

Irena Szadkowska-Stańczyk

Karolina Bródka

Alina Buczyńska

Marcin Cyprowski

Anna Kozajda

Małgorzata Sowiak

OCENA NARAŻENIA NA BIOAEROZOLE PRACOWNIKÓW ZATRUDNIONYCH PRZY INTENSYWNEJ HODOWLI TRZODY CHLEWNEJ

EXPOSURE TO BIOAEROSOLS AMONG CAFO WORKERS (SWINE FEEDING)

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Łódź

Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia

STRESZCZENIE

Wstęp: W artykule przedstawiono wyniki oceny warunków pracy w chlewniach na stanowiskach związanych bezpośrednio z obsługą zwierząt. Określono stężenia bakterii i grzybów w pomieszczeniach chlewni, narażenie pracowników na pył, endotoksyny i (1→3)-β-D-glukany oraz amoniak i siarkowodór. **Materiał i metody:** Pomiar środowiska pracy przeprowadzono na terenie 30 gospodarstw i objęto nimi 90 mężczyzn pracujących bezpośrednio przy obsłudze zwierząt. Próby powietrza dla oceny stężenia pyłu oraz endotoksyn i glukanów pobierano za pomocą dozymetrii indywidualnej, a amoniak i siarkowodór za pomocą rurek kolorymetrycznych. Próbki bioaerozolu pobierano metodą zderzeniową za pomocą 6-poziomowego impaktora kaskadowego Andersena. Analizę endotoksyn przeprowadzono testem LAL (*Limulus Amebocyte Lysate*), a (1→3)-β-D-glukany oznaczano testem GlucateLL — obydwie testy w wersji kinetycznej. **Wyniki:** Stężenia frakcji wdychalnej pyłu zawarte były w granicach 0,16–37,2 mg/m³, przy średniej wartości 3,65 mg/m³, a frakcji respirabilnej odpowiednio od zera do 4,28 mg/m³ i 0,39 mg/m³. Drobnoustroje bakteryjne występowały w stężeniu 4,79×10⁵ jtk/m³, a stężenie grzybów kształtowało się na poziomie 1,55×10⁴ jtk/m³. Endotoksyny charakteryzowało znaczne zróżnicowanie stężeń — 95–147 885 EU/m³ (frakcja wdychalna) oraz 5,5–18 708 EU/m³ (frakcja respirabilna). Stężenie (1→3)-β-D-glukanów mieściło się w zakresie stężeń odpowiednio od 6 ng/m³ do ponad 5200 ng/m³ oraz od 1 ng/m³ do 800 ng/m³. Stężenia amoniaku mieściły się w granicach 1,78–30,1 mg/m³. Stężenie siarkowodoru nie przekraczało 4,1 mg/m³. **Wnioski:** Czynniki szkodliwe obecne na stanowiskach pracy związanych z intensywną hodowlą i produkcją zwierząt mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia pracowników i powinny być brane pod uwagę przy formułowaniu zaleceń profilaktycznych. Med. Pr. 2010;61(3):257–269

Słowa kluczowe: pył organiczny, drobnoustroje, endotoksyny, (1→3)-β-D-glukany, hodowcy trzody

ABSTRACT

Background: In this paper the exposure assessment to airborne biohazards (organic dust, microorganisms, endotoxins and (1→3)-β-D-glucans) as well as to ammonia and hydrogen sulfide among CAFO (swine farms) workers is presented. **Materials and Methods:** Occupational exposure assessment was carried out on 30 swine farms. Personal dosimetry was carried out among 90 swine farm workers to assess the exposure to organic dust, endotoxins and glucans. Concentrations of ammonia and hydrogen sulfide were measured using Draeger pipes. Endotoxins were assayed with the LAL test in a kinetic, chromogenic version and ((1→3)-β-D-glucans with the GlucateLL test in a kinetic version. **Results:** Concentrations of inhalable dust ranged from 0.16 to 37.2 mg/m³, with AM = 3.65 mg/m³, whereas AM for respirable fraction was 0.39 mg/m³ with the range from zero to 4.28 mg/m³. Mean concentration of culturable bacteria was 4.79×10⁵ jtk/m³, and fungi concentration was ten times lower — 1.55×10⁴ jtk/m³. Exposure to endotoxins with high degree of differentiation ranged from 95 to 147 885 EU/m³ in inhalable and from 5.5 to 18 708 EU/m³ in respirable fractions. Glucan concentrations ranged from 6 to > 5200 ng/m³ in unhalable and from 1 to 800 ng/m³ in respirable fraction. Ammonia concentrations in the workplace air ranged from 1.78 mg/m³ (2.50 ppm) to 30.1 mg/m³ (42.4 ppm). Hydrogen sulfide did not exceed the level of 4.1 mg/m³. **Conclusion:** Work conditions found in CAFOs may induce adverse effects on workers' respiratory system and should be considered as an important harmful agent. The protection of workers respiratory airways should be recommended. Med Pr 2010;61(3):257–269

Key words: organic dust, air-borne microorganisms, endotoxin, (1→3)-β-D-glucans, pig farmers

Adres autorów: Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera,
ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: irenasta@imp.lodz.pl

Nadesłano: 22 marca 2010

Zatwierdzono: 15 kwietnia 2010

WSTĘP

Jedną z istotnych dróg wnikania czynników biologicznych do organizmu człowieka jest układ oddechowy, a podstawowym medium ich rozprzestrzeniania się w środowisku jest pył organiczny. Stanowi on mieszaninę cząstek zawierających krzemionkę krystaliczną oraz różnej wielkości i rodzaju fragmenty roślinne i zwierzęce, które są doskonałą pożywką dla rozwoju mikroorganizmów zarówno bakteryjnych, jak i grzybowych (1).

Na przestrzeni wielu lat badań w różnych ośrodkach na świecie starano się ocenić stężenia pyłu organicznego i powiązać je ze skutkami zdrowotnymi (o charakterze infekcyjnym, alergicznym lub toksycznym), które występują u pracowników zatrudnionych na różnych stanowiskach (1–4). Wśród najczęściej obserwowanych skutków narażenia na pył organiczny wymienia się alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych (tzw. płuco rolnika), zespół toksyczny pyłu organicznego (organic dust toxic syndrome — ODTS), astmę oskrzelową oraz alergiczne zapalenie błony śluzowej nosa. Choroby te odnotowywano najczęściej u pracowników kompostowni, rolników, pracowników zatrudnionych przy procesach biotechnologicznych, przy produkcji enzymów, środków piorących i pasz dla zwierząt, w piekarnictwie, w przemyśle drzewnym, a także u weterynarzy i pracowników laboratoriów prowadzących doświadczenia na zwierzętach (4–7).

Grupę pracowników mających kontakt z czynnikami biologicznymi stanowią również osoby zatrudnione przy intensywnej hodowli zwierząt. W ich środowisku pracy obecne są wysokie stężenia pyłów organicznych oraz zawartych w nich czynników biologicznych, które dodatkowo występują w towarzystwie gazów drażniących, takich jak amoniak i siarkowodór. Do najczęściej wskazywanych w piśmiennictwie dolegliwości występujących w tej grupie należą m.in. przewlekły kaszel z odkrztuszaniem, podrażnienie oczu, wodnisty katar, uczucie zatkanego nosa, podrażnienie gardła, a także częste bóle głowy, gorączka i uczucie zmęczenia niezwiązane z wysiłkiem fizycznym. Mniej liczne są prace odnoszące się do wpływu bioaerozoli na czynność układu oddechowego pracowników tej branży. Do chwili obecnej w Polsce nie były prowadzone pogłębione badania, które umożliwiłyby ocenę ekspozycji zawodowej na czynniki biologiczne badanej populacji oraz na wskazanie poziomów stężeń, które w istotny sposób mogą ograniczać funkcjonowanie układu oddechowego narażonych osób.

Głównym celem badań podjętych przez autorów była ocena toksycznego oddziaływania endotoksyn bakteryjnych i (1→3)-b-D-glukanów oraz gazów drażniących na czynność układu oddechowego pracowników zatrudnionych przy intensywnej hodowli trzody chlewnej. Celem analiz przedstawionych w niniejszej publikacji była higieniczna ocena warunków pracy na stanowiskach związanych bezpośrednio z obsługą zwierząt, w ramach której dokonano oceny stężeń bakterii i grzybów w pomieszczeniach chlewni, narażenia pracowników na pył, endotoksyny i (1→3)-β-D-glukany oraz amoniak i siarkowodór. Wyniki analiz, które uwzględniają czynniki techniczne i organizacyjne modyfikujące stężenia analizowanych parametrów, zostaną przedstawione w oddzielnej publikacji.

MATERIAŁ I METODY

Badaniem objęto fermę zlokalizowaną na terenie trzech województw: łódzkiego, wielkopolskiego i pomorskiego. Wybrane obszary charakteryzują się wysokim (< 100 szt./100 ha) lub bardzo wysokim (< 200 szt./100 ha) pogłowiem trzody chlewnej. Pomiary środowiska pracy przeprowadzono na terenie 30 gospodarstw zajmujących się produkcją (tuczem) bądź hodowlą trzody chlewnej. Badania mikrobiologiczne przeprowadzono w 14 pomieszczeniach gospodarskich.

Charakterystyka gospodarstw objętych badaniami

W tabeli 1. zamieszczono charakterystykę gospodarstw objętych pomiarami. Szczegółowa charakterystyka gospodarstw i budynków dla trzody chlewnej została wykonana na podstawie wizji lokalnych oraz wywiadów kwestionariuszowych przeprowadzonych w każdym gospodarstwie (z właścicielem lub jego przedstawicielem). Wywiady obejmowały swoim zakresem specyfikę i wielkość fermy (liczebność stada) oraz techniczny stan budynków inwentarskich.

Spośród badanych gospodarstw jedynie 20% miało profil wyłącznie hodowlany, którego celem jest chów zwierząt pod kątem wyprodukowania jak najczystszego materiału genetycznego. Blisko 70% stanowiły gospodarstwa produkcyjne zajmujące się tuczem zwierząt, a pozostałe 13% to gospodarstwa o profilu mieszanym (produkcyjno-hodowlanym).

Wielkość stad zwierząt w poszczególnych fermach była dość zróżnicowana — od 78 do 17 500 sztuk dorosłych osobników. Przeciętne stado liczyło około 1800 zwierząt. W poszczególnych fermach było od 1 do 32 budynków i miały one zróżnicowaną powierzchnię pomieszczeń hodowlanych — 234–27 300 m².

Tabela 1. Charakterystyka badanych gospodarstw
Table 1. Farms and piggeries under study

| Zmienna Variable | n | % |
|--|-----------|-----------------------|
| Gospodarstwa (ogółem) / Farms (total) | 30,0 | 100,0 |
| Rodzaj gospodarstwa / Type of farm | | |
| produkcyjne / swine production | 20,0 | 66,0 |
| hodowlane / swine breeding | 6,0 | 20,0 |
| mieszane / mixed | 4,0 | 13,3 |
| Budynki w gospodarstwach [n] / / Confinement buildings on the farm [n] | | |
| 1 | 6,0 | 20,0 |
| 2 | 8,0 | 26,7 |
| 3 | 6,0 | 20,0 |
| 4 | 4,0 | 13,3 |
| 7 | 2,0 | 6,7 |
| 8 | 1,0 | 3,3 |
| 16 | 1,0 | 3,3 |
| 18 | 1,0 | 3,3 |
| 32 | 1,0 | 3,3 |
| | \bar{x} | min.–maks. min–max |
| Budynki w gospodarstwach / / Confinement buildings on the farm | 4,8 | 1–32 |
| Wielkość stada bez prosiąt / / Size of herd without piglets | 1 862,0 | 78–17 500 |
| Wielkość powierzchni użytkowej w chlewniach / Piggeries surface [m ²] | 3 771,0 | 234–27 300 |

Populacja objęta badaniem

Przyjęto, że badaniem zostaną objęci mężczyźni powyżej 18. roku życia, zatrudnieni bezpośrednio przy obsłudze trzody chlewnej. Ocenę narażenia na bioaerozole i gazy drażniące przeprowadzono w grupie 90 mężczyzn spełniających powyższe kryteria.

Charakterystykę grupy badanej przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Charakterystyka populacji pracowników objętych badaniem
Table 2. Characteristics of the workers population

| Zmienna Variable | Grupa badana Workers under study (N = 90) | |
|---|---|-----------------------|
| | \bar{x} | min.–maks. min–max |
| Wiek [w latach] / Age [years] | 38,8 | 19–65 |
| Staż pracy w hodowli trzody chlewnej [w latach] / Duration of employment in piggery [years] | 11,8 | 1–50 |
| Długość zmiany roboczej [godz./dzień] / Work shift duration [hours/day] | 6,0 | 2–10 |
| Palenie tytoniu / Smoking habit | n | % |
| palący / current smokers | 36,0 | 40,0 |
| niepalący / ex-smokers | 54,0 | 60,0 |

Metody oceny czynników szkodliwych w środowisku pracy

Strategia poboru prób powietrza

Strategia pomiarowa została oparta na zapisach Polskich Norm PN-EN 13098:2002 (8) i PN-EN 14042:2004 (9). Próby bioaerozoli pobierano za pomocą zestawów „pompka–głowica z filtrem”, które były przymocowywane do ubrania badanego pracownika.

Zestaw do poboru frakcji wdychalnej składał się z pompki typu GilAir 5 (Sensidine, USA) oraz głowicy typu „7-hole aerosol sampler” (Casella, Wielka Brytania), w której zainstalowano filtr z włókien szklanych GF/A (Whatman, Wielka Brytania) o średnicy 25 mm. Zestaw pracował przy przepływie powietrza 2 l/min.

Zestaw do poboru frakcji respirabilnej składał się z: pompki typu GilAir 5, separatora cyklonowego typu C2/03 (Two-Met, Polska), w którym zainstalowano filtr z włókien szklanych GF/A (Whatman, Wielka Brytania) o średnicy 37 mm. Zestaw pracował przy przepływie powietrza 1,9 l/min.

Obydwa rodzaje zestawów pomiarowych były każdorazowo przed przystąpieniem do badań kalibrowane. Średni czas poboru prób wynosił około 6 godzin, przy czym wahał się od 2 do 8 godzin w zależności od gospodarstwa. Duża rozpiętość czasu poboru prób wynikała z różnej aktywności badanych pracowników przy hodowli trzody w budynkach gospodarskich. Stężenia pyłu w powietrzu (frakcję wdychalną i respirabilną) oceniano metodą grawimetryczną. Każdy filtr ważono w laboratorium przed pomiarami i po ich zakończeniu, przy użyciu wagi CP 225D (Sartorius, Niemcy), której dokładność d wynosiła 0,01 mg. W pobranych frakcjach pyłu oznaczane były stężenia endotoksyn

i glukanów. Zważone filtry do czasu analiz endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów były przechowywane w temperaturze -20°C.

Analiza stężeń bakterii i grzybów

Badaniem mikrobiologicznym objęto 14 pomieszczeń inwentarskich wytypowanych na podstawie ankiety. Zakres badań obejmował oznaczenie ogólnej liczby żywych drobnoustrojów mezofilnych w podziale na ogólną liczbę bakterii i ogólną liczbę grzybów. Pobór prób przeprowadzono w centralnej części badanych pomieszczeń na wysokości około 1,5 m nad podłożem w celu zarespirowania powietrza z obszaru odpowiadającego strefie oddechowej człowieka.

Próbki bioaerozolu pobrano metodą zderzeniową za pomocą przenośnego próbnika powietrza — 6-poziomowego impaktora kaskadowego Andersena (Westech Instrument Services Ltd, Wielka Brytania) przy stałym przepływie powietrza 28,3 l/min. Bioareozol został pobrany bezpośrednio na pożywki mikrobiologiczne (GRASO, Starogard Gdański, Polska): dla bakterii — na podłoże z nystatyną, dla grzybów — na pożywkę Malt Extract Agar z dodatkiem streptomycyny i chloramfenikolu. Podczas poboru każdej z prób równoległe, za pomocą wielofunkcyjnego miernika Testo 435-2 (Testo AG, Niemcy), przeprowadzono pomiar parametrów mikroklimatu.

Hodowla i obliczanie stężeń żywych drobnoustrojów w powietrzu

Inkubacja płytek dla bakterii mezofilnych wynosiła 2 dni w temperaturze 30°C, a dla grzybów mezofilnych — 5 dni w 30°C. Po okresie inkubacji liczono kolonie wyrosłe na płytkach. Ogólną liczbę żywych drobnoustrojów mezofilnych obliczano, sumując liczbę żywych bakterii mezofilnych (N_B) i grzybów mezofilnych (N_G). Stężenia drobnoustrojów przedstawiono w jednostkach tworzących kolonie w 1 m³ powietrza (jtk/m³).

Analiza endotoksyn i (1→3)-β-D-glukanów

Zamrożone próby eluowano w 10 ml wody LAL (*Listeria Amebocyte* Lysate) (Cambrex, USA) z dodatkiem 0,05% Tween 20 (Sigma, Polska). Próby wytrząsano w czasie 15 minut, po czym wirowano przy 1000×G w czasie 15 minut. Z uzyskanego supernatantu pobrano 1,8 ml eluatu, który wykorzystano do analizy endotoksyn bakteryjnych oraz frakcji (1→3)-β-D-glukanów rozpuszczalnej w wodzie. Do pozostałej części supernatantu dodano NaOH (Sigma, Polska) tak, aby otrzymać

roztwór o stężeniu 0,3 M NaOH. Tak przygotowane próby eluowano na wytrząsarce platformowej w czasie 10 minut w temperaturze 4°C, po czym wirowano przy 1000×G w czasie 15 minut. Uzyskany supernatant posłużył do analizy frakcji (1→3)-β-D-glukanów rozpuszczalnej w alkaliach.

Oznaczanie endotoksyn bakteryjnych oraz (1→3)-β-D-glukanów wykonano przy pomocy czytnika spektrofotometrycznego SpectraMax Plus384 (Molecular Devices, USA). Analizę endotoksyn przeprowadzono testem LAL w wersji kinetycznej, chromogennej Kinetic-QCL (Cambrex, USA). Po dodaniu na apirogenną mikropłytkę równych ilości (po 100 μl) prób oraz lysatu LAL przeprowadzono odczyt przy fali świetlnej o długości 405 nm oraz stałej temperaturze 37°C.

W analizie korzystano z endotoksyny wzorcowej *Escherichia coli* 055:B5 o aktywności 9 EU/ng. Wartości stężeń endotoksyn przedstawiono w jednostkach [EU/m³]. (1→3)-β-D-glukany oznaczano testem GlucateLL w wersji kinetycznej (Associates of Cape Cod Inc., USA). Analizę przeprowadzono oddzielnie dla obydwu wyeluowanych frakcji, tj. rozpuszczalnej w wodzie (WS) oraz rozpuszczalnej w alkaliach (AS). Po dodaniu do każdego dołka mikropłytki 25 μl prób oraz 50 μl odczynnika określono wielkości stężeń glukanów, stosując fale świetlne o długości 405 nm i 490 nm oraz stałą temperaturę 37°C. Całkowite stężenie (1→3)-β-D-glukanów stanowiło sumę dwóch oznaczonych frakcji. Wartości stężeń (1→3)-β-D-glukanów przedstawiono w jednostkach (ng/m³).

Analiza stężeń gazów drażniących

Stężenia amoniaku i siarkowodoru określono za pomocą dozymetrii indywidualnej na 90 stanowiskach pracy. Do oznaczenia stężeń gazów użyto rurek dyfuzyjnych z bezpośrednim odczytem firmy Dräger (Dräger Safety AG & Co. KGaA, Luebeck, Germany). Oznaczalność metody była zależna od czasu pomiaru i przy przeciętnie 6 godzinach pomiaru wynosiła w przypadku amoniaku 15 ppm, natomiast dla siarkowodoru — 7,5 ppm/godz. Rurki przypinano do ubrania badanych pracowników na czas wykonywanej pracy tak, aby znajdowały się one w strefie ich oddychania. Stężenia gazów wyrażone w ppm przeliczono na stężenia w mg/m³.

Analiza statystyczna

W podstawowej charakterystyce zmiennych ilościowych uwzględniono miary centralnej tendencji (średnia arytmetyczna i geometryczna) oraz rozproszenia (odchylenie

standardowe i geometryczne odchylenie standardowe). Różnice między zmiennymi w zależności od typu rozkładu danych pomiarowych oceniano w oparciu o test *t*-Studenta lub test U (Manna-Whitneya), a do oceny korelacji zastosowano współczynnik korelacji Pearsona. W obliczeniach wykorzystano pakiet STATISTICA w wersji 7.1 (StatSoft, Polska, Kraków). Poziom istotności był uznawany za znaczący przy $p < 0,05$.

WYNIKI

Pył organiczny

Podczas badania wykonano 90 pomiarów indywidualnych. Analizę stężeń pyłu organicznego sporządzono z podziałem na jego frakcję wdychalną i respirabilną. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 3. Analiza prób pokazała, że zakres stężeń frakcji wdychalnej zawarty był w granicach 0,16–37,2 mg/m³, przy średniej

wartości równej 3,65 mg/m³, a średnie stężenie frakcji respirabilnej wynosiło 0,39 mg/m³, przy zakresie stężeń 0–4,28 mg/m³.

W celu oceny ekspozycji pracowników trzody chlewnej na pył organiczny obecny w pomieszczeniach hodowlanych oznaczone wartości stężeń porównano z odpowiednimi dla tego rodzaju pyłu wartościami NDS (pył wdychalny — 4 mg/m³, pył respirabilny — 2 mg/m³) (10). Analiza wykazała, że przekroczenie wartości NDS nastąpiło w 47% i 7% przypadków, odpowiednio dla stężeń frakcji wdychalnej i respirabilnej.

Bakterie i grzyby

W tabeli 4. przedstawiono charakterystykę stężeń drobnoustrojów ogółem, bakterii i grzybów stwierdzonych w pomieszczeniach chlewni oraz udział procentowy bakterii i grzybów w całkowitej puli mikroorganizmów tworzących bioaerozol. Stężenie drobnoustrojów

Tabela 3. Narażenie na pył organiczny pracowników zatrudnionych przy hodowli trzody chlewnej
Table 3. Exposure to organic dust among workers under study

| Zmienna Variable | AM | SD | GM | GSD | Min.–maks. Min–max | Próby z przekroczeniem NDS Samples over TLV [%] |
|--|------|------|------|------|-----------------------|--|
| Frakcja wdychalna / / Inhalable fraction [mg/m ³] | 5,38 | 5,41 | 3,65 | 2,51 | 0,16–37,20 | 47 |
| Frakcja respirabilna / / Respirable fraction [mg/m ³] | 0,64 | 0,81 | 0,39 | 2,63 | 0,00–4,28 | 7 |

AM — średnia arytmetyczna / arithmetic mean.

SD — odchylenie standardowe / standard deviation.

GM — średnia geometryczna / geometric mean.

GSD — geometryczne odchylenie standardowe / geometric standard deviation.

NDS — najwyższe dopuszczalne stężenie / TLV — Threshold Limit Value.

Tabela 4. Charakterystyka stężeń drobnoustrojów, bakterii i grzybów w pomieszczeniach chlewni objętych badaniem mikrobiologicznym

Table 4. Concentration of microorganisms in the air of piggeries under study (bacteria, fungi)

| Czynnik biologiczny Biological agent | Pomieszczenia chlewni Swine confinement buildings (N = 14) | | | | min.–maks. min–max |
|---|--|-------|-------|------|-----------------------|
| | AM | SD | GM | GSD | |
| Stężenie drobnoustrojów ogółem ×10 ⁴ [jtk/m ³] / / Concentration of microorganisms (total) ×10 ⁴ [cfu/m ³] | 49,40 | 33,72 | 35,29 | 2,68 | 4,38–107,21 |
| Stężenie bakterii ×10 ⁴ [jtk/m ³] / / Concentration of airborne bacteria ×10 ⁴ [cfu/m ³] | 47,85 | 33,12 | 34,22 | 2,66 | 4,36–106,18 |
| Stężenie grzybów ×10 ⁴ [jtk/m ³] / / Concentration of airborne fungi ×10 ⁴ [cfu/m ³] | 1,55 | 3,03 | 0,27 | 7,51 | 0,02–10,80 |

Objaśnienia jak w tabeli 3 / Abbreviations as in Table 3.

ogółem w powietrzu badanych pomieszczeń chlewni było wysokie i mieściło się w granicach $4,38 \times 10^4$ – $1,07 \times 10^6$ jtk/m³ ze średnią wartością $4,94 \times 10^5$ jtk/m³.

Ponad 96% oznaczonych mikroorganizmów stanowiły drobnoustroje bakteryjne, które występowały w przeciętnym stężeniu $4,79 \times 10^5$ jtk/m³. Średnie stężenie grzybów było 10-krotnie niższe niż w przypadku bakterii i kształtowało się na poziomie $1,55 \times 10^4$ jtk/m³.

Endotoksyny

Średnie stężenia endotoksyn w powietrzu z uwzględnieniem frakcji wdychanej i respirabilnej, ich zakresy oraz odchylenia standardowe, przedstawiono w tabeli 5.

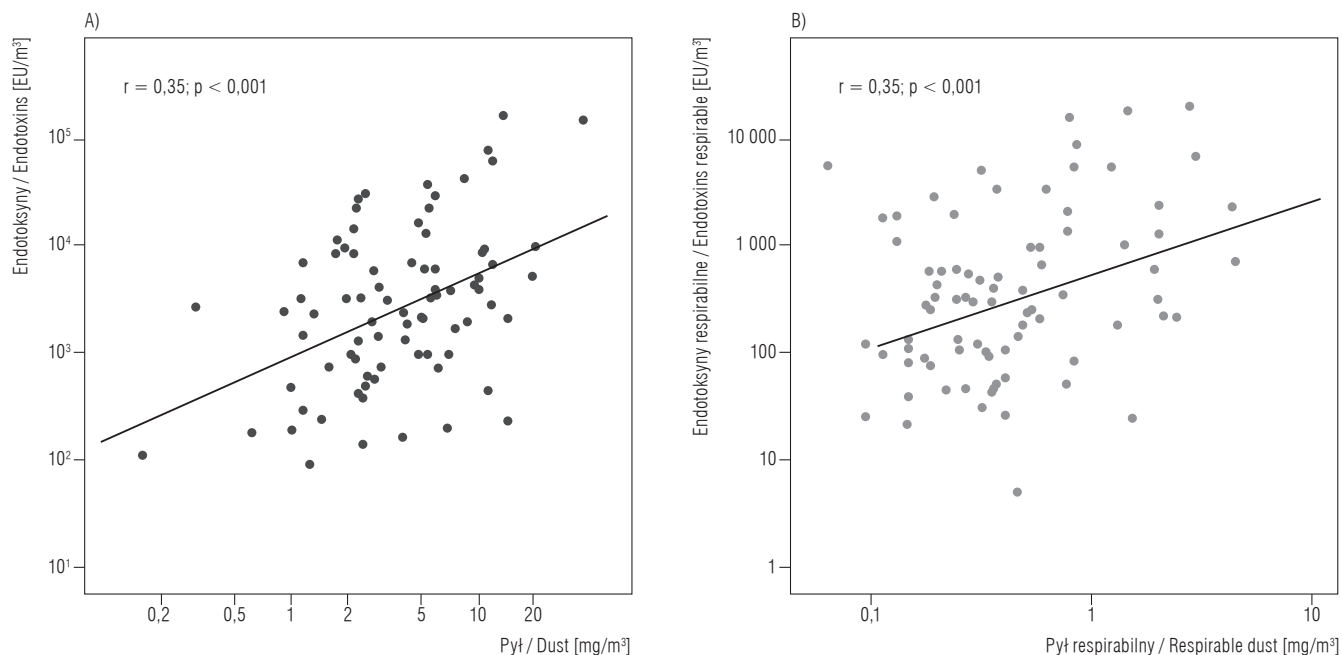
Ekspozycja zawodowa na endotoksyny charakteryzowała się znacznym zróżnicowaniem stężeń, które mieściły się w zakresie od 95 do 147 885 EU/m³ dla frakcji wdychalnej oraz od 5,5 do 18 708 EU/m³ dla frakcji respirabilnej. Średnie geometryczne stężenia wyniosły 2376 i 296 EU/m³ odpowiednio dla frakcji wdychalnej i respirabilnej. Analiza zmienności stężeń na podstawie miar rozproszenia, wykazała podobne zróżnicowanie w obu frakcjach. Stężenia endotoksyn były skorelowane ze stężeniami pyłu organicznego, zarówno w przypadku frakcji wdychalnej jak i respirabilnej ($r = 0,35$; $p < 0,001$). Graficzne zilustrowanie korelacji przedstawiono na rycinie 1.

Tabela 5. Stężenia endotoksyn podczas prac przy hodowli trzody chlewnej

Table 5. Exposure to endotoxins among workers under study

| Endotoksyny Endotoxins | Grupa badana Workers under study (N = 90) | | | | |
|--|---|--------|-------|------|-----------------------|
| | AM | SD | GM | GSD | min.–maks. min–max |
| Fracja wdychalna / Inhalable fraction [EU/m ³] | 9 481 | 23 281 | 2 376 | 5,10 | 95–147 885 |
| Fracja respirabilna / Respirable fraction [EU/m ³] | 1 404 | 3 262 | 296 | 5,70 | 5,5–18 708 |

Objaśnienia jak w tabeli 3 / Abbreviations as in Table 3.



Ryc. 1. Korelacja stężeń pyłu organicznego i endotoksyn dla frakcji wdychalnej (A) i respirabilnej (B).
Fig. 1. Correlations between organic dust and endotoxins: (A) inhalable fraction; (B) respirable fraction.

(1→3)-β-D-glukany

Ocena narażenia na (1→3)-β-D-glukany wykazała wysokie zróżnicowanie stężeń. Pełen zestaw uśrednionych wyników przedstawiono w tabeli 6. Na ich podstawie można stwierdzić, że oznaczone stężenia mieściły się w zakresie od 6 ng/m³ do ponad 5200 ng/m³ dla frakcji wdychalnej oraz od około 1 ng/m³ do blisko 800 ng/m³ dla frakcji respirabilnej. Średnie geometryczne stężenia glukanów wyniosły 223 i 18,9 ng/m³, odpowiednio dla frakcji wdychalnej i respirabilnej.

Obliczone miary rozrzutu wskazują, że większą zmienność stężeń zaobserwowano w przypadku frakcji respirabilnej niż frakcji wdychalnej (wartości GSD, odpowiednio: 6,20 i 4,80).

Wykazane poziomy (1→3)-β-D-glukanów były skorelowane ze stężeniami pyłu organicznego. W przypadku frakcji wdychalnej ($r = 0,57$; $p < 0,001$) zależność ta była blisko dwukrotnie silniejsza niż dla frakcji respirabilnej ($r = 0,22$; $p = 0,04$). Powyższe korelacje przedstawiono na rycinie 2.

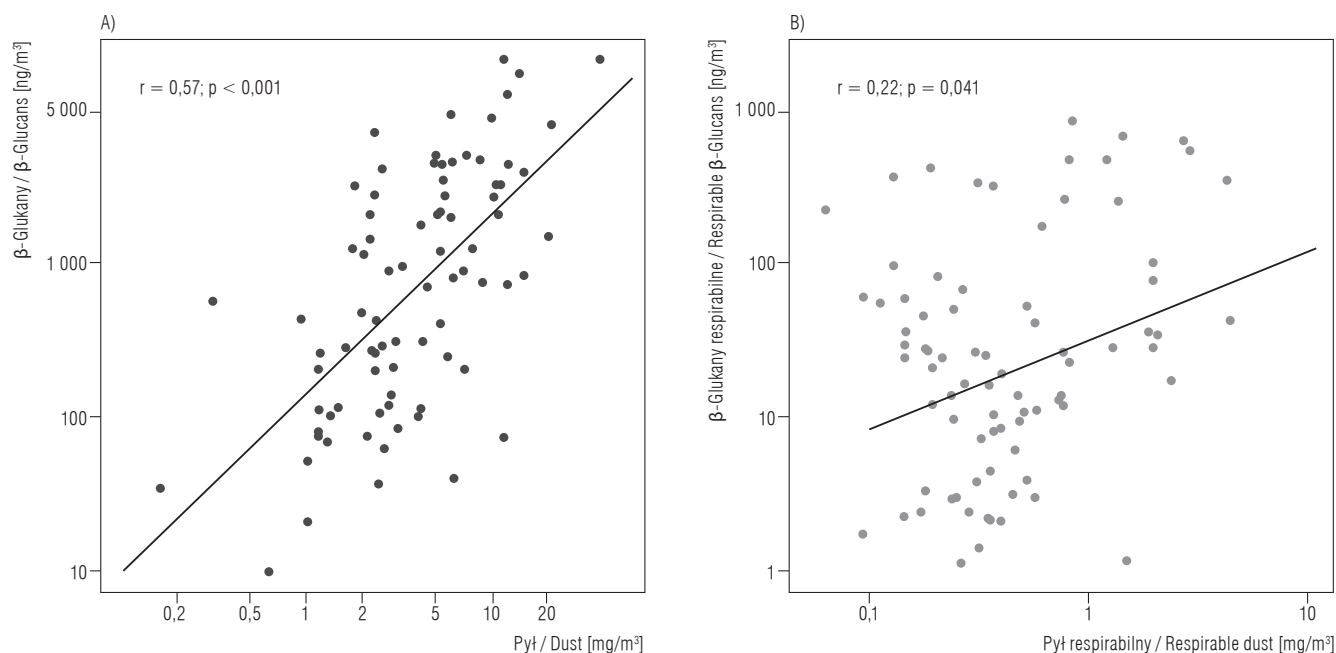
Stężenia amoniaku i siarkowodoru

Ocenę narażenia pracowników trzody chlewnej przeprowadzono, odnosząc stwierdzone na stanowiskach pracy stężenia amoniaku i siarkowodoru (przeliczone na ekspozycję ważoną 8-godzinnym czasem pracy) do odpowiednich wartości NDS: dla amoniaku — 14 mg/m³, dla siarkowodoru — 10 mg/m³ (10).

Tabela 6. Stężenia (1→3)-β-D-glukanów podczas prac przy hodowli trzody chlewnej
Table 6. Exposure to (1→3)-β-D-glucans among workers under study

| (1→3)-β-D-glukany (1→3)-β-D-glucans | Grupa badana Workers under study (N = 90) | | | | min.–maks. min–max |
|---|---|---------|-------|-----|-----------------------|
| | AM | SD | GM | GSD | |
| Frakcja wdychana / Inhalable fraction [ng/m ³] | 653,0 | 1 027,0 | 223,0 | 4,8 | 6,0–5 208 |
| Frakcja respirabilna / Respirable fraction [ng/m ³] | 85,0 | 161,0 | 18,9 | 6,2 | 1,1–799 |

Objaśnienia jak w tabeli 3 / Abbreviations as in Table 3.



Ryc. 2. Korelacja stężeń pyłu organicznego i (1→3)-β-D-glukanów dla frakcji wdychalnej (A) i respirabilnej (B).

Fig. 2. Correlations between organic dust and (1→3)-β-D-glucans: (A) inhalable fraction; (B) respirable fraction.

Stężenia amoniaku na stanowiskach pracy mieściły się w granicach od 1,78 mg/m³ (2,50 ppm) do 30,1 mg/m³ (42,4 ppm). Średnia geometryczna wynosiła 5,92 mg/m³ (8,34 ppm) (GSD = 1,83 mg/m³). Stwierdzono, że w pięciu przypadkach została przekroczona wartość NDS obowiązująca dla amoniaku, przy czym stężenia przekraczające tę wartość wynosiły 14,6–30,1 mg/m³. Analizując siarkowodór, stwierdzono, że tylko w dwóch przypadkach jego stężenie było powyżej granicy oznaczalności metody i wynosiło 4,11 mg/m³ (2,89 ppm) i 2,13 mg/m³ (1,50 ppm), co stanowi odpowiednio 41,1% i 21,3% wartości NDS obowiązującej dla tego gazu. Stężenia te oznaczono u pracowników wykonujących czynności związane z czyszczeniem systemu odprowadzającego gnojowicę.

OMÓWIENIE

Jednym z czynników, na które narażeni są pracownicy zatrudnieni przy hodowli trzody chlewnej, jest pył organiczny obecny w pomieszczeniach dla zwierząt. W swoim składzie zawiera on cząstki pochodzenia zwierzęcego i roślinnego, a także drobnoustroje i składniki ich ścian komórkowych uwalniane do środowiska. Stopień szkodliwości cząstek tworzących pył organiczny zależy między innymi od ich rozmiarów, co warunkuje zdolność wnikania do odpowiednich części układu oddechowego człowieka. Cząstki o średnicy aerodynamicznej powyżej 5 µm osadzają się głównie w obszarze

nosowo-gardłowym, tchawicy i dużych oskrzelach, natomiast cząstki mniejsze od 5 µm mogą docierać przez tchawicę i oskrzela do pęcherzyków płucnych (frakcja respirabilna) (11). Wartości stężeń frakcji wdychalnej i respirabilnej określone w naszym badaniu są porównywalne z poziomami opisanymi w literaturze (tab. 7). Należy jednak podkreślić, że prawie połowa badanych przez nas pracowników ferm (47%) wykonywała prace w stężeniach przekraczających poziom gwarantujący bezpieczeństwo dla zdrowia.

Przeprowadzone badania wykazały, że powietrze wewnątrz chlewni na terenie ferm zajmujących się wielkoprzemysłową hodowlą i produkcją zwierząt zawierało wysokie stężenia żywych drobnoustrojów ogółem, mieszczące się w zakresie 10⁴–10⁶ jtk/m³. Wartości te były porównywalne z poziomami stężeń żywych mikroorganizmów podawanymi w kilku opublikowanych pracach dotyczących badań bioaerozolu w zamkniętych budynkach chlewni na terenie Europy i Stanów Zjednoczonych (19–21). Były jednak niższe o rząd wielkości w porównaniu z danymi przedstawianymi przez Rautiala i wsp. (22) oraz Thorne'a i wsp. (23), w których górna granica zakresu znajdowała się powyżej 10⁷ jtk/m³. Przeważającą część drobnoustrojów obecnych w bioaerozolu stanowiły, podobnie jak w pracach innych badaczy, bakterie (19,24).

Oznaczone przez nas średnie stężenie mezofilnych mikroorganizmów bakteryjnych było generalnie znacznie wyższe od przeciętnych stężeń tych drobno-

Tabela 7. Stężenia pyłu wdychalnego i respirabilnego oznaczone metodą dozimetrii indywidualnej u hodowców trzody chlewnej — dane literaturowe

Table 7. Exposure to inhalable and respirable dust among piggery workers based on the literature

| Piśmiennictwo References | Stężenia pyłu Exposure to dust [mg/m ³] | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| | frakcja wdychalna inhalable fraction | | frakcja respirabilna respirable fraction | |
| | średnia mean | min.–maks. min–max | średnia mean | min.–maks. min–max |
| Choudat i wsp., 1994 (12) | 3,36 | 1,63–7,51 | – | – |
| Kim i wsp., 2008 (13) | 3,02 | 0,60–6,70 | 1,34 | 0,43–3,45 |
| Radon i wsp., 2002 (14) | 3,95* | 1,11–13,75 | – | – |
| | 5,00* | < ozn.met.–76,70 | – | – |
| Haglund i Rylander, 1987 (15) | 4,90 | 2,20–15,20 | – | 0,30–1,40 |
| Donham i wsp., 1989 (16) | 6,80 | 1,80–21,70 | 0,34 | 0,00–2,20 |
| Mc Donnell i wsp., 2008 (17) | 2,99* | 1,10–5,60 | 1,19* | 0,09–0,63 |
| Preller i wsp., 1995 (18) | 2,40 | 0,30–26,60 | – | – |

„–” — brak badań / lack of data.

* Mediana / Median.

< ozn.met — poniżej oznaczalności metody / beyond the level of detection.

ustrojów przytaczanych w literaturze, ale uzyskane poziomy bakterii mieściły się w zakresie stężeń stwierdzanych w pomieszczeniach ferm trzody chlewnej w Europie, Kanadzie i Stanach Zjednoczonych (zakres stężeń: $1,0 \times 10^3$ – $8,0 \times 10^6$ jtk/m³) (7,19,23–29). Należy zauważyć również, że oznaczone wartości stężeń bakterii w tym badaniu były nieznacznie niższe w porównaniu z wynikami uzyskanymi w podobnych badaniach prowadzonych w Polsce przez Dutkiewicza i wsp. (30).

Średnie stężenie grzybów w pomieszczeniach chlewni objętych badaniem było 100-krotnie wyższe w stosunku do poziomu 10^2 jtk/m³ podawanego w kilku wcześniej opublikowanych pracach (24,28), ale zbliżone do wartości stwierdzanych przez Donhama i wsp. (19) oraz Thorne'a i wsp. (23), a także o rząd wielkości niższe od maksymalnych średnich stężeń uzyskanych przez Rautiala i wsp. (22). Szeroki zakres oznaczonych poziomów grzybów wynoszący 10^2 – 10^5 jtk/m³ był porównywalny z zakresami uzyskiwanych stężeń tych drobnoustrojów podawanymi w literaturze (22,23,26).

W odniesieniu do badań prowadzonych w polskich chlewniach przez Dutkiewicza i wsp. (30) należy zauważyć, że oznaczone średnie stężenie grzybów znajdowało się na zbliżonym poziomie do wartości uzyskanych przez tych badaczy. Zarówno w przypadku bakterii, jak i grzybów wykazane w badaniu średnie stężenia tych mikroorganizmów przewyższały poziom — odpowiednio $4,3 \times 10^5$ jtk/m³ dla bakterii i $1,3 \times 10^4$ jtk/m³ dla grzybów — których przekroczenie łączone jest z występowaniem objawów ze strony układu oddechowego u ludzi (16).

Oznaczone średnie stężenie drobnoustrojów bakteryjnych w pomieszczeniach chlewni objętych badaniem było również wyższe od zalecanej w Polsce wartości referencyjnej dla narażenia w środowisku pracy, zaproponowanej przez Dutkiewicza i Górnego (31,32), i wynoszącej dla ogólnej liczby bakterii mezofilnych $1,0 \times 10^5$ jtk/m³. Uzyskane w badaniu średnie stężenie mikroflory grzybowej było nieznacznie niższe od analogicznej wartości referencyjnej podawanej przez tych samych badaczy dla ogólnej liczby grzybów ($5,0 \times 10^4$ jtk/m³). Biorąc pod uwagę górną granicę zakresu stwierdzonych stężeń grzybów (powyżej 10^5 jtk/m³), należy jednak zaznaczyć, że w poszczególnych przypadkach koncentracja bioaerozolu grzybowego znacznie przekraczała zalecaną wartość.

Stężenia endotoksyn bakteryjnych u badanych pracowników charakteryzowały się bardzo wysokim zróżnicowaniem stężeń — w zakresie od ponad 90 EU/m³ do blisko 150 000 EU/m³ dla frakcji wdychalnej oraz

od 5 EU/m³ do blisko 19 000 EU/m³ dla frakcji respirabilnej — i osiągnęły odpowiednio wartości średnie na poziomie 2376 EU/m³ i 296 EU/m³. Do chwili obecnej brak jest obowiązującego normatywu odnoszącego się do endotoksyn bakteryjnych występujących w środowisku pracy. Liczne badania prowadzone w różnych grupach zawodowych narażonych na czynniki biologiczne, w tym endotoksyny bakteryjne, doprowadziły do zaproponowania wartości referencyjnych różniących się zakresem (90–2000 EU/m³), które pozwalają zrelatywizować uzyskiwane wyniki pomiarów oraz odnieść je do określonych skutków zdrowotnych (31,33–35).

Przyjmując do interpretacji uzyskanych wyników wartość referencyjną 2000 EU/m³, po której przekroczeniu mogą występować objawy toksyczne w układzie oddechowym, stwierdzono, że średnie stężenie endotoksyn bakteryjnych oznaczone u pracowników przekraczało ten poziom. Przegląd piśmiennictwa dotyczącego problematyki poruszanej w badaniu wskazuje, że endotoksyny bakteryjne są odpowiednim i powszechnie stosowanym wskaźnikiem w ocenie higienicznej środowiska pracy zanieczyszczonego drobnoustrojami oraz ryzyka dla zdrowia osób zatrudnionych (5,7,16,36–39).

Vogelzang i wsp. (39) wykazali średnie stężenia endotoksyn dla grupy 171 hodowców trzody chlewnej wynoszące 1050 EU/m³ dla frakcji wdychalnej i 263 EU/m³ dla frakcji respirabilnej. Donham i wsp. (16) w ocenie stanu zdrowia 57 pracowników zatrudnionych na 30 fermach trzody chlewnej określili narażenie na endotoksyny bakteryjne mierzone za pomocą dozymetrii indywidualnej. Porównując te wyniki z uzyskanymi przez nas, można stwierdzić podobieństwo w zakresie średnich stężeń endotoksyn odnośnie do frakcji wdychalnej. Wegner (40) wykazał zróżnicowanie stężeń endotoksyn bakteryjnych u pracowników zatrudnionych przy obsłudze różnych cykli produkcyjnych trzody, jednak żaden z poziomów nie przekraczał 400 EU/m³.

Przeprowadzona w ramach realizowanego projektu szczegółowa ocena narażenia na (1→3)-β-D-glukany w powietrzu podczas prac związanych z hodowlą trzody chlewnej była jak do tej pory pierwszą tego typu analizą w Polsce i jedną z nielicznych na świecie. Należy wyraźnie podkreślić, że do chwili obecnej nie ma proponowanych wartości granicznych, które pozwalałyby na higieniczną ocenę uzyskanych wyników badania.

Doniesienia innych badaczy o narażeniu na glukany przy hodowli świń są niezwykle ubogie. Praktycznie aktualnie można wymienić dwie prace poruszające to zagadnienie, z czego obydwie dotyczą farmerów

z Norwegii. W pierwszej zbadano narażenie u 106 farmerów reprezentujących różne profile produkcji roślinnej (zboża, ziemniaki, cebula) oraz zwierzęcej (hodowla bydła, trzody chlewnej oraz drobiu) (41). Niestety przedstawione wyniki oceny narażenia nie wyróżniają rodzaju produkcji rolniczej i odnoszą się do całej grupy badanych rolników. Uzyskane średnie ważone stężenie (1 \rightarrow 3)- β -D-glukanów wyniosło 0,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (średnia geometryczna). Wartość ta była blisko 4 razy wyższa niż średnia uzyskana w naszym badaniu ($\text{GM} = 0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

W najnowszej pracy oceniającej ponad 4700 norweskich farmerów już bardziej szczegółowo omówiono narażenie w odniesieniu do rodzaju produkcji rolniczej (42). Blisko 9% badanych osób stanowili farmerzy specjalizujący się tylko w hodowli trzody chlewnej. Przeprowadzona ocena narażenia wykazała u tej grupy rolników stężenia glukanów na poziomie 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (średnia geometryczna). Spośród innych typów hodowli zwierząt także wysokie stężenia (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) stwierdzano na fermach drobiu (42) oraz w stadninach koni — 9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (43). Jeszcze wyższe stężenia (1 \rightarrow 3)- β -D-glukanów obserwowano podczas prac przy produkcji roślinnej. Przy obróbce ziarna Halstensen i wsp. (44) wykazał narażenie na poziomie nawet 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (średnia geometryczna).

Tak znaczące różnice między wynikami naszego badania a wymienionymi powyżej można wyjaśnić przede wszystkim zastosowaniem odmiennych technik analitycznych przy oznaczaniu (1 \rightarrow 3)- β -D-glukanów (immunoenzymatyczna metoda ELISA i test enzymatyczny LAL). Jak wykazali Heldal i wsp. (45), porównanie wyników z prób powietrza uzyskanych przy użyciu tych różnych metod może prowadzić do błędnych wniosków. W niniejszym badaniu wykazano dosyć wysoką korelację glukanów i pyłu organicznego dla frakcji wdychalnej ($r = 0,61$), co koresponduje z wynikiem uzyskanym przez Eduarda i wsp. (42).

Odnosnie do stężeń amoniaku i siarkowodoru przedstawione wyniki są w większości niższe od opisanych przez innych autorów (12,15,16,26,28,46–48). Są one w znacznym stopniu niższe w przypadku siarkowodoru od wyników podanych przez Chénard i wsp. (49), według których poziom tego gazu w pomieszczeniach chlewni podczas czynności usuwania gnojowicy może osiągać wartość 1000 ppm. Granice stężeń podobne do uzyskanych przez nas odnośnie do obu gazów przedstawili natomiast Radon i wsp. (14). Należy zwrócić uwagę, że stężenia omawianych gazów określano w prezentowanym badaniu na podstawie dozymetrii indywidualnej, stąd odnoszą się one do

narażenia pracowników podczas wykonywania prac bezpośrednio przy zwierzętach, są wypadkową stężeń towarzyszących różnym czynnościom niejednokrotnie w kilku pomieszczeniach i nie charakteryzują warunków panujących w pomieszczeniach chlewni o określonych parametrach technicznych, a także nie obrazują narażenia charakterystycznego dla danej czynności.

WNIOSKI

1. Znaczny odsetek pracowników ferm trzody chlewnej narażony jest na wysokie stężenia pyłu organicznego. W badaniu wykazano, że 47% z nich pracuje w stężeniach przekraczających poziom obowiązującego w Polsce normatywu higienicznego dla tego czynnika odnośnie frakcji wdychalnej, a u 7% pracowników stwierdzono przekroczenia normatywu dla frakcji respirabilnej.
2. W powietrzu budynków chlewni stwierdzono wysokie stężenia mikroflory bakteryjnej przekraczające poziomy uważane, zarówno przez badaczy polskich, jak i z innych krajów, za bezpieczne dla zdrowia pracowników. Stężenie przeciętne bioaerozolu grzybowego w budynkach chlewni odnotowano na poziomie nieco niższym od wartości zalecanych w Polsce, ale w niektórych pomieszczeniach wartości te były znacznie przekroczone.
3. Stężenia endotoksyn w powietrzu stanowisk pracy mieściły się w zakresie od 95 EU/ m^3 do ponad 147 000 EU/ m^3 dla frakcji wdychalnej oraz od 5 EU/ m^3 do blisko 19 000 EU/ m^3 dla frakcji respirabilnej, przy średnich geometrycznych odpowiednio: 2376 EU/ m^3 i 296 EU/ m^3 i były skorelowane w przypadku obu frakcji ze stężeniami pyłu organicznego ($r = 0,35$; $p < 0,001$). Blisko 60% pracowników przebywało w stężeniach przekraczających wartość referencyjną 2000 EU/ m^3 , której przekroczenie istotnie zwiększa ryzyko wystąpienia objawów toksycznych w układzie oddechowym osób narażonych.
4. Ocena występowania (1 \rightarrow 3)- β -D-glukanów w powietrzu stanowisk pracy wykazała, że pracownicy narażeni byli na nie w stężeniach, które mieściły się w szerokim zakresie od 6 ng/ m^3 do ponad 5200 ng/ m^3 dla frakcji wdychalnej oraz od około 1 ng/ m^3 do blisko 800 ng/ m^3 dla frakcji respirabilnej, przy średnich geometrycznych odpowiednio: 223 ng/ m^3 i 18,9 ng/ m^3 . Beta-glukany, szczególnie we frakcji wdychalnej, były dobrze skorelowane ze stężeniami pyłu na stanowiskach pracy ($r = 0,57$; $p < 0,001$).

5. Stwierdzone stężenia bioaerozoli na stanowiskach pracy związanych z intensywną hodowlą i produkcją trzody chlewnej mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia pracowników i powinny być brane pod uwagę przy formułowaniu zaleceń profilaktycznych, szczególnie w odniesieniu do ochrony dróg oddechowych.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy publikacji pragną podziękować za pomoc w nawiązaniu bezpośredniego kontaktu z producentami trzody chlewnej kierownictwu i pracownikom pionu Higieny Pracy WSSE w Gdańsku oraz PSSE w Człuchowie, a szczególnie Pani Ewie Wisieckiej, która dołożyła wszelkich starań, aby umożliwić nam badania. Nieoceniona była też pomoc Pana Czesława Płuciennika z Polskiego Związku Hodowców i Producentów Trzody Chlewnej POLSUS — filia w Łodzi, który dostarczył wielu informacji technicznych i wskazówek dotyczących branży hodowlanej, a także udostępnił nam wiele cennych kontaktów. Oddzielne podziękowania autorzy kierują do prezesów spółek oraz właścicieli i pracowników gospodarstw, na terenie których przeprowadzone zostały pomiary. Bez przychylności i pomocy Tych osób nie byłoby możliwe przeprowadzenie badań w tak szerokim zakresie.

PIŚMIENNICTWO

1. Rylander R., Jacobs R.R. [red.]: Organic dust. Exposure, effects, and prevention. CRS Press, Inc., Boca Raton 1994
2. Rylander R.: Airborne (1 \rightarrow 3)- β -D-glucan and airway disease in a day-care center before and after renovation. *Arch. Environ. Health.* 1997;52(4):281–284
3. Dutkiewicz J., Śpiewak R., Jabłoński L.: Klasyfikacja szkodliwych czynników biologicznych występujących w środowisku pracy oraz narażonych na nie grup zawodowych. Instytut Medycyny Wsi, Lublin 1999
4. Douwes J., Thorne P.S., Pearce N., Heederik D.: Biological agents — recognition. W: Perkins J.L. [red.]: *Modern Industrial Hygiene*. ACGIH, Cincinnati 2003, ss. 219–292
5. Omland O.: Exposure and respiratory health in farming in temperate zones — a review of the literature. *AAEM* 2002;9:119–136
6. Faria N.M.X., Facchini L.A., Fassa A.G., Tomasi E.: Farm work, dust exposure and respiratory symptoms among farmers. *Rev. Saude Publica* 2006;40(5):1–9
7. Heederik D., Brouwer R., Biersteker K., Boleij J.S.M.: Relationship of airborne endotoxin and bacteria levels in pig farms with the lung function and respiratory symptoms of farmers. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 1992;62:595–601
8. Polska Norma PN-EN 13098:2002. Powietrze na stanowiskach pracy — Wytyczne dotyczące pomiaru zawieszonych w powietrzu mikroorganizmów i endotoksyn
9. Polska Norma PN-EN 14042:2004. Powietrze na stanowiskach pracy — Przewodnik użytkowania i stosowania procedur do oceny narażenia na czynniki chemiczne i biologiczne
10. Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 listopada 2002 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. *DzURP* z 2002 nr 217, poz. 1833
11. Owen M.K., Ensor D.S.: Airborne particle sizes and sources found in indoor air. *Atmospheric Environ.* 1992;26A:2149–2162
12. Choudat D., Goehen M., Korobaef M., Boulet A., Dewitte J.D., Martin M.H.: Respiratory symptoms and bronchial reactivity among pig and dairy farmers. *Scand. J. Work. Environ. Health* 1994;20:48–54
13. Kim K.Y., Ko H.J., Kim Y.S., Kim C.N.: Assessment of Korean farmer's exposure level to dust in pig buildings. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2008;15:51–58
14. Radon K., Weber C., Iversen M., Danuser B., Pedersen S., Nowak D.: Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers. *Occup. Environ. Med.* 2001;58:405–410
15. Haglind P., Rylander R.: Occupational exposure and lung function measurements among workers in swine confinement buildings. *J. Occup. Med.* 1987;29(11):904–907
16. Donham K., Haglind P., Peterson Y., Rylander R., Berlin L.: Environmental and health studies of farm workers in Swedish swine confinement building. *Br. J. Ind. Med.* 1989;46:31–37
17. McDonnell P.E., Coggins M.A., Hogan V.J., Fleming G.T.: Exposure assessments of airborne contaminants in the indoor environment of Irish swine farms. *Ann. Agric. Environ. Med.* 2008;15:323–326
18. Preller L., Heederik D., Kromhout H., Boleij J.S.M., Tielens M.J.M.: Determinants of dust and endotoxin exposure of pig farmers: Development of a control strategy using empirical modelling. *Ann. Occup. Hyg.* 1995;39:545–557
19. Donham K.J., Pependorf W., Palmgren U., Larsson L.: Characterization of dust collected from swine confinement buildings. *Am. J. Ind. Med.* 1986;10:294–297

20. Butera M., Smith J.H., Morrison W.D., Hacker R.R., Kains F.A., Ogilvie J.R.: Concentration of respirable dust and bioaerosols and identification of certain microbial types in a hog-growing facility. *Can. J. Anim. Sci.* 1991;71:271–277
21. Predicala B.Z., Urban J.E., Maghirang R.G., Jerez S.B., Goodband R.D.: Assessment of bioaerosols in swine barns by filtration and impaction. *Curr. Microbiol.* 2002;44:136–140
22. Rautiala S., Kangas J., Louhelainen K., Reiman M.: Farmers exposure to airborne microorganisms in composting swine confinement buildings. *AIHAJ* 2003;64(5):673–677
23. Thorne P.S., Ansley A.C., Spencer Perry S.: Concentrations of bioaerosols, odors, and hydrogen sulfide Inside and downwind from two types of swine livestock operations. *J. Occup. Environ. Hygiene* 2009;6:211–220
24. Cormier Y., Tremblay G., Meriaux A., Brochu G., Lavoie J.: Airborne microbial contents in two types of swine confinement buildings in Quebec. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1990;51(6):304–309
25. Attwood P., Brouwer R., Ruigewaard P., Versloot P., de Wit R., Heederik D. i wsp.: A study of the relationship between airborne contaminants and environmental factors in Dutch swine confinement buildings. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1987;48:45–751
26. Crook B., Robertson J.F., Glass S.A., Botheroyd E.M., Lacey J., Topping M.D.: Airborne dust, ammonia, microorganisms, and antigens in pig confinement houses and the respiratory health of exposed farm workers. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1991;52(7):271–279
27. Bilić V., Habrun B., Barac I., Humski A.: Distribution of airborne bacteria in swine housing facilities and their immediate environment. *Arh. Hig. Rada. Toksikol.* 2000;51(2):199–205
28. Duchaine C., Grimard Y., Cormier Y.: Influence of building maintenance, environmental factors, and seasons on airborne contaminants of swine confinement buildings. *AIHAJ* 2000;61(1):56–63
29. Charavaryamath Ch., Janardhan K.S., Townsend H.G., Wilson Ph., Singh B.: Multiple exposures to swine barn air induce lung inflammation and airway hyper-responsiveness. *Respir. Res.* 2005;6(50):1–13
30. Dutkiewicz J., Pomorski Z.J.H., Sitkowska J., Krysińska-Traczyk E., Skórska C., Prażmo Z. i wsp.: Airborne microorganisms and endotoxin in animal houses. *Grana* 1994;33(2):85–90
31. Dutkiewicz J., Górny R.L.: Biologiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia — klasyfikacja i kryteria oceny narażenia. *Med. Pr.* 2002;53(1):29–39
32. Górny R.L.: Biologiczne czynniki szkodliwe: normy, zalecenia i propozycje wartości dopuszczalnych. *Podst. Met. Ochr. Środ. Pracy* 2004;3(41):17–39
33. Castellan R.M., Olenchock S.A., Kinsley K.B., Hankinson J.L.: Inhaled endotoxin and decreased spirometric values. *NEJM* 1987;317(10):605–610
34. Donham K.J., Cumro D., Reynolds S.J., Merchant J.A.: Dose-response relationship between occupational aerosol exposures and cross-shift declines of lung function in poultry workers: recommendations for exposure limits. *JOEM* 2000;42(3):260–269
35. Rylander R.: Endotoxins in the environment — A criteria document. *Int. J. Occup. Environ. Health* 1997;3:1–48
36. Bonlokke J., Meriaux A., Duchaine C., Godbout S., Cormier Y.: Seasonal variations in work-related health effects in swine farm workers. *AAEM* 2009;16:43–52
37. Eduard W., Douwes J., Omenaas E., Heederik D.: Do farming exposures cause or prevent asthma? Results from a study of adult Norwegian farmers. *Thorax* 2004;59:381–386
38. Jolie R., Bäckström L., Gunderson P.: Airborne contaminants and farmers health in swine farms with high and low prevalence of respiratory diseases in pigs. *Ann. Agric. Environ. Med.* 1998;5:87–92
39. Vogelzang P.F.J., van der Gulden J.W.J., Folgering H., Kolk J.J., Heederik D., Preller L. i wsp.: Endotoxin exposure as a major determinants of lungs function decline in pig farmers. *Am. J. Respir. Cirt. Care Med.* 1998;157:15–18
40. Wenger I.: What airborne contaminants are pig barn workers exposed to — really? *Adv. Pork Prod.* 2002;13:185–190
41. Eduard W., Douwes J., Mehl R., Heederik D., Melbostad E.: Short term exposure to airborne microbial agents during farm work: exposure-response relations with eye and respiratory symptoms. *Occup. Environ. Med.* 2001;58:113–118
42. Eduard W., Pearce N., Douwes J.: Chronic bronchitis, COPD, and lung function in farmers. The role of biological agents. *Chest* 2009;136:716–725
43. Samadi S., Wouters I.M., Houben R., Jamshidifard A.R., Van Eerdenburg F., Heederik D.J.: Exposure to inhalable dust, endotoxins, $\beta(1\rightarrow3)$ -glucans, and airborne microorganisms in horse stables. *Ann. Occup. Hyg.* 2009;53:595–603
44. Halstensen A.S., Nordby K.C., Wouters I.M., Eduard W.: Determinants of microbial exposure in grain farming. *Ann. Occup. Hyg.* 2007;51:581–592
45. Heldal K.K., Halstensen A.S., Thorn J., Djupesland P., Wouters I., Eduard W. i wsp.: Upper airway inflammation in waste handlers exposed to bioaerosols. *Occup. Environ. Med.* 2003;60:444–450

-
46. Heederik D., van Zwieten R., Brouwer R.: Across-shift lung changes among pig farmers. *An. J. Ind. Med.* 1990;17(1):57–58
47. Cormier Y., Israël-Assayag E., Racine G., Duchaine C.: Farming practices and the respiratory health risks of swine confinement buildings. *Eur. Respir. J.* 2000;15(3):560–565
48. Banhazi T.M., Seedorf J., Rutley D.L., Pitchford W.S.: Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 2. Airborne pollutants. *J. Agric. Saf. Health* 2008;14(1):1–19
49. Chénard L., Lemay S.P., Laguë C.: Hydrogen sulfide assessment in shallow-pit swine housing and outside manure storage. *J. Agric Saf. Health* 2003;9(4):285–302