Tadeusz Głuski
Katedra Melioracji i Budownictwa Rolniczego
Akademia Rolnicza w Lublinie

PORÓWNANIE TEMPERATUR W HALI ZWIERZĄT WYZNACZONYCH NA PODSTAWIE BILANSU CIEPŁA OBLICZONEGO RÓŻNYMI METODAMI

Streszczenie

W pracy podjęto próbę oceny różnych metod projektowania mikroklimatu w budynkach inwentarskich. Kształtowanie cieplne budynków inwentarskich może opierać się o bilans ciepła jawnego lub ciepła całkowitego. Porównanie obu metod przeprowadzono na przykładzie wybranego budynku dla bydła mlecznego. W okresie zimowym wykonano pomiary temperatur i wilgotności powietrza na zewnątrz i w hali zwierząt oraz temperatur powietrza we wszystkich pomieszczeniach budynku. Obliczono temperaturę w hali zwierząt w oparciu o bilans ciepła całkowitego i ciepła jawnego. Wyniki obliczeń porównano z temperaturami powietrza w hali zwierząt pomierzonymi w obiekcie rzeczywistym. Obliczono średnie różnice temperatur oraz odchylenia standardowe.

Słowa kluczowe: budynek inwentarski, mikroklimat, metody obliczeń

Wykaz oznaczeń

a_e – wilgotność bezwzględna powietrza zewnętrznego, [g/m^3]
a_i – wilgotność bezwzględna powietrza wewnętrznego, [g/m^3]
c_p – ciepło właściwe powietrza w zakresie temperatur w hali zwierząt, [J/m^3·K]
dw_e – zawartość dwutlenku węgla w powietrzu zewnętrznym, [dm^3/m^3]
dw_i – zawartość dwutlenku węgla w powietrzu wewnętrznym, [dm^3/m^3]
hpu – jednostka produkcji ciepła równa 1000 W ciepła całkowitego przy temperaturze 20^{o}C,
i_e – entalpia powietrza zewnętrznego, [J/m^3]
i_i – entalpia powietrza wewnętrznego, [J/m^3]
m – masa zwierząt, [kg]
M – zawartość energii w suchej substancji, [MJ/kg]

p – czas trwania ciąży, [dni]
t – temperatura powietrza, [^{o}C]
t_e – obliczeniowa temperatura powietrza zewnętrznego, [^{o}C]
t_i – obliczeniowa temperatura powietrza wewnętrznego, [^{o}C]
V_p – ilość powietrza wentylacyjnego według kryterium pary wodnej, [m^3/s]
V_{dw} – ilość powietrza wentylacyjnego według kryterium dwutlenku węgla, [m^3/s]
V_{H2O} – całkowita ilość pary wodnej wydzielanej przez zwierzęta, [g/s]
V_{CO2} – całkowita ilość dwutlenku węgla wydzielanego przez zwierzęta, [dm^3/s]
w – wilgotność powietrza, [%]
Y_1 – dzienna produkcja mleka, [kg]
Y_2 – przyrosty dzienne, [kg/d]
Φ_b – straty ciepła drogą przenikania przez przegrody budowlane, [W]
Φ_{wc} – straty ciepła całkowitego drogą wentylacji, [W]
Φ_{wj} – straty ciepła jawnego drogą wentylacji, [W]
Φ_{zc} – ciepło całkowite emitowane przez zwierzęta, [W]
Φ_{zj} – ciepło jawne emitowane przez zwierzęta, [W]
Φ_{zu} – ciepło utajone emitowane przez zwierzęta, [W]

Wstęp

Temperatura powietrza w hali zwierząt jest wynikiem odbywających się procesów wymiany ciepła pomiędzy budynkiem i jego otoczeniem oraz pomiędzy obsadą budynku i jej otoczeniem. W okresie zimowym, efektem tej wymiany są straty ciepła z budynku, na które składają się straty ciepła drogą wentylacji oraz straty ciepła drogą przenikania. Straty te równoważone są przez ciepło wydzielane przez zwierzęta, które nazywane jest zyskami ciepła od zwierząt. Jeżeli straty rosną to temperatura spada i odwrotnie. Projektowanie budynku z punktu widzenia mikroklimatu polega na porównaniu zysków i strat ciepła dla założonych parametrów klimatu zewnętrznego, parametrów mikroklimatu w hali zwierząt oraz przyjętej obsady i struktury stada. Porównanie to nazywane jest bilansem ciepła i może być wykonane różnymi metodami.

Cel pracy

Przyjęta metoda oraz sposób i dokładność obliczeń bilansu ciepła ma istotny wpływ na jakość projektowania budynków inwentarskich z punktu widzenia mikroklimatu w hali zwierząt. Celem pracy jest analiza i ocena różnych metod obliczania bilansu ciepła oraz określenie ich przydatności do projektowania budynków inwentarskich.

Klasyczne metody obliczania bilansu ciepła

Klasyczna metoda obliczania bilansu ciepła polega na porównaniu zysków ciepła od zwierząt ze stratami ciepła. Można to jednak wykonać na kilka sposobów, wykonując bilans ciepła jawnego, bilans ciepła całkowitego według kryterium pary wodnej lub bilans ciepła całkowitego według kryterium dwutlenku węgla [Wolski 1988, 2001].

Bilans ciepła całkowitego według kryterium pary wodnej

Bilans ten polega na porównaniu ciepła całkowitego emitowanego przez zwierzęta ze stratami ciepła całkowitego:

$$\Phi_{zc} = \Phi_b + \Phi_{wc}, \text{ W} \tag{1}$$

Straty ciepła drogą przenikania oblicza się ze znanych zależności, natomiast straty ciepła drogą wentylacji ze wzoru:

$$\Phi_{wc} = V_p\left(i_i - i_e\right), \text{ W} \tag{2}$$

Entalpia zależy od temperatury i wilgotności powietrza i można ją obliczyć z poniższej funkcji, która została wyznaczona na podstawie danych tabelarycznych:

$$i = 16{,}894t^2 - 0{,}18669w^2 + 9{,}71266tw + 1301{,}83t + 188{,}611w - 4389{,}5, \text{ J/m}^3 \tag{3}$$

Ilość powietrza konieczna do wymiany w celu usunięcia nadmiaru pary wodnej:

$$V_p = \frac{V_{H_2O}}{a_i - a_e}, \text{ m}^3/\text{s} \tag{4}$$

Maksymalna zawartość pary wodnej w powietrzu zależy od temperatury powietrza i można ją obliczyć z poniższej funkcji, która została wyznaczona na podstawie danych tabelarycznych:

$$a = 0{,}153e^{-3}t^3 + 0{,}010663t^2 + 0{,}348489t + 4{,}75621, \text{ g/m}^3 \tag{5}$$

Ilość ciepła całkowitego emitowanego przez bydło [Pedersen i Sällvik 2002] można wyznaczyć z następujących zależności:
- cielęta[1]

$$\Phi_{zc} = 6{,}44m^{0{,}70} + \left[\frac{13{,}3Y_2(6{,}28 + 0{,}0188m)}{1 - 0{,}3Y_2}\right], \text{ W} \tag{6}$$

[1] przyrosty dzienne (Y_2) = średnio 0,5 kg/dzień.

- bukaty[2,3]

$$\Phi_{zc} = 7{,}64m^{0{,}69} + Y_2\left[\frac{23}{M} - 1\right]\left[\frac{57{,}27 + 0{,}302m}{1 - 0{,}171Y_2}\right], \text{ W} \tag{7}$$

- jałówki[4]

$$\Phi_{zc} = 7{,}64m^{0{,}69} + Y_2\left[\frac{23}{M} - 1\right]\left[\frac{57{,}27 + 0{,}302m}{1 - 0{,}171Y_2}\right] + 1{,}6 \cdot 10^{-5} p^3, \text{ W} \tag{8}$$

- krowy mleczne

$$\Phi_{zc} = 5{,}6m^{0{,}75} + 22Y_1 + 1{,}6 \cdot 10^{-5} p^3, \text{ W} \tag{9}$$

Uwzględnienie temperatury otoczenia w odniesieniu do jednostki hpu:

$$\Phi_{zc} = 1000 + 4 \cdot (20 - t_w), \text{ W} \tag{10}$$

Ilość produkowanego ciepła jawnego:

$$\Phi_{zj} = 0{,}71 \cdot \Phi_{zc} - 0{,}408 \cdot t_w^2, \text{ W} \tag{11}$$

Ciepło utajone jest różnicą ciepła całkowitego i jawnego:

$$\Phi_{zu} = \Phi_{zc} - \Phi_{zj}, \text{ W} \tag{12}$$

Ilość produkowanej przez zwierzęta pary wodnej:

$$H_2O = \frac{\Phi_{zu}}{680}, \text{ kg/h} \tag{13}$$

Bilans ciepła całkowitego według kryterium dwutlenku węgla

Ogólne równanie bilansu ciepła jest identyczne jak równanie (1), inny jest natomiast sposób obliczania strat ciepła drogą wentylacji. Przyjmuje się, że ilość produkowanego dwutlenku węgla przez zwierzęta wynosi 0,185 m^3h^{-1} w odniesieniu do jednej jednostki *hpu*.

[2] przyrosty dzienne (Y_2) = 0,7÷1,1 kg/dzień.

[3] zawartość energii w suchej substancji (M) = 10 MJ/kg dla niestrawnych części pożywienia, 11÷12 MJ/kg dla koncentratów.

[4] przyrosty dzienne (Y_2) = średnio 0,6 kg/dzień.

Straty ciepła całkowitego drogą wentylacji według kryterium dwutlenku węgla opisuje wzór:

$$\Phi_{wc} = V_{dw}(i_i - i_e), \text{ W} \tag{14}$$

Ilość powietrza konieczna do wymiany w celu usunięcia nadmiaru dwutlenku węgla:

$$V_{dw} = \frac{V_{CO_2}}{dw_i - dw_e}, \text{ m}^3/\text{s} \tag{15}$$

Bilans ciepła jawnego

Równanie bilansu strumieni ciepła jawnego następujące:

$$\Phi_{zj} = \Phi_b + \Phi_{wj}, \text{ W} \tag{16}$$

Straty ciepła jawnego drogą wentylacji opisuje wzór 17:

$$\Phi_{wj} = V_p \cdot c_p \cdot (t_i - t_e), \text{ W} \tag{17}$$

Opis obiektu przyjętego do badań

Do badań wybrano budynek zlokalizowany w miejscowości Żakowola. Jest to obora stanowiskowa dwurzędowa z centralnym korytarzem paszowym i poddaszem użytkowym. Budynek wyposażony jest w 40 stanowisk krótkich ściołowych dla krów mlecznych, 10 stanowisk dla jałówek i kojce zbiorowe dla 10 cieląt. W budynku są cztery podpiwniczone pomieszczenia pomocnicze. Pomiary mikroklimatu wykonano w okresie od 24.12.2001r do 13.01.2002 r. Badania polegały na pomiarach temperatury i wilgotności powietrza w hali zwierząt i na zewnątrz budynku oraz temperatury powietrza w pozostałych pomieszczeniach. W hali zwierząt oraz na zewnątrz zainstalowano po dwa rejestratory a do analiz przyjęto wartości średnie. Rejestratory zostały umieszczone w hali zwierząt w strefie stanowiska (ponad 2 m od ściany zewnętrznej) i na wysokości dolnej części tułowia zwierząt (ok. 1 m).

Wyniki obliczeń

W pracy przyjęto założenie, że temperatura powietrza w hali zwierząt jest odzwierciedleniem bilansu ciepła. Jeżeli w obliczeniach bilansu straty ciepła (Q_b+Q_w) są większe niż zyski ciepła, to przyjęta temperatura obliczeniowa (t_w) powietrza
wewnętrznego jest zbyt wysoka i odwrotnie. Można więc tak dobrać wartość temperatury powietrza wewnętrznego, że bilans ciepła obliczony dla tej temperatu-

ry będzie zrównoważony. Taką temperaturę nazwano umownie „temperaturą wewnętrzną równoważącą bilans ciepła" - t_{wr} [Głuski 1999]. Ponieważ bilans ciepła może być liczony różnymi metodami, to wyznaczone wartości t_{wr} również mogą się różnić. W pracy zostały one wyznaczone na podstawie bilansu ciepła całkowitego według kryterium pary wodnej oraz bilansu ciepła jawnego. Temperatura powietrza w hali zwierząt i na zewnątrz rejestrowana była w odstępach piętnastominutowych a następnie z czterech pomiarów wykonanych w każdej godzinie obliczono wartości średnie. Dla każdej godziny analizowanego okresu wykonano bilans
ciepła dwoma metodami przyjmując do obliczeń pomierzone wartości powietrza zewnętrznego, aktualną strukturę stada i wydajność zwierząt. Obliczone wartości temperatury powietrza w hali zwierząt porównano z wartościami temperatury powietrza pomierzonymi w obiekcie rzeczywistym (tabela 1).

Tabela 1. Porównanie temperatury powietrza w hali zwierząt pomierzonej i obliczonej różnymi metodami

Table 1. Comparison of air temperatures in the livestock hall measured and calculated with various methods

Lp.	Metoda obliczeń	średnia różnica ^{o}C	odchylenie standartowe
1.	Bilans ciepła jawnego	-0,367	3,80
2.	Bilans ciepła całkowitego	-0,595	4,16

Wnioski

1. Projektowanie mikroklimatu w budynku inwentarskim w oparciu o bilans ciepła jawnego i całkowitego daje wyniki porównywalne ale bilans ciepła jawnego daje wyniki bardziej dokładne. Wyznaczona na jego podstawie temperatura powietrza w hali zwierząt jest bliższa temperaturze rzeczywistej niż temperatura wynikająca z bilansu ciepła całkowitego.
2. Opracowany system wyznaczania temperatury w hali zwierząt pozwala na ocenę przydatności rożnych metod obliczania bilansu ciepła do projektowania budynków inwentarskich.

Bibliografia

Głuski T. 1999. Badania symulacyjne procesów wymiany ciepła w budynkach dla bydła. Inżynieria Rolnicza 5(11), Warszawa.

Pedersen S., Sällvik K. 2002. *Heat and moisture production at animal and house levels.* 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. CIGR. Horsens.

Wolski L. 1988. *Mikroklimat w budynkach inwentarskich*. PWN, Warszawa.

Wolski L. 2001. *Wymiarowanie termiczne obiektów w zabudowie rozproszonej*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.

COMPARISON OF TEMPERATURES IN LIVESTOCK HALLS, DETERMINED BASED ON HEAT BALANCE CALCULATED WITH VARIOUS METHODS

Summary

The paper attempts to evaluate various methods of designing microclimate in livestock buildings. Shaping the heat profile of livestock facilities can rely on the sensible or total heat balance. Comparison of both methods was carried out for the example of milk cattle building. During winter, temperatures and air humidity outside and inside the livestock hall, as well as air temperatures in all building rooms, were measured. The livestock hall temperature was calculated based on the total and sensible heat balances. The calculations output was compared with air temperatures in the livestock hall, measured in the real structure. Average temperature differences and standard deviations were calculated.

Key words: livestock building, microclimate, calculation methods