

SKUTECZNOŚĆ DZIAŁANIA WENTYLACJI KALENICOWEJ OBORY WOLNOSTANOWISKOWEJ TYPU „FERMBET” W OKRESIE LETNIM*

Piotr Herbut, Sabina Angrecka

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Katedra Budownictwa Wiejskiego,
al. Mickiewicza 24-28, 30-059 Kraków

Celem pracy było określenie wpływu konstrukcji budynku obory wolnostanowiskowej typu „Fermbet” na działanie wywiewnej wentylacji kalenicowej w miesiącach letnich. Oceniono skuteczność przepływu powietrza wentylacyjnego w różnych miejscach obory ze szczególnym uwzględnieniem poddasza i świetlika kalenicowego budynku. Stwierdzono różnicowanie ruchu powietrza w strefie kalenicowej, na który wpływały elementy konstrukcyjne budynku, otwory nawiewne w ściankach kolankowych poddasza oraz usytuowanie w terenie i względem stron świata. Na sprawność działania wywiewu znaczący wpływ miały również temperatura powietrza oraz niska prędkość wiatru przyczyniająca się do zaburzeń przepływu powietrza wentylacyjnego. W oparciu o uzyskane wyniki badań określono czynniki wpływające na skuteczną wymianę powietrza wentylacyjnego w oborze oraz wyznaczono strefy jej zróżnicowanego działania. Przedstawiono zalecenia i rozwiązania umożliwiających poprawę działania systemu, pozwalającego na optymalne dobieganie stref bytowania bydła w poszczególnych grupach technologicznych pod względem mikroklimatu, zwłaszcza w wyjątkowo trudnym okresie upałów.

Celem chowu krów mlecznych jest osiągnięcie jak największej wydajności mlecznej, przy zachowaniu zarazem właściwego dobrostanu zwierząt, m.in. poprzez odpowiedni mikroklimat budynku (Albright i Timmons, 1984; Cook i in., 2005, Herbut i Walczak, 2008). Poprzez mikroklimat obory należy rozumieć przede wszystkim zapewnienie odpowiednich parametrów powietrza w strefie przebywania zwierząt. Geometria i kubatura budynku, system utrzymania zwierząt i rodzaj wentylacji w zasadniczy sposób wpływają na mikroklimat obory. Sprawny system wentylacyjny jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na rozwój i produktyjność bydła mlecznego, ponieważ usuwa szkodliwe gazy i nadmiar pary wodnej (Herbut i in., 1997; Teye i in., 2008). Doprowadza on także świeże powietrze o odpowiedniej objętości i krotności, w okresie letnim przykładowo 40 do 60 razy na godzinę (Brom, 2000).

*Źródło finansowania: grant Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego N311 401639.

Wentylacja naturalna opiera się częściowo na wyporności termicznej i ciśnieniu dynamicznym wiatru. Wyporność termiczna jest ściśle określona i zależy od różnic temperatury powietrza w pomieszczeniu i na zewnątrz, jak również od różnicy pomiędzy wysokością otworów wlotowych i wylotowych. Wpływ wiatru jest natomiast nieprzewidywalny i może wykazywać znaczną zmienność (Romaniuk i in., 2005). W wielu oborach częstym problemem jest dostarczanie świeżego powietrza i stała jego wymiana, niezbędna do prawidłowego funkcjonowania organizmu krowy (Zähler i in., 2004; Cook i in., 2005). Problem ten występuje zwłaszcza podczas lata, gdy równocześnie występują wysokie temperatury powietrza oraz brak wiatrów o wyższych prędkościach. Występowanie tych czynników w trakcie upałów przyczynia się niejednokrotnie do braku sprawności wentylacyjnej obór. Tym samym, wraz ze wzrostem temperatury powietrza w oborze, może wystąpić u krów stres cieplny wpływający bezpośrednio na ich dobrostan i produktywność (Armstrong, 1994; Lautner i Miller, 2003).

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu konstrukcji budynku obory na działanie wywiewnej wentylacji kalenicowej w najcieplejszym okresie lata.

Material i metody

Prace badawcze wykonano w oborze typu „Fermbet”, która została rozbudowana i adaptowana do wolnostanowiskowego utrzymania 176 krów mlecznych rasy holendersko-fryzyjskiej odmiany czarno-białej. Obora o powierzchni użytkowej 1580 m² zlokalizowana jest w miejscowości Kobylany, województwo małopolskie. Usytuowana jest osią podłużną w kierunku zbliżonym do wschód-zachód (fot. 1).



Fot. 1. Widok satelitarny obory w Kobylanach (www.google.pl)
Photo 1. Satellite view of the barn in Kobylany (www.google.pl)

Od strony południowej znajdowały się przybudówki z pomieszczeniami socjalnymi dla pracowników oraz halą udojową wraz z poczekalnią. Budynek typowy o konstrukcji żelbetowej prefabrykowanej z dachem dwuspadowym o spadku połaci 45%.

Obserwacjom i pomiarom cyrkulacji powietrza podczas 3 miesięcy letnich (lipiec-wrzesień 2011) poddano system wentylacji naturalnej składający się z otworów nawiewnych w ścianach podłużnych obory oraz świetlika kalenicowego na poddaszu budynku jako wywiewu (fot. 2, 3, 4).



Fot. 2. Widok obory od strony północno-wschodniej z zaznaczonymi elementami systemu wentylacyjnego (źródło własne)

Photo 2. View of the barn from the north-east with marked elements of the ventilation system (own source)



Fot. 3. Ściana północna obory z opuszczonymi kurtynami (źródło własne)

Photo 3. Northern wall of the barn with lowered curtains (own source).



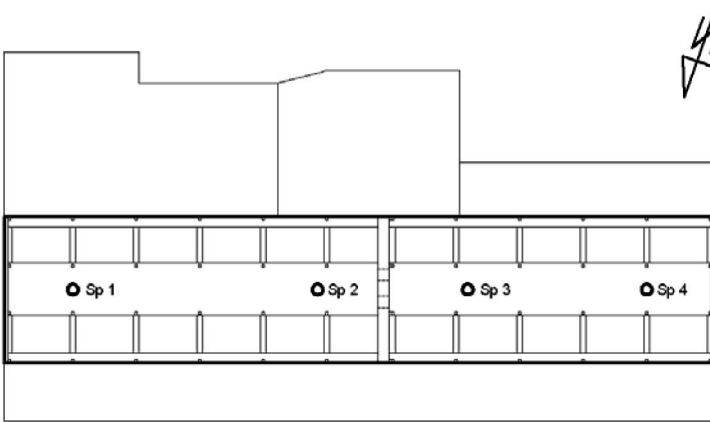
Fot. 4. Kalenica dachu obory ze świetlikiem wentylacyjnym wywiewnym (źródło własne)

Photo 4. Roof ridge of the barn with exhaust air ventilation skylight (own source)

Za pomocą eksperymentów ze świecami dymnymi w wyznaczonych punktach poddasza obory (rys. 1) rejestrowanych zdjęciami i filmami zbadano kształtowanie się ruchu powietrza wentylacyjnego wywiewanego. Poddasze znajdowało się bezpośrednio nad boksami legowiskowymi, korytarzem gnojowo-karmowym i stołem paszowym. Środkową część poddasza stanowił strop, natomiast dwie części boczne były ażurowe (rys. 2). Eksperymenty przeprowadzono pomiędzy godziną 11:00 a 15:00 przy wiatrach wiejących z kierunku południowo-zachodniego, wschodniego

oraz północno-zachodnich czyli dominujących podczas okresu badawczego. Prędkość ruchu powietrza wentylacyjnego na poddaszu mierzono w sposób ciągły za pomocą czujnika HD 103T, firmy Delta Ohm o zakresie pomiarowym $0-5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ i dokładności pomiaru $0,04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, a temperaturę powietrza czujnikiem LB-710 firmy Label. Dodatkowe chwilowe pomiary wykonywano za pomocą ręcznych anemometrów czasowych typu Windmaster2. Siłę i kierunek wiatru oraz temperaturę powietrza na zewnątrz budynku rejestrowano czujnikami zainstalowanymi na maszcie meteorologicznym.

Podczas obserwacji i pomiarów wszystkie kurtyny w ścianach podłużnych obory były opuszczone, a wrota korytarzy gnojowo-karmowych i paszowego pozostawały otwarte.



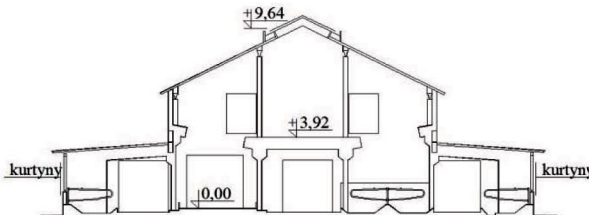
Rys. 1. Rzut poddasza obory z zaznaczonymi punktami pomiarowo-obszaryjnymi (źródło własne)

Fig. 1. Projection of the barn attic with marked measurement and observation points (own source)

a)



b)

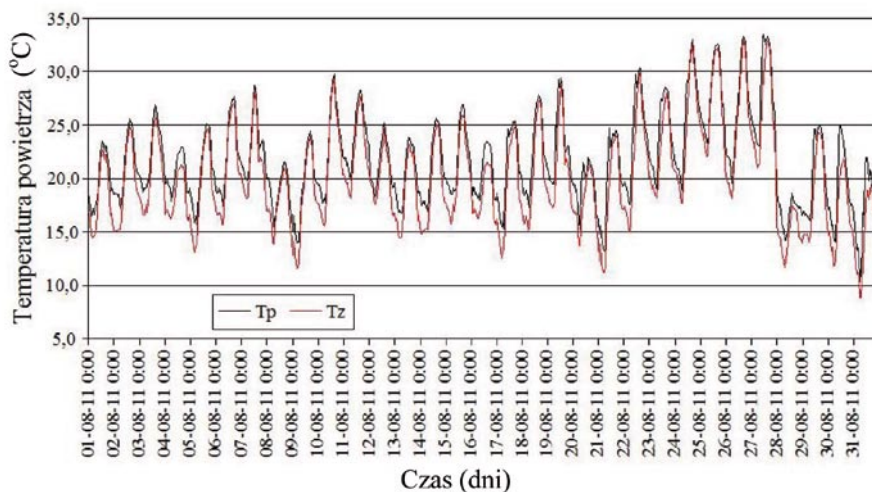


Rys. 2. Charakterystyczne przekroje poprzeczne z elementami systemu wentylacyjnego, a – przez oborę i pomieszczenia socjalne, b – przez oborę (źródło własne)

Fig. 2. Characteristic cross-sections with elements of the ventilation system, a – the barn and social rooms, b – the barn (own source)

Wyniki

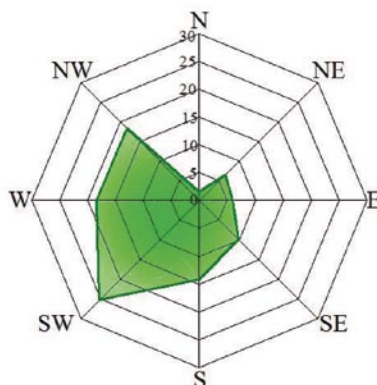
Z całego okresu badawczego sierpień wybrano jako najbardziej miarodajny, charakteryzujący się najwyższymi temperaturami powietrza i stosunkowo niskimi prędkościami wiatru. Wyniki pomiarów temperatury powietrza przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wykres temperatury powietrza na poddaszu (Tp) oraz na zewnątrz obory (Tz) w sierpniu 2011 roku

Fig. 3. Diagram of air temperature in the attic (Tp) and outside the barn (Tz) in August 2011

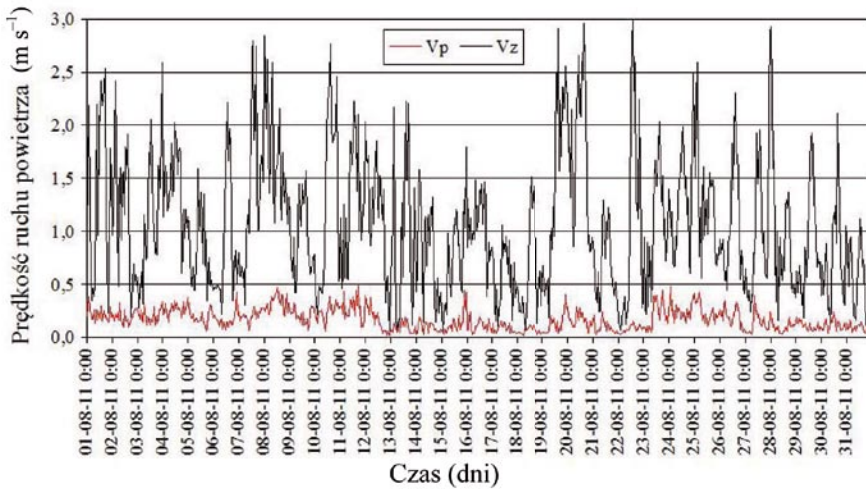
W sierpniu dominował wiatr z kierunku SW – południowo-zachodniego. Duży udział miały również wiatry z kierunków W – zachodniego oraz NW – północno-zachodniego (rys. 4).



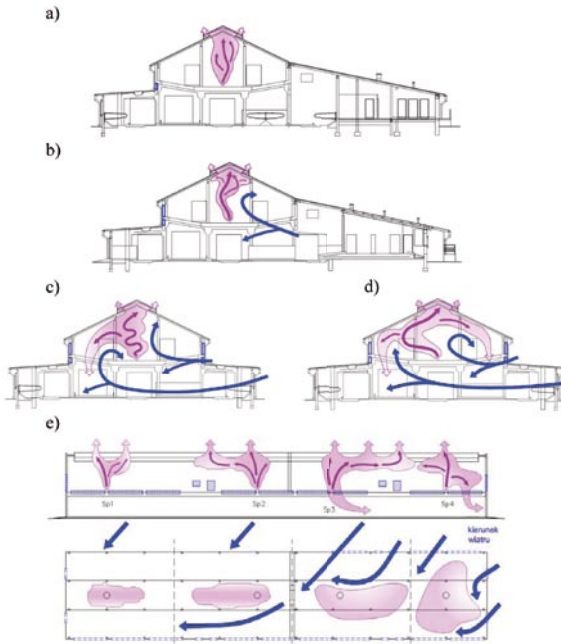
Rys. 4. Procentowy rozkład kierunków wiatrów w okresie od 1 do 31 sierpnia 2011 na terenie fermy bydła w Kobylanach

Fig. 4. Percentage distribution of wind directions during the period from 1 to 31 August 2011 on the cattle farm in Kobylany

Prędkość wiatru mieściła się w przedziale od $0,2$ do $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, przy czym na poddaszu prędkości te były zdecydowanie niższe i zawierały się w przedziale $0,0$ do $0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (rys. 5).



Rys. 5. Wykres prędkość wiatru (V_z) i ruchu powietrza na poddaszu (V_p) w sierpniu 2011 roku
Fig. 5. Diagram of wind speed (V_z) and air movement in the attic (V_p) in August 2011



Rys. 6. Wyniki obserwacji dymu ze świec dymnych w przekrojach obory na stanowisku pomiarowym:
a – Sp1, b – Sp2, c – Sp3, d – Sp4, e – przekrój podłużny i rzut z góry 02.08.2011
o godz. 11:15 przy wietrze z kierunków S i SW

Fig. 6. The results of observations of smoke from smoke candles in cross-sections of the barn on the test bench: a – Sp1, b – Sp2, c – Sp3, d – Sp4, e – longitudinal section and top view on 2 August 2011 at 11:15 am with the wind from S and SW directions

Uzyskane wyniki podczas wielokrotnie przeprowadzonych pomiarów w różnych warunkach atmosferycznych przy użyciu świec dymnych, rozmieszczonych w charakterystycznych punktach i przekrojach obserwacyjnych poddasza przedstawiono w postaci graficznej. Przykładowe wyniki rozkładu dymu na poddaszu podczas wiatru wiejącego z kierunku SW zaprezentowano na rysunku 6. Strzałki niebieskie przedstawiają kierunki ruchu powietrza nawiewanego do obory, strzałki fioletowe rozprzestrzenianie się smug dymu ze świec dymnych. Kolorem niebieskim zaznaczono otwory nawiewne w ścianach szczytowych i kolankowych poddasza (zabezpieczone siatką).

Omówienie wyników

Pomiary przeprowadzone w obrębie podjętych badań wykazały, że na poddaszu obory temperatura powietrza w godzinach południowych była wyższa niż temperatura powietrza zmierzona na zewnątrz budynku (rys. 3). Różnica ta mieściła się w granicy 0,4–2,5°C, jej największe wartości występowały w nocy i nad ranem. Duże różnice w nocy, sięgające nawet 5°C, spowodowane były zdolnością akumulacyjną budynku, który wolniej oddawał zgromadzone w ciągu dnia ciepło, niż otoczenie obory. Zróżnicowanie temperatur powietrza w godzinach porannych i południowych było wynikiem usytuowania obory względem stron świata. Powodowało to, że od godzin porannych do południowych poddasze budynku nagrzewało się powyżej temperatury powietrza zewnętrznego, zmniejszając tym samym niezbędną dla skutecznego działania wentylacji wyporność termiczną (Andersen, 2003).

Na podstawie wielokrotnie przeprowadzanych eksperymentów z zadymianiem poddasza wyniki obserwacji skuteczności wentylacji kalenicowej podzielono w zależności od kierunku najczęściej wiejącego w tym okresie wiatru – południowego (SE, S i SW), zachodniego (W) oraz północnego (NW i NE). Pozostałe kierunki występowały bardzo rzadko.

Przy wietrze południowym o prędkości od 1–2 m · s⁻¹ działanie wentylacji kalenicowej w części wschodniej (Sp1) poddasza było prawidłowe. Wpływ na to miał z pewnością brak otworów nawiewnych w ścianie kolankowej poddasza od strony nawietrznej. Na stanowisku pomiarowym Sp2 dało się zauważyć wygięcie smugi w kierunku północnym, co było spowodowane napływem świeżego powietrza z poczekalni hali udojowej od strony południowej.

W części zachodniej poddasza stanowiska Sp3 i Sp4 odznaczały się znacznymi zaburzeniami smugi dymu. Za taką sytuację odpowiedzialne były podmuchy świeżego powietrza, dostającego się do budynku otworami nawiewnymi poddasza w ścianie kolankowej oraz otwartymi kurtynami bocznymi ściany podłużnej od strony nawietrznej. Dym ze świecy dymnej odprowadzany był poprzez kalenicę oraz w wyniku wtórnych turbulencji przez zachodnie wrota korytarza paszowego i korytarza gnojowego.

Wiatr z kierunku północnego (NW i NE) powodował, że wschodnia część poddasza (Sp1 i Sp2) była poddana bezpośredniemu wpływowi wiatru, poprzez otwory nawiewne w północnej ścianie kolankowej poddasza oraz kurtyny boczne ściany po-

dłuższej. Napływ powietrza powodował we wschodniej części poddasza dodatkowe turbulencje, które wpływały na sprawność działania wentylacji kalenicowej. Dym wydostawał się z poddasza szczeliną kalenicową oraz wschodnimi wrotami korytarza paszowego i południowego korytarza gnojowego. Przepływ powietrza był zdecydowanie wolniejszy, lecz pomimo tego wydaje się, że wentylacja w tym przekroju prawidłowo spełniała swoją funkcję. W drugiej zachodniej części poddasza przemieszczanie się dymu odbywało się w kierunku wywiewu kalenicowego z niewielkimi zaburzeniami przepływu powietrza. Oddziaływanie wiatru w tej części poddasza zostało w pewnym stopniu ograniczone ścianą przeciwpożarową, która redukowa-ła niekorzystne dla sprawności wentylacji podmuchy. Podobne działanie wentylacji kalenicowej i ruchu powietrza na poddaszu zaobserwowano również przy kierunku zachodnim (W), lecz przemieszczanie się dymu odbywało się w kierunku wschodnim na punktach pomiarowych Sp3 i Sp4. Z kolei za ścianą odgradzenia przeciwpożarowego wpływu wiatru nie zaobserwowano i dym ze świec unosił się bezpośrednio w stronę wywiewu kalenicowego.

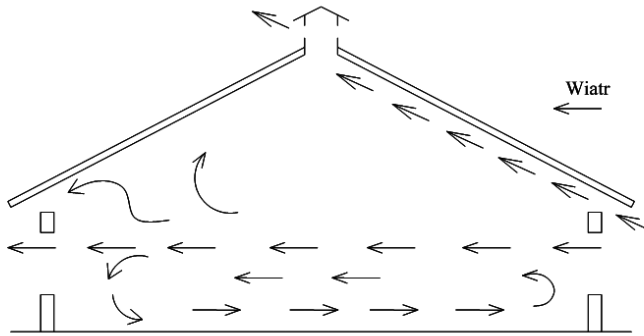
Na podstawie analizy uzyskanych wyników przestrzeni poddasza pod względem skuteczności działania wentylacji kalenicowej podzielono na 2 strefy. W punktach obserwacyjnych Sp1 i Sp2 wentylacja odbywała się prawidłowo – dym w całości był odprowadzony szczeliną kalenicową. Druga część poddasza (Sp3 i Sp4) oddzielona od części wschodniej ścianą przeciwpożarową, niezależnie od kierunku wiejącego wiatru narażona była na oddziaływanie powietrza dostającego się do budynku poprzez otwory nawiewne w ścianach kolankowych poddasza. Działanie wiatru znacznie spowalniało i zaburzało przemieszczanie się smugi dymu na poddaszu, co powodowało jej wzdłużne ukierunkowanie. Wskutek tego część powietrza była odprowadzona zachodnimi wrotami korytarza paszowego i gnojowego, a pozostała w sposób prawidłowy przez szczelinę kalenicową.

Badania skuteczności działania wentylacji kalenicowej przeprowadzone zostały w okresie lata, czyli w czasie gdy powinna być ona najbardziej skuteczna i wydajna. Chastain (2000) podaje, że jedną z najważniejszych wad wentylacji naturalnej jest brak jej skuteczności w okresie letnim, gdy występują niskie prędkości ruchu powietrza. Należy tu zaznaczyć, że problem ten dotyczy wszystkich obór polskich, gdyż w polskim klimacie najmniejsze prędkości wiatrów występują właśnie podczas lata, czyli wtedy, kiedy chcemy zwiększyć ochładzanie krów. Tylko nieliczne prace z zakresu chowu bydła, dobrostanu, wentylacji obór i konstrukcji budynku uwzględniają wpływ czynników atmosferycznych na ruch powietrza w oborach (Brouk i in., 2001; Teye i in., 2008).

Według Chastaina (2000) skuteczny z punktu widzenia przewietrzania obory wolnostanowiskowej przepływ powietrza ma miejsce w przypadku gdy kierunek wiejącego wiatru jest prostopadły do budynku (rys. 7).

W związku z powyższym, zapewnienie prawidłowej wentylacji naturalnej w rozpatrywanej oborze zostałyby zagwarantowane w przypadku lokalizacji jej osią podłużną w kierunku północ-południe, gdyż w południowej Polsce dominują wiatry z kierunku zachodniego. Koncepcja ta jest zgodna z zaleceniami Palmera (2005), który określa kierunek północ-południe jako właściwy do sytuowania w nim osi obór w celu poprawy wentylacji naturalnej poprzez uwzględnienie wiatru. Należy zana-

czyć, że na kształtowanie się ruchu powietrza mają również wpływ przeszkody terenowe oraz rozkład pomieszczeń przylegających do obory (Herbut, 2010).



Rys.7. Prawidłowy ruch powietrza wewnątrz obory w lecie przy kurtynach bocznych otwartych i wietrze prostopadłym do budynku (Chastain, 2000)

Fig. 7. Correct air movement inside the barn in the summer with open side curtains and wind perpendicular to the building (Chastain, 2000)

W badanej oborze odnotowane temperatury powietrza były wyższe niż 20°C, a w okresie 5 dni przekroczyły nawet 30°C. Dla krów w tym okresie był to wyjątkowo trudny okres ze względu na możliwość wystąpienia stresu cieplnego oraz brak odpowiedniej wentylacji (Herbut i Angrecka, 2012). Przyczyniały się do tego również niewielkie prędkości wiatru i ruchu powietrza, konstrukcja budynku oraz jej usytuowanie w terenie. Niejednorodny rozkład sprawności wentylacji kalenicowej powodował, że w oborze powstawały strefy o różnych efektywnościach wentylacyjnych.

W podsumowaniu uzyskanych wyników można stwierdzić, że najgorsze warunki wentylacyjne powstawały zazwyczaj w okresie południa, gdy temperatura powietrza na poddaszu przekraczała wartości powietrza zewnętrznego. Powodowało to pogorszenie sprawności świetlika kalenicowego. Przyczyniały się do tego również elementy konstrukcyjne obory, poprzez tworzenie stref turbulencji przy słupach oraz otworach nawiewnych ścianki kolankowej poddasza, które osłabiały ciąg pionowy wentylacji.

W celu poprawy działania wentylacji wywiewnej obory należy zwiększyć szczelność otworów w ściankach kolankowych poddasza, co pozwoli na wyeliminowanie wpływu wiatru na jej zaburzenie. Przy oborach kurtynowych, w okresie lata nieodzownym wydaje się montaż mechanicznej wentylacji wspomagającej, np. mieszaczy powietrza i ukierunkowywanie powietrza wentylacyjnego poprzecznie do obory. Przebadany system wentylacyjny nie był w stanie zapewnić odpowiedniej krotności wymiany powietrza, która w okresie lata powinna być zdecydowanie większa.

Piśmiennictwo

- Albright L.D., Timmons M.B. (1984). Behavior of dairy cattle in free stall housing. Trans. ASAE 27: 1119–1126.
- Andersen K.T. (2003). Theory for natural ventilation by thermal buoyancy in one zone with uniform

- temperature. *Build Environ.*, 38: 1281–1289.
- Armstrong D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.*, 77: 2044–2050
- Broom D.M. (2000). Environment as a significant factor influencing the welfare and production of farm animals. *Animal production and welfare*. Brno, pp. 152–157.
- Brouk M.J., Smith J.F., Harner J.P. (2001). Freestall barn design and cooling systems. Kansas State University.
- Chastain J.P. (2000). Design and management of natural ventilation systems. *Proc. of the 2000 Dairy Housing and Equipment Systems: Managing and planning for profitability*. NRAES publication, 129: 147–163.
- Cook N.B., Bennett T.B., Nordlund K.V. (2005). Monitoring indices of cow comfort in free-stall-housed dairy herds. *J. Dairy Sci.*, 88 (11): 3876–3885.
- Herbut E., Nizioł B., Pietras M., Sosnowka E. (1997). Wpływ wilgotności i sztucznej aerolonizacji na koncentrację jonów ujemnych i wyniki odchovu kurcząt brojlerów. *Rocz. Nauk. Zoot.*, 24, 2: 181–188.
- Herbut E., Walczak J. (2008). Importance of extensive animal production in Poland. *Ann. Anim. Sci.*, 8: 3–15.
- Herbut P. (2010). Air movement characteristics inside a cow barn with natural ventilation under no-wind conditions in the winter season. *Komisja Techniczna Infrastruktury Wsi PAN oddział w Krakowie*, 11: 159–164.
- Herbut P., Angrecka S. (2012). Forming of temperature-humidity index (THI) and milk production of cows in the free-stall barn during the period of summer heat. *Anim. Sci. Pap. Rep.* 30, 4: 363–372.
- Lautner M., Miller A.M. (2003). Kuehe lieben keine heissen Tage sondern kühlen Kopf. *Nachrichtsblatt. Besammungsbv Neustadt a. d. Aisch.*, 149: 23–25.
- Palmer R.W. (2005). Design of large scale dairy cattle in relation to management and animal welfare. *Knowledge transfer in cattle husbandry: new management practices, attitudes and adaptation*, 117: 173–174.
- Romanuk W., Overby T. (2005). Systems of maintenance of cattle. Reference book. Praca zbiorowa. Projekt Bliźniaczy PHARE, Standardy dla Gospodarstw Rolnych. Warszawa: Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa; Duńskie Służby Doradztwa Rolniczego.
- Teye F.K., Hautala M., Pastell M., Praks J., Veermäe I., Poikalainen V., Pajumägi A., Kivinen T., Ahokas J. (2008). Microclimate and ventilation in Estonian and Finnish dairy buildings. *Energ. Buildings*, 40: 1194–1201.
- Zähner M., Schrader L., Hauser R., Keck M., Langhans W., Wechsler B. (2004). The influence of climatic conditions on physiological and behavioural parameters in dairy cows kept in open stables. *Anim. Sci.*, 78: 139–147.

Zatwierdzono do druku 4 XII 2012

PIOTR HERBUT, SABINA ANGRECKA

Effectiveness of roof ridge ventilation in Fербbet-type free-stall barn during the summer period

SUMMARY

The aim of this study was to determine the effect of building structure of free-stall barn of the Fербbet type on the operation of roof ridge exhaust ventilation in the summer months. Evaluation was made of the effectiveness of the ventilation air flow in different locations of the barn with particular emphasis on the building's attic and ridge skylight. Air movement differences were found in the ridge skylight zone due to structural elements of the building, air supply openings in the knee walls of the attic, and siting and orientation of the building. The efficiency of air exhaust operation was also influenced by air temperature

and low wind speed, which contributes to disturbances in ventilation air flow. The results obtained were used to determine factors affecting effective ventilation air exchange in the barn and to designate the zones of its different activities. Recommendations and solutions enabling the improvement of the system, especially during the extremely difficult hot weather period, were presented.

Key words: free-stall barn, natural ventilation, ridge skylight, air movement, summer period