

*Jerzy Karłowski, Renata Myczko, Tomasz Kołodziejczyk, Tadeusz Kuczyński  
Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa  
Oddział w Poznaniu*

## **WSPÓŁCZYNNIKI EMISJI AMONIAKU I GAZÓW CIEPLARNIANYCH Z OBÓR Z WENTYLACJĄ MECHANICZNĄ**

### **Streszczenie**

W oborze dla 55 krów mlecznych z wentylacją mechaniczną wykonano pomiary stężeń amoniaku i gazów cieplarnianych. Na tej podstawie obliczono współczynniki emisji gazów od jednej krowy w ciągu roku: amoniaku 2,115 kg/stan., dwutlenku węgla 3726 kg/stan., podtlenku azotu 1,272 kg/stan., metanu 99,12 kg/stan., pary wodnej 18052 kg/stan. Uzyskany współczynnik emisji amoniaku jest mniejszy od wartości ogólnie przyjmowanych do opisu emisji tego gazu w Polsce. Jest to niewątpliwie wpływ karmienia krów paszą oparta na zielonkach z traw oraz stosowanej przez rolnika techniki utrzymania zwierząt i regularnego usuwania obornika z budynku.

**Słowa kluczowe:** obory, wentylacja mechaniczna, współczynnik emisji, amoniak, gazy cieplarniane, krowy mleczne

### **Wstęp**

Współpraca z innymi krajami, członkami Unii Europejskiej i międzynarodowa wymiana informacji o emisjach amoniaku i gazów cieplarnianych wymaga uściślenia współczynników emisji pochodzącej od różnych kategorii zwierząt. Dane o współczynnikach emisji amoniaku i gazów cieplarnianych są potrzebne do sporządzania inwentaryzacji emisji przez organizacje międzynarodowe, a także dla obliczania poziomu rocznych emisji z obszaru danego kraju, (np. według modelu RAINS). Emisje zanieczyszczeń mogą być mierzone bezpośrednio w postaci ich strumienia, ale przede wszystkim metodą pośrednią, jako iloczyn natężenia przepływu powietrza i stężenia zanieczyszczenia w tym nośniku [Hinz 2005].

Celem opisanych badań jest skorygowanie i uzupełnienie luk w wartościach współczynników emisji amoniaku i gazów cieplarnianych z obór dla krów mlecznych z uwzględnieniem różnych warunków produkcji, systemu utrzymania, systemu karmienia, doju i wentylacji. W konkretnym przypadku do badań emisji amoniaku i gazów cieplarnianych wybrano obiekt inwentarski spełniający kryteria wynikające ze współpracy badawczej w ramach bilateralnej wymiany naukowej z Republiką Federalną Niemiec [Hinz i in. 2007].

## **Miejsce badań**

Pomiary stężeń amoniaku i gazów cieplarnianych wykonano w oborze dla 55 krów mlecznych, utrzymywanych w systemie uwięziowym na stanowiskach ścielonych. Budynek wyposażono w cztery kominy wentylacyjne z wentylatorami wyciągowymi. Jest to budynek murowany, prostokątny o wymiarach zewnętrznych 46,25 x 12 m z poddaszem użytkowym.

Ruch powietrza w oborze jest zapewniony przez wytworzenie podciśnienia za pomocą wentylatorów wyciągowych. Świeże powietrze dostaje się do wnętrza obory przez uchylne okna. Stopień rozwarcia okna wlotowego jest regulowany ręcznie w zależności od pory roku.

System wentylacji – mechaniczny, podciśnieniowy. Cztery kominy wentylacyjne wyposażone w wentylatory osiowe o średnicy nominalnej 45 cm. Wentylatory mają nominalną katalogową maksymalną wydajność 5950 m<sup>3</sup>/h, (przy  $\Delta P = 30$  Pa). Regulacja wydajności wentylatorów jest automatyczna – przez zmianę napięcia podawanego do uzwojeń silników w zależności od temperatury powietrza panującej w pomieszczeniu.

## **Metodyka pomiarów**

Obliczenie emisji (przenoszenia substancji ze źródła do atmosfery) gazów pochodzących z obory dla krów mlecznych oparto na pomiarze stężenia zanieczyszczeń generowanych w pomieszczeniu inwentarskim i wydajności systemu wentylacji, który odpowiada za uwalnianie tych zanieczyszczeń do otoczenia budynku. Ze względów technicznych nie było możliwe wykonanie rocznego monitoringu ciągłego stężenia gazów w kominach wentylacyjnych obory. Dlatego wyznaczenie wskaźnika emisji gazów oparto na metodyce pojedynczych pomiarów sekwencyjnych z wyznaczeniem charakterystyki każdego wentylatora. Dołożono starań, aby warunki pogodowe w dniu pomiarowym były w miarę możliwości reprezentatywne dla danego miesiąca.

Pomiary wykonywano w okresie od marca 2006 do marca 2007 r. Dla wyznaczenia emisji gazowych rejestrowano wydajność systemu wymiany powietrza i okresowo – jeden raz w miesiącu wykonywano pomiary stężenia gazów cieplarnianych i amoniaku w zużytym powietrzu wyrzucanym przez system wentylacyjny na zewnątrz budynku.

Wydajność systemu wentylacji mechanicznej w budynku była regulowana za pomocą sterownika automatycznego w zależności od temperatury panującej w budynku. Podłączenie układu pomiarowo-rejestrującego pozwoliło na nieprzerwane rejestrowanie napięcia zasilającego wentylatory. Aby na tej podstawie monitorować wydajności systemu wentylacji, konieczne było wyznaczenie charakterystyki napięciowej systemu wentylacji w budynku.

Wyniki pomiaru napięcia zasilającego wentylatory rejestrowano co 5 minut w cyklach miesięcznych. Dzięki temu uzyskano łączną wymianę powietrza w ciągu każdego miesiąca. Strumień emisji gazów zawartych w powietrzu usuwanym do atmosfery jest iloczynem chwilowej wydajności wymiany powietrza i zmierzonego w tym samym czasie stężenia poszczególnych gazów.

Do pomiarów stężeń amoniaku i gazów cieplarnianych: dwutlenku węgla, metanu, podtlenku azotu oraz pary wodnej użyto Fotoakustycznego Multi-gas Monitora Innova model 1312. We wstępnej fazie pomiarów próbki powietrza pobierano przy wlocie do każdego kominu wentylacyjnego. Następnie dokonano wyboru jednego kominu, z którego wyniki pomiarów stężeń gazów można było uznać za reprezentatywne dla całego obiektu.

Wyniki pomiarów stężeń gazów zawartych w powietrzu zasysanym do kominów wentylacyjnych przyjęto jako reprezentatywne dla każdego miesiąca i w ten sposób obliczono emisję miesięczną.

### Wyznaczenie charakterystyki systemu wentylacji

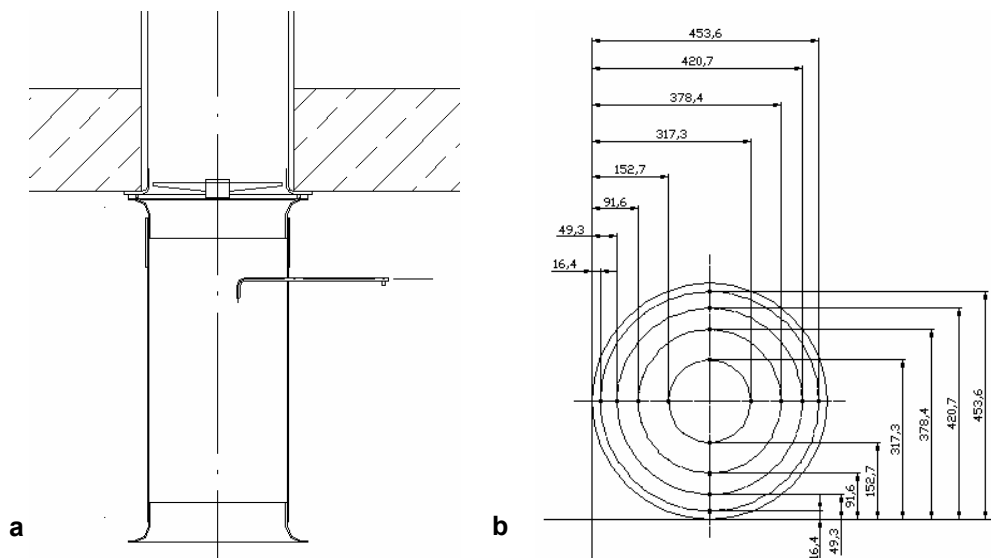
W celu oszacowania ilości powietrza przepływającego przez budynek, wykonano pomiary przepływu powietrza w każdym z czterech kominów wentylacyjnych przy różnych wartościach napięcia zasilającego silniki wentylatorów (tab. 1). Do pomiaru przepływu wykorzystano specjalnie wykonany kołnierz do przedłużenia wlotu kanału. Przedłużenie przykładano do wlotu do wentylatora i uszczelniano. Po serii pomiarów czynność tę powtarzano dla każdego kominu.

Tabela 1. Przepływy powietrza w kanałach wentylacyjnych w zależności od napięcia zasilającego

Table 1. The airflow in ventilation ducts depending on supply voltage

Komin	Przepływ	Napięcie zasilania (V)								
		70	90	110	130	150	170	190	210	230
K-1	m <sup>3</sup> /h	1858	1768	2358	2537	2865	3353	3459	3213	3279
K-2	m <sup>3</sup> /h	1440	1745	2256	2565	2787	3096	3291	3412	3478
K-3	m <sup>3</sup> /h	1290	1624	2167	2524	2742	2893	3039	3204	3342
K-4	m <sup>3</sup> /h	1628	1823	2260	2518	2756	2967	3099	3205	3302
Cała obora	m <sup>3</sup> /h	6217	6960	9041	10144	11150	12308	12888	13034	13402

Za pomocą rurki spiętrzającej Prandtla, wprowadzanej do otworu pomiarowego znajdującego się 1,5 średnicy od wentylatora (rys. 1a), wykonano serie pomiarów prędkości przepływu powietrza w pionowych kanałach wentylacyjnych. Dla średnicy wewnętrznej kanału  $d = 470$  mm ustalono współrzędne punktów pomiarowych, zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami, stosowanymi w pomiarach przepływów (rys. 1b).



Rys. 1. Pomiar przepływu powietrza za pomocą rurki Prandtla: a) przekrój podłużny przez przedłużenie kanału, b) schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych do pomiaru przepływu powietrza

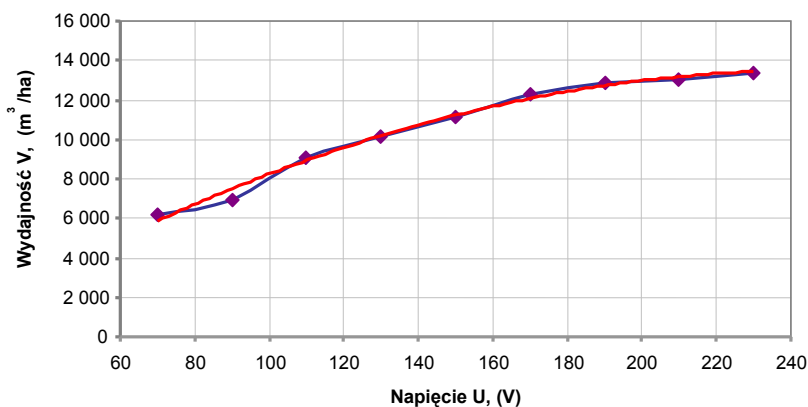
Fig. 1. Measuring of the airflow by means of the Prandtl tube: a) longitudinal section through prolonged duct; b) scheme of measuring points distribution to measure the airflow

Wyniki będące sumą pomiarów w 16 punktach dla każdego kanału dały podstawę do sporządzenia charakterystyki napięciowej systemu wentylacji w oborze. Zbiorcza charakterystyka całego systemu wentylacji przedstawiona jest na rysunku 2.

### Sumaryczna wydajność wentylatorów

$$V = -0,2458U^2 + 121,1U - 1406,7$$

$$R^2 = 0,9906$$



Rys. 2. Charakterystyka napięciowa systemu wentylacji w badanej oborze  
Fig. 2. Voltage characteristics of the ventilation system in tested cattle barn

Z uwagi na dalsze obliczenia wydajności systemu wentylacji rejestracja napięcia odbywała się w okresach miesięcznych, co 5 minut. Dzięki temu w ciągu miesiąca uzyskiwano  $30 \times 24 \times 12 = 8640$  odczytów (w miesiącach 31.dniowych liczba pomiarów była równa 8928, a w lutym – 8064).

Ilość wymienionego powietrza w miesięcznym okresie pomiarowym można wyrazić wzorem:

$$V = \int \dot{V} \cdot dt, \text{ m}^3$$

lub

$$V = \sum_{i=1}^{i=8640} \dot{V}_i \cdot \Delta t, \text{ m}^3/\text{miesiąc},$$

gdzie:

$V$  – wymiana powietrza,  $\text{m}^3$ ,

$\dot{V}_i$  – średnia arytmetyczna wydajność system wentylacji ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) w  $i$ -tym przedziale czasowym, obliczona na podstawie charakterystyki napięciowej według równania:

$$\dot{V}_i = -0,246 \cdot U^2 + 121,1 \cdot U - 1406,7,$$

$\Delta t$  – przedział czasu, w tym przypadku zawsze taki sam, równy 1/12 godz., h.

Obliczone w ten sposób miesięczne wymiany powietrza przyjęto do dalszych obliczeń.

Dzięki temu, że rejestrowano wartości napięcia zasilającego wentylatory przez 24 godziny na dobę w całym okresie badawczym, możliwa była ocena chwilowej wydajności systemu wentylacji. Wyniki pomiarów napięcia rejestrowane były co 5 minut. Na tej podstawie obliczano ilości wymienionego powietrza w ciągu całego miesiąca.

Miesięczną emisję z badanej obory obliczono jako iloczyn objętościowego natężenia przepływu powietrza wentylacyjnego i przyrostu stężeń badanych gazów w powietrzu wentylacyjnym, w miesiącu  $i$ , według wzoru na przykładzie amoniaku:

$$E_{mi}^{NH3} = \dot{V}_i \times \Delta c_i, \text{ g/miesiąc}$$

dla  $\Delta c$ , obliczonego według wzoru:

$$\Delta c = (c_{wy}^{NH3} - c_{we}^{NH3}),$$

gdzie:

$E_{mi}^{NH3}$  - średnia emisja amoniaku w wybranym miesiącu, g/miesiąc,

$\dot{V}_i$  - łączna wymiana powietrza w  $i$ -tym miesiącu,  $\text{m}^3$ ,

- $c_{we}^{NH_3}$  - średnie stężenie amoniaku w czystym powietrzu wchodzącym do obory,  $g/m^3$ ,  
 $c_{wy}^{NH_3}$  - średnie stężenie amoniaku w czystym powietrzu wychodzącym z obory,  $g/m^3$ ,  
 $\Delta c$  - przyrost średniego stężenia gazu w  $i$ -tym miesiącu,  $g/m^3$ .

Całkowita emisja badanych gazów jest sumą średnich emisji obliczonych dla każdego miesiąca.

## Wyniki i dyskusja

W rezultacie pomiarów i niezbędnych obliczeń uzyskano wartości współczynników emisji gazów. Wartości współczynników podano w tabeli 2.

Ilość gazu wytworzonego w oborze przez jedną krowę w ciągu jednej godziny, zwana jednostkowym współczynnikiem emisji, jest przyjmowana do dalszych obliczeń w celu określenia inwentaryzacji emisji gazów z produkcji zwierzęcej. Uzyskana w badaniach wartość współczynnika emisji amoniaku równa 2,115 kg/stan. na rok jest znacznie niższa od podawanych w modelu RAINS dla krów mlecznych (tab. 3).

Tabela 2. Współczynniki emisji amoniaku i gazów cieplarnianych  
 Table 2. Emission coefficients of the ammonia and greenhouse gases

Gaz		Współcz. emisji (kg/stan./rok)
Amoniak	NH <sub>3</sub>	2,115
Dwutlenek węgla	CO <sub>2</sub>	3 726
Podtlenek azotu	N <sub>2</sub> O	1,272
Metan	CH <sub>4</sub>	99,12
Para wodna	H <sub>2</sub> O	18 052

Tabela 3. Współczynniki emisji amoniaku uzyskane w różnych badaniach  
 Table 3. Emission coefficients of the ammonia obtained at different tests

	Współczynnik emisji kg NH <sub>3</sub> /stan./rok	Jednostkowy współczynnik emisji g NH <sub>3</sub> /stan./h
Badania w oborze p. Mizernego, IBMER	2,12	0,242
Badania w oborze p. Mizernego, Hinz		lato - 0,221, zima - 0,183
U. Dämmgen [2006]	5,43	0,62
RAINS dla Polski, 1998	10,56	
RAINS dla Polski, 2005	8,21	
G. J. Monteny i in., 2002	6,34	

Na uwagę zasługuje fakt, że wyniki pomiarów emisji amoniaku uzyskane przez zespół IBMER z jednej strony i przez zespół FAL – z drugiej są bardzo zbliżone, chociaż uzyskano je za pomocą dwóch niezależnych metodyk i przyrządów pomiarowych.

Wyjaśnieniem niskich wartości emisji amoniaku z badanej obory może być dobra organizacja pracy w oborze i codzienne, mechaniczne usuwanie obornika połączone z jednoczesnym obfitym ścieleniem legowisk. Na ten czynnik zwrócona została uwaga w pracy T. Hinz et al, [2007]. Ponadto, w tym samym raporcie cytowana jest, podawana przez Dämmgen'a, wartość współczynnika emisji równa 0,62 g NH<sub>3</sub>/stan. na godz. dla krów produkujących 9000 kg mleka rocznie. Gert Jan Monteny i współautorzy [2002] dowodzą, że w normalnych warunkach produkcyjnych możliwe jest obniżenie rocznej emisji amoniaku od krów mlecznych do poziomu zawartego w przedziale 3,3-16,3 kg NH<sub>3</sub>/stan. w okresie utrzymywania krów w oborze przez 190 dni w roku pod warunkiem stosowania diety opartej na trawie z małą zawartością białka.

## **Wnioski**

1. W wyniku pomiarów i niezbędnych obliczeń uzyskano następujące wartości współczynników emisji gazów w roku: amoniaku 2,115 kg/stan., dwutlenku węgla 3726 kg/stan., podtlenku azotu 1,272 kg/stan., metanu 99,12 kg/stan., pary wodnej 18052 kg/stan.
2. Porównanie miesięcznych danych potwierdza prawidłowość, że w miesiącach letnich wymiana powietrza jest największa. Natomiast emisje amoniaku, dwutlenku węgla, metanu i pary wodnej są większe w drugim półroczu, co może wynikać ze składu stosowanych pasz.
3. Uzyskany współczynnik emisji amoniaku jest mniejszy od wartości ogólnie przyjmowanych do opisu emisji tego gazu w Polsce. Jest to niewątpliwie wpływ karmienia krów paszą opartą na zielonkach z traw oraz stosowanej przez rolnika techniki utrzymania zwierząt i regularnego usuwania obornika z budynku.
4. Z uwagi na fakt, że stosowana w badanym gospodarstwie technika utrzymania zwierząt jest w znacznym stopniu rozpowszechniona w Polsce, należy podjąć starania zmierzające do wprowadzenia zmian współczynników stosowanych w modelach obliczeniowych.

## **Bibliografia**

Hinz T. 2005. Methods to measure ammonia emissions from agriculture: Basic principles and limitation in practical use, "Emissions from European agriculture", edited by T. Kuczyński, U. Dämmgen, J. Webb, A. Myczko, Wageningen Academic Publishers, p. 129-136

Hinz T., Linke S., Karłowski J., Myczko R., Kuczyński T., Berk J. 2007. Ammonia emissions in and from force-ventilated turkey and dairy cattle houses,

validation of emission factors by direct measurements, Ammonia emissions in agriculture, Wageningen Academic Publishers, p. 307-308

Monteny G.J., Smits M.C.J., Duinkerken van G., Mollerhorst H., Boer de I.J.M. 2002. Prediction of Ammonia from Dairy Barns using Feed Characteristics. Part II: Relation between Urinary Urea Concentration and Ammonia Emission. J. Dairy Sci. 85:3389-3394, ADSA