INFRASTRUKTURA I EKOLOGIA TERENÓW WIEJSKICH

Nr 2/2/2006, POLSKA AKADEMIA NAUK, Oddział w Krakowie, s. 95–103
Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi

Radomir Adamovskỳ, Daniel Adamovskỳ, Pavel Neuberger

MODELOWANIE JEDNOSTKOWEGO ZUŻYCIA ENERGII W CYKLACH TECHNOLOGICZNYCH CHOWU TRZODY CHLEWNEJ

Streszczenie

Artykuł dotyczy określenia energochłonności czterech podstawowych grup w chowie trzody chlewnej. W wyniku pomiarów eksploatacyjnych oraz analiz teoretycznych uzyskano jednostkowe zużycie energii w odniesieniu do poszczególnych czynności wykonywanych w ramach produkcyjnego cyklu technologicznego. Opracowano proste zależności matematyczne, określające zależność jednostkowego zużycia energii od normatywnych bądź zalecanych wartości eksploatacyjnych dla danej grupy trzody chlewnej. Dokonano również oceny wzajemnych zależności jednostkowego zużycia energii w poszczególnych grupach zabiegów roboczych.

Słowa kluczowe: energia, produkcja zwierzęca, chów trzody chlewnej, system ekspercki

WPROWADZENIE

Określenie i analiza jednostkowego zużycia energii w cyklach technologicznych w produkcji zwierzęcej jest procesem złożonym, w którym musi być uwzględniona charakterystyka produkcyjna gospodarstwa, organizacja produkcji, technologia wykonania zabiegów, lokalne warunki klimatyczne oraz właściwości termiczne budynku inwentarskiego.

W Republice Czeskiej nie opracowano dotychczas kompleksowego informacyjnego systemu energochłonności produkcji rolniczej.

Problemem szeroko pojmowanego jednostkowego zapotrzebowania energetycznego zajmuje się jednostka badawcza ANSER, sp. z o.o, z siedzibą w Pradze, w ramach projektu QF 3200 pt. „System ekspercki wspomagający decyzje w zarządzaniu procesami technologicznymi i wykonawczymi oraz w ich optymalizacji w produkcji rolniczej", finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa Republiki Czeskiej. System ekspercki powstaje ze względnie samodzielnych, wzajemne połączonych segmentów programowych z zakresu produkcji roślinnej, zwierzęcej oraz manipulacji materiałem. Końcowymi rezultatami całego procesu decyzyjnego są dane dotyczące zapotrzebowania na maszyny, na siłę roboczą, zapotrzebowania energii, zużycia materiałów, przepływów materiałowych, nakładów bezpośrednich, zapotrzebowania na usługi oraz możliwości świadczenia usług. Pracownicy i doktoranci Wydziału Technicznego Czeskiego Uniwersytetu Rolniczego w Pradze biorą udział w tworzeniu systemu eksperckiego, zwłaszcza w zakresie określania energochłonności zabiegów w produkcji zwierzęcej. W ostatnich latach przedmiotem badań było jednostkowe zużycie energii w cyklach technologicznych chowu trzody chlewnej, brojlerów, owiec i kóz.

W Instytucie Badawczym Techniki Rolniczej w Pradze prowadzono w ramach projektu [Vegricht, Machálek 2003] długoletnie badania na 28 fermach chowu bydła, z ogólną obsada 25 181 stanowisk. Badania te dotyczyły zużycia energii elektrycznej i wody przy zastosowaniu różnych systemów doju, chłodzenia i przechowywania mleka, usuwania obornika, oświetlenia i wentylacji. Na podstawie wieloletnich pomiarów opracowano normy zużycia energii i wody dla różnej obsady ferm i różnych linii technologicznych. Poza tym analizowano również zależności pomiędzy zużyciem energii a długością dnia, zużyciem energii a temperaturą zewnętrzną, jak też zużyciem energii a produkcyjnością. Wykazano, że tylko w samej dojarni ze zlewnią mleka zużywa się prawie 80% ogólnego zapotrzebowania na energię elektryczną. Wykazano też, że zużycie energii elektrycznej na 100 l mleka jednoznacznie zależy od średniej produkcyjności krów mlecznych i maleje z jej wzrostem.

We Włoszech, Wielkiej Brytanii oraz Finlandii badano zużycie energii do ogrzewania, wentylacji i oświetlenia w produkcji trzody chlewnej oraz drobiu [http:www.ippc.cz; http:www.cranfield.ac.]. Rejestrowano przede wszystkim zależność zużycia energii od kategorii zwierząt i wielkości fermy.

W Instytucie Technologii Rolniczych i Techniki Obróbki Produktów Uniwersytetu Wiedeńskiego BOKU, badania i optymalizacja zużycia energii w produkcji zwierzęcej są tematem kilku prac doktorskich [http://www.boku.ac.at]. Rozwiązywane są przede wszystkim zagadnienia dotyczące konkretnych linii technologicznych.

W Instytucie Zrównoważonych Technologii Energetycznych w Uniwersytecie w Nottinhgam (Wielka Brytania) oraz w Instytucie Doświadczalnym Davids Wilson Millenium (http://www.nottingham.ac.uk) są od 2001 roku na bieżąco testowane najnowocześniejsze linie technologiczne stosowane w produkcji zwierzęcej, włącznie z konstrukcją budynków inwentarskich. Badane są możliwości wykorzystania alternatywnych źródeł energii.

METODYKA

W artykule są zaprezentowane wyniki pomiarów **eksploatacyjnych** oraz modelowanie jednostkowego zużycia energii we względnie trudnej gałęzi produkcji zwierzęcej, jaką jest chów trzody chlewnej. Badania zapotrzebowania energetycznego poszczególnych czynności i cyklów technologicznych dotyczyły wszystkich grup wiekowych w chowie trzody. Wykonano je w chlewniach dla loch luźnych, nisko- i średnioprośnych (P1), wysokoprośnych, w porodówkach i budynkach dla loch karmiących (P2), w chlewniach odchowu prosiąt (P3), jak też w tuczarniach (P4). Aby możliwe było porównanie czynności w poszczególnych cyklach technologicznych, mierzone wielkości jednostkowego zapotrzebowania energii są podawane w jednostkach zużycia energii [Wh] na sztukę [ks^{-1}] na dzień [d^{-1}], czyli w [$Wh.d^{-1}ks^{-1}$].

W ramach pierwszego etapu badań sformułowano zależności matematyczne, wyrażające fizyczną zależność jednostkowego zużycia energii od mocy maszyny, długości cyklu technologicznego, sprawności ogólnej, dziennego czasu pracy, dla poszczególnych czynności cyklów technologicznych chowu. Np. dla obliczenia zapotrzebowania energetycznego prac dotyczących manipulacji z materiałem we wszystkich grupach czynności - żywienia, manipulacji z obornikiem i gnojowicą, sformułowano następujące zależności:

$$P = \frac{m_\tau \cdot w^2}{10^3} \qquad [kW]$$

$$Q = \frac{10^3 \cdot P \cdot \tau_d}{n_z \cdot \eta_c} \qquad \left[Wh \cdot d^{-1} \cdot ks^{-1}\right]$$

$$Q = Q_{en} \cdot m_{d,ks} \qquad \left[Wh \cdot d^{-1} \cdot ks^{-1}\right]$$

$$Q = \frac{10^3 \cdot P \cdot m_{d,ks}}{\eta_c \cdot M_\tau} \qquad \left[Wh \cdot d^{-1} \cdot ks^{-1}\right]$$

gdzie: P – moc maszyny, urządzenia $\left[kW\right]$

m_τ – wydajność jednostkowa $\left[kg \cdot s^{-1}\right]$

$m_{d,ks}$ – dzienna produkcja, ew. zużycie na jedną sztukę $\left[kg \cdot d^{-1} \cdot ks^{-1}\right]$

M_τ – wydajność maszyny $\left[kg \cdot h^{-1}\right]$

n_z – liczba zwierząt $\left[ks\right]$

Q_{en} – zużycie energii $\left[kWh \cdot t^{-1}\right]$

η_c – sprawność ogólna $\left[-\right]$

w – prędkość ruchu mechanizmu $\left[m \cdot s^{-1}\right]$

τ_d – dzienny czas pracy $\left[h\right]$

Obliczone wartości jednostkowego zużycia energii były weryfikowane w praktyce w konkretnych budynkach inwentarskich i konfrontowane z wynikami prezentowanymi w literaturze przedmiotu, zarówno popularno-naukowej, jak też naukowej [Andresen 2000; Bonde 2003].

Po wykonaniu analiz obliczonych i praktycznie zweryfikowanych wartości zużycia energii sformułowano proste zależności matematyczne określające zależność jednostkowego zużycia energii Q *[Wh.d^{-1}.ks^{-1}]* od zalecanych bądź normowanych wartości jednostkowego zapotrzebowania na pasze suche m_{kr} *[kg.d^{-1}.ks^{-1}]*, wilgotne $m_{kr,v}$ *[kg.d^{-1}.ks^{-1}]*, jednostkowej produkcji obornika m_{mr} *[kg.d^{-1}.ks^{-1}]*, gnojowicy m_k *[kg.d^{-1}.ks^{-1}]*, powierzchni użytkowej $S_{1,u}$ *[m^2.ks^{-1}]*, powierzchni dezynfekowanej $S_{1,z}$ *[m^2.ks^{-1}]*, długości cyklu technologicznego τ_{TC} *[d]*, ew. średniej masie zwierząt m_z *[kg.ks^{-1}]*.

WYNIKI

Wyniki podane w tabeli I przedstawiają przykład zabezpieczenia czynności roboczych tradycyjnymi maszynami i urządzeniami.

W grupie czynności „Przygotowanie chlewni“ jest podane jednostkowe zużycie energii przez urządzenie powszechnie używanego do dezynfekcji budynku inwentarskiego przed zasiedleniem go zwierzę-

tami. W grupie czynności „Karmienie“ są opracowane dwie linie technologiczne transportu paszy w chlewni (A, B), dwie stacjonarne linie zadawania paszy (C, D) oraz zadawanie paszy 2 różnymi typami ruchomych wózków paszowych (E,F). W grupie „Manipulacja obornikiem i gnojowicą“ prześledzono technologie ściółkowego (A, B, C) oraz bezściółkowego (D, E, F, G) chowu trzody chlewnej. Odnośnie do „Techniki kształtowania parametrów środowiska“ we chlewniach dla wszystkich grup zwierząt brano pod uwagę wentylacją wymuszoną (A). W budynkach dla loch wysokoprośnych, w porodówkach i w pomieszczeniach dla loch karmiących (P2), bierze się pod uwagę ogrzewanie panelami podłogowymi (B) oraz konwencjonalny przestrzenny system ogrzewania (C). W ocenie jednostkowego zużycia energii na oświetlenie budynku prześledzono warianty źródeł światła lampami jarzeniowymi (D) i świetlówkami (E).

Obok tradycyjnych linii technologicznych badane było zapotrzebowanie energetyczne nowoczesnych technologii, sterowanych programami komputerowymi, np. technologia płynnego karmienia firmy Schauer [Andrt, Adamovský 1998].

DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Wyniki w tabeli I jednoznacznie wskazują, że zapewnienie wymaganej jakości środowiska wiąże się z wysokim zużyciem energii. Jest to widoczne zwłaszcza w grupie P2, wysokoprośnych i karmiących loch.

Biorąc pod uwagę energetycznie bardziej wymagające technologie ściółkowego utrzymania, karmienia ruchomym wózkiem paszowym i zwilżoną paszą, wymuszonej wentylacji, kombinowanego podłogowego i przestrzennego ogrzewania, oświetlenia halogenowymi świetlówkami, to w grupie P2 dla zabezpieczenia wymaganej jakości czynności „Technika środowiska“ zużycie energii będzie 50-krotnie wyższe od zużycia w takich grupach czynności jak „Przygotowanie chlewni“, „Karmienie“ oraz „Manipulacja obornikiem oraz gnojowicą“. Za pozytywny aspekt można uznać realną możliwość obniżenia zużycia energii ogrzewania poprzez wykorzystanie wtórnych i odnawialnych źródeł energii, zwłaszcza za pomocą wymienników ciepła dla odzyskania ciepła z powietrza usuwanego przez wentylację [Adamovský, Kára 2001].

Tabela 1. Jednostkowe zapotrzebowanie energetyczne w chowie trzody chlewnej
(1) żywienie tylko suchymi mieszankami paszowymi)
Table 1. Specific energy consumption in pig breeding (1) feeding with dry fodder mixture)

Grupa zabiegów	Zabiegi	Maszyny i urządzenia	Moc $[kW]$	Zużycie energii $[Wh \cdot d^{-1} \cdot ks^{-1}]$				Równanie dla danego zabiegu $Q[Wh.d^{-1}.ks^{-1}]$
				P1	P2	P3	P4	
Przygotowanie chlewni	Przygotowanie chlewni, dezynfekcja	A. Wysokociśnieniowe urządzenie czyszczące WAP B 930	7	7,8	46,8	3,4	4,9	303 $S_{1,z} \cdot$ TC
Żywienie	Transport paszy w budynku	A. Przenośnik rurkowy TDN-75, B. Ślimakowy TDU-75	1,1 1,6	1,9 –	4,5 –	1,6 –	– 2,5	0,775 · m_{kr}
	Transport paszy do karmników	C. Przenośnik łańcuchowy DU-IDEAL D. Pompa do gnojówki 100-GFHU-270	0,55 6,5	2,9 –	6,9 –	2,0 [1)] –	7,3 12,2	0,916 · $m_{kr,v}$
	Transport i nakładanie paszy	E. Ruchomy wózek paszowy AGRA ZP2 F. MOPRA Z-072	5,5 3,13	3,3 –	7,8 –	2,2 [1)] –	8,3 8,2	1,04 · $m_{kr,v}$
Manipulacja z obornikiem i gnojowicą	Usuwanie obornika dziennie	A. Zgarniacz obornika ZV2-066	2,2	2,4	4,1	0,8	1,6	0,375 · m_{mr}
	Transport obornika z chlewni	B. Przenośnik do wydalania obornika VD 5/8	2,2	1,4	2,4	0,5	0,9	0,22 · m_{mr}
	Transport i formowanie pryzmy obornika	C. Urządzenie do nawarstwiania obornika VMK-30	18,5	10,0	16,9	3,5	6,5	1,54 · m_{mr}
	Usuwanie gnojowicy codziennie	D. Zgarniacz łańcuchowy Delta SGL E. Uniwersalny zgarniacz gnojowicy SHVU	1,1 2,2	4,9 –	9,2 –	1,2 –	– 2,5	0,343 · m_k
	Mieszanie gnojowicy	F. Homogenizator gnojowicy HVT	15	3,1	5,5	0,7	1,5	0,206 · m_k
	Pompowanie gnojowicy	G. Pompa do gnojowicy ČTV 15	15	3,1	5,6	0,7	1,5	0,208 · m_k
Technika środowiska	Wentylacja wymuszona	A. Wentylatory AGRA 465.1	1,0	76,0	133,0	6,1	23,6	0,0025m_z^2 + 0,0301m_z + 5,15
	Ogrzewanie	B. Ogrzewanie podłogowe + przestrzenne C. Ogrzewanie przestrzenne	– –	– –	3 468 867	– 225,8	– –	35,732m_z + 417,39

W ostatnich grupach chowu trzody chlewnej dla zapewnienia odpowiedniej jakości otoczenia zużywa się 60–80% jednostkowego zużycia energii ogółem.

Z wyjątkiem ogrzewania, wszystkie czynności we wszystkich grupach chowu wykorzystuje sie energię elektryczną, której ceny maja i będą miały tendencję zwyżkową. W związku z tym, zwłaszcza na dużych fermach, jako perspektywiczne źródło energii bierze się pod uwagę biogaz, wyprodukowany z obornika i gnojowicy, pochodzących od utrzymywanych zwierząt. Czeska firma TEDOM w Třebíči (http://www.tedom.cz) produkuje bloki energetyczne wykorzystujące biogaz dla kombinowanej produkcji energii elektrycznej i cieplnej, o mocy elektrycznej w zakresie 23–1100 kW oraz cieplnej w zakresie 44–1200 kW. Urządzenia pracują ze sprawnością ogólną 7–85%.

Zawarte w opracowaniu podstawowe modele matematyczne oparte są na założeniu, że poszczególne czynności oraz cykle technologiczne produkcji rolniczej można optymalizować na podstawie wiadomości teoretycznych, korygowanych w rzeczywistych warunkach.

Jak wynika z zaprezentowanych częściowych danych, jednostkowe zużycie energii może mieć istotny wpływ na poniesione nakłady bezpośrednie oraz efektywność produkcji. W konsekwencji jednostkowe zużycie energii staje się obok wydajności pracy oraz jednostkowych nakładów bezpośrednich głównym kryterium optymalizacji produkcji, i w procesie decyzyjnym jego analiza ma zasadnicze znaczenie.

Analiza nowoczesnych technologii [Andrt, Adamovský 1998] potwierdza znaną zależność pomiędzy kryteriami wydajności pracy a zapotrzebowaniem energetycznym. Ze spadkiem nakładów osobowych na pracowników, rośnie jednostkowe zużycie energii. Rozwiązanie tej zależności jest kwestią kształtowania się cen energii oraz wzrostu nakładów na wynagrodzenia.

BIBLIGORAFIA

Adamovskỳ R., Kára J. *Využití druhotného tepla větracího vzduchu stájí*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Technická fakulta, 2001, s. 211, ISBN 80-213-0859-1.

Andersen N. *Resourse utilization, interaction, performance and behaviour of pigs in cropping systems.* 1st print. Uppsala: Swedish university of agricultural sciences, 2000, p. 160, ISBN 91-576-5764-5.

Andrt M. Adamovsk R. *Měření energetické náročnosti technologické linky SCHAUER ve výkrmu prasat*. In *Nové poznatky v technologických zařízeních v zemědělských a potravinářských provozech.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. Technická fakulta. 1998, s. 3–7.

Bonde M. K. *Welfare assessment in a commercial sow heard.* 1st print. Tjele: Danish institute of agricultural sciences, 2003, p. 98, ISSN 1397-9892.
Integrated Pollution Prevention and Control. Ref dok. BAT, *Intenzivní chov drůbeže a prasat*.c2004 <http:www.ippc.cz>
Integrated Pollution Prevention and Control. *IPPC and intensive pig production in England and Wales.* Institute of Water and Environment, Cranfield University at Silsoe, UK <http:www.cranfield.ac.uk>
Kogenerační jednotky.c2005 <http://www.tedom.cz/kogenerace/vyrobky/prednosti_kj.asp>
The University of Nottigham. c2003 <http://www.nottingham.ac.uk/ResearchIndex/default>
Universität für Bodenkultur Wien-BOKU, Institut für Land., Umwelt und Energietechnik. c2004 <http://www.boku.ac.at/iluet/>
Vegricht J., Machálek A. *Analysis of electric energy consomption on dairy farm*. In: *Proceeding 3rd Research and Development Conference of Central and Eastern institutes of Agricultural Engineering,* Gödöllö 11–13 september 2003, p. 145–153.

prof. Ing. Radomír Adamovský, Dr Sc., Pavel Neuberger
Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta
Kamýcka 129, 165 21 Praha – Suchdol
tel.: +420 224 384 176, e-mail: adamovsky@tf.czu.cz
Dr.Ing.Daniel Adamovsk
Czech technical university in Prague

Recenzent: *Prof. dr hab. Jerzy Gruszczyński*

Radomir Adamovskỳ, Daniel Adamovskỳ, Pavel Neuberger

MODELING OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION WITHIN TECHNOLOGY CYCLES OF PIG BREEDING

SUMMARY

The article presents results of modeling and operational evaluation of specific energy consumption in four pig breeding categories, which have been realized under the project QF 3200 „Expert System for Determination Support and Optimization of Technology Processes Control in Agricultural Production“ supported by Czech Ministry of Agriculture.

The first step of solution brought mathematical equations that describe physical relation of specific energy consumption to machine input, technology cycle duration, total efficiency and day time operation. As example of energy requirements of material manipulation during feeding operation, mulch treatment are presented in equations 1 to 4. Following performed analysis based on calculated and operationally proved energy consumptions were created simple mathematical equations (tab. I) that qualify relation of specific energy consumption Q $[Wh.d^{-1}.ks^{-1}]$ to recommended or standardized values of dry pasture m_{kr} $[kg.d^{-1}.ks^{-1}]$, wet pasture $m_{kr,v}$ $[kg.d^{-1}.ks^{-1}]$, specific mulch production m_{mr} $[kg.d^{-1}.ks^{-1}]$, liquid manure m_k $[kg.d^{-1}.ks^{-1}]$, stable area $S_{1,u}$ $[m^2.ks^{-1}]$, disinfected area $S_{1,z}$ $[m^2.ks^{-1}]$, technology cycle duration τ_{TC} $[d]$ and average animal weight m_z $[kg.ks^{-1}]$. The elementary mathematical models come out from hypothesis that individual operation and technology cycles of agricultural production is possible to optimize on the base of theoretical knowledge adjusted by real conditions.

The results in the tab. I show notably high energy consumption for indoor environment conditions maintenance. The most significant is category P2, pregnant, parturient and nursing sows. This category has 50 times higher specific energy consumption for maintenance of required quality of "System environment" operation than total specific energy consumption for "Stable preparation", "Feeding" and "Mulch manipulation".

In the article presented partial results prove the influence of specific energy consumption to spent direct costs and production effectiveness. The specific energy consumption is one of major criteria to production optimization such as work productivity and unitary direct costs. The analysis significance is during decision process.

Key words: energy, animal production, pig breeding, expert system