

Wpłynęło 04.06.2012 r.
Zrecenzowano 10.07.2012 r.
Zaakceptowano 20.08.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Modelowanie strat energii z budynku inwentarskiego

Dariusz SUSZANOWICZ^{ABCDE}

Uniwersytet Opolski, Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej

Streszczenie

W pracy przedstawiono sporządzony model matematyczny strat energii z budynku inwentarskiego. Model taki umożliwi określenie wymaganych parametrów termicznych przegród, systemów ogrzewania wykorzystujących odnawialne źródła energii oraz systemów wentylacji w budynkach inwentarskich, ze szczególnym uwzględnieniem chlewni. Wyniki symulacji, wykonanych za pomocą przygotowanego modelu, zweryfikowano, wyznaczając rzeczywiste zapotrzebowanie na energię dwóch istniejących chlewni. Model strat energii w sposób zadowalający odzwierciedla zapotrzebowanie na energię końcową. W przypadku projektowania budynku pozwala określić przyszłe zapotrzebowanie na energię, a w przypadku budynków istniejących umożliwia planowanie efektów przygotowywanej termomodernizacji.

Słowa kluczowe: budownictwo wiejskie, modelowanie, energochłonność, straty energii, wewnętrzne zyski ciepła

Wstęp

Zgodnie ze zmianami ustawy Prawo budowlane od początku 2009 r. wprowadzono obowiązek sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków mieszkalnych. Ocena zapotrzebowania na energię dotyczy wszystkich budynków, w których znajdują się instalacje ogrzewania bądź chłodzenia. Do budynków takich należą również budynki wiejskie, ze szczególnym uwzględnieniem budynków inwentarskich. Wyznaczono nowe trendy projektowania budynków z uwzględnieniem zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną oraz prowadzenia prac termomodernizacyjnych budynków. Precyzyjne wyznaczenie zapotrzebowania na energię do celów ogrzewania, wentylacji, przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz oświetlenia wbudowanego umożliwia określenie zmian mikroklimatu w pomieszczeniach inwentarskich w każdym okresie roku, z uwzględnieniem m.in. wpływu akumulacji cieplnej w przegrodach oraz w gruncie pod posadzką.



Dotychczas prowadzone badania wykazały istotny wpływ warunków utrzymania zarówno na produktywność, jak i na skład chemiczny uzyskiwanych tusz [BRUCE, CLARK 1979]. Tylko optymalny mikroklimat pomieszczeń inwentarskich, tj. właściwa temperatura, wilgotność, oświetlenie, odpowiedni poziom zapylenia oraz stężenia CO₂, NH₃, H₂S, mogą zapewnić dobrostan zwierząt. Mikroklimat chlewni kształtuje oddziaływanie wielu czynników jednocześnie, w tym: transportu ciepła przez przegrody zewnętrzne (ściany, okna, strop, posadzkę), straty ciepła przez wentylację, zyski ciepła z promieniowania słonecznego, wewnętrzne zyski ciepła, wymianę wilgoci przez wentylację. Interakcja między zwierzęciem i otoczeniem powinna uwzględniać również ciepło metaboliczne, powstające w organizmie, które wyznacza wymaganą temperaturę powietrza w pomieszczeniu i wpływa na bilans cieplny budynku [FANDREJEWSKI 1994].

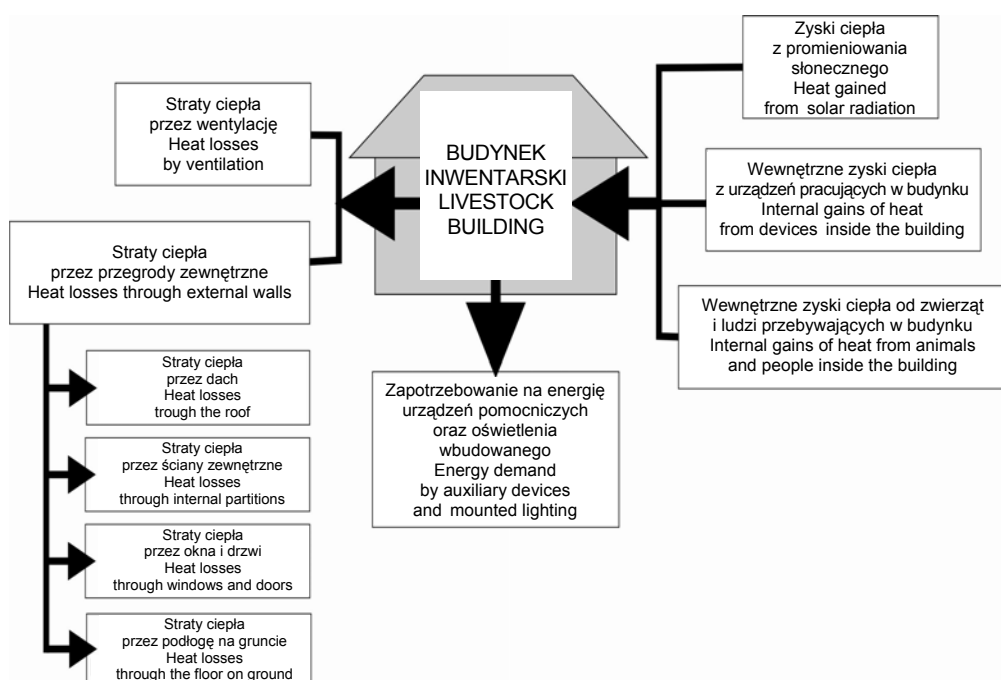
Celem pracy było sporządzenie modelu matematycznego strat energii z budynku inwentarskiego. Model taki umożliwi określenie wymaganych parametrów termicznych przegród, systemów ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej (z uwzględnieniem wykorzystania odnawialnych źródeł energii, które powodują zmniejszenie zapotrzebowania na energię ze źródeł nieodnawialnych) oraz systemów wentylacji w budynkach inwentarskich, ze szczególnym uwzględnieniem chlewni.

Metody badań

Zapotrzebowanie na energię budynku inwentarskiego to energia, którą należy doprowadzić do osłony cieplnej budynku, aby uzupełnić straty energii cieplnej z budynku oraz zaspokoić zapotrzebowanie na energię urządzeń pomocniczych i oświetlenia wbudowanego, pomniejszona o wewnętrzne zyski ciepła, a także ciepło pozyskiwane z promieniowania słonecznego [RECKNAGEL i in. 2008]. Ogólny schemat bilansu energetycznego budynku inwentarskiego przedstawiono na rysunku 1.

Aby umożliwić porównywanie różnych budynków inwentarskich, w równaniach modelowych strat energii wyznacza się jednostkowe zapotrzebowanie na energię dla budynku, wyrażone w kWh·(m²·rok)⁻¹. Do obliczeń należy przyjąć znormalizowane temperatury wewnątrz pomieszczeń budynku chlewni oraz temperaturę powietrza zewnętrznego, według danych klimatycznych ze stacji meteorologicznej najbliższej lokalizacji budynku. Wykorzystując zależności określone w metodologii sporządzania świadectw energetycznych budynków możliwe jest również określanie zapotrzebowania na nieodnawialną energię pierwotną, co pozwala na wykazanie efektywności zastosowania odnawialnych źródeł energii do celów grzewczych w budynkach wiejskich [Rozporządzenie MI... 2008].

Na podstawie bilansu energetycznego dla budynku inwentarskiego (rys. 1), przygotowano model matematyczny, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 2.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Bilans energetyczny budynku inwentarskiego
Fig. 1. Balance of energy in a livestock building

Poszczególne składniki bilansu energii wyznaczono wg zależności:

$$Q_p = \sum_i [(A_i \cdot U_i) + (l_i \cdot \psi_i)] \cdot \Delta T \quad (1)$$

gdzie:

Q_p – straty ciepła przez przenikanie przez przegrody [W];

A_i – pole powierzchni i -tej przegrody, otaczającej przestrzeń o regulowanej temperaturze [m^2];

U_i – współczynnik przenikania ciepła i -tej przegrody między przestrzenią ogrzewaną i stroną zewnętrzną [$W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$];

l_i – długość i -tego liniowego mostka cieplnego [m];

ψ_i – liniowy współczynnik przenikania ciepła mostka cieplnego [$W \cdot (m \cdot K)^{-1}$];

ΔT – różnica temperatury między wnętrzem budynku a otoczeniem [K].

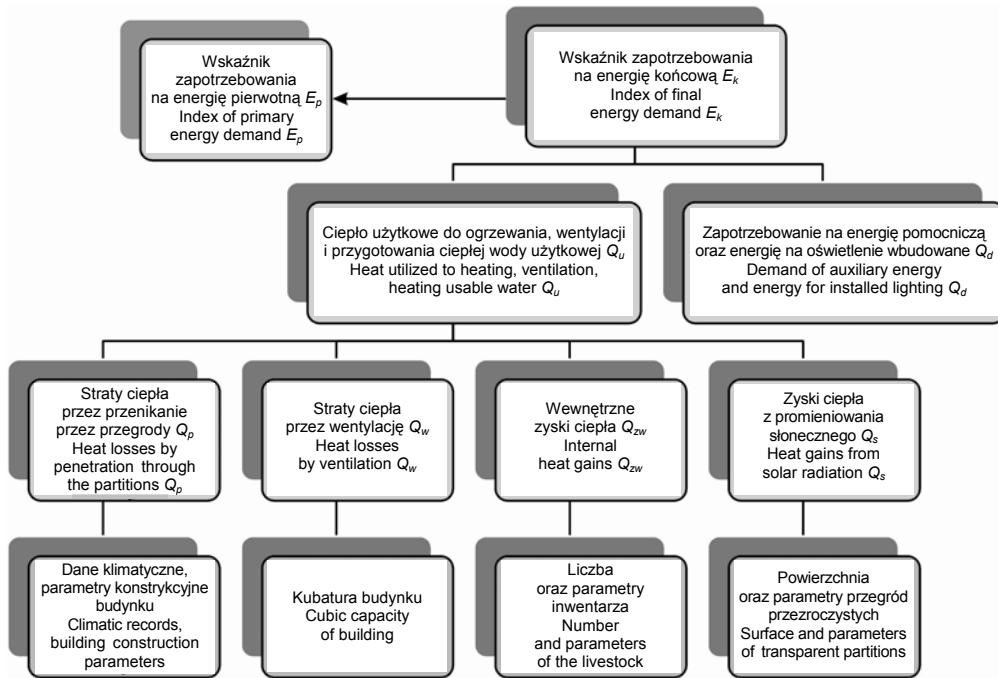
$$Q_w = \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_w \cdot \Delta T \quad (2)$$

gdzie:

Q_w – straty ciepła przez wentylację [W];

$\rho_a \cdot c_a$ – pojemność cieplna powietrza, 1200 [$J \cdot (m^3 \cdot K)^{-1}$];

\dot{V}_w – uśredniony w czasie strumień powietrza wentylacyjnego [$m^3 \cdot s^{-1}$].



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 2. Schemat blokowy modelu matematycznego strat energii z budynku inwentarskiego

Fig. 2. Block-diagram of mathematical model for energy losses in livestock building

$$Q_{zw} = \sum_i q_i + \sum_i q_{z,j} \cdot L_j \quad (3)$$

gdzie:

Q_{zw} – wewnętrzne zyski ciepła [W];

q_i – średni zysk ciepła z urządzeń zainstalowanych w budynku [W];

$q_{z,j}$ – średnia ilość ciepła wydzielana przez zwierzęta inwentarskie [$W \cdot szt.^{-1}$];

L_j – liczba zwierząt inwentarskich [szt.].

$$Q_s = \sum_i C_i \cdot A_i \cdot I_{s,j} \cdot g \quad (4)$$

gdzie:

Q_s – zyski ciepła z promieniowania słonecznego [W];

C_i – udział pola powierzchni płaszczyzny szklonej do całkowitego pola powierzchni okna [-];

A_i – pole powierzchni okna w świetle otworu w przegrodzie [m^2];

$I_{s,j}$ – wartość energii promieniowania słonecznego w sezonie ogrzewczym na płaszczyznę pionową lub dachu, w której usytuowane jest okno o powierzchni A [$W \cdot m^2$];

g – współczynnik przepuszczalności energii promieniowania słonecznego przez oszklenie [-].

$$Q_u = S_{th}[(Q_p + Q_w) - \eta(Q_{zw} + Q_s)] \quad (5)$$

gdzie:

- Q_u – ciepło użytkowe do ogrzewania, wentylacji i przygotowania ciepłej wody użytkowej [kWh·rok⁻¹];
 S_{th} – stopniogodziny sezonu ogrzewczego, wg danych klimatycznych dla stacji meteorologicznej najbliższej lokalizacji budynku [kh·rok⁻¹];
 η – sezonowy współczynnik efektywności wykorzystania zysków w trybie ogrzewania [-].

$$Q_d = \sum_i q_{up} \cdot t + P_o \cdot t \quad (6)$$

gdzie:

- Q_d – zapotrzebowanie na energię pomocniczą i energię na oświetlenie wbudowane [kWh·rok⁻¹];
 q_{up} – zapotrzebowanie mocy i -tego urządzenia pomocniczego [W];
 P_o – moc opraw oświetlenia wbudowanego [W];
 t – czas użytkowania i -tego urządzenia pomocniczego lub oświetlenia [h·rok⁻¹].

$$E_k = \frac{Q_u + Q_d}{A_f} \quad (7)$$

gdzie:

- E_k – wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową [kWh·(m²·rok)⁻¹];
 A_f – powierzchnia o regulowanej temperaturze [m²].

$$E_p = (w_i \cdot Q_u + w_i \cdot Q_d) / A_f \quad (8)$$

gdzie:

- E_p – wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną [kWh·(m²·rok)⁻¹];
 w_i – współczynnik nakładu nieodnawialnej energii pierwotnej na wytworzenie i dostarczenie nośnika energii do budynku [-].

Wyniki badań

Sformułowany model matematyczny poddano weryfikacji, wyznaczając zapotrzebowanie na energię dla dwóch istniejących obiektów:

- obiekt nr 1 – chlewnia macior w systemie bezściółkowym na 60 macior, o powierzchni użytkowej 379 m²;
- obiekt nr 2 – chlewnia dla 252 loch, o powierzchni użytkowej 1760 m².

Wyniki uzyskane drogą symulacji komputerowej z wykorzystaniem przytoczonych wyżej równań modelu matematycznego porównano z rzeczywistymi wartościami zużycia energii dla analizowanych obiektów.

Zestawienie wyników obliczeń (E_c – całkowite roczne zapotrzebowanie na energię, E_k – wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową, E_p – wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną), otrzymanych z wykorzystaniem modelu za

pomocą symulacji komputerowej (metoda 1) oraz wyznaczonych z rzeczywistego rocznego zużycia energii dla analizowanych budynków (metoda 2), przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zapotrzebowanie na energię analizowanych budynków inwentarskich
Table 1. Energy demand in analysed livestock buildings

Nr obiektu Object number	Metoda 1 Method 1			Metoda 2 Method 2		
	E_c [kWh·rok ⁻¹] [kWh·year ⁻¹]	E_k [kWh·(m ² ·rok) ⁻¹] [kWh·(m ² ·year) ⁻¹]	E_p [kWh·(m ² ·rok) ⁻¹] [kWh·(m ² ·year) ⁻¹]	E_c [kWh·rok ⁻¹] [kWh·year ⁻¹]	E_k [kWh·(m ² ·rok) ⁻¹] [kWh·(m ² ·year) ⁻¹]	E_p [kWh·(m ² ·rok) ⁻¹] [kWh·(m ² ·year) ⁻¹]
1	29 698,44	78,36	93,54	30 752,06	81,14	97,83
2	517 932,80	294,28	105,10	532 752,00	302,70	116,41

Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Dyskusja wyników

Jak wynika z obliczeń, obiekt nr 2 charakteryzuje się znacznie większym zużyciem energii końcowej – wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową E_k wynosi 294,28 kWh·(m²·rok)⁻¹ (prawie 3-krotnie więcej niż w obiekcie nr 1), jednak większość zużywanej przez ten budynek energii pochodzi ze źródeł odnawialnych (energia słoneczna, biomasa), stąd też wskaźnik zapotrzebowania na energię pierwotną E_p wynosi jedynie 105,10 kWh·(m²·rok)⁻¹, czyli nieznacznie więcej niż w obiekcie nr 1. Wykorzystując wskaźniki zapotrzebowania na energię E_k i E_p można porównywać budynki znacznie różniące się zarówno powierzchnią użytkową, jak i całkowitym rocznym zapotrzebowaniem na energię.

Zapotrzebowanie na energię analizowanych budynków, wyznaczone za pomocą równań modelowych, jest zgodne z wynikami uzyskanymi w badaniach empirycznych – w przypadku wskaźnika E_p dla obiektu nr 1 w 95,62%, a dla obiektu nr 2 w 91,29%, natomiast w przypadku wskaźnika E_k dla obiektu nr 1 w 96,58%, a dla obiektu nr 2 w 97,22%.

Wnioski

1. Przeprowadzona weryfikacja potwierdza, że model jest adekwatny do rzeczywistości, czyli właściwie opisuje straty energii z budynku inwentarskiego. Zgodność wyników wskaźników zapotrzebowania na energię, uzyskanych za pomocą modelu z wynikami badań empirycznych istniejących chlewni, osiąga wartości w zakresie 91,99–97,22%.
2. Zaproponowany model właściwie uwzględnia wewnętrzne zyski ciepła pochodzące od zwierząt przybywających w budynku oraz wymagane strumienie powietrza wentylacyjnego.
3. Zaproponowany model strat energii z budynku inwentarskiego umożliwia określanie energochłonności budynku już na etapie planowania inwestycji, co ułatwia wybór projektu budynku o jak najmniejszej energochłonności. Umożliwia również porównywanie energochłonności różnych projektów budynków inwentarskich, niezależnie od ich powierzchni użytkowej.

4. Dla budynków istniejących zastosowanie symulacji komputerowej z wykorzystaniem równań modelowych umożliwia planowanie efektów przygotowywanej termomodernizacji.

Bibliografia

BRUCE J. M., CLARK J.J. 1979. Models of the heat production and critical temperature for growing pigs. *Animal Production*. Vol. 28 s. 353–369.

FANDREJEWSKI H. 1994. Energia w nowych normach żywienia świń. *Przegląd Hodowlany*. Nr 7 s. 1–6.

RECKNAGEL H., SPRENGER E., SCHRAMEK E.R. 2008. *Kompendium wiedzy: ogrzewnictwo, klimatyzacja, ciepła woda, chłodnictwo*. Wrocław. Wydawnictwo Omni Scala. ISBN 978-83-92683-36-0 ss. 2400.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6 listopada 2008 r. w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. *Dz.U.* 2008. Nr 201 poz. 1240.

Dariusz Suszanowicz

MODELLING OF ENERGY LOSSES IN THE LIVESTOCK BUILDINGS

Summary

Paper presents elaborated mathematical model of energy losses in the livestock building. The model enables to determine required thermal parameters of the building structural elements, heating systems with application of renewable energy sources and ventilation systems in the livestock buildings – the piggeries in particular. The results of simulation were verified by real energy requirement in two existing piggery buildings. Model of energy losses satisfactorily reflects the final energy consumption in a building. In the case of building's designing, model enables to determine expected energy demand, in case of existing buildings model is useful for planning the thermo-modernization scope.

Key words: farm livestock buildings, energy consumption, energy losses, modelling, internal heat gains

Adres do korespondencji:

dr inż. Dariusz Suszanowicz
Uniwersytet Opolski
Samodzielna Katedra Inżynierii Procesowej
Wydział Przyrodniczo-Techniczny
ul. Dmowskiego 7-9, 45-365 Opole
tel. 77 401-66-90; e-mail: d.suszanowicz@uni.opole.pl

