego rezerwuaru, jakim jest organizm zwierzęcy czy ludzki na rycinie 4 i w tabeli II przedstawiono rozkłady ziarnowe aerozolu bakteryjnego uzyskane w środowisku zewnętrznym oraz w powietrzu badanych obiektów. Z analizy przebiegu krzywej rozkładu wynika, że w tle zewnętrznym jak i w budyn-



\* ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne

Ryc. 3. Średnie stężenie promieniowców w obiektach inwentarskich

Fig. 3. Mean concentration of Actinomycetes in farm buildings



Ryc. 4. Rozkład ziarnowy aerozolu bakteryjnego w środowisku zewnętrznym i wewnątrz badanych obiektów inwentarskich

Fig. 4. Size distribution of bacterial aerosol in outdoor environment and in indoor air in farm buildings

kach dla kur oraz stodół aerzol bakteryjny osiągał maksymalne stężenia w zakresie średnic 3,3–4,7  $\mu\text{m}$ , co wskazuje na to, że mikroorganizmy bakteryjne były tu obecne głównie w postaci małych agregatów bakteryjnych lub bakteryjno-pyłowych. Natomiast w powietrzu obór i budynku magazynu/spichlerza bakterii często tworzyły duże agregaty (>4,7  $\mu\text{m}$ ). Na podstawie uzyskanych danych można stwierdzić, że w przypadku aerzolu bakteryjnego najwyższy udział frakcji poniżej 3,3  $\mu\text{m}$  stwierdzono w oborze O/6. Frakcja ta stanowiła ponad 57% całości aerzolu bakteryjnego. W pozostałych badanych obiektach udział tej frakcji aerzolu bakteryjnego mieścił się w granicach 22,9–42,1%.

Tabela III. Charakterystyka pomieszczeń inwentarskich  
Table III. Characteristics of farm buildings

Stano-wisko	Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Liczba zwierząt [szt. dużych]	* Stan sanitarny [skala 1–3]		
			zima	lato	jesień
TZ*	–	–	–	–	–
K	8	0,06	2	1	2
ST	75	–	–	–	–
SP	8	–	–	–	–
O/1	25	1	2	1	2
O/2	48	3,45	2	1	2
O/3	30	2	3	2	3
O/4	49	1,3	3	3	3
O/5	30	4,15	3	1	3
O/6	72	6,4	2	1	2
O/7	36	1,8	1	1	1
O/8	300	40	1	1	2

\*1 – pomieszczenia uprzątnięte, zwierzęta czyste, 2 – pomieszczenia nieuprzątnięte, zwierzęta czyste, 3 – pomieszczenia nieuprzątnięte, zwierzęta zabrudzone (\*ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne)

W tabeli III przedstawiono charakterystykę pomieszczeń pod względem ich przeznaczenia, powierzchni, obsady zwierząt oraz stanu sanitarnego. Równocześnie z pomiarami bioaerzolu wykonywano pomiary parametrów środowiskowych, np.: temperatury i wilgotności względnej powietrza. Wyniki tych pomiarów przedstawione są w tabeli IV. Temperatura powietrza obiektów inwentarskich, w których przebywały zwierzęta w okresie zimy wynosiła od 7,5 do 12,0°C. Zdecydowanie wyższe wartości temperatury powietrza odnotowano wewnątrz pomieszczeń inwentarskich w okresie lata (zakres dla obór 19,1–23,3°C). Wilgotność względna powietrza w oborach była najwyższa w okresie zimy i jesieni.

Tabela IV. Wartości parametrów fizycznych powietrza zarejestrowane w badanych obiektach i w środowisku zewnętrznym

Table IV. Physical parameters of air measured in investigated buildings and outdoor environment

Stano-wisko	Temperatura [°C]			Wilgotność względna [%]		
	zima	lato	jesień	zima	lato	jesień
TZ*	–5,6	25,2	2,3	50,9	57,6	77,6
K	7,9	18,6	9,8	67,1	72,1	66,6
ST	–2,2	18,1	5,6	47,4	74,9	62,1
SP	–3,9	18,2	4,8	50,2	74,4	53,6
O/1	8,2	19,1	10,1	70,2	70,5	67,5
O/2	7,5	20,5	6,8	59,4	75,9	66,0
O/3	9,8	22,2	13,5	87,1	68,1	86,1
O/4	6,7	22,9	6,7	97,6	67,3	56,7
O/5	8,8	20,3	10,6	69,4	70,0	82,5
O/6	9,6	23,0	11,1	78,1	65,4	81,9
O/7	11,4	21,9	8,7	42,1	63,1	62,1
O/8	12,0	23,3	12,2	64,1	65,4	61,2

\* ST – stodoła, SP – spichlerz, K – kurnik, O/1–O/8 – obory, TZ – tło zewnętrzne

## DYSKUSJA

W obiektach inwentarskich stwierdzono duże zróżnicowanie stężeń aerzolu bakteryjnego i grzybowego. Obserwowane różnice w prezentowanych wartościach stężeń badanego bioaerzolu wynikają z faktu, że koncentracja aerzolu bakteryjnego w obiektach w znacznym stopniu zależy od ich przeznaczenia. W przypadku badanych budynków, bez względu na położenie, w pomieszczeniach w których przebywały zwierzęta poziom aerzolu bakteryjnego był znacznie wyższy (nawet kilkukrotnie) niż w obiektach, w których nie przebywały zwierzęta tj. stodoła i spichlerz. Źródłem zanieczyszczenia powietrza bakteriami są przede wszystkim zwierzęta i ludzie. Na terenach wiejskich budynki inwentarskie są istotnym źródłem zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego bioaerosolem [9].

W badanych obiektach inwentarskich zaobserwowano znaczący wzrost aerzolu bakteryjnego w okresie jesieni oraz zimy. Ponieważ w większości analizowanych gospodarstw w okresie lata zwierzęta są w ciągu dnia wypasane na pastwiskach, przebywają w pomieszczeniach znacznie krócej niż w okresie zimy i jesieni. Ponadto w okresie zimy i jesieni obory są w znacznie mniejszym stopniu przewietrzane ze względu na niskie temperatury panujące na zewnątrz.



Stężenie aerozolu grzybowego nie zależało od obecności zwierząt w obiektach gospodarskich, natomiast wysoka wilgotność względna powietrza wpływała na zwiększenie jego stężenia. Wyższa szczelność budynków zimą i jesienią (oszczędność energii) spowodowała okresowy znaczny wzrost stężenia aerozolu grzybowego. Również w badaniach Roussel i in. [10] stężenie grzybów w okresie zimowym było wyższe niż latem. Stężenie promieniowców w powietrzu pomieszczeń nie było istotnie skorelowane z żadnym z badanych czynników środowiskowych.

Stężenie aerozolu biologicznego w powietrzu atmosferycznym na badanym terenie było zwykle znacznie mniejsze niż w obiektach inwentarskich. Dotyczy to zarówno aerozolu bakteryjnego jak i grzybowego. Również promieniowce były mniej liczne w powietrzu atmosferycznym na zewnątrz badanych budynków. Wskazuje to na wewnętrzne źródła zanieczyszczenia powietrza badanymi grupami mikroorganizmów. Według polskich norm [11, 12] powietrze atmosferyczne było silnie zanieczyszczone bakteriami w okresie jesiennym. Natomiast w okresie letnim zanieczyszczenie powietrza atmosferycznego grzybami mogło negatywnie oddziaływać na środowiska naturalne człowieka.

Górny [13] podaje za Donham i in. 1988, że wartość normatywna dla bakterii i grzybów razem w obiektach hodowlanych dla zwierząt powinna wynosić  $4,3 \cdot 10^5$  jtk·m<sup>3</sup>. Z kolei w pracy z 2010 roku Górny [14] podaje propozycje zalecanych stężeń drobnoustrojów w powietrzu pomieszczeń. Dla grzybów w pomieszczeniach roboczych zanieczyszczonych pyłem organicznym wartość referencyjna wynosi  $5,0 \cdot 10^4$  jtk·m<sup>3</sup>. Według tej propozycji ponadnormatywne zanieczyszczenie powietrza aerozolem grzybowym wystąpiło w większości obór zarówno w okresie zimowym jak i letnim. Najsilniej zanieczyszczone grzybami było powietrze w oborze O/4 w okresie zimowym i oborze O/5 w okresie jesiennym. Kliszczyk i in. [15] również wskazują na silne okresowe zanieczyszczenie powietrza grzybami w obiektach inwentarskich. W ich badaniach liczebność grzybów wynosiła od 100 do 47 000 jtk·m<sup>3</sup>.

Ważnym aspektem analizowanych wyników jest rozkład ziarnowy aerozolu bakteryjnego. Według Wlazło i in. [16] cząstki bakteryjne o średnicy poniżej 5 μm mogą dotrzeć do oskrzeli, stwarzając zagrożenie dla zdrowia ludzi. Również Więcek [17] wskazuje na istotne znaczenie oznaczenia frakcji respirabilnej (medialna średnica aerodynamiczna =  $3,5 \mu\text{m} \pm 0,3 \mu\text{m}$ ) dla prawidłowej oceny narażenia

człowieka na aerozole biologiczne. Uzyskane wyniki wskazują, że przebywanie w obiektach inwentarskich takich jak obora O/6 może się wiązać ze zwiększonym ryzykiem dla zdrowia osób tam pracujących ze względu na wysoki udział frakcji respirabilnej aerozolu bakteryjnego. Średni udział frakcji respirabilnej (poniżej 4,7 μm) w obiektach inwentarskich wahał się w granicach 37,4–72,3%. Natomiast w badaniach Nasir i in. [18] przeprowadzonych na terenach wiejskich w Pakistanie udział frakcji respirabilnej wynosił od 55 do 93%.

Analiza składu mikrobiologicznego powietrza wykazała, że mezofilne Gram – dodatnie ziarniaki (*Staphylococcus*, *Micrococcus*), przetrwalnikujące Gram – dodatnie laseczki (*Bacillus*) i grzyby (*Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium*) w badanych obiektach były organizmami dominującymi, co obrazuje typowy skład mikroflory zewnętrznej. Gatunkowo najliczniej reprezentowane były bakterie z rodzaju *Staphylococcus* (4 gatunki) i *Bacillus* (4 gatunki), a wśród grzybów z rodzaju *Penicillium* (4 gatunki) i *Aspergillus*, (3 gatunki). Gatunki z rodzaju *Staphylococcus* i *Bacillus* znajdowały prawdopodobnie w środowisku badanych obiektów inwentarskich korzystne dla siebie warunki życiowe, co dodatkowo przy obecności ich potencjalnych źródeł wewnętrznej emisji powodowało zdecydowaną przewagę nad pozostałymi składnikami mikroflory.

## WNIOSKI

Przeprowadzone badania wykazały, że w badanych budynkach inwentarskich najwyższe stężenia aerozolu biologicznego zazwyczaj odnotowywano w tych obiektach, w których zaniedbania doprowadzają do nagromadzenia odchodów, nieczystości, nadmiernej wilgotności i złej wentylacji. Taka sytuacja może niekorzystnie wpłynąć na stan zdrowia narażonych osób. Stąd stała kontrola i utrzymanie ogólnej higieny zwierząt i pomieszczeń wydaje się być kluczowym czynnikiem, który powinien być dokładnie nadzorowany w obiektach inwentarskich. Wyniki jednoznacznie też sugerują, że naturalna wentylacja w tym typie pomieszczeń nie wystarcza aby zapewnić odpowiednią jakość powietrza, więc należałoby wprowadzić w nich mechaniczną wentylację.

---

**Finansowanie i podziękowania:** Badania zostały sfinansowane ze środków na działalność statutową Katedry Ochrony Środowiska Rolniczego oraz Katedry Mikrobiologii, Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.

## PIŚMIENICTWO

- [1] Sadowiec K, Russel S. Zagrożenia bakteriologiczne w budynkach inwentarskich. Interdyscyplinarne zagadnienia w inżynierii i ochronie środowiska. Tom 3 Praca zbiorowa pod red. Teodory M. Traczewskiej Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, p. 601-607.
- [2] Szadkowska-Stańczyk I, Bródka K, Buczyńska A. Ocena narażenia na bioaerozole pracowników zatrudnionych przy intensywnej hodowli trzody chlewnej. *Medycyna Pracy* 2010; 61(3):257-269.
- [3] Plewa-Tutaj K, Pietras-Szewczyk M, Lonc E. Próba oceny rozkładu przestrzennego zanieczyszczeń mikrobiologicznych w powietrzu na terenie i w sąsiedztwie wybranej fermi drobiu. *Ochrona Środowiska* 2014;36(2):21-28.
- [4] Buczyńska A, Szadkowska-Stańczyk I. Problemy higieny pracy i zagrożenia zdrowotne towarzyszące intensywnej produkcji trzody chlewnej. *Medycyna Pracy* 2010;61(3):323-331.
- [5] Sadowiec K, Zielińska-Polit B, Russel S. Ocena liczebności bakterii *Pseudomonas fluorescens* w powietrzu w wybranym budynku inwentarskim. Tom 3 Praca zbiorowa pod red. Teodory M. Traczewskiej Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2013, p. 719-725.
- [6] Domsch KH, Gams W, Traute-Heidi A. *Compendium of Soil Fungi*. Harcourt Brace Jovanovich Publishers, Academic Press, London 1980.
- [7] Raper KB, Fennel DI. *The Genus Aspergillus*. Williams and Wilkins Co., Baltimore 1965.
- [8] Samson RA, Hoekstra ES, Frisvad JC. *Introduction to Food- and Airborne Fungi*. Seventh Edition. Centraalbureau voor Schimmelcultures, Utrecht 2004.
- [9] Seedorf J. An emission inventory of livestock-related bioaerosols for Lower Saxony, Germany. *Atmospheric Environment* 2004;38:6565-6581.
- [10] Roussel S, Sudre B, Reboux G i wsp. Exposure to moulds and actinomycetes in Alpine farms: A nested environmental study of the PASTURE kohort. *Environmental Research* 2011;111:744-750.
- [11] Polska Norma, PN-89/Z-04/04111/02. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczenie liczby bakterii w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
- [12] Polska Norma, PN-89/Z-04/04111/03. Ochrona czystości powietrza. Badania mikrobiologiczne. Oznaczenie liczby grzybów mikroskopowych w powietrzu atmosferycznym (imisja) przy pobieraniu próbek metodą aspiracyjną i sedymentacyjną.
- [13] Górny RL. Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2004;3(41):17-39.
- [14] Górny RL. Aerozole biologiczne – rola normatywów higienicznych w ochronie środowiska i zdrowia. *Medycyna środowiskowa* 2010;13(1):41-51.
- [15] Kiliszczuk A, Podlaska B, Sadowiec K i wsp. Ocena występowania grzybów oraz amoniaku i metanu w powietrzu w wybranym budynku inwentarskim. *Woda-Środowisko- Obszary Wiejskie* 2013;3(43):79-89.
- [16] Wlazło A, Pastuszka JS, Łudzeń-Izbińska B. Ocena narażenia na aerozol bakteryjny pracowników niedużej oczyszczalni ścieków. *Medycyna Pracy* 2002;53(2):109-114.
- [17] Więcek E. Kryteria zdrowotne pobierania próbek aerozoli w środowisku pracy. *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2011;2(68):5-21.
- [18] Nasir ZA, Colbeck I, Sultan S, Ahmed S. Bioaerosols in residential micro-environments in low income countries: A case study from Pakistan. *Environmental Pollution* 2012;168: 15-22.

*Adres do korespondencji:*

*Dariusz Ropek  
Katedra Ochrony Środowiska Rolniczego  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie  
al. Mickiewicza 21, 31-120 Kraków  
tel. +48 12 6624402  
rrropek@cyf-kr.edu.pl*