

*Kazimierz Wrotkowski, Waldemar Lebedowicz, Witold Kowalik
Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR w Lublinie*

Propozycja ujednoczenia obliczeń bilansowych w obiektach inwentarskich

1. Wstęp

Metoda rachunku bilansowego w procesie projektowania i badania warunków środowiskowych stosowana jest od dawna. Z biegiem lat zasady dokonywania obliczeń, a zwłaszcza ustalania poszczególnych składowych bilansu ciepła wolnego i całkowitego, ulegały wielu zmianom [2, 3, 6, 7, 9]. Często nowe zasady funkcjonowały jednocześnie ze starymi, utrudniając tym samym wzajemne porównywanie wyników badań [1].

Wychodząc naprzeciw potrzebie uniknięcia tych problemów w przyszłości, postanowiono na podstawie obecnego stanu wiedzy uporządkować zasady zestawiania poszczególnych bilansów ciepła i wilgoci. Przy ich porządkowaniu zwrócono szczególną uwagę na ścisły związek wymiany ciepła i materii w procesie wentylowania pomieszczeń inwentarskich.

2. Wzajemne związki emisji poszczególnych metabolitów

W zależności od dróg przekazywania ciepła przez organizm zwierzęcy do otoczenia emisję dzieli się na ciepło całkowite i wolne. Wielkość emisji tego metabolitu oraz wzajemna proporcja między ciepłem całkowitym a wolnym jest zależna od temperatury otoczenia samego organizmu zwierzęcia [6].

Pomijając niewielką ilość ciepła dostarczanego w suchych składnikach paszy, można emisję ciepła całkowitego przez zwierzę (q_c) wyrazić następująco:

$$q_c = q_1 + q_2 + q_3$$

gdzie: q_1 — ciepło zawarte w odchodach,

q_2 — ciepło zawarte w wydalanej parze wodnej,

q_3 — ciepło pobrane przez zwierzę z wodą zawartą w karmie i picciu.

Wyrażając składowe w formie analitycznej i zastępując entalpię pary wodnej w temperaturze ciała zwierzęcia sumą entalpii wody i ciepła parowania, powyższa zależność przyjmie postać

$$q_c = m_1 (i_{w(37)} - i_{w1}) + m_{zw} * l_{(37)}$$

gdzie: m_1 — masa wody pobranej przez zwierzę z paszą i piciem,

$i_{w(37)}$ — entalpia wody w temperaturze ciała zwierzęcia,

i_{w1} — entalpia wody pobieranej przez zwierzę,

m_{zw} — masa pary wodnej wydalanej z organizmu zwierzęcia,

$l_{(37)}$ — ciepło parowania wody w temperaturze ciała zwierzęcia.

W podobny sposób można wyrazić emisję ciepła wolnego (q_w)

$$q_w = q_4 + q_5 + q_6$$

gdzie: q_4 — ciepło niezbędne do ogrzania pobranej przez zwierzę wody do temperatury otoczenia,

q_5 — ciepło odzyskane wskutek ochłodzenia wody zawartej w odchodach do temperatury otoczenia,

q_6 — ciepło odzyskane wskutek ochłodzenia wydalanej pary wodnej do temperatury otoczenia (pomieszczenia).

Po podstawieniu na miejsca poszczególnych składowych odpowiednich zależności matematycznych, emisja ciepła wolnego będzie wynosić

$$q_w = m_1 (i_{w(37)} - i_{w1}) - m_{zw}(l_2 - l_{(37)})$$

gdzie: l_2 — ciepło parowania wody w temperaturze otoczenia,

zaś ilość ciepła wydalanego z organizmu zwierzęcia w postaci związanej (w parze wodnej) przyjmie postać wzoru:

$$q_z = q_c - q_w$$

stąd

$$q_z = m_{zw} * l_2$$

Zaprezentowany tok postępowania, w którym celowo pominięto inne drogi oddawania ciepła (np. promieniowanie) jako nie wpływające na wielkość ciepła związanego i niewielkie ilości ciepła oddawanego z suchymi składnikami paszy i odchodów, pozwolił na jednoznaczne zdefiniowanie pojęcia emisji ciepła związanego. Otóż pod pojęciem tym należy rozumieć ilość ciepła niezbędnego do odparowania w temperaturze otoczenia wydalanej z organizmu zwierzęcia i odchodów wody w postaci pary wodnej.

Stosując tę zależność jako kryterium wiarygodności normatywów emisji metabolitów, stwierdzono, że warunkowi tego nie spełniają przede wszystkim starsze źródła [2, 3], według których ciepło związane w skrajnych przypadkach mieści się w przedziale od 62,7 do 301,8% wartości ciepła parowania wody w temperaturze otoczenia. Bardzo dużą zgodność obu tych wielkości ustalono w przypadku nowszych normatywów niemieckich [8]. Należy dodać, że najnowsze źródła zachodnie [4] — najprawdopodobniej w celu uproszczenia obliczeń — przyjmują stałą wartość wskaźnika ciepła związanego, równą ciepłu parowania wody w temperaturze ok. 21°C.

3. Wzajemny związek bilansów ciepła i wilgoci

W przypadku bilansu ciepła całkowitego dla pomieszczenia inwentarskiego poziom wewnętrznych warunków termicznych jest wypadkową strumienia cieplnego przenikającego przez konstrukcję budynku, produkcji ciepła biologicznego, ogrzewania oraz różnicy ilości ciepła odprowadzanego i doprowadzanego z powietrzem i wodą (znów pominięto znikomą ilość ciepła wymienianego z suchą masą paszy i odchodów). Poziom tych warunków jest jednocześnie podstawowym kryterium przy określaniu znaku składowych bilansu ciepła wolnego. Stąd ogólnie bilans ciepła całkowitego przyjmie postać

$$Q_c - Q_w - Q_{wc} - Q_s + Q_g \pm Q_{zs} = 0$$

natomiast ciepła wolnego

$$Q_w - Q_{gw} - Q_{ww} - Q_{pp} - Q_s + Q_g \pm Q_{zs} = 0$$

Trzy ostatnie składowe, wyrażające strumień cieplny tracony przez konstrukcję budynku (Q_s), doprowadzany przez urządzenia ogrzewcze (Q_g) i pochodzący z innych źródeł, np. wskutek gromadzenia i oddawania ciepła z przegród budowlanych (Q_{zs}), w obu bilansach mają identyczną wielkość. Zasady ustalania dwu pierwszych składowych są ogólnie znane, natomiast analityczne wyrażenie ostatniej z nich (przy obecnym stanie wiedzy) jest praktycznie niemożliwe. Należy zatem dążyć do jej wyeliminowania, co nastąpi w warunkach ustalonej wymiany. W procesie projektowania warunków środowiskowych taką równowagę zakładamy, natomiast stosując metodę rachunku bilansowego w rzeczywistych obiektach niezbędne jest wcześniejsze ustalenie przedziału czasu, w którym średnie warunki wymiany można uznać za ustabilizowane. W tym przypadku kryterium oceny może być względna zmienność różnicy temperatury wewnętrznej i zewnętrznej [9].

Po podstawieniu na miejsca składowych wyrażających: ciepło odprowadzane wraz z płynami (Q_w), ciepło zużyte na podgrzanie dostarczonej do pomieszczenia

wody (Q_{gw}) i ciepło niezbędne do odparowania wody z wilgotnych powierzchni (Q_{pp}) poniższych wyrażen

$$Q_w = M_2 * i_{w2} - M_1 * i_{w1}$$

lub

$$Q_w = M_1(i_{w2} - i_{w1}) - M_{pw} * i_{w2}$$

$$Q_{gw} = M_1(i_{w2} - i_{w1})$$

$$Q_{pp} = M_{pp} * l_2$$

gdzie: M_1 (M_2) — ilość płynów dostarczonych do (usuniętych z) pomieszczenia,
 i_{w1} (i_{w2}) — entalpia wody dostarczonej do (usuniętej z) pomieszczenia,
 M_{pw} — całkowita ilość pary wodnej powstałej w pomieszczeniu,
 M_{pp} — ilość pary wodnej powstałej wskutek parowania z wilgotnych powierzchni (narzut wilgoci),
 l_2 — ciepło parowania wody w temperaturze pomieszczenia

i w wzajemnym porównaniu obu bilansów, uzyskamy zależność wyrażającą związek strat ciepła całkowitego oraz ciepła wolnego z powietrzem wentylacyjnym, a mianowicie

$$Q_{wc} = Q_{ww} + M_{pw} * i_{pw2}$$

gdzie: i_{pw2} — entalpia pary wodnej w temperaturze otoczenia.

Wzór ten łączy w sobie nie tylko oba bilanse ciepła, ale także bilans wilgoci. Może zatem posłużyć do określenia narzutu wilgoci, co wynika z zależności:

$$M_{pp} = m_s (x_u - x_n) - M_{zw}$$

$$M_{pp} = \frac{Q_{wc} - Q_{ww}}{i_{pw2}} - M_{zw}$$

gdzie: m_s — masa wymienionego powietrza suchego (kg/s^{-1}),
 x_u (x_n) — zawartość wilgoci w powietrzu usuwanym z (doprowadzanym do) pomieszczenia (g/kg^{-1}),
 M_{zw} — masa pary wodnej wydalanej przez zwierzęta (g/s^{-1}).

Zwłaszcza pierwsza zależność stwarza dogodne warunki praktycznego wykorzystania przytoczonego związku dla wielkości wentylacyjnej, ustalonej z bilansu ciepła całkowitego według zależności

$$m_s(Q_{wc}) = \frac{Q_{wc}}{i_{(g+p)u} - i_{(g+p)n}}$$

gdzie: $i_{(g+p)u}$ [$i_{(g+p)n}$] — entalpia powietrza usuwanego (nawiewanego) w przeliczeniu na jednostkę masy suchego powietrza (J/kg).

4. Podsumowanie

Stosowanie w rolnictwie zasad zestawiania bilansów ciepła i wilgoci, przyjętych w przemyśle i budownictwie ogólnym, przy jednoczesnym nieprecyzyjnym zdefiniowaniu pojęcia ciepła całkowitego i wolnego, doprowadziło do wielu rozbieżności, zwłaszcza przy ustalaniu strumienia cieplnego odprowadzanego z powietrzem wentylacyjnym [2, 5, 6, 7]. Niewątpliwie fakt ten rzutował na znikome wykorzystanie metody rachunku bilansowego w badaniach wentylacji, w tym między innymi przy ustalaniu rozmiarów zjawiska parowania wody z wilgotnych powierzchni.

Wydaje się, że zastosowany tok postępowania przy analizie przyjętego modelu budynku usuwa wiele wcześniejszych niejasności. Ponieważ zasady prowadzenia obliczeń bilansowych są ogólnie znane, stąd też w analizie skoncentrowano się głównie na sprecyzowaniu pojęcia emisji ciepła związanego i jego wpływie na zapis bilansów ciepła i wilgoci dla pomieszczenia. Jednocześnie wskazano na potrzebę dokonania wsześniejszej oceny stabilności wymiany przy stosowaniu metody rachunku bilansowego w rzeczywistych obiektach.

Literatura

- [1] Chodkowski A., Gołembowicz M.: O właściwy mikroklimat pomieszczeń nieogrzewanych. Roczn. Nauk Roln. 90 B, 1, 1967.
- [2] Janowski T.M.: Metodyka badań zoohigienicznych. PWN Warszawa-Kraków 1977.
- [3] Kadlec V. a kol.: Mechanizace zivocisne vyroby. SZN, Praha 1969.
- [4] Kuczyński T., Łomotowski J.: Wydzielanie ciepła i pary wodnej przez zwierzęta gospodarskie. Bud. Roln. 3, s. 19–21, 1987.
- [5] Mothes E.: Stallklima-Leistungsfaktor der Tierproduktion. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin 1977.
- [6] Podgórski W.: Zastosowanie wskaźnika entalpii powietrza mokrego w rachunku bilansu cieplnego pomieszczeń zwierzęcych. Roczn. Nauk Roln. 89 B, 2 s. 275–284, 1966.
- [7] Wolski L.: Mikroklimat w budynkach inwentarskich. PWN Warszawa 1988.
- [8] Wolski L., Kolbuszewski T.: Emisja ciepła i wilgoci od zwierząt hodowlanych. Inf. Bud. Roln. 11, s. 13–15, 1972.
- [9] Wrotkowski K.: Studia nad metodami oceny systemów wentylacji pomieszczeń inwentarskich. Praca doktorska. AR Lublin 1983.