

ZASTOSOWANIE METODY TERMICZNEJ DO ANALIZY STABILNOŚCI WYMIANY CIEPŁA I MASY W CHLEWNIACH

Kazimierz Wrotkowski

Katedra Maszyn i Urządzeń Rolniczych
Akademia Rolnicza w Lublinie

Synopsis: Przedstawiono istotę proponowanej metody analizy stabilności wymiany ciepła i masy oraz wyniki jej zastosowania w badaniach wentylacji chlewni w gospodarstwach indywidualnych. Stwierdzono, że stabilność wzrasta w miarę wydłużania przedziałów czasu, dla których ustalane były średnie termiczne warunki wymiany.

Słowa kluczowe: wentylacja, stabilność wymiany, termiczna metoda, rachunek bilansowy, błąd metody.

Wprowadzenie

Rachunek bilansowy (ciepła, pary wodnej, gazów szkodliwych) jest podstawową metodą wykorzystywaną w procesie projektowania i oceny działania wentylacji budynków inwentarskich. Jednakże głębsza analiza tej metody, jak i możliwości jej stosowania w rzeczywistych obiektach nasuwa wiele wątpliwości o charakterze metodologicznym, rzutujących niewątpliwie na wiarygodność uzyskiwanych wyników.

Większość czynników kształtujących warunki w pomieszczeniu charakteryzuje się dużą dynamiką zmian (np. warunki zewnętrzne), gdy tymczasem wartości innych możliwe są do ustalenia tylko w warunkach stabilnej wymiany ciepła i masy (np. straty ciepła).

Istnieje zatem potrzeba uściślenia zasad stosowania metody rachunku

bilansowego w odniesieniu do rzeczywistego obiektu, jak również dokonania oceny dokładności uzyskiwanych wyników.

Istota zastosowanej termicznej metody oceny stabilności wymiany ciepła i masy.

Zasady obliczania rachunku bilansowego wentylacji zakładają stabilność wymiany. W rzeczywistości jednak warunki w obiekcie kształtowane są przez wiele zmiennych czynników. Do najistotniejszych i jednocześnie przyczynowo pierwotnych należą:

- zewnętrzne warunki termiczno-wilgotnościowe,
- przemieszczanie mas między budynkiem a jego otoczeniem,
- nastawy regulacyjne urządzeń wentylacji naturalnej.

W określonych warunkach czynniki te mogą wywoływać powstawanie innych zakłóceń równoważnej wymiany, z których można wymienić: emisję metabolitów; kumulowanie lub oddawanie ciepła przez budynek; kondensowanie lub parowanie wody z wilgotnych powierzchni i materiałów konstrukcyjnych budynku. Wpływ tych i innych czynników zakłócających w końcowym efekcie sprowadza się do wystąpienia w rzeczywistym obiekcie dodatkowego źródła ciepła lub jego strat. Jednakże analityczne uwzględnienie wielkości tego ciepła w zapisie bilansów - przy obecnym stanie wiedzy - jest praktycznie niemożliwe.

Przykładowo wpływ zmienności przepływu masy można usunąć poprzez przyjmowanie do obliczeń wartości średnich ustalonych dla przedziałów czasu, w których zamyka się cykliczność czynności obsługowych. W podobny sposób można zniwelować wpływ zmienności nastawów urządzeń wentylacyjnych. Najtrudniejszym do wyeliminowania wydaje się wpływ zmienności zewnętrznych warunków termiczno-wilgotnościowych.

Zrezygnowano z analizy wpływu zmienności warunków wilgotnościowych. Podyktowane to było tym, że zarówno postaci analityczne poszczególnych składowych bilansów ciepła, jak i wyniki badań empirycznych wskazują na nieistotny wpływ warunków zewnętrznych na wewnętrzne.

Dlatego też poszukiwanie stanu ustalonej wymiany można było sprowadzić do analizy zależności temperatury wewnętrznej (t_w) od zewnętrznej (t_z). Ustalono, że analiza ta powinna być prowadzona według następujących kryteriów:

- w obiekcie powinna występować duża zależność zmian t_w od t_z ,
- za stan ustalonej wymiany należy przyjąć stan średni w danym przedziale czasu, w którym dochodzi do zrównoważenia wpływu wspomnianego zjawiska akumulacji ciepła oraz parowania wody,
- błędem metody, a tym samym błędem prowadzonych obliczeń bilansowych jest wartość względnej zmienności termicznych warunków wymiany między dwoma

przedziałami czasu o zamkniętym cyklu czynności obsługowych.

Konieczność spełnienia pierwszego warunku wynika z samej istoty metody rachunku bilansowego. W rzeczywistym obiekcie najczęściej nie stwierdza się natychmiastowej reakcji t_w na zmianę t_z . Spełnienie tego warunku jest możliwe w dłuższym przedziale czasu, co ma związek z drugim założeniem. Zmiana warunków zewnętrznych po upływie określonego czasu zakończy się ustaleniem nowego stanu równowagi, charakterystycznego dla określonych nastawów regulacyjnych urządzeń wentylacyjnych i pory roku. W tym przypadku powstałe względne zmiany różnicy t_w i t_z będą więc miarą zakłóceń równowagi wymiany ciepła i masy. Ponieważ pociągną one za sobą proporcjonalne zmiany poszczególnych składowych bilansów, stąd też można je uznać nie tylko jako miarę niezgodności rzeczywistego obiektu z przyjętymi założeniami, ale także jako błąd prowadzonych obliczeń bilansowych.

Wychodząc z powyższych założeń metody termicznej, analizę stabilności można prowadzić graficznie oceniając podobieństwo przebiegów średnich temperatur dla przyjętych długości przedziałów czasu, albo też analitycznie - ustalając procentowe wartości wskaźnika względnej zmienności "W" według zależności:

$$W = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\Delta t_1} \cdot 100\%$$

gdzie: Δt , Δt - średnia różnica t_w i t_z w pierwszym i drugim (przesuniętym np. o jedną dobę) przedziale czasowym.

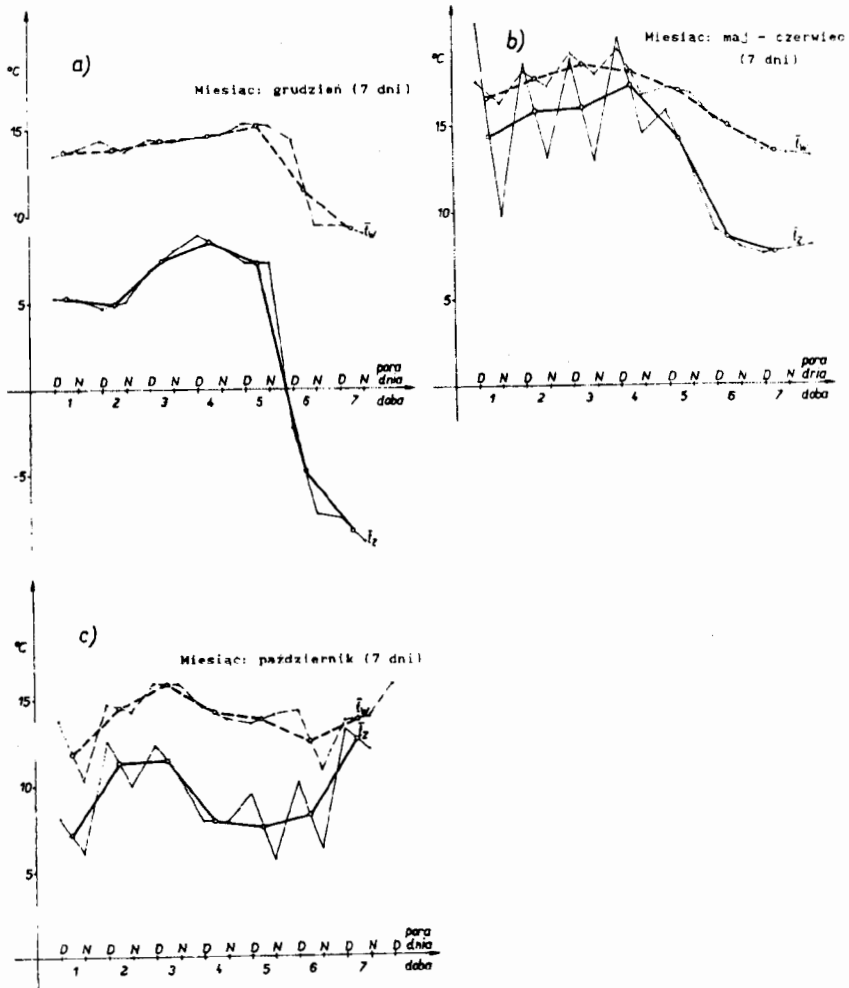
Mając na uwadze wpływ cykliczności czynności obsługowych na warunki wymiany, minimalny analizowany przedział powinien obejmować jedną dobę. Przyjmowanie krótszych przedziałów czasu może być uzasadnione tylko wtedy, kiedy czynności obsługowe nie powodują istotnego zachwiania bilansu cieplnego wskutek zmiany intensywności przewietrzania (otwierania bram wjazdowych) lub przemieszczania masy (pasze, odchody itp.).

Ogólna charakterystyka chlewni i wyniki oceny warunków wymiany

Ocenę warunków wymiany dokonano dla ponad dwuletnich wyników badań wentylacji, obejmujących w sumie 37 okresów badawczych w 10 chlewniach o obsadzie zwierząt w granicach od około 6 do około 20 SD. Wszystkie chlewnie posiadały wentylację naturalną, przy czym różniły się zarówno intensywnością przewietrzania, jak i ciepłochronnością.

Prowadzona w sposób graficzny i analityczny analiza stabilności wymiany wykazała niemożliwość dokonywania obliczeń bilansowych dla chwilowych wartości t_z i t_w odczytanych z taśm rejestracyjnych w odstępach dwugodzinnych, ale także dla większości wartości średnich ustalonych dla nocy i dnia. Dopiero

przy porównaniu średnich wartości dla jednodobowych przedziałów czasu wystąpiła większa zależność warunków wewnętrznych od zmian warunków zewnętrznych, zwłaszcza w okresach badawczych wczesnowiosennych, charakteryzujących się znacznymi wahaniami temperatury zewnętrznej między dniem i nocą (rys.1).



Rys.1 Przebieg średnich dobowych (linie grube) oraz dziennych i nocnych (linie cienkie) temperatur wewnętrznych (t_w) i zewnętrznych (t_z) w chlewni nr 5 w poszczególnych okresach badawczych.

Fig.1. Patterns of 24 hrs (heavy lines) and day and night (thin lines) mean temperatures indoors (t_w) and outside (t_z) the piggery no. 5 within particular investigations periods.

Tylko w przypadku prowizorycznej chlewni - szałas nr 6 o małej bezwładności cieplnej można było prowadzić obliczenia bilansowe przy stosunkowo niskim błędzie metody, nawet dla chwilowych wartości temperatury. W innych chlewniach (murowanych) takie warunki występowały sporadycznie (np. III okres w chlewni nr 10).

Ponieważ dla tych przedziałów czasu stabilność wymiany była niewystarczająca, tj. przekraczała przyjęty jako dopuszczalny 10% błąd obliczeń, stąd też dalszą analizę prowadzono dla dłuższych przedziałów czasu (od 1 do 6-dobowych). W ten sposób analizą porównawczą objęto 251 przedziałów jednodobowych, 213 - dwudobowych, 175 - trzydobowych, 137 - czterodobowych, 100 - pięciodobowych i 66 - sześciodobowych. Przeprowadzona ocena stabilności wykazała, że w miarę wzrostu długości przedziałów czasu zwiększa się również ilość przypadków, w których zmienność spadała poniżej przyjętej granicy. Największy przyrost wystąpił podczas wydłużania przedziałów czasu od 1 do 4 dni. Świadczy o tym procentowy udział przedziałów czasu ze spełnionym warunkiem dopuszczalnego błędu w ogólnej liczbie analizowanych przypadków, który wynosił w grupach od 1 do 6 dni odpowiednio: 31,6%, 39,3%, 56,1%, 70,1%, 68,8% i 65,5%. Powyższe zestawienie liczbowe nie uległo istotnej zmianie, jeśli z ogólnej liczby wyeliminowano okresy badawcze, w których stwierdzono wyższe wartości tw od tz dla jednodobowych przedziałów czasu, tj. zdecydowany brak ustabilizowanej wymiany (IV okres w chlewni nr 4, V okres w chlewni nr 8 i IV okres w chlewni nr 9 - tab. 1). Wówczas udział okresów ze spełnionym przyjętym warunkiem błędu wyniósł odpowiednio: 34,6%, 43,1%, 61,7%, 75,0%, 75,9% i 72,4%. Z zaprezentowanych zestawień wynika, że wydłużając przedziały czasu poza 4 doby nie uzyskuje się istotnego zmniejszenia niestabilności, a nawet niekiedy dochodzi do jej wzrostu. Wydłużanie to jest nieuzasadnione również ze względu na możliwość wystąpienia w obiekcie temperatury spoza przedziału obojętnego, mimo że średnia jej wartość stale może być zadowalająca. Równocześnie wystąpienie takiego stanu rzeczy można uznać jako mało prawdopodobne, co wynika z dużej stabilności tw , która - zwłaszcza zimą - w niewielkim stopniu uzależniona była od krótkotrwałych wahań tz .

Należy wyjaśnić, że sposób przedstawienia danych w tabeli 1 nie wynika z zasad proponowanej metody termicznej. Ustalanie wartości średnich wskaźnika "W" nie znajduje merytorycznego uzasadnienia. O długości przedziału czasowego, a tym samym możliwości prowadzenia obliczeń bilansowych należy decydować na podstawie wizualnej oceny zgodności przebiegów obu temperatur oraz odpowiadające im wartości współczynnika "W".

Tabela 1

Stabilność wymiany ciepła i masy w badanych chlewniach.
Heat and mass exchange stability in tested piggy buildings.

Nr chlewni	Okres budowy		Średnia względna zmienność wymiany wyrażona w procentach dla przedziałów czasowych o liczbie dni													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	liczba dni	miasteczko	wewnątrz	zewnątrz	Temp. w okresie badawczym	\bar{x}	on-1	\bar{x}	on-1	\bar{x}	on-1	\bar{x}	on-1	\bar{x}	on-1	\bar{x}
1	7	IX-X	15,0	9,2	4,9	30,1	-4,3	16,4	7,3	-3,8	1,9	0,1	6,6	1,4	4,6	4,0
	7	XIX	5,6	-0,9	7,7	6,2	-1,5	6,2	4,7	7,6	5,0	7,4	4,3	4,0	0,1	4,2
	3	XII	16,1	4,4	0,8	17,8	-1,5	9,0	6,8	4,3	0,8	4,6	0,8	0,1	4,2	4,2
	7	V	14,3	7,5	5,2	14,3	5,2	9,0	4,7	4,3	0,8	4,6	0,8	0,1	4,2	4,2
2	7	X	14,6	8,8	2,4	40,4	-1,7	23,6	17,2	-4,4	4,7	-4,7	0,3	4,2	0,3	4,2
	7	XII	16,2	2,6	18,1	48,6	18,0	15,7	22,0	16,2	17,1	18,9	17,1	15,0	1,2	15,0
	7	V	14,6	7,5	-1,6	16,9	-1,4	12,6	9,3	-4,8	3,7	-2,7	2,8	-2,6	2,8	-2,6
3	7	X	13,7	8,8	2,2	29,0	2,2	24,4	18,0	1,2	7,6	-0,2	1,8	-1,9	1,8	-1,9
	7	XII	10,9	2,6	26,6	67,1	25,6	51,4	33,7	23,1	22,7	26,7	4,2	20,6	4,2	20,6
	5	II-III	7,1	-2,4	-8,1	5,0	3,1	3,1	1,3	-9,2	-	-	-	-	-	-
	7	V	14,7	7,5	1,2	21,4	0,3	12,4	11,0	-5,6	2,0	-0,4	2,3	-0,8	2,3	-0,8
4	7	X	19,8	9,4	0,6	17,1	10,4	8,2	4,4	3,5	8,1	1,3	5,2	0,6	5,2	0,6
	7	XII	13,7	2,6	17,4	34,4	15,7	30,8	14,7	24,3	14,3	16,5	1,3	17,1	1,3	17,1
	3	VI	18,1	12,5	-0,3	46,2	-0,3	34,3	-3,0	-	-	-	-	-	-	-
	7	V	19,7	18,7	438,8	886,7	-76,4	281,0	592,0	-133,9	-	36,6	69,2	-62,3	69,2	-62,3
5	7	X	13,9	9,4	-9,0	44,5	1,7	33,5	23,1	0,4	13,2	3,7	6,6	11,7	6,6	11,7
	7	XII	13,0	2,6	19,1	47,1	18,5	38,1	28,6	16,7	16,6	18,2	0,1	15,0	0,1	15,0
	7	V-VI	16,5	13,2	50,3	109,3	35,5	69,0	37,0	29,8	26,1	28,5	1,9	20,6	1,9	20,6
6	7	XII	6,6	1,3	1,0	24,1	1,6	12,9	6,8	-1,6	6,0	1,1	0,9	-1,5	0,9	-1,5
	7	V-VI	16,2	13,2	1,7	27,8	-3,1	22,5	8,8	-9,8	0,6	-5,2	2,1	-2,0	2,1	-2,0
7	7	X	12,8	8,8	3,1	54,7	-3,7	26,3	14,7	-2,7	3,1	-7,1	1,3	-8,3	1,3	-8,3
	7	XII	14,4	1,3	-3,9	20,1	-2,4	13,5	12,7	-3,0	9,7	-3,4	8,8	-7,6	8,8	-7,6
	7	II-III	9,6	-2,4	7,5	18,5	9,6	12,4	5,6	10,1	12,4	-8,3	2,5	-5,5	2,5	-5,5
	7	V-VI	17,4	13,2	33,4	62,1	28,6	39,0	24,3	26,8	12,5	29,8	4,0	23,8	4,0	23,8
8	7	X	14,7	8,8	-2,7	20,1	-0,4	14,4	8,1	-3,8	1,8	-4,9	4,0	-4,4	4,0	-4,4
	7	XII	9,8	1,3	4,1	28,2	5,8	19,5	10,5	1,2	11,4	3,9	8,8	1,1	8,8	1,1
	7	II-III	7,5	-2,4	-1,8	13,5	-0,8	7,2	2,7	-1,2	5,1	-1,0	3,6	2,8	3,6	2,8
	3	V	16,6	12,5	-15,7	34,5	21,7	21,8	24,5	73,2	201,6	-	44,9	-58,5	44,9	-58,5
	7	V	19,8	18,7	-468,7	810,4	-70,1	110,9	366,8	73,2	201,6	-	44,9	-58,5	44,9	-58,5
9	7	X	14,4	8,8	4,6	33,6	-0,3	18,6	11,9	0,3	1,5	-1,9	0,4	3,5	0,4	3,5
	7	II-III	8,2	-3,1	-3,5	5,5	4,5	5,5	2,1	4,5	2,7	-3,7	1,8	3,6	1,8	3,6
	3	V	15,4	12,5	-5,9	39,3	-0,3	46,2	126,4	77,4	166,9	344,1	501,1	34,9	501,1	34,9
	7	V	20,2	18,7	-65,3	253,3	-39,8	132,0	95,3	77,4	166,9	344,1	501,1	34,9	501,1	34,9
10	7	X	17,6	9,4	-9,3	33,7	5,4	22,4	13,3	-3,2	4,3	-6,7	0,4	-12,0	0,4	-12,0
	7	XII	13,9	1,3	3,5	17,6	-3,5	10,6	8,0	-5,1	7,5	-4,4	4,7	7,5	4,7	7,5
	7	II-III	13,9	1,3	0,7	6,3	-0,4	4,6	2,1	-1,3	1,6	-0,5	1,1	-0,5	1,1	-0,5
	7	V-VI	19,5	13,2	12,7	17,0	9,7	10,8	7,7	9,9	2,2	10,2	0,7	12,2	0,7	12,2

W tym konkretnym przypadku sposób przedstawienia wyników miał na celu uwidocznienie kształtowania się wartości współczynnika "W" dla różnych długości przedziałów czasu. Ponadto posłużył on także przy ustalaniu długości przedziału czasu umożliwiającego uzyskanie dla większości przypadków wiarygodnych i wzajemnie porównywalnych wyników obliczeń bilansowych.

Podsumowanie

Uwzględniając dużą stabilność termicznych warunków wewnątrz badanych chlewni można stwierdzić, że dla dokonania właściwej oceny warunków środowiskowych w obiektach inwentarskich nie jest konieczne prowadzenie pomiarów w okresach dłuższych niż jednodobowych. Istotne jest, aby tego typu pomiary prowadzone były dla możliwie skrajnych warunków w różnych porach roku. Wyniki uzyskane z tak krótkich przedziałów czasu są jednak niewystarczające do dokonania analizy warunków wymiany ciepła i masy, a także często nie gwarantują uzyskania wiarygodnych wyników z prowadzonych obliczeń bilansowych. W tym przypadku jako najwłaściwsze w badanych chlewniach okazały się czterodobowe przedziały czasu.

Literatura

1. Kodłubański Z., Podgórski W., Romański J. (1966): Próba analizy kształtowania się temperatur w oborach wielostanowiskowych. Roczn. Nauk Roln., t. 89-B-2.
2. Skowron J. (1965): Ocena wartości użytkowej obór wielostanowiskowych na obszarze województwa zielonogórskiego. Praca doktorska. AR Wrocław.
3. Šteffl Z., Doležal O. (1980): Hodnocení mikroklimatu snáškové haly pro 10000 nosnic s klecovým odchovem, umístěné ve čtyřpodlažní budově. Zemědělská technika, nr 6.
4. Wrotkowski K. (1983): Studia nad metodami oceny systemów wentylacji pomieszczeń inwentarskich. Praca doktorska. AR Lublin.

Thermal method applied to analysis of heat and mass exchange in piggeries*Kazimierz Wrotkowski***Summary**

On the basis of thermographic measurements of the temperature outside and inside piggery buildings the stability of heat and mass exchange was analysed. The essence of method used to evaluate the stability consisted in searching time intervals in which the lowest relative variability of thermal conditions is observed. Results of investigation showed that when assuming in calculations mean values of temperatures indoors and outside the building for 4-day time intervals, comparable results of balancing may be obtained.