

## OCHŁADZANIE EWAPORACYJNE W ZAPOBIEGANIU SKUTKOM STRESU CIEPLNEGO U BYDŁA I TRZODY CHLEWNEJ\*

Dorota Godyń

Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Dział Technologii, Ekologii i Ekonomiki Produkcji Zwierzęcej, 32-083 Balice k. Krakowa

*Stres termiczny związany z oddziaływaniem wysokich temperatur powietrza stanowi znaczny problem dla hodowców i producentów. Skutki stresu cieplnego ujawniają się w zaburzeniach procesów fizjologicznych, zmianach behawioru zwierząt oraz spadku wskaźników produkcyjnych. Utrzymanie alkierzowe w założeniu ma zabezpieczać zwierzęta przed niekorzystnym oddziaływaniem warunków zewnętrznych, niemniej jednak nie zawsze efekt ten udaje się uzyskać w praktyce. Pomimo tego, iż stres cieplny odczuwany przez zwierzęta gospodarskie jest zjawiskiem znanym od lat, do dziś szuka się rozwiązań technologicznych poprawiających warunki mikroklimatyczne na fermach. Popularną metodą zwiększania komfortu termicznego zwierząt są technologie wykorzystujące parowanie wody.*

*Słowa kluczowe: ochładzanie, ewaporacja, behawior, fizjologia, produkcja*

### **Mikroklimat a komfort termiczny zwierząt**

Odpowiednie kształtowanie się warunków mikroklimatycznych w pomieszczeniach inwentarskich zapewnia zwierzętom komfort bytowania, a tym samym dobre warunki do produkcji i utrzymywania odpowiedniego statusu zdrowotnego. Niemniej jednak z uwagi na różne konstrukcje i typy budynków, a także ich położenie, część z nich może stanowić niedostateczne zabezpieczenie zwierząt przed działaniem szkodliwych warunków meteorologicznych, w tym szczególnie wysokich temperatur (Głuski i Michalczyk, 2008). Głównymi elementami tworzącymi mikroklimat w budynku inwentarskim są temperatura powietrza, wilgotność względna, prędkość ruchu powietrza, ochładzanie, a także stężenie szkodliwych domieszek gazowych i innych zanieczyszczeń. Nie bez znaczenia jest także oświetlenie i stopień nasłonecznienia budynku (Hahn, 1999; Mader i in., 2006).

---

\*Praca finansowana z tematu statutowego nr 06-009.1.

Istnieją także inne czynniki wpływające na stopień wymiany ciepła między organizmem a środowiskiem. Należą do nich: obsada zwierząt, faza produkcji, system utrzymania, materiały, z jakich wykonana jest podłoga i przegrody w budynku inwentarskim, a także system wentylacji (Martin, 2012). Jak pokazują ostatnie badania, ilość ciepła w pomieszczeniu jest również uzależniona od aktywności zwierząt (Wrotkowski, 2011).

U zwierząt stałocieplnych decydującym czynnikiem prawidłowego funkcjonowania termoregulacji jest równowaga pomiędzy wytwarzaniem ciepła metabolicznego a jego oddawaniem do otoczenia poprzez parowanie, przewodzenie, konwekcje i promieniowanie (Morgan i in., 1997). W zagadnieniach związanych z termoregulacją używa się między innymi takich pojęć, jak temperatura wewnętrzna (względnie stała) odnosząca się do jamy brzusznej, klatki piersiowej i czaszki oraz temperatura zewnętrzna podlegająca wahaniom w zależności od warunków środowiska. Temperatura zewnętrzna dotyczy skóry, tkanki podskórnej, a także mięśni. W zależności od działania temperatur powietrza różnica między ciepłem wewnętrznym a temperaturą skóry może być znaczna (Lim i in., 2008). Utrzymywanie zrównoważonego bilansu cieplnego jest procesem dynamicznym i możliwe jest dzięki różnym mechanizmom i pracy wielu narządów. Do głównych mechanizmów termoregulacji należą reakcje układu nerwowego, krążenia i hormonalnego. Informacje o zmianach temperatury w powierzchniowych i głębokich warstwach ciała docierają za pośrednictwem dróg nerwowych z termoreceptorów i termodetektorów do centralnego ośrodka regulacji temperatury wewnętrznej zlokalizowanego w podwzgórzcu. Z jego aktywacją związane jest, między innymi, wyzwalanie autonomicznych reakcji termoregulacyjnych. Utrzymywanie względnie stałej temperatury wewnątrz organizmu jest kluczowym czynnikiem warunkującym prawidłową pracę komórek (Ganaie i in., 2013). W zależności od rodzaju impulsu docierającego do ośrodka termoregulacji następuje uruchamianie mechanizmów związanych z produkcją lub zachowaniem ciepła. Głównym efektem działania procesów termoregulacyjnych jest układ krążenia. Oddziaływanie wysokich temperatur powietrza na organizm skutkuje przede wszystkim zwiększeniem skórniego przepływu krwi, zwiększeniem liczby oddechów, przyśpieszeniem akcji serca i zwiększeniem ilości oddawanego ciepła poprzez parowanie (Guyton i Hall, 2006).

Z podwzgórzem anatomicznie i funkcjonalnie związana jest kora mózgowa, która stanowi centrum behawioralnych reakcji termoregulacyjnych. Świadome odczuwanie temperatury skutkuje zmianami zachowania się zwierzęcia, które wykorzystuje otaczające środowisko w zależności od sytuacji, jako źródło lub jako pochłaniacz ciepła (Huynh i in., 2005).

Poza autonomicznymi i behawioralnymi reakcjami termoregulacyjnymi istnieje bezpośredni (bez udziału układu nerwowego) wpływ temperatury na mięśniówkę naczyń krwionośnych skóry. W zależności od oddziaływania ciepła lub zimna naczynia te mogą rozszerzać się lub kurczyć, a tym samym ma to wpływ na wielkość skórniego przepływu krwi. Im jest on większy, tym większa ilość ciepła może zostać oddana do otoczenia (Guyton i Hall, 2006).

Ze wszystkich wymienionych wcześniej czynników mikroklimatycznych największy wpływ na wymianę ciepła między środowiskiem a ciałem zwierzęcia ma tempe-

ratura powietrza, choć i takie elementy jak wilgotność, ruch powietrza czy nasłonecznienie miejsca bytowania odgrywają dużą rolę (Hahn, 1999; Mader i in., 2006). W aspekcie występowania stresu cieplnego u zwierząt najczęściej bierze się pod uwagę efekt działania wysokich temperatur przy dużej wilgotności powietrza (Brown-Brandl i in., 2006). Wysoka zawartość pary wodnej w powietrzu jest czynnikiem uniemożliwiającym oddawanie ciepła przez organizm na drodze parowania wody (Marai et al., 2007).

Początkowo dla ludzi, później także dla zwierząt opracowane zostały wskaźniki komfortu termicznego. W przypadku praktyki hodowlanej obliczenia te pozwalają przewidywać możliwości wystąpienia stresu cieplnego. Jednym z takich wskaźników jest indeks termiczno-wilgotnościowy THI (Thom, 1959). Parametr omawianego indeksu wyliczana jest głównie na podstawie danych dotyczących temperatury (termometr suchy, mokry lub temperatura punktu rosy) oraz wilgotności względnej lub bezwzględnej (Dikmen i Hansen, 2008). Jedne z pierwszych zastosowań THI w produkcji zwierzęcej wskazało zależność pomiędzy wzrostem wartości indeksu a spadkiem młeczności u krów w okresie upałów (Berry i in., 1964). Parametr ten najczęściej wykorzystywany jest właśnie w przypadku chowu bydła (Herbut i Angrecka, 2012) chociaż stosowano go także do prognozowania wystąpienia stresu cieplnego u drobiu (Purswell i in., 2012) i świń (Fitzgerald i in., 2009). Kolejnym wskaźnikiem wartym uwagi jest ochładzanie bioklimatyczne (H). Wyraża ono łączny efekt działania temperatury, wilgotności, ruchu powietrza, a także właściwości promieniowania cieplnego, otaczających zwierzę. Pomimo tego że opracowano optymalne zakresy wartości ochładzania dla poszczególnych gatunków zwierząt gospodarskich (w zależności od wieku i systemu utrzymania), ta metoda w praktyce stosowana jest rzadko. Trudności w używaniu omawianego wskaźnika wynikają przede wszystkim z braku urządzeń mierzących w sposób wiarygodny siłę oziębiającą środowiska (Kołacz i Dobrzański, 2006).

Niemniej jednak monitorowanie mikroklimatu poprzez różnego typu wskaźniki umożliwia podejmowanie racjonalnych decyzji dotyczących zarządzania produkcją zwierzęcą w okresie upałów. Decyzje te skupiają się przede wszystkim na zastosowaniu technologicznych rozwiązań poprawiających warunki cieplno-wilgotnościowe na fermie (Hahn i in., 2009).

### **Stres cieplny u zwierząt i jego diagnozowanie**

Strefa komfortu termicznego mieści się w przedziale temperatur wyznaczonych przez dolną i górną wartość krytyczną. W tych warunkach organizm zwierzęcia wykazuje minimalny wysiłek metaboliczny do utrzymania stałej temperatury ciała. Zmianie ulega jedynie przepływ krwi w skórze, a oddawanie ciepła poprzez parowanie utrzymywane jest na najniższym poziomie (Curtis, 1983). Dla większości ośsków zwierząt gospodarskich strefa komfortu termicznego przebiega w przedziale wyższych temperatur powietrza. Młode osobniki nie mają dostatecznie wykształconego systemu termoregulacji. Charakteryzują się też niekorzystnym stosunkiem powierzchni do masy ciała, co przy niewielkiej ilości tkanki tłuszczowej i okrywy włosowej może powodować znaczne straty ciepła (van Milgen i in., 1998). W przypadku dorosłych zwierząt przekroczenie górnej wartości temperatury krytycznej powoduje

wzmoczony wysiłek adaptacyjny organizmu, skutkujący obniżeniem produktywności i poziomu dobrostanu (Berman, 2011).

Odpowiedź organizmu zwierzęcia na długotrwały stres termiczny uzewnętrznia się w niskich wartościach wskaźników produkcyjnych. Obserwuje się niskie pobranie paszy, mniejsze przyrosty, spada wydajność mleczna, dochodzi także do zakłóceń w rozrodzie, zwiększa się liczba upadków (Mader, 2007; Sohail i in., 2010; Najar i in., 2010). Analiza wskaźników produkcyjnych nie jest jedyną metodą umożliwiającą ocenę niekorzystnego wpływu warunków klimatycznych. Do innych działań ułatwiających diagnozowanie stresu termicznego należy pomiar temperatury wewnętrznej, temperatury skóry, a także obserwacje behawioru zwierząt (Kadzere i in., 2002; Walczak i Herbut, 2000). W upalne dni obserwuje się małą aktywność zwierząt, częstszy pobór wody, ograniczenie spożycia paszy i kontaktu z innymi osobnikami. U zwierząt narażonych na bezpośrednie działanie promieni słonecznych widoczne jest poszukiwanie schronienia i bardziej zacienionych miejsc. Dość częstym zjawiskiem jest tarzanie się na wilgotnych powierzchniach. Ponadto zwierzęta starają się, aby jak największa powierzchnia ich ciała miała kontakt z chłodniejszym podłożem (Huynh i in., 2005).

Poza monitoringiem reakcji behawioralnych nie bez znaczenia jest również ocena wskaźników fizjologicznych. Podczas oddziaływania wysokich temperatur stwierdza się między innymi wzrost stężenia glikokortykoidów w surowicy krwi, obniżenie poziomu hormonów tarczycy (tyroksyny, trójjodotyroniny), somatotropiny czy insulinopodobnego czynnika wzrostu (IGF-1) (Aggarwal i Upadhyay, 2012). Stres cieplny diagnozuje się również poprzez zwiększoną liczbę oddechów i uderzeń serca (Gaughan i in., 2008; Bernabucci i in., 2014). Obecnie także rozwój biologii molekularnej rzuca nowe światło na problem stresu. Wysoka temperatura otoczenia pośrednio może mieć negatywny wpływ na budowę i fizjologię komórek. W tym aspekcie szczególnie zjawisko stresu oksydacyjnego i w konsekwencji uwalnianie zwiększonej liczby reaktywnych form tlenu (RFT) budzi duże zainteresowanie wśród naukowców (Ganaie i in., 2013; Nizar i in., 2013). Akumulacja RFT może doprowadzić między innymi do uszkodzenia DNA, a także do zakłócenia procesów przemiany białek, węglowodanów i lipidów. Nadmierna peroksydacja lipidów przyczynia się między innymi do powstawania zwiększonej ilości szkodliwych dla komórki związków takich jak MDA (malonyldialdehyd), którego obecność stwierdzono w organizmach zwierząt gospodarskich poddawanych działaniu wysokich temperatur powietrza (Aengwanich i in., 2011).

Innym wskaźnikiem negatywnego oddziaływania upałów mogą być także białka szoku termicznego (HSP). Min i in. (2015) rekomendują pomiar stężenia czynnika szoku cieplnego HSF i białka HSP70 w surowicy krwi, jako uzupełnienie wskaźnika THI, w przewidywaniu wystąpienia stresu cieplnego u bydła.

### **Rozwiązania technologiczne poprawiające warunki termiczne na fermach oraz ich wpływ na fizjologię i behawior zwierząt**

Poprzez zastosowanie różnego rodzaju systemów i rozwiązań technologicznych producenci starają się polepszyć warunki bytowe zwierząt w okresie letnich upałów. Podstawowym mechanizmem umożliwiającym między innymi redukcję nadmiernej

ilości ciepła i pary wodnej w budynku jest sprawny system wentylacji (Pauli i in., 2008).

Rodzaj systemu wymiany powietrza w dużym stopniu zależy od prowadzonego chowu, liczby zwierząt i gatunku. Jak pokazują badania, nieodpowiednie wartości wymiany powietrza w budynku mogą przyczyniać się do pogorszenia aktywności zwierząt (Ngwabie i in., 2011). Obecnie coraz częściej spotyka się rozwiązania wspomagające system wentylacji wykorzystujące efekt parowania wody. Ochładzanie ewaporacyjne jest procesem adiabatycznym, w którym na skutek kontaktu cząsteczek powietrza z cząsteczkami wody następuje wymiana energii. Ciepło jawne przekazywane od powietrza do wody pokrywa jedynie zapotrzebowanie na energię konieczną do przebiegu procesu parowania (Wiersma, 1983). Migracja energii cieplnej związanej z przechodzeniem wody w stan gazowy istotnie przyczynia się do obniżenia temperatury powietrza (temperatura termometru suchego) (Simmons i Lott, 1996). Ten typ ochładzania w przypadku bydła testowany był już ponad 60 lat temu (Seath i Miller, 1948). Jednakże w tym okresie technologie do jego budowy nie były powszechnie dostępne. Obecnie istnieje wiele rozwiązań umożliwiających poprawę komfortu zwierząt z zastosowaniem systemu zraszania, zamgławiania czy też paneli ewaporacyjnych (Bull i in., 1997). W obrębie wymienionych metod ochładzania można wskazać te, które bezpośrednio oddziałują na skórę zwierząt (zraszanie, chłodzenie kropelkowe) lub pośrednio poprzez obniżenie temperatury powietrza (zamgławianie, panele ewaporacyjne). Świnie podobnie jak bydło wykazują naturalną chęć tarzania się w wodzie, zatem zwilżanie skóry u tych zwierząt przynosi natychmiastową ulgę. Wzrasta stopień oddawania ciepła poprzez parowanie, a ponadto proces ten przyczynia się do wymiany mas powietrza (bezpośrednio kontaktujących się ze skórą), co dodatkowo wzmacnia uczucie komfortu termicznego (Mittlöhner i in., 2001). W przypadku loch utrzymywanych indywidualnie, w krajach o cieplejszym klimacie często stosuje się chłodzenie kropelkowe. Dysze w tym systemie montowane są najczęściej tuż nad głową zwierzęcia. Stałe i powolne (2–4  $l\ h^{-1}$ ) uwalnianie kropel wody umożliwia nawilżanie skóry karku i obręczy barkowej (Harp i Huhnke, 1991).

Inną metodą polepszania warunków mikroklimatycznych jest zastosowanie systemu zamgławiania. Rozpylane krople wody (w zależności od ich wielkości) albo opadają w wolnym tempie, wyparowując przy kontakcie z podłożem, albo tworzą drobnocząsteczkową mgiełkę zawieszoną w powietrzu. W systemie tym praktycznie nie dochodzi do zawiłgocenia skóry zwierząt ani podłoża (Mittlöhner i in., 2001).

Kolejnym pośrednim sposobem poprawy komfortu termicznego zwierząt jest zastosowanie paneli ewaporacyjnych, których zadaniem jest ochłodzenie powietrza, zanim dostanie się ono do budynku. W systemie tym istotna bywa praca wentylatora, wymuszająca przepływ ciepłego powietrza przez panele nasączone wodą. Materiał, z którego zbudowany jest panel, stanowi najczęściej impregnowany papier celulozowy, ukształtowany w taki sposób, aby umożliwić mieszanie się cząsteczek wody i powietrza. Kontrolowany przepływ wody przez panel możliwy jest dzięki pracy pompy (Lucas i in., 2000).

Pozytywny wpływ zraszania skóry bydła stwierdzono w doświadczeniu Gaughana i in. (2004). Rezultaty tych badań wykazały, że tego typu ochładzanie przyczyniło się do zwiększenia pobrania paszy, obniżenia temperatury wewnętrznej ciała oraz

zmniejszenia liczby oddechów u badanych zwierząt. W innym doświadczeniu (Gaughan i in., 2008) testowano wpływ dwóch rodzajów chłodzenia: dziennego i nocnego oraz dawki pokarmowej o zwiększonej zawartości tłuszczu na ilość oddechów, temperaturę rektalną oraz pobranie suchej masy. Młode bydło utrzymywane było w komorach klimatycznych, w których przez 2 dni panowały termoneutralne warunki. Przez 4 kolejne dni zwierzęta poddawane były działaniu ponadnormatywnych temperatur powietrza. Część zwierząt ochładzana była poprzez użycie zraszaczy przy równoczesnym działaniu wentylatorów w godzinach 6.00–14.00, druga grupa była podlegała tej procedurze w godzinach 14.00–22.00. Chłodzenie nocne miało większy wpływ na obniżenie temperatury rektalnej oraz zmniejszenie liczby oddechów. Wyniki doświadczenia żywieniowego wskazują, że bydło chętniej pobierało paszę z dodatkową zawartością tłuszczu, ale taki efekt był notowany tylko wtedy, kiedy zwierzęta chłodzone były w ciągu dnia.

Jak postulują Collier i in. (2006), ochładzanie jest intensywniejsze, kiedy wraz z działaniem zraszaczy zwiększana jest prędkość ruchu powietrza poprzez użycie wentylatorów (konwekcja wymuszona). Niemniej jednak nie tylko bezpośrednie zwilżanie skóry ma pozytywny chłodzący efekt. Doświadczenie Davisa i in. (2003) wykazało, że już samo zraszanie powierzchni okólnika istotnie wpływa na zwiększenie komfortu zwierząt. U badanych krów, przebywających w miejscach uprzednio polanych wodą, stwierdzono obniżenie temperatury tympanalnej. Ponadto niektóre prace wskazują na potrzebę stosowania zraszaczy już we wczesnych godzinach porannych i nocą. Działanie niższych temperatur nocą i dodatkowe obniżenie temperatury skóry sprzyja regeneracji i ma kluczowe znaczenie w przygotowaniu organizmu na kolejne fale gorąca (Nienaber i in., 2007).

Lin i in. (1998) stwierdzili, że korzyści z zastosowania zraszaczy i zamgławiaczy przy zwiększonym ruchu powietrza (użycie wentylatorów) są porównywalne. Krowy ochładzane tymi dwoma sposobami charakteryzowały się podobną wydajnością i pobraniem paszy. Jednakże w badaniach Mitlöhnnera i in. (2001) stwierdzono brak efektu użycia zamgławiaczy na zachowanie się krów, pobranie paszy i wartości temperatury. Autorzy sugerują, że powodem takiej sytuacji mogła być zbyt mała wielkość kropeł wody rozpylanych w powietrzu.

Obecnie, zwłaszcza w krajach o cieplejszym klimacie, dużą popularnością cieszy się utrzymywanie zwierząt w pomieszczeniach z wentylacją tunelową. W tym systemie praca wentylatorów montowanych na jednym końcu budynku powoduje zwiększony napływ powietrza z drugiego końca pomieszczenia. W konsekwencji dochodzi do uzyskania optymalnego efektu chłodzenia na drodze konwekcji, który dodatkowo może być wzmocniony poprzez zastosowanie zraszaczy, zamgławiaczy czy paneli ewaporacyjnych. Utrzymywanie bydła mlecznego w pomieszczeniu tego typu (z zastosowaniem zraszaczy) miało znaczący wpływ na zwiększenie komfortu termicznego zwierząt (Smith i in., 2006 a). Autorzy stwierdzili niższą liczbę oddechów oraz niższe wartości temperatury rektalnej w porównaniu z bydlęm ochładzanym w tradycyjny sposób (zapewnienie zacienienia i użycie wentylatorów). W innym doświadczeniu (Smith i in., 2006 b) wykazano, że krowy utrzymywane w pomieszczeniu z wentylacją tunelową i systemem zraszaczy charakteryzowały się większym pobraniem paszy oraz większą wydajnością mleczną niż bydło utrzymywane w oborze

z wentylacją naturalną. Ponadto u krów z grupy podlegającej chłodzeniu stwierdzono mniejszą ilość komórek somatycznych w mleku.

Trzoda chlewna jest gatunkiem szczególnie narażonym na działanie niekorzystnych warunków termiczno-wilgotnościowych. Niewielka ilość gruczołów potowych stanowi ogromne utrudnienie w oddawaniu ciepła u tych zwierząt (Fraser, 1974). Początkowa adaptacja do przebywania w wysokich temperaturach ujawnia się głównie w zmianach postawy i zachowania się zwierząt (Olsen i in., 2001; Huynh i in., 2005). Obserwując behavior świń, Knowles i in. (1998) stwierdzili, że zraszanie wodą w istotny sposób przyczyniło się do wzrostu ich aktywności. Autorzy sugerują, że parowanie wody z wilgotnej skóry wystarczająco zapobiega przegrzaniu organizmu, wobec czego dalsze uruchamianie behawioralnych mechanizmów przez zwierzęta (leżenie, zwiększony stopień pobierania wody, zredukowane pobranie paszy) staje się niepotrzebne. Huynh i in. (2006) testowali zastosowanie zraszaczy oraz kąpiele wodnych u tuczników. Ochładzanie (dwoma sposobami) spowodowało obniżenie temperatury skóry oraz redukcję liczby oddechów, lecz nie wpłynęło na wartości temperatury rektalnej.

Z procesem produkcji zwierzęcej nieodłącznie związany jest transport. Podczas przewozu zwierząt działa na nie równocześnie wiele czynników stresogennych. Poza niekorzystnymi warunkami termiczno-wilgotnościowymi wymienić należy zbyt agresywną obsługę, kontakt z osobnikami z innych stad, małą powierzchnię oraz ograniczenie dostępu do paszy i wody (Broom, 2003). Skutkiem oddziaływania tych negatywnych czynników mogą być uszkodzenia ciała, wycieńczenie, a także śmierć (Hamilton i in., 2004). Ponadto czynniki stresogenne działające podczas transportu mają istotny wpływ na jakość mięsa (Wajda i Denaburski, 2003).

Nannoni i in. (2014) badali efekt chłodzenia tuczników przewożonych do rzeźni na jakość ich tusz. Skóra zwierząt zraszana była w trakcie wprowadzania ich na naczepę oraz później przy rozładunku. Grupę kontrolną stanowiły tuczniaki niepodlegające takiej procedurze. Mięso świń z grupy doświadczalnej charakteryzowało się niższą zawartością mleczanów i wyższą wartością pH mięśnia najdłuższego grzbietu (LD – m. *longissimus dorsi*).

Inne badania z zastosowaniem chłodzenia tuczników przeprowadzili Fox i in. (2014). Autorzy badali wpływ zraszania na behavior i temperaturę wewnętrzną transportowanych świń. Podobnie jak we wcześniej opisywanym doświadczeniu skóra zwierząt zraszana była w trakcie załadunku oraz przy rozładunku. Badaniami objęto także warunki mikroklimatyczne panujące w naczepie i magazynie żywca (w rzeźni). Temperaturę wewnętrzną mierzono za pomocą rejestratora wprowadzanego doustnie. Urządzenie monitorowało w sposób ciągły temperaturę wewnątrz przewodu pokarmowego. Wyniki badań wykazały brak różnic w zachowaniu się zwierząt, gdy temperatura powietrza mierzona w naczepie przekraczała 23°C. W niższych temperaturach zwierzęta ochładzane wodą wykazywały statystycznie istotną tendencję do utrzymywania pozycji stojącej. Odwrotna sytuacja miała miejsce w pomieszczeniach rzeźni, gdzie zwierzęta miały możliwość odpoczynku. Tuczniaki poddawane wcześniejszemu chłodzeniu wykazywały większą chęć do leżenia i mniejszą do picia wody w porównaniu z osobnikami z grupy kontrolnej. Nie stwierdzono zależności pomiędzy stosowaniem zraszaczy a zwiększeniem ilości poślizgnięć podczas załadunku i roz-

ładunku zwierząt. Ochładzanie świń nie wpłynęło statystycznie istotnie na różnice w temperaturze wewnętrznej. Niemniej jednak podczas przebywania zwierząt w temperaturze powietrza przekraczającej 25°C u świń zraszanych wodą zarejestrowano niższe wartości temperatury mierzonej w przewodzie pokarmowym. Stąd też autorzy sugerują, że zastosowanie zraszaczy mogłoby mieć duże znaczenie w polepszaniu komfortu termicznego u świń transportowanych w wysokich (ponad 25°C) temperaturach powietrza.

Chłodzenie kropelkowe przyniosło pozytywne rezultaty w polepszaniu komfortu termicznego utrzymywanych indywidualnie loch (Barbari i in., 2007). Autorzy stwierdzili, że samice podlegające tej procedurze były spokojniejsze, mniej piły oraz więcej czasu spędzały leżąc w porównaniu z grupą kontrolną. W innym doświadczeniu Barbari i Conti (2009) testowali trzy sposoby chłodzenia pomieszczeń dla loch utrzymywanych grupowo. Kojec, w którym przebywały ciężarne maciory, został podzielony na cztery strefy, w trzech z nich zastosowano różne metody obniżania temperatury. W pierwszej strefie zamontowano wloty umożliwiające uwalnianie strumienia powietrza ( $12,5 \text{ ms}^{-1}$ ) płynącego w kierunku podłogi. W drugiej strefie zamontowano dysze chłodzenia kropelkowego. W tej strefie również zastosowano chłodzenie strumieniem powietrza. W trzeciej strefie zainstalowano tylko chłodzenie kropelkowe. W badaniach analizowano zachowanie się zwierząt (test preferencji) na podstawie zapisów z kamer. Z obserwacji wynika, że w temperaturach powietrza o wartościach poniżej 22°C maciory częściej wybierały miejsce chłodzone tylko poprzez strumień powietrza oraz strefę, w której nie zamontowano żadnego systemu chłodzącego. Sytuacja ulegała zmianie, kiedy temperatury powietrza przekraczały 30°C. Autorzy stwierdzili, że w wyższych temperaturach powietrza lochy preferowały strefę, w której zastosowano równoczesne chłodzenie wodą i strumieniem powietrza.

W doświadczeniu Quiñonero i in. (2009) badano stężenie kortyzolu oraz kortyzonu w moczu oraz stosunek ilościowy neutrofilii do limfocytów (N/L) w krwi obwodowej loch utrzymywanych w systemach wyposażonych w dwie różne metody chłodzenia. Ciężarne lochy utrzymywane były indywidualnie. Część z nich przebywała w budynku wyposażonym w pady ewaporacyjne i wentylatory, natomiast druga grupa podlegała chłodzeniu przy użyciu zraszaczy. Stężenie glikokortykoidów charakteryzowało się dużą zmiennością, natomiast badanie komórek krwi wykazało wyższe wartości N/L u loch chłodzonych bezpośrednio (zraszaczem). Według autorów zastosowanie paneli ewaporacyjnych jest lepszym rozwiązaniem z uwagi na dobrostan zwierząt.

Justino i in. (2014) przeprowadzili eksperyment na 72 lochach. Maciory od momentu oproszenia do 21. dnia laktacji utrzymywane były w chlewni otwartej (kurtynowej). Połowa samic chłodzona była poprzez powietrze przechodzące przez pady ewaporacyjne, a pozostałe 36 loch utrzymywane było w warunkach działania wentylacji naturalnej. Analizom podlegały warunki mikroklimatyczne oraz wskaźniki fizjologiczne (liczba oddechów, temperatura rektalna, temperatura skóry). Autorzy obliczali także wskaźnik utraty ciepła jawnego ( $Q_{\text{sensible}}$ ). Stwierdzono brak różnic w wartościach temperatury rektalnej u badanych loch, natomiast w grupie przebywającej w pomieszczeniu z wentylacją naturalną notowano wyższą temperaturę skóry, zwiększoną liczbę oddechów, a także wyższe wartości wskaźnika utraty ciepła.



Doświadczenia Romaniniego i in. (2008) oraz Perina i in. (2016) wskazują, że pomieszczenia wyposażone w pady ewaporacyjne mają także korzystny wpływ na masę urodzeniową i przyrosty u prosiąt.

### Podsumowanie

Część przedstawionych w pracy badań przeprowadzona była w rejonach charakteryzujących się cieplejszym niż Polska klimatem. Niemniej jednak obecnie i w naszym kraju na skutek działania wysokich temperatur w okresie lata następuje spadek efektywności produkcji, co znacząco wpływa na wskaźniki ekonomiczne. Przebywanie w zamkniętych pomieszczeniach, często niedostatecznie wentylowanych, w sposób istotny wpływa także na obniżenie poziomu dobrostanu zwierząt. Wydaje się zatem, że właściwa adaptacja systemów chłodzenia do budynków inwentarskich i warunków klimatycznych występujących w Polsce może mieć ogromne znaczenie. Jak pokazują liczne badania, technologie wykorzystujące parowanie wody mogą skutecznie obniżać temperaturę powietrza w pomieszczeniach inwentarskich i pośrednio wpływać na poprawę komfortu zwierząt. Skuteczną metodą walki ze stresem cieplnym jest także bezpośrednie zraszanie skóry zwierząt.

Przy obecnym rozwoju i dostępności technologii do budowy systemów chłodzenia, podejmowanie tej tematyki przez naukowców ma kluczowe znaczenie dla opracowania optymalnych rozwiązań. Wydaje się, że holistyczne podejście do omawianej kwestii przyniosłoby najlepsze rezultaty. W tym aspekcie konieczne byłyby badania obejmujące równocześnie typy i konstrukcje budynków, warunki meteorologiczne danego regionu, czynniki mikroklimatyczne, analizę wskaźników fizjologicznych i produkcyjnych, obserwacje behawioru zwierząt, a także ocenę ekonomiczną zastosowanych technologii.

### Piśmiennictwo

- Aengwanich W., Kongbuntad W., Boonsorn T. (2011). Effect of shade on physiological changes, oxidative stress, and total antioxidant power in Thai Brahman cattle. *Int. J. Biometeorol.*, 55: 741–748.
- Aggarwal A., Upadhyay R. (2012). *Heat Stress and Animal Productivity*. Springer India, 1st ed., pp. 27–51.
- Barbari M., Bianchi M., Sorbetti Guerri F. (2007). Preliminary analysis of different cooling systems of sows in farrowing room. *J. of Ag. Eng. – Riv. di Ing. Agr.*, 1: 53–58.
- Barbari M., Conti L. (2009). Use of different cooling systems by pregnant sows in experimental pen. *Biosyst. Eng.*, 103: 239–244.
- Berman A. (2011). Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *J. Anim. Sci.*, 83 (6): 1377–1384.
- Bernabucci U., Biffani S., Buggiotti L., Vitali A., Lacetera N., Nardone A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 97 (1): 471–486.
- Berry I.L., Shanklin M.D., Johnson H.D. (1964). Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans. Am. Soc. Ag. Eng.*, 7: 329–331.
- Broom D.M. (2003). Causes of poor welfare in large animals during transport. *Vet. Res. Comm.*, 27 (Suppl. 1): 515–518.
- Brown-Brandl T.M., Nienaber J.A., Eigenberg R.A., Mader T.L., Morrow J.L., Daley J.W. (2006). Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds. *Livest. Sci.*, 105: 19–26.

- Bull R.P., Harrison P.C., Riskowski G.L., Gonyou H.W. (1997). Preference among cooling systems by gilts under heat stress. *J. Anim. Sci.*, 75: 2078–2083.
- Collier R.J., Dahl G.E., Van Baale M.J. (2006). Major advances associated with environmental effects on dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89: 1244–1253.
- Curtis S.E. (1983). *Environmental Management in Animal Agriculture*. Ames, IA: Iowa State 67, University Press, 409 pp.
- Davis M.S., Mader T.L., Holt S.M., Parkhurst A.M. (2003). Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: Effects on tympanic temperature. *J. Anim. Sci.*, 81: 649–661.
- Dikmen S., Hansen P.J. (2008). Is the temperature humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.*, 92: 109–116.
- Fitzgerald R.F., Stalder K.J., Matthews J.O., Schultz-Kaster C.M., Johnson A.K. (2009). Factors associated with fatigue, injured, and dead pig frequency during transport and lairage at a commercial abattoir. *J. Anim.*, 87: 1156–1166.
- Fox J., Widowski T., Torrey S., Nannoni E., Bergeron R., Gonyou H.W., Brown J.A., Crowe T., Mainau E., Faucitano L. (2014). Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 1. Effects on pig behaviour, gastrointestinal tract temperature and trailer micro-climate. *Livest. Sci.*, 160: 113–123.
- Fraser A.F. (1974). *Farm Animal Behaviour: an Introductory Textbook on the Study of Behaviour as Applied to Horses, Cattle, Sheep and Pigs*. London: B. Tindall, 196 pp.
- Ganaie A.H., Shanker G., Bumla N.A., Ghasura R.S., Mir N.A., Wani S.A., Dudhatarra G.B. (2013). Biochemical and physiological changes during thermal stress in bovines. *J. Vet. Sci. Tech.*, 4: 126.
- Gaughan J.B., Davis M.S., Mader T.L. (2004). Wetting and the physiological responses of grain-fed cattle in a heated environment. *Aust. J. Agric. Res.*, 55: 253–260.
- Gaughan J.B., Holt S.M., Mader T.L. (2008). Cooling and feeding strategies to reduce heat load of grain-fed beef cattle in intensive housing. *Livest. Sci.*, 113: 226–233.
- Głuski T., Michalczyk A. (2008). System konstrukcyjny budynku a ryzyko wystąpienia stresu termicznego u krów mlecznych. *Inz. Rol.*, 9 (107): 83–89.
- Guyton A.C., Hall J.E. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. 11th ed. Philadelphia, PA, USA: Elsevier Saunders, pp. 890–900.
- Hahn G.L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.*, 77 (Suppl 2), p. 10.
- Hahn G.L., Gaughan, J.B., Mader T.L., Eigenberg R.A. (2009). *Thermal Environment and Livestock Energetics. Thermal indices and their applications for livestock environments*. USA: ASAE, 122 pp.
- Hamilton D.N., Ellis M., Bertol T.M., Miller K.D. (2004). Effects of handling intensity and live weight on blood acid-base status in finishing pigs. *J. Anim. Sci.*, 82: 2405–2409.
- Harp S.L., Huhnke R.L. (1991). Drip vs. wetted-pad evaporative cooling of farrowing houses in Oklahoma. *Trans. ASAE*, 7 (4): 461–464.
- 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.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Gerrits W.J.J., Heetkamp M.J.H., Canh T.T., Spoolder H.A.M., Kemp B., Verstegen M.W.A. (2005). Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 91: 1–16.
- Huynh T.T.T., Aarnink A.J.A., Truong C.T., Kemp B., Verstegen M.W.A. (2006). Effects of tropical climate and water cooling methods on growing pigs' responses. *Livest. Sci.*, 104: 278–291.
- Justino E., Nääs I.D.A., Carvalho T.M., Neves D.P., Salgado D.D.A. (2014). The impact of evaporative cooling on the thermoregulation and sensible heat loss of sows during farrowing. *Eng. Agric.*, 34 (6): 1050–1061.
- Kadzere C.T., Murphy M.R., Silanikove N., Maltz E. (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod. Sci.*, 77: 59–91.
- Knowles T.G., Brown S.N., Edwards J.E., Warriss P.D. (1998). Ambient temperature below which pigs should not be continuously showered in lairage. *Vet. Rec.*, 143: 575–578.
- Kołaczkowski R., Dobrzański Z. (2006). *Higiena i dobrostan zwierząt gospodarskich*. Wyd. AR Wrocław, ss. 55–58.
- Lim C.L., Byrne C., Lee J.K. (2008). Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann. Acad. Med.*, 37: 347–353.

- Lin M.T., Tsay H.J., Su W.H., Chueh F.Y. (1998). Changes in extracellular serotonin in rat hypothalamus affect thermoregulatory function. *Am. J. Physiol.*, 274: 1260–1267.
- Lucas E.M., Randall J.M., Meneses J.F. (2000). Potential for evaporative cooling during heat stress periods in pig production in Portugal (Alentejo). *J. Agri. Eng. Res.*, 76: 363–371.
- Mader T.L. (2007). Effect of sprinkling on feedlot microclimate and cattle behavior. *Int. J. Biometeorol.*, 51: 541–551.
- Mader T.L., Davis M.S., Brown-Brandl T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 84: 712–719.
- Marai I.F.M., El Darawany A.A., Fadiel A., Abdel Hafez M.A.M. (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep: a review. *Small Ruminant Res.*, 71: 1–12.
- Martin W.R. (2012). Effects of heat stress on thermoregulation, reproduction and performance of different parity sows. 2012. 154f. Thesis (Master of Science) – Faculty of the Graduate School University of Missouri, Missouri, 2012.
- Min L., Cheng J., Shi B., Yang H., Zheng N., Wang J. (2015). Effects of heat stress on serum insulin, adipokines, AMP-activated protein kinase, and heat shock signal molecules in dairy cows. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*, 16 (6): 541–548.
- Mitlöchner F.M., Morrow-Tesch J.L., Wilson S.C., Dailey J.W., McGlone J.J. (2001). Behavioral sampling techniques for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 79: 1189–1193.
- Morgan K., Ehrlemark A., Sallvik K. (1997). Dissipation of heat from standing horses exposed to ambient temperatures between  $-3^{\circ}\text{C}$  and  $37^{\circ}\text{C}$ . *J. Therm. Biol.*, 22: 177–186.
- Mount L.E. (1979). Adaptation to thermal environment: Man and his productive animals. Edward Arnold Limited, Thomson Litho Ltd, East Kilbride, Scotland.
- Najar T., Rejeb M., Ben M'Rad M. (2010). Modeling the effects of heat stress on some behavior and physiological parameters in cows. In: D. Sauvant, J. Van Milgen, P. Faverdin, N. Friggens (eds), *Modelling Nutrient Digestion and Utilization in Farm Animals*. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, pp. 130–136.
- Nannoni E., Widowski T., Torrey S., Fox J., Rocha L.M., Gonyou H., Weschenfelder A.V., Crowe T., Martelli G., Faucitano L. (2014). Water sprinkling market pigs in a stationary trailer. 2. Effects on selected exsanguination blood parameters and carcass and meat quality variation. *Livest. Sci.*, 160: 124–131.
- Ngwabie N.M., Jeppsson K.-H., Gustafsson G., Nimmermark S. (2011). Effects of animal activity and air temperature on methane and ammonia emissions from a naturally ventilated building for dairy cows. *Atmos. Environ.*, 45 (37): 6760–6768.
- Nienaber J.A., Hahn G.L., Eigenberg R.A., Brown-Brandl T.M., Gaughan J.B. (2001). Feed intake response of heat-challenged cattle. In: *Proceedings, Sixth International Livestock Environment Symposium Louisville, Kentucky*. ASAE, pp. 154–164.
- Nizar A.N., Mudasar S., Hina A.W. (2013). Oxidative stress – Threat to animal health and production. *Int. J. Livest. Res.*, 3: 76–83.
- Olsen A.W., Dybkjaer L., Simonsen H.B. (2001). Behaviour of growing pigs kept in pens with outdoor runs II. Temperature regulatory behaviour, comfort behaviour and dunging preferences. *Livest. Prod. Sci.*, 69: 265–278.
- Pauli D.G., Silvia J.N., Vigoderis R.B., Tinoco I.F.F., Galvarro S.F.S. (2008). Desenvolvimento de um software para o dimensionamento de sistemas de ventilação e resfriamento evaporativo em instalações avícolas climatizadas. *Appl. Eng. Agric.*, 16 (2): 167–179.
- Perin J., Gaggini T.S., Manica S., Magnabosco D., Bernardi M.L., Wentz I., Bortolozzo F.P. (2016). Evaporative snout cooling system on the performance of lactating sows and their litters in a subtropical region. *Ciência Rural.*, 46 (2): 342–347.
- Purswell J.L., Dozier III W.A., Olanrewaju H.A., Davies J.D., Xin H., Gates R.S. (2012). Effect of temperature-humidity index on live performance in broiler chickens grown from 49 to 63 days of age. ASABE Paper No. ILES 12-0265, 9th International Livestock Environment Symposium, Valencia, Spain, July 8–12, 2012.
- Quiñonero J., García-Santamaría C., María-Dolores E., Armero E. (2009). Physiological indicators of stress in gestating sows under different cooling systems. *Pesq. Agrop. Bras.*, 44: 1549–1552.
- Romanini C.E.B., Tolon Y.B., Nääs I.D.A., de Moura D.J. (2008). Physiological and productive responses of environmental control on housed sows. *Sci. Agric.*, 65 (4): 335–339.

- Seath D.M., Miller G.D. (1948). Effect of water sprinkling with and without air movement on cooling dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 31: 361–366.
- Simmons J.D., Lott B.D. (1996). Evaporative cooling performance resulting from changes in water temperature. *Appl. Eng. Agric.*, 12 (4): 497–500.
- Smith T.R., Chapa A., Willard S., Herndon C.Jr., Williams R.J., Crouch J., Riley T., Pogue D. (2006 a). Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast. I: effect on body temperature and respiration rate. *J. Dairy Sci.*, 89: 3904–3914.
- Smith T.R., Chapa A., Willard S., Herndon C.Jr., Williams R.J., Crouch J., Riley T., Pogue D. (2006 b). Evaporative tunnel cooling of dairy cows in the southeast: II: impact on lactation performance. *J. Dairy Sci.*, 89: 3915–3923.
- Sohail M.U., Ijaz A., Yousaf M.S., Ashraf K., Zareb H., Aleem M., Rehman H. (2010). Alleviation of cycle heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and Lactobacillus-based probiotic: dynamic of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. *Poultry Sci.*, 89: 1934–1938.
- Thom E.C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12: 57–59.
- Van Milgen, J., Bernier J.F., Lecozler Y., Dubois S., Noblet J. (1998). Major determinants of fasting heat production and energetic cost of activity in growing pigs of different body weight and breed/castration combination. *Br. J. Nutr.*, 79: 509–517.
- Wajda S., Denaburski J. (2003). Pre-slaughter handling of pigs. *Anim. Sci. Pap. Rep.*, 21 (1): 173–181.
- Walczak J., Herbut E. (2000). The use of telemetric measurements of biophysical parameters for evaluating the response of growing pigs to different management systems. *Ann. Anim. Sci.*, 27 (2): 231–239.
- Wiersma F. (1983). *Evaporative Cooling in Ventilation of Agricultural Structures*. ASAE. Monograph 6th Series, Michigan, USA.
- Wrotkowski K. (2011). Metoda ustalania wymaganej temperatury w chlewni z uwzględnieniem aktywności zwierząt. *Inż. Roln.*, 1 (126): 293–300.

Zatwierdzono do druku 25 VII 2016

DOROTA GODYŃ

### **Evaporative cooling in preventing the effects of heat stress in pigs and cattle**

#### SUMMARY

High air temperatures disrupt animal physiology and behaviour with negative consequences on animal productivity. In order to prevent the effects of heat stress, new technological solutions have been elaborated. Currently methods based on water evaporation are gaining popularity. These include cooling systems that reduce air temperature, indirectly contributing to the improvement of animal comfort. Another effective method is direct wetting of the skin. Studies show that these technologies reduce respiratory rate, skin temperature and rectal temperature. Cooling systems have also a positive impact on meat quality of fattening pigs, the somatic cell count of cow's milk, and birth weight and weight gains of piglets.

Key words: evaporative cooling, behaviour, physiology, production