

Kazimierz Wrotkowski
Katedra Maszyn i Urządzeń Rolniczych
Akademia Rolnicza w Lublinie

ZALETY MODELI PRODUKCJI ORAZ STRAT CIEPŁA Z ORGANIZMU ZWIERZĘCIA PRZY KSZTAŁTOWANIU WENTYLACJI W CHLEWNIACH

Streszczenie

W pracy zaproponowano połączenie modelu emisji ciepła od świni, zależnej od intensywności żywienia i genotypu zwierząt, z modelami fizykalnych strat ciepła z organizmu dla potrzeb określania wymagań zwierzęcia, określonych dolną i górną temperaturą krytyczną. Uwzględnione w procedurze obliczeniowej modele strat ciepła pozwalają określać wymagania zwierząt w zależności od prędkości ruchu powietrza w strefie pobytu, rodzaju legowiska, liczby sztuk w grupie i pozycji ciała zwierzęcia. Natomiast sama procedura, oparta na powiązaniach termiczno-energetycznych, umożliwia szacowanie wielkości podstawowych wskaźników produkcyjno-ekonomicznych, dzięki czemu może być wykorzystana jako narzędzie wspomagające wybór właściwego rozwiązania systemu wentylacyjnego i warunków utrzymania, a nawet może stanowić blok decyzyjny urządzenia sterującego wentylacją i linią zadawania pasz.

Słowa kluczowe: produkcja ciepła od zwierząt, energia dawki pokarmowej, modele zwierzęcia, temperatura krytyczna, warunki utrzymania, procedura obliczeniowa, sterowanie wentylacją i żywieniem

Wstęp

Organizm świni z jednej strony jest źródłem produkcji ciepła w budynku inwentarskim, z drugiej zaś wymaga odpowiedniej wymiany tego metabolitu z bezpośrednim otoczeniem, by utrzymać temperaturę ciała na właściwym poziomie.

Obecny poziom wiedzy na temat przemian energii i materii w organizmie zwierzęcia pozwala określić wielkość energetycznych interakcji występujących między intensywnością żywienia (ilością energii dostarczanej w paszy) a skalą produkcji

i emisji ciepła od zwierząt. Pozwala również określić poziom wymaganych warunków w pomieszczeniu gwarantujących bezproblemowe oddawanie tego ciepła do otoczenia tak, aby wymiana ta odbywała się przy zachowaniu wysokiej sprawności przemian energetycznych. Spełnienie tego ostatniego warunku zakłada uwzględnienie warunków wymiany ciepła, zdeterminowanej parametrami geometryczno-opornościowymi zwierzęcia i otoczenia.

Taka koncepcja projektowania wentylacji i warunków w pomieszczeniu inwentarskim łączy więc poziom żywienia i wielkość produkcji z wymaganiami zwierzęcia. Dzięki temu stwarza warunki do oceny ilościowej proponowanych alternatywnych rozwiązań wentylacji, technologii żywienia i utrzymania zwierząt. Podstawą tej ilościowej oceny są powiązania energetyczne, które decydują o wielkości parametrów jakościowych środowiska (takich jak np. temperatura powietrza). Stanowią one podstawę dotychczasowych ocen. Jednak brak ich ilościowego powiązania powoduje, że sam proces wyboru alternatywnych rozwiązań technicznych nie może w pełni wykorzystać zalet analizy ekonomicznej.

Do opracowania jednolitego systemu wzajemnych powiązań niezbędne są modele teoretyczne zwierzęcia i jego otoczenia. Znajdują one zastosowanie nie tylko w procesie projektowania warunków środowiskowych, ale mogą być z powodzeniem zaimplementowane do urządzeń sterujących działaniem wentylacji i urządzeń zadających paszę. Zostanie wówczas zapewniony wymagany poziom oddziaływania otoczenia na zwierzę, co z kolei przyniesie znaczące oszczędności energii paszy.

Materiał i metoda

Celem działań w zakresie projektowania wentylacji jest zapewnienie warunków termoobojętnych w pomieszczeniu. W warunkach tych emisja ciepła z organizmu zwierzęcia do otoczenia kształtuje się na najniższym z możliwych poziomów, co zapewnia utrzymanie maksymalnej sprawności przemiany materii i wykorzystania energii paszy. Wielkość tej emisji ciepła (całkowitego) w przypadku świń rosnących można określić z zależności

$$Q_{cl.zw} = m_m \cdot M + [e_p - m_m \cdot M + T \cdot K_T(1 - \eta_T) + B \cdot K_B(1 - \eta_B)] \text{ [W/szt]} \quad (1)$$

gdzie:

- m_m – masa metaboliczna zwierzęcia równa masie ciała podniesionej do potęgi 0,75, mierzona w jednostkach metabolicznych (j.m),
- M – zapotrzebowanie bytowe wyrażone w jednostkach energii metabolicznej (5,764 W EM/j.m = 0,498 MJ EM/j.m i dobę),
- e_p – energia metaboliczna w dawce pokarmowej (W),

K_B, K_T – koszt energetyczny odkładania białka (67 MJ EM/kg) i tłuszczu (57 MJ EM/kg),

η_B, η_T – sprawność wykorzystania energii metabolicznej paszy przy odkładaniu białka ($E_B/EM = 0,354$) i tłuszczu ($ENF_f/EM = 0,695$).

Powyższy model produkcji ciepła powstał z przekształcenia zależności wykorzystywanej przy ustalaniu zapotrzebowania energetycznego zwierzęcia w systemie żywienia [Kielanowski 1973; Fandrejewski 1994]. W ogólnym ujęciu jego postać jest zbieżna z zależnościami na określenie tej wielkości podanymi w IV. Raporcie CIGR [2002]. Jednak w odróżnieniu od nich emisję ciepła wyraża także w funkcji ilości składników energetycznych (białka i tłuszczu) odkładanych w przyroście. Składniki te mogą posłużyć do bezpośredniego wyprowadzenia wielkości przyrostów dziennych, a więc jednego z parametrów produkcyjnych istotnych zarówno dla hodowcy, jak i analizy ekonomicznej. Dodatkową zaletą przedstawionego modelu jest możliwość wykorzystania w nim wielkości ustalanych w badaniach energetycznych prowadzonych w warunkach utrzymania i na zwierzętach ras krajowych [Wrotkowski 2005]. Ma to istotny wpływ na dokładność i praktyczną przydatność uzyskiwanych wyników obliczeń.

Jak już wspomniano, wymagania termiczne zwierząt z jednej strony zależne są od wielkości powstającego w organizmie ciepła, a z drugiej od warunków jego oddawania do otoczenia. Wymagania te można wyrazić dolną i górną temperaturą krytyczną powietrza otaczającego, które wyznaczają przedział temperatur obojętnych. Taki sposób wyrażenia wymagań zwierząt znajduje uzasadnienie w istotności temperatury, jako czynnika produkcyjnego, i łatwości jej pomiaru w systemach sterujących funkcjonowaniem wentylacji. Wielkość obu tych temperatur zależy od:

- produkcji ciepła (wielkości odkładanego przyrostu, ilości pobieranej paszy),
- cieplnej oporności tkanek zwierzęcia (maksymalnej dla dolnej temperatury krytycznej i minimalnej dla górnej temperatury krytycznej),
- masy zwierzęcia (mającej związek z powierzchnią skóry biorącej udział w wymianie ciepła),
- powierzchni skóry wyłączonej z wymiany ciepła do otoczenia (zależnej od liczby zwierząt utrzymanych w jednej grupie),
- prędkości ruchu powietrza,
- powierzchni skóry biorącej udział w wymianie ciepła do legowiska (zależnej od ogólnego komfortu termicznego zwierzęcia i wzajemnej relacji oporności cieplnej przy oddawaniu ciepła do podłoża i do otaczającego powietrza),
- oporności termicznej legowiska (rodzaju podłogi i obecności na niej ściółki),
- ilości ciepła oddawanego w postaci pary wodnej przy utrzymaniu zwierząt w warunkach termoobojętnych,
- aktywności zwierzęcia (postawa stojąca, leżąca, pojedynczo lub w grupie).

Ostateczny podział czynników opisujących warunki wymiany ciepła, które przytoczono powyżej, zależy od konkretnych uwarunkowań technologicznych oraz będących do dyspozycji wielkości eksperymentalnych, niezbędnych do budowy modelu teoretycznego zwierzęcia w danych warunkach utrzymania. Wartościami tymi są przykładowo: powierzchnia skóry, wielkość ciepła odprowadzanego na drodze parowania przez różne rejony ciała zwierzęcia, ciepło właściwe ciała zwierzęcia, maksymalna i minimalna oporność cieplna tkanek, oporność termiczna różnych rodzajów podłóg, itp.

Większość tych danych jest dostępna w literaturze, dzięki czemu został spełniony zasadniczy warunek budowania modelu teoretycznego, wyrażającego oddawanie ciepła z organizmu na drodze konwekcji, przewodnictwa, promieniowania i parowania. Wymienić tu można modele Bruce'a i Clarka [1979], Usry'ego i in. [1992] oraz Van der Peet-Schweringa i in. [1994].

W opracowywanym jednolitym systemie powiązań energetyczno-termicznych w odwzorowaniach wielkości strat ciepła z organizmu na drodze konwekcji, przewodnictwa, promieniowania i parowania postanowiono wykorzystać model Bruce'a i Clark'a [1979]. Dla potrzeb badań własnych model ten zmodyfikowano, wprowadzając w nim dla strefy termoobojętnej związek odczucia komfortu bytowego z wielkością powierzchni kontaktowej zwierzęcia z legowiskiem. Dzięki temu w prowadzonych obliczeniach wyeliminowano występującą mało realną skokową zmianę tej powierzchni w sytuacji zmiany relacji między opornością oddawania ciepła do powietrza, a do legowiska. O dokonanym wyborze postaci modelu zdecydował przede wszystkim bogaty materiał weryfikacyjny modelu oraz drobiazgowość uwzględnianych w nim czynników, co pozwoliło na prowadzenie obliczeń wymagań zwierząt dla bardzo różnych warunków utrzymania. Wymagania te określano z ogólnej zależności

$$t_{TK} = t_c - \frac{Q_{cl.zw.} (R_{wr.psk} + R_{tk}) - Q_{zw.zw.} \cdot R_{wr.psk}}{F_{sk} (1 - f \cdot \frac{R_{podl} - R_{wr.psk}}{R_{tk} + R_{podl}} - k)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2)$$

gdzie:

- t_c – temperatura ciała zwierzęcia (39°C),
- f – udział powierzchni skóry kontaktującej się z legowiskiem,
- k – udział powierzchni skóry wzajemnego kontaktu między zwierzętami w grupie,
- F_{sk} – powierzchnia skóry zwierzęcia, m^2 ,
- F_{podl} – powierzchnia skóry zwierzęcia kontaktująca się z legowiskiem, m^2 ,
- $Q_{zw.zw.}$ – straty ciepła z organizmu w postaci pary wodnej, W/szt. ,

- R_{podt} – oporność cieplna podłogi, $m^2\text{°C/W}$,
 R_{tk} – oporność tkankowa zwierzęcia, $m^2\text{°C/W}$,
 $R_{wr.psk}$ – oporność warstwy przyskórnej powietrza, $m^2\text{°C/W}$,

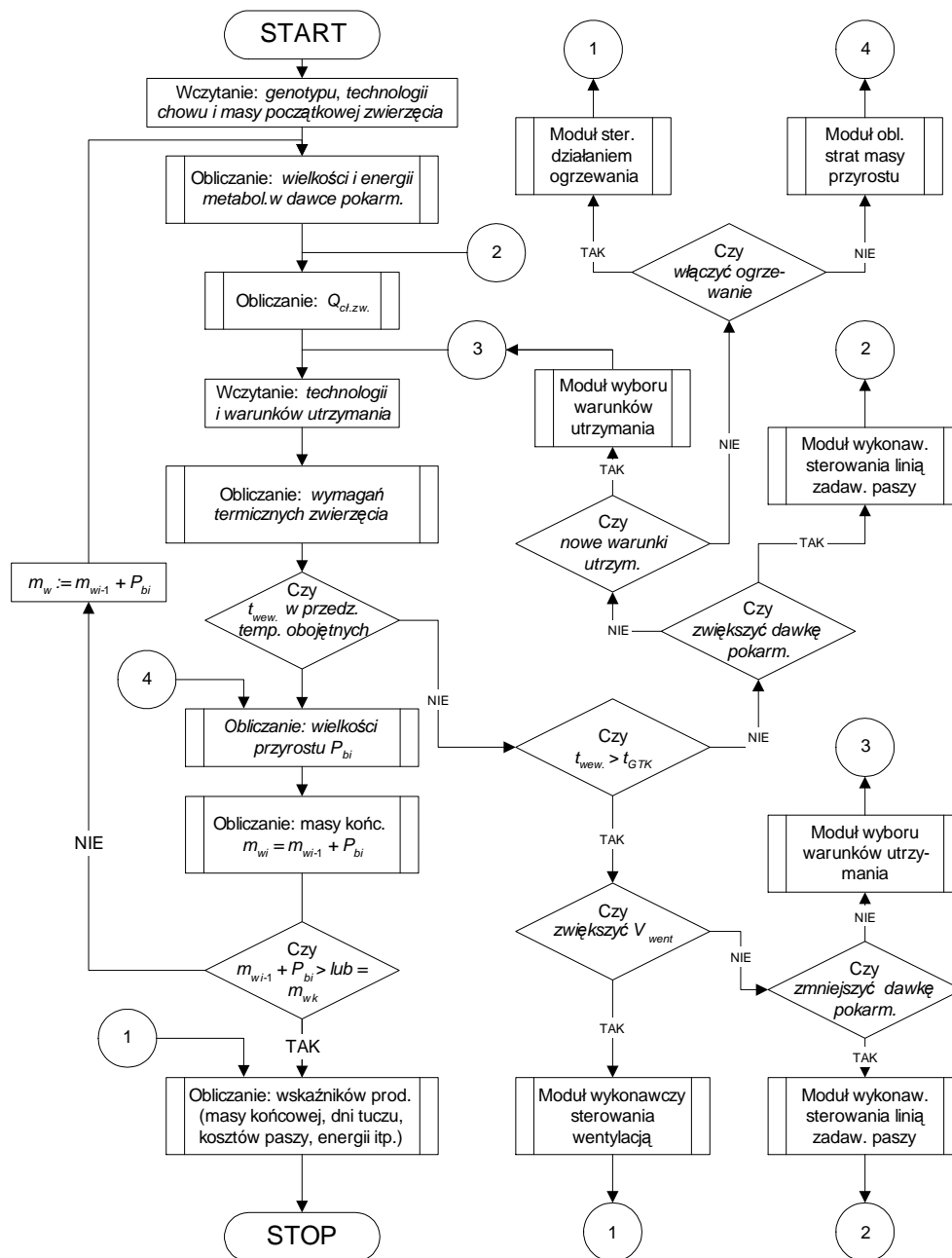
w której przy określaniu dolnej temperatury krytycznej (t_{DTK}) przyjmowano maksymalną oporność tkankową zwierzęcia ($R_{tk.max}$), zaś górnej (t_{GTK}) - minimalną ($R_{tk.min}$).

Algorytm obliczeń symulacyjnych

Przyjęty sposób wyznaczania wymagań zwierzęcia uwzględnia wewnętrzne uwarunkowania jego organizmu, stąd też tak określana wymagana temperatura powietrza zewnętrznego jest w istocie temperaturą wynikową. Jak na to wskazuje uproszczona postać procedury obliczeniowej (rys. 1), obliczenia mogą być prowadzone dla wybranych genotypów zwierząt (różniących się zdolnością genetyczną do odkładania białka w przyroście) oraz wybranych technologii chowu (rozumianych jako narzucone technologią oddziaływanie termiczne otoczenia na zwierzę). W tym mieści się planowe racjonowanie dawki pokarmowej (chów ekstensywny, żywienie restrykcyjne) lub dawniej wykorzystywane w hodowli zmniejszanie wielkości dawek pod koniec tuczu, mające na celu zmniejszenie odkładania tłuszczu w przyroście.

Dla tak wybranych różnych genotypów i technologii chowu w obliczeniach mogą być uwzględniane odmienne konstrukcje legowiska, liczby zwierząt w grupie i prędkości powietrza w kojcu, a także zróżnicowane wielkości dawki pokarmowej i zmieniającej się w trakcie wzrostu masy ciała zwierzęcia. Całość obliczeń, z uwagi na wykorzystywanie w nich funkcji ciągłych, może być z powodzeniem zaimplementowana do programu sterującego działaniem wentylacji. W takim przypadku intensywność wymiany powietrza będzie się zmieniać nie tylko w zależności od zmieniających się warunków zewnętrznych, ale także od intensywności żywienia i wzrastającej masy zwierzęcia.

Z uwagi na wielość czynników uwzględnianych w zaproponowanej koncepcji kształtowania warunków utrzymania i intensywności wentylacji zwierzę funkcjonuje na zasadzie "sensoru obliczeniowego", reprezentowanego przez kilka opisujących go modeli teoretycznych. Można więc zasadnie zakładać, że taki sposób sterowania wentylacją przyniesie znaczne oszczędności energetyczne i finansowe. Pozwala ponadto uniknąć przypadkowości w doborze warunków środowiskowych, z czym mamy do czynienia przy dotychczasowym sposobie ich kształtowania.



Rys. 1. Schemat ideowy obliczeń i sterowania warunkami środowiskowymi
 Fig. 1. Schematic diagram for calculations and control of environmental conditions

Zaprezentowana idea jest w dużej mierze zbliżona do tych prób kształtowania warunków środowiskowych, w których zwierzę pełni funkcję swoistego „sensoru biologicznego”. Z takim przypadkiem mamy do czynienia, gdy do oceny wpływu otoczenia wykorzystywana jest temperatura ciała zwierzęcia [Lacey i in. 2000], temperatura tympaniczna [Eigenberg i in. 1995] lub wynik automatycznej analizy reakcji behawioralnych zwierząt o charakterze termoregulacyjnym [Geers i in. 1991]. W praktyce realizacja tych sposobów sterowania warunkami natrafia na wiele trudności. Do nich należy zaliczyć trudno akceptowalną nadmierną ingerencję w organizm zwierzęcia, jak to miało miejsce w badaniach Lacey’a i in. [2000] prowadzonych na drobiu, w których czujnik do telemetrycznego pomiaru temperatury wprowadzano do układu trawiennego ptaka. Do innych należą trudności natury technicznej i selektywność informacji, będąca skutkiem pozyskiwania ich od pojedynczego osobnika lub ograniczonej liczby zwierząt.

Podsumowanie

Prawidłowo zaprojektowana wentylacja powinna zapewnić w pomieszczeniu warunki odpowiadające aktualnym potrzebom zwierzęcia. Tego celu nie można osiągnąć stosując dotychczasowe metody projektowania, w których przyjmowane wartości wyjściowe produkcji ciepła i wymagań termicznych zwierząt, nie są wzajemnie ze sobą powiązane. Takie możliwości stwarza wykorzystanie modeli teoretycznych zwierzęcia. Ich podstawową zaletą w procesie projektowania i sterowania wentylacją jest możliwość:

- wprowadzenia do programów obliczeń modułów obliczeniowych wielkości emisji ciepła i innych metabolitów, uwzględniających miejscowy genotyp zwierząt i zróżnicowane ilości energii metabolicznej dostarczanej w paszy (zróżnicowane wielkości przyrostów),
- ustalenia strat ciepła z organizmu poszczególnymi drogami, co stwarza warunki do bardziej racjonalnego wyboru kierunków zmian modernizacyjnych w zakresie wentylacji i technologii utrzymania,
- oceny wielkości strat ciepła u zwierząt w zależności od ich aktywności, co daje podstawę do różnicowania warunków w zależności od pory dnia i nocy,
- ilościowej analizy występujących współzależności między warunkami bytowymi w chlewni, a wynikami produkcyjnymi i wskaźnikami ekonomicznymi produkcji.

Opis próby praktycznego zastosowania podobnej koncepcji sterowania warunkami środowiskowymi w chlewni można znaleźć w pracy Van ‘t Klooster’a [1996]. Również pewną namiastką tej koncepcji jest „wbudowana krzywa wymagań zwierząt” w sterownikach wentylacji przeznaczonych dla drobiu rosnącego.

Bibliografia

Bruce, J.M., Clark J.J. 1979. Models of heat production and critical temperature for growing pigs. *Animal Production* 28(3), 353-369.

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

Eigenberg R.A., Hahn G.L., Nienaber J.A., Parkhurst A.M., Kocher M.F. 1995. Tympanic temperature decay constants as indices of thermal environments: Swine. *Transaction of the ASAE*, 38, 4, 1203-1206.

Fandrejewski H. 1994. Energia w nowych normach żywienia świń. *Przegląd Hodowlany*, 7, 1-6.

Geers R., Villé H., Goedseels V., Houkes M., Goossens K., Parduyns G., Van Bael J. 1991. Environmental temperature control by the pig's comfort behavior through image analysis. *Transaction of the ASAE*, 34, 6, 2583-2586.

Kielanowski J. 1973. Energetyczne wartościowanie paszy. PWRiL, Warszawa.

Lacey B., Hamrita T.K., Lacy M.P., van Wicklen G.L. 2000. Assessment of poultry deep body temperature responses to ambient temperature and relative humidity using an on-line telemetry system. *Transaction of the ASAE*, 43, 3, 717-721.

Usry J.L., Turner L.W., Bridges T.C., Nienaber J.A. 1992. Modeling the physiological growth of swine. Part III: Heat production and interaction with environment. *Transaction of the ASAE*, 35, 3, 1035-1042.

Van der Peet-Schwering, C.M.C., H.J.P.M. Vos, G.F.V. van der Peet, M.W.A. Verstegen, E. Kanis, C.H.M. Smits, A.G. de Vries and N.P. Lenis. 1994. Technisch model varkensmodel, Informatie model). Report P1.117. Rosmalen, The Netherlands: Research Institute for Pig Husbandry.

Van 't Klooster C.E. 1996. Animal-based control algorithm for natural ventilation in pig houses. *Transaction of the ASAE*, 39, 3, 1127-1133.

Wrotkowski K. 2005. Kryteria stawiane emisji ciepła od zwierząt stosowanej w projektowaniu wentylacji. Problemy inżynierii rolniczej w aspekcie rolnictwa zrównoważonego. Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja Naukowa XXXV lat Wydziału Inżynierii Produkcji Akademii Rolniczej w Lublinie, 159-160.

**ADVANTAGES OF MODELS FOR HEAT PRODUCTION
AND LOSSES FROM ANIMAL BODY,
USED TO DESIGN VENTILATION SYSTEMS IN PIGSTIES**

Summary

The paper proposes linking the model of heat emission from pig, which depends on feeding intensity and animal genotype, with models of physical heat losses from body for the purposes of determining animal demands, limited by lower and upper critical temperature. Heat loss models taken into account in calculation procedure allow to determine animal demands depending on air flow velocity in the area where they live, den type, population in a group and animal body position. Whereas, the procedure itself, based on thermal-power connections, allows to assess the values of basic production-economic indicators. As a result of this, it may be utilised as a tool supporting selection of proper ventilation system and its maintenance conditions, and it may even form a decision-making block for the device controlling ventilation system and feed supply line.

Key words: production of heat from animals, food ration energy, animal models, critical temperature, maintenance conditions, calculation procedure, ventilation and feeding control