

ZAGADNIENIA OPTIMALIZACJI WARUNKÓW TERMICZNYCH ENERGOOSZCZĘDNOŚCI BROJLERNI

Wacław Bieda¹, Eugeniusz Herbut², Jan Radoń¹

¹Akademia Rolnicza w Krakowie

²Instytut Zootechniki w Balicach

Streszczenie. Przedstawiono tematykę i syntetyczne omówienie wyników badań w zakresie energooszczędnych rozwiązań wielkotowarowych brojlerni i optymalizacji mikroklimatu w strefie bytowej ptaków, prowadzonych w Akademii Rolniczej i Instytucie Zootechniki w Krakowie. Za najważniejsze osiągnięcia badawcze uważa się rozpoznanie przebiegu wymiany ciepła z gruntem i kształtowania się warunków termicznych, w tym przebiegu temperatury ściółki w różnych strefach hali produkcyjnej. Przedstawiono również osiągnięcia w badaniach nad ograniczeniem zużycia energii dzięki zastosowaniu gruntowych i rekuperacyjnych wymienników ciepła, przystosowanych do pracy w warunkach dużego zapylenia i zawilgocenia powietrza oraz możliwości wykorzystania promieniowania słonecznego do ogrzewania brojlerni.

Słowa kluczowe: wymiana ciepła z gruntem, energooszczędne brojlernie, wymienniki ciepła, ściółka, model obliczeniowy

WSTĘP

Odchów kurcząt brojlerów spośród wszystkich kierunków produkcji zwierzęcej należy do najbardziej energochłonnych. Zapewnienie wymaganej temperatury powietrza w hali produkcyjnej, która wynosi od 31–33°C na początku odchovu do 18–20°C na końcu, wymaga ogrzewania hali produkcyjnej nawet latem. W dobrze izolowanych termicznie brojlerniach najwięcej, bo 80–90% energii zużywa się na ogrzewanie powietrza wentylacyjnego, a reszta przypada na straty ciepła przez przegrody budowlane. Duży udział energii potrzebnej do ogrzania powietrza wentylacyjnego brojlerni zwrócił uwagę autorów na celowość poszukiwania możliwości zmniejszenia zapotrzebowania na energię do ogrzewania powietrza nawiewanego poprzez wykorzystanie ciepła odpa-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Wacław Bieda, Jan Radoń, Akademia Rolnicza w Krakowie, Katedra Budownictwa Wiejskiego al. Mickiewicza 24–28, 30-059 Kraków, e-mail: kbw@ar.krakow.pl

dowego zawartego w powietrzu wywiewanym z kurników oraz ciepła zakumulowanego pod posadzką budynku i promieniowania słonecznego [Bieda i Radoń 1998].

Wielkość strat ciepła przez napowietrzną obudowę hali produkcyjnej jest uzależniona od ciepłochronności poszczególnych przegród zewnętrznych oraz wewnętrznych. Budowa ścian i stropodachów brojlerni, cechujących się dużą wartością cieplnoizolacyjną, nie stanowi dzisiaj problemu technicznego. Problemem pozostaje jednak zarówno sposób, jak i dobór wartości cieplnoizolacyjnej elementów stanu zerowego. W kurnikach z podłogowym utrzymaniem ptaków do tej pory najmniej rozeznana jest wymiana ciepła, jaka zachodzi pomiędzy powietrzem, ptakami, ściółką oraz posadzką i zalegającym pod nią gruntem [Radoń 2004]. Dlatego też, jak dotąd, nie ustalono jednoznacznie, jaka powinna być optymalna wartość cieplnoizolacyjna posadzek w brojlerniach. W zdecydowanej większości obiektów wielkotowarowych posadzki wykonuje się z betonu bez izolacji cieplnej. Uważa się powszechnie, że funkcję izolacji cieplnej wystarczająco spełnia 10–15-centymetrowa warstwa ściółki, najczęściej ze słomy. Wartość cieplnoizolacyjna ściółki zależy nie tylko od jej grubości, wilgotności i gęstości objętościowej materiału ściółki, ale również od wielu czynników związanych z technologią produkcji, zdrowotnością ptaków oraz stanem technicznym wyposażenia technologicznego, jak np. od: fazy odchowu, zagęszczenia kurcząt, rodzaju i stanu technicznego poidełek, odprowadzenia wód opadowych.

Dla wartości cieplnoizolacyjnej ściółki (jedynej przegrody, z którą ptaki mają bezpośredni kontakt) bardzo duże znaczenie ma ogrzanie do odpowiedniej temperatury posadzki betonowej i zalegającego pod nią gruntu. Jednak w praktyce produkcyjnej nie kontroluje się temperatury posadzki betonowej przed zasiedleniem hali produkcyjnej, ograniczając się tylko do osiągnięcia takiego poziomu nagrzania hali, przy którym możliwe jest utrzymanie w niej temperatury powietrza na wymaganym poziomie. W czasie ogrzewania brojlerni, jeszcze przed jej zasiedleniem, rozścielona na posadzce betonowej sucha i luźna ściółka izoluje pomieszczenie od wyziębionych posadzek betonowych, zwłaszcza po zimowych przerwach technologicznych [Bieda i in. 1999]. Jednak po zasiedleniu hali produkcyjnej dość szybko następuje ugniecenie ściółki, a na powierzchni betonowej posadzki zachodzi intensywne kondensacja pary wodnej z powietrza, która zawilgaca ściółkę. Wymienione zjawiska powodują zmniejszenie wartości cieplnoizolacyjnej ściółki, a w konsekwencji niedostateczne warunki termiczne w strefie bytowej kurcząt [Bieda i Koźbiał 1999].

Celem pracy jest przedstawienie tematyki oraz wyników badań w zakresie możliwości zmniejszenia energochłonności brojlerni i doskonalenia w nich mikroklimatu, jakie w ostatnich latach prowadzono w Katedrze Budownictwa Wiejskiego AR w Krakowie i Dziale Technologii, Ekologii i Ekonomiki Produkcji Zwierzęcej IZ w Balicach.

MATERIAŁ I METODY

Obiektami badań poligonowych były wielkotowarowe brojlernie w Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Zootechniki w Rososze (dla 16 tys. kurcząt) oraz Fermie Drobni w miejscowości Ujazd (dla 20 tys. kurcząt). Wszystkie budynki miały wentylację

mechaniczną, poprzeczną oraz ogrzewanie powietrzne i posadzki betonowe niezolowane termicznie.

Do ciągłych pomiarów temperatury i wilgotności powietrza wykorzystywano czujniki elektroniczne PT 100 i PWW 100 podłączone do wielokanałowych rejestratorów Agilent 34970A. Poza tym podczas eksperymentów wykonywano pomiary chwilowe za pomocą przenośnych elektronicznych termohigrometrów, termooanemometrów oraz zastosowano metodę suszarkową i wagi elektroniczne do oznaczania wilgotności ściółki oraz masy osadu pyłu.

Do obliczeń teoretycznych wymiany ciepła między halą produkcyjną a gruntem zalegającym pod posadzką i w otoczeniu brojlerni wykorzystano technikę komputerową, przy założeniu niejednorodnej przestrzeni gruntowej, a do obliczeń symulacyjnych kształtowania się mikroklimatu brojlerni – dynamicznie zmieniający się klimat zewnętrzny oraz emisje od ptaków i parametry mikroklimatu wewnętrznego. Opracowany model obliczeniowy uwzględnia niestacjonarne przepływy ciepła we wszystkich przegrodach budynku [Radoń 2004]. Do walidacji modelu wykorzystano wyniki własnych badań eksperymentalnych.

WYNIKI

Tematykę badawczą w zakresie ograniczenia zużycia energii w systemach wentylacji wielkotowarowych brojlerni zapoczątkowano pracami koncepcyjnymi i projektowymi prototypu gruntowo-powietrznego rurowego wymiennika ciepła [Bieda i Herbut 1999]. W wymienniku do ogrzewania powietrza nawiewanego o objętości strumienia powietrza do $14\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, co pokrywało minimalne (zimowe) zapotrzebowanie na wentylację, wykorzystano ciepło odpadowe zawarte w powietrzu wywiewanym z kurnika oraz ciepło zakumulowane w gruncie. Wymiennik składał się z dwóch baterii, każda składająca się z 32 rur $\varnothing 0,2\text{ m}$, wykonanych z karbowanego PCW, z których co druga przeznaczona była do wywiewu, a pozostałe do nawiewu strumieni powietrza. Rury nawiewne i wywiewne umieszczone były na przemian w odstępach osiowych $0,3\text{ m}$, na średniej głębokości $1,25\text{ m}$ pod powierzchnią terenu. Podczas zimowego cyklu produkcyjnego, który trwał 49 dni, przy średniej temperaturze zewnętrznej wynoszącej $-0,8^\circ\text{C}$ i prędkości przepływu strumienia powietrza nawiewanego i wywiewanego $3,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ zysk ciepła w wymienniku wyniósł 229 GJ [Bieda i in. 2001a]. W okresie upałów wymiennik z powodzeniem wykorzystywano do schładzania strumienia powietrza nawiewanego nawet o 19 K [Bieda i in. 2001b, Herbut i in. 2003]. Badany wymiennik ciepła mógł działać ciągle, w odróżnieniu od klasycznych wymienników gruntowych, które potrzebują przerw na regenerację termiczną otoczenia rur. Charakterystyczną cechą wymiennika ciepła, przy prędkości przepływu strumienia powietrza do $3,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, była mała amplituda temperatury powietrza nawiewanego, co wpływało korzystnie na stateczność warunków termicznych w brojlerni [Herbut i in. 2002].

Kolejnym badanym urządzeniem do ogrzewania powietrza nawiewanego (latem również do schładzania powietrza) był gruntowy, rurowy wymiennik ciepła umieszczony pod posadzką brojlerni [Bieda i Koźbiał 2000]. Wymiennik składał się z 3 rur $\varnothing 0,2\text{ m}$ wykonanych z karbowanego PCW, każda umieszczona na innej głębokości (0,5; 1,0

i 1,5 m pod posadzką). Celem badań było ustalenie poziomu gruntu, na którym jest najwięcej zakumulowanego ciepła, które można pozyskać do ogrzewania strumienia powietrza nawiewanego, bez niekorzystnego wpływu na warunki termiczne w strefie bytowej kurcząt brojlerów. Wyniki badań wykazały, że najefektywniejsze dla ogrzewania strumienia powietrza nawiewanego będzie umieszczenie rur na głębokości 0,5 m pod posadzką, gdzie mimo ciągłego działania wymiennika temperatura gruntu w jego otoczeniu do końca cyklu stale rosła.

Zimą, przy przepływie strumienia powietrza nawiewanego $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, w ciągu 6-tygodniowego cyklu produkcyjnego z jednej rury uzyskano 1,9 GJ ciepła. Zwiększenie prędkości strumienia powietrza w rurach wymiennika zwiększało jego efektywność energetyczną, jednak towarzyszyło temu niekorzystne dla mikroklimatu zwiększenie dobowej amplitudy wahań temperatury powietrza nawiewanego.

Latem największe schłodzenie uzyskano w rurze na głębokości 1,5 m, przy $1,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [Bieda i Koźbiał 2001]. Wymiennik ciepła pod posadzką brojlerni mógł działać ciągle i z rosnącą wydajnością energetyczną ze względu na stały wzrost temperatury gruntu w otoczeniu rur. Bardzo korzystną cechą badanego wymiennika ciepła, przy prędkościach przepływu strumienia powietrza do $3,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, okazało się zmniejszenie dobowej amplitudy wahań temperatury powietrza nawiewanego do około 2 K.

Przeprowadzona analiza obliczeniowa optymalizacji rozmieszczenia rur gruntowego wymiennika ciepła pod posadzką brojlerni wykazała, że najkorzystniejszy jest rozstaw wynoszący 1,0 m, a głębokość 0,1 m pod posadzką [Bieda i in. 2001]. W świetle analiz późniejszych wyników badań wymiany ciepła między brojlernią a posadzką i zalegającym pod nią gruntem [Nawalany i in. 2005] oraz warunków termicznych w strefie bytowej kurcząt broilerów [Nawalany i in. 2004] wymienniki gruntowe z rurami umieszczonymi pod brojlerniami, będące uzupełnieniem systemu grzewczo-wentylacyjnego, wydają się być rozwiązaniem uzasadnionym, zwłaszcza dla nowo budowanych obiektów. Cechują się bowiem nie tylko stosunkowo dużą wydajnością energetyczną, ale również mogą kształtować właściwe i stabilne warunki termiczne w strefie bytowej kurcząt, poprzez schładzanie posadzki i ściółki, której temperatura w 2–3 ostatnich tygodniach cyklu produkcyjnego bywa znacznie wyższa od temperatury wymaganej dla tej fazy odchovu.

Dalsze poszukiwania energooszczędnych rozwiązań w systemach wentylacyjnych ukierunkowane zostały na odzysk ciepła ze strumienia powietrza wywiewanego z kurników. Ponowne wykorzystanie ciepła z powietrza wywiewanego z ogrzewanych, wielkogabarytowych obiektów, jak np. biurowce, supermarkety, jest stosowane od wielu lat za pomocą rekuperacyjnych wymienników ciepła. Do tej pory zastosowanie typowych rekuperatorów w obiektach inwentarskich nie powiodło się, ponieważ warunki panujące w pomieszczeniach dla zwierząt, przede wszystkim duże zapylenie i zawilgocenie powietrza oraz zawarty w nim amoniak, szybko doprowadzały do obniżenia sprawności energetycznej, częstych awarii oraz przyspieszonego zużycia technicznego [Kuczyński 1988, Herbut i in. 1998].

Opracowano koncepcję, zaprojektowano i zbudowano rekuperacyjny wymiennik ciepła o wydajności do $4500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, który pokrywał 25% minimalnego zapotrzebowania na wentylację brojlerni dla 18 tys. kurcząt. Rekuperator składał się z dwóch zasad-

nicznych części – kanału wywiewnego i umieszczonego pośrodku niego kanału nawiewnego, w którym zamontowano zaburzacze przepływu strumienia powietrza. Budowa i działanie wymiennika zostały podporządkowane wymogom prostoty budowy i obsługi oraz uwzględnieniu charakterystycznego dla kurników dużego zapylenia i zawilgocenia powietrza wywiewanego [Bieda i in. 2002]. W budowie rekuperatora uwzględniono możliwość pozyskania promieniowania słonecznego do wspomagania ogrzewania strumienia powietrza nawiewanego [Bieda i in. 2004]. Wyniki 2-letnich badań działania rekuperatora w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych brojlerni wykazały, że w okresie od jesieni do wiosny średnia dla całego cyklu produkcyjnego sprawność energetyczna rekuperatora wynosiła około 30%, a z uwzględnieniem promieniowania słonecznego około 37%. Rekuperator był wykorzystywany zwykle od drugiego tygodnia odchowu, ale praktycznie mógł działać przez cały cykl produkcyjny, bez potrzeby usuwania osadu pyłu ze ścianek kanału wywiewnego. Próba zwiększenia sprawności energetycznej rekuperatora poprzez zaburzenie przepływu strumienia powietrza w kanale wywiewnym wykazała około 8% przyrost sprawności, ale pod warunkiem, że pod koniec czwartego tygodnia odchowu ścianki kanału wywiewnego zostaną oczyszczone z osadu pyłu.

W badaniach nad możliwością wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii do ogrzewania kurników przeprowadzono analizę teoretyczną pozyskiwania promieniowania słonecznego za pomocą przezroczystej izolacji termicznej o powierzchni 209,0 m², umieszczonej na południowej ścianie budynku [Bieda i Radoń 1998]. Wyniki obliczeń wykazały, że zastosowanie takiej izolacji termicznej w najzimniejszym okresie statystycznej zimy i przeciętnej pod względem ciepłochronności i obsady brojlerni przyniesie około 34-procentową redukcję zapotrzebowania na energię. Udział energii promieniowania słonecznego w ogrzewaniu brojlerni będzie wzrastał w miarę zwiększania się wartości cieplno-izolacyjnej obudowy.

Badania nad optymalizacją ciepłochronności brojlerni skoncentrowano na najmniej do tej pory rozeznany zagadnieniu wymiany ciepła i kształtowania się warunków termicznych w strefie przyposadzkowej. Kilkuletnie pomiary rozkładu temperatury w ściółce w dwóch różnych wielkotowarowych brojlerniach, prowadzone chwilowo i w sposób ciągły w różnych fazach odchowu kurcząt brojlerów i porach roku, zwróciły uwagę na fakt występowania dużego zróżnicowania temperatury ściółki nie tylko pod względem wymaganej temperatury powietrza, ale również miejsca w hali produkcyjnej [Bieda i Koźbiał 1999, Bieda i in. 2003]. Temperatura ściółki jest jednym z parametrów mikroklimatu brojlerni, mającym bezpośredni wpływ na dobrostan i wyniki produkcyjne. Na odczucie ciepła przez kurczęta wpływ ma nie tylko temperatura otaczającego je powietrza, ale także temperatura powierzchni przegrody, w tym przypadku ściółki, z którą ptaki mają bezpośredni kontakt. Wyniki pomiarów wykazały przede wszystkim, że na początku odchowu temperatura ściółki jest znacznie niższa od wymaganej temperatury powietrza, nawet o kilkanaście stopni, natomiast w drugiej części odchowu ściółka jest znacznie cieplejsza od wymaganej temperatury powietrza, nawet o 20 K. Ponadto wykazano, że występuje wyraźne zróżnicowanie temperatury ściółki między strefami przyściennymi a środkową brojlerni. Temperatura ściółki w strefach przyściennych jest

na początku odchowu znacznie niższa niż w strefie środkowej. Opisany wyżej stan jest przyczyną niskich przyrostów wagowych oraz pogorszenia dobrostanu kurcząt.

Brojlernie, z racji 6-tygodniowych cykli produkcyjnych, przedzielonych co najmniej kilkunastodniowymi przerwami technologicznymi, zaliczają się do budynków okresowo ogrzewanych. Podczas przerw technologicznych, a także w przypadku rozpoczęcia eksploatacji w zimnej porze roku dochodzi do znacznego wyziębienia posadzek i zalegającego pod nimi gruntu [Bieda i in. 1999]. Dla przykładu można podać, że w okresie zimowym, przy średniej temperaturze zewnętrznej wynoszącej około 0°C, po 21 dniach od wyłączenia ogrzewania posadzka brojlerni oziębła się o około 18 K, grunt bezpośrednio pod posadzką o około 16 K, a grunt na głębokości 1,5 m pod posadzką o około 9 K. Racjonalna gospodarka energetyczna w brojlerniach powinna uwzględniać działania mające na celu zatrzymanie do następnego cyklu produkcyjnego jak największej ilości ciepła zakumulowanego w gruncie pod budynkiem.

Kolejne badania, których celem było określenie przyczyn niekorzystnego przebiegu temperatury ściółki, obejmowały kilkuletnie pomiary rozkładu temperatury w gruncie pod posadzką brojlerni [Nawalany i in. 2005] oraz teoretyczne obliczenia wpływu ocieplenia fundamentów i posadзки brojlerni na kształtowanie się warunków termicznych w ściółce [Radoń i in. 2005]. Wyniki pomiarów wykonanych w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych wielkotowarowych brojlerni zostały wykorzystane do walidacji modelu i analizy obliczeniowej dynamicznego kształtowania się mikroklimatu w brojlerniach [Radoń 2004]. Metoda może być wykorzystana m.in. do prognozowania mikroklimatu i zużycia energii na ogrzewanie, a tym samym pomocna dla producentów przy podejmowaniu decyzji o rozwiązaniach materiałowo-konstrukcyjnych budynku, systemie wentylacji i ogrzewania oraz zakresie zabiegów termomodernizacyjnych.

Końcowym etapem badań w tym zakresie było przeprowadzenie eksperymentu w typowej, wielkotowarowej brojlerni, w której część posadзки zaizolowano termicznie, zwiększając jej opór przenikania ciepła z 0,46 m²·W⁻¹·K⁻¹ do 1,31 m²·W⁻¹·K⁻¹, a wyniki pomiarów temperatury ściółki odniesiono do części kontrolnej hali produkcyjnej, której posadzka nie była izolowana termicznie. Analiza porównawcza wyników pomiarów wykazała, że izolacja termiczna posadзки nie zmniejszyła zróżnicowania temperatury ściółki między strefami przyściennymi a strefą środkową, ani też nie wpłynęła korzystnie na przebieg temperatury ściółki, zwłaszcza w strefach przyściennych. Korzystny wpływ izolacji termicznej posadзки ujawnił się tylko w strefie środkowej i tylko w początkowej fazie odchowu, gdzie temperatura ściółki była mniej więcej o 2 K wyższa niż w strefach przyściennych. Zatem możliwości kształtowania właściwych warunków termicznych w strefie bytowej kurcząt brojlerów należy upatrywać w bieżącej kontroli temperatury i przystosowania jej do aktualnych wymagań poprzez regulację wartości cieplno-izolacyjnej ściółki.

Na podstawie analizy wielu wyników badań można przypuszczać, że w budynkach inwentarskich zbyt małe znaczenie przypisuje się izolacji termicznej w strefie fundamentu [Bieda 1978], a posadzka i zalegający pod nią grunt, biorące udział w wymianie ciepła, mają istotny wpływ na kształtowanie się warunków termicznych w strefie bytowej zwierząt [Radoń 2004, Radoń i in. 2004]. Za zdecydowanie bardziej korzystną uznać należy izolację termiczną stanu zerowego budynków inwentarskich w postaci

pionowej izolacji termicznej sięgającej do poziomu posadowienia. W przypadku brojlerni rozwiązanie takie skutecznie ogranicza wpływ otoczenia na warunki termiczne w przyściennych strefach hali produkcyjnej, nie pozbawiając gruntu funkcji odbiornika nadmiaru ciepła.

PODSUMOWANIE

Ograniczenie zapotrzebowania na energię w brojlerniach jest celowe ze względu na ekonomikę produkcji i ochronę środowiska naturalnego. Zmniejszenie zużycia energii cieplnej do ogrzewania brojlerni jest możliwe poprzez:

- stosowanie rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych przegród cechujących się wysoką izolacyjnością cieplną oraz pionowej izolacji termicznej fundamentów,
- uzupełnienie systemu grzewczo-wentylacyjnego o wymienniki rekuperacyjne do odzysku ciepła odpadowego z powietrza wywiewanego z brojlerni,
- wykorzystanie ciepła zakumulowanego w gruncie pod halą produkcyjną brojlerni lub poza budynkiem do ogrzewania powietrza nawiewanego za pomocą gruntowych wymienników ciepła,
- wykorzystanie promieniowania słonecznego.

Ze względów na wysoką wydajność energetyczną oraz doskonalenie mikroklimatu w strefie bytowej ptaków, dzięki małej amplitudzie dobowych wahań powietrza nawiewanego, jak również możliwości schładzania ściółki w drugiej połowie cyklu produkcyjnego za najlepsze rozwiązanie należy uznać gruntowy wymiennik ciepła umieszczony pod posadzką hali produkcyjnej.

Potrzeba poprawy warunków termicznych w strefie bytowej kurcząt występuje w większości krajowych brojlerni. Na pierwszy plan wysuwa się zagadnienie kształtowania optymalnej temperatury ściółki – przegrody, z którą ptaki mają bezpośredni kontakt. Dotychczas rozpoznane w trakcie badań eksperymentalnych zjawiska wpływające na proces wymiany ciepła pomiędzy ptakami, powietrzem, ściółką i posadzką wraz z zalegającym pod nią gruntem świadczą o dużej złożoności tego procesu. Jako najważniejsze dla optymalizacji warunków termicznych w strefie bytowej ptaków uważa się:

- zastosowanie pionowej izolacji termicznej w strefie fundamentu, która ograniczy negatywne oddziaływanie klimatu zewnętrznego na strefę przyścienną,
- ograniczanie wychłodzenia posadzki i zalegającego pod nią gruntu podczas przerw technologicznych w zimnych porach roku,
- zwiększenie wychłodzenia posadzki i zalegającego pod nią gruntu w okresach letnich,
- kontrola izolacyjności cieplnej ściółki,
- wykorzystanie metody obliczeniowej do prognozowania mikroklimatu i zużycia energii na ogrzewania [Radoń 2004], która może być pomocna przy podejmowaniu decyzji o doborze rozwiązania materiałowo-konstrukcyjnego budynku i systemu grzewczo-wentylacyjnego.

PIŚMIENNICTWO

- Bieda W., 1978. Miejsce izolacji termicznej w stanach zerowych budynków dla bydła. *Bud. Rol.*, 10, 24–25.
- Bieda W., Herbut E., 1999. Koncepcja rurowego, gruntowo-powietrznego wymiennika ciepła do wentylacji brojlerni. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 355, 19, 191–199.
- Bieda W., Koźbiał M., 1999. Wpływ ściółki, posadzki i gruntu na kształtowanie warunków cieplnych w brojlerni, w okresie zimowym. *Rocz. Nauk Zootech.* 26, 3, 265–274.
- Bieda W., Koźbiał, 2001. Results of studies on earth heat exchanger under broiler house floor. *Proceedings of the International Symposium "Animal welfare considerations in livestock housing systems"*, Szklarska Poręba, 23–25.10.2002, 409–414.
- Bieda W., Radoń J., 1998a. Non-conventional energy sources for heating hen houses. *Proceedings "Rational tendencies within the building up of agricultural objects"*. SPU Nitra, 13.08.1998, 23–27.
- Bieda W., Radoń J., 1998b. Koncepcja kurnika-brojlerni ogrzewanego energią słoneczną. *Mag. Drob.*, 2, 14–16.
- Bieda W., Koźbiał M., Salih A., 1999. Wychłodzenie gruntu w brojlerni podczas zimowej przerwy technologicznej. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 355, 19, 191–199.
- Bieda W., Herbut E., Koźbiał M., 2001a. Heat recovery in an earth/air tube heat exchange operating in the ventilation system of a broiler house. *Proceedings of the International Symposium "Animal welfare considerations in livestock housing systems"*, Szklarska Poręba, 23–25.10.2002, 415–420.
- Bieda W., Herbut E., Koźbiał M., 2001b. Cooling of broiler house inlet air in an earth/air tube heat exchanger. *Proceedings of the International Symposium "Animal welfare considerations in livestock housing systems"*, Szklarska Poręba, 23–25.10.2002, 421–426.
- Bieda W., Radoń J., Koźbiał M., 2001c. Effect of arrangement of heat Exchange tubes dunder broiler Mouse on its thermal conditions. *Ann. of Anim. Sci.* 1 (2001), 203–211.
- Bieda W., Radoń J., Koźbiał M., 2002. Koncepcja rekuperacyjnego wymiennika ciepła dla kurników. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, 390, ser. Inż. Środ. 22, 137–145.
- Bieda W., Nawalany G., Radoń J., 2003. Temperature of beeding during floor keemping of broilers. *Rozdz. 1.2. "Elimination of agricultural risks to health and environment"*. Scientific Network "Agro risks". IBMER, Warszawa, 35–42.
- Bieda W., Radoń J., Herbut E., 2004. Tabular rekuperator with a solar collector for recovery of heat from poultry house exhaust air. *EJPAU*, 7, 2, ser. Agri. Engineering.
- Herbut E., Bieda W., Sosnowka E., Herbut P., Rychlik I., 2002. Effect of microclimatic stabilization of broiler Mouse on chicken welfare. *Ann. of Anim. Sci.*, Suppl., 1, Cracow, 43–46.
- Herbut E., Bieda W., Herbut P., Koźbiał M., 1998. Gruntowe wymienniki ciepła do wentylacji budynków inwentarskich. *Biul. Inf. IZ*, 1(216), 43–60.
- Herbut E., Bieda W., Sosnowka-Czajka E., Herbut P., 2003. Studies on broilerhouse heating using an aerial earth tube heat Exchange. *Proceedings XI International Congress in Animal Hygiene*, February 23–27.2003, Mexico City 2, 659–661.
- Kuczyński T., 1988. Niekonwencjonalne metody ograniczenia strat ciepła w systemach wentylacji budynków inwentarskich. *Bud. Rol.* 3, 18–20.
- Kuczyński T., 1990. Rurowy wymiennik rekuperacyjny w systemie wentylacji warchlakarni. *Bud. Rol.* 10, 5–6.
- Nawalany G., Bieda W., Radoń J., 2004. Thermal and moisture parameters of broiler house litter in light research. *Ann. of Anim. Sci.*, Suppl., 1, 193–196.
- Nawalany G., Bieda W., Radoń J., 2005a. Rozkład temperatury w gruncie w otoczeniu budynku okresowo ogrzewanego na przykładzie brojlerni. *Zesz. Nauk. AR Kraków*, ser. Inż. Środ. 26, 475–482.

- Nawalany G., Bieda W., Radoń J., 2005b. Rozkład temperatury w gruncie w otoczeniu budynku ogrzewanego okresowo na przykładzie brojlerni. *Zesz. Nauk. AR Kraków, ser. Inż. Środ.* 26, 475–482.
- Nawalany G., Bieda W., Radoń J. 2006. Efekt izolowania termicznego posadzki w brojlerni. *Acta Sci. Pol. Architektura* 5 (1),
- Radoń J., 2004. Model obliczeniowy i analiza dynamicznego kształtowania się mikroklimatu budynków rolniczych na przykładzie brojlerni. *Zesz. Nauk. AR Kraków* 410, *Rozprawy*, 299.
- Radoń J., Bieda W., Nawalany G., 2004. Broiler house microclimate in light of experimental studies. *EJPAU* 7, 2, ser. *Agri. Engineering*.
- Radoń J., Bieda W., Nawalany G., 2005. Wpływ ocieplenia fundamentów i posadzki brojlerni na kształtowanie się warunków termicznych w ściółce. *Zesz. Nauk. AR Kraków, ser. Inż. Środ.* 26, 465–474.

ISSUES OF OPTIMIZATION OF THERMAL CONDITIONS AND ENERGY EFFICIENCY IN BROILER HOUSES

Abstract: Results of research, performed at the Agricultural University in Kraków and the National Research Institute of Animal Production in Balice, on energy-efficient solutions for large commercial broiler houses and optimization of indoor climate in the living area of birds, are discussed in brief. The most significant research achievement was recognition of the process of heat exchange with the ground and shaping of the thermal conditions, including temperature of bedding in different parts of production hall. The achievements in studies on energy consumption reduction thanks to the use of earth and recuperative heat exchangers adopted for operating at high air and dust humidity levels and possibilities of using solar radiation for heating broiler houses are also presented.

Key words: heat exchange with the ground, energy-efficient broiler houses, heat exchangers, bedding, computational model

Accepted for print – Zaakceptowano do druku: 30.05.2006