

TERMOWIZJA JAKO METODA DIAGNOSTYCZNA

Dorota Mazur, Eugeniusz Herbut, Jacek Walczak

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

Początki termowizji (termografii) związane są z odkryciem w 1800 roku przez angielskiego astronoma Friedricha Wilhelma Herschela promieniowania podczerwonego. Dalsze badania, realizowane w drugiej połowie XIX w., pogłębiły wiedzę na temat podczerwieni, następstwem czego były prawa stworzone przez Kirchoffa, Boltzmana, Wiena i Plancka.

W połowie XX w., w wyniku intensywnej pracy nad militarnym zastosowaniem techniki podczerwieni, zbudowano pierwsze wskaźniki podczerwone, a w latach 60. pojawiły się pierwsze urządzenia termowizyjne do zastosowań cywilnych. Takim urządzeniem jest kamera termowizyjna.

Zasada termowizji opiera się na tym, że każde ciało, którego temperatura jest wyższa od zera bezwzględnego, emituje promieniowanie cieplne. Dziś wiemy, że promieniowanie to jest częścią spektrum elektromagnetycznego, a długość jego fali mieści się w granicach od 760 nm do 1 mm. Jest ono wykrywane i mierzone przez urządzenia termowizyjne dwoma sposobami. Z pierwszym mamy do czynienia wówczas, kiedy detektor termiczny pochłania całkowicie promieniowanie podczerwone o każdej długości fali, z drugim, gdy detektor fotonowy reaguje jedynie na promieniowanie o określonej długości fali. Detektor kamery termowizyjnej umożliwia zmianę energii promieniowania podczerwonego na sygnał elektryczny. W poszczególnych modułach przetwarzania sygnału ulega on wzmocnieniu, konwersji na postać cyfrową i zamianie na wartości temperatur poszczególnych punktów macierzy obrazu. Punktom tym (pikselom) przyporządkowane zostają kolory z palety barw. W ten sposób powstaje kolorowy termogram — mapa rozkładu temperatury na badanym obiekcie. Obraz ten wyświetlany jest na monitorze komputera. Termogramy są ilościowym odzwierciedleniem temperatury powierzchni badanych ciał, ponieważ ilość oddawania przez ciała energii jest funkcją ich temperatury.

Współcześnie termowizja staje się coraz bardziej popularną metodą badawczą. Jej dużą zaletą jest łatwość dokonywania pomiarów oraz całkowita bezinwazyj-

ność. Pomiary kamerą termowizyjną są bezpieczne zarówno dla badanego, jak i badającego, dlatego też jej zastosowanie jest ogromne i dotyczy różnych dziedzin. Badania termowizyjne są stosowane, na przykład, w budownictwie; m.in. do kontroli stanu izolacji termicznej budynków, poszukiwania miejsc uchodzenia ciepła z pomieszczeń, lokalizacji zawilgoceń.

Zastosowanie technologii diagnostyki termowizyjnej znalazło uznanie także w wielu koncernach energetycznych na całym świecie, m.in. do monitorowania linii energetycznych, transformatorów oraz niektórych traktów ciepłych. Stosowana jest często w przemyśle do kontrolowania procesów technologicznych, czy też szczelności instalacji pneumatycznych i gazowych. W ciepłownictwie kamerę na podczerwień używa się m.in. do badania stanu izolacji termicznej rurociągów, sieci ciepłowniczych, kontroli kotłów energetycznych, szczelności kominów.

Metody termowizyjne stosowane są także często w policji, ratownictwie, straży granicznej i oczywiście w wojsku.

Zastosowanie termowizji w medycynie

Termowizja pełni ważną rolę jako narzędzie diagnostyczne w medycynie. Zmiany temperatury stanowią jeden z najwcześniejszych objawów procesów patologicznych zachodzących w organizmie. Metody termograficzne umożliwiają określenie tych zmian pod kątem wartości i rozkładu przestrzennego. Na ogół jako odniesienie przyjmuje się temperaturę tkanek otaczających badany obszar lub symetryczny obszar ciała (Żuber i Jung, 1997).

O rozkładzie temperatury na powierzchni ciała decyduje temperatura tkanek narządów wewnętrznych, przewodnictwo tkanki mięśniowej i tłuszczowej oraz emisyjność cieplna skóry. Dlatego temperatura, którą mierzymy na powierzchni skóry, jest funkcją temperatury narządu wewnętrznego i własności ciepłych tkanek oddzielających ten narząd od powierzchni ciała. Wszelkie zmiany chorobowe powodują zmianę strumienia ciepła wytwarzanego przez daną tkankę, co wpływa na temperaturę zarówno jej samej, jak i tkanek otaczających, w tym także i powierzchnię skóry.

Często w diagnostyce medycznej wykorzystuje się termografię dynamiczną. Polega ona na stosowaniu podczas badania dodatkowych źródeł energii wymuszających zmianę temperatury badanego ciała w celu uwidocznienia interesujących nas cech badanego obiektu. Jako wymuszenie stosuje się fale dźwiękowe, mikrofałe, fale podczerwone. Podczas badania rejestruje się sekwencję termogramów w celu zobrazowania zmian temperaturowych w czasie (Kaczmarek, 2001).

Interesujące publikacje z zakresu stosowania termografii w badaniach medycznych dotyczą wykorzystywania tej metody w monitorowaniu układu krążenia. Pomiaru szybkości przepływu krwi w naczyniach krwionośnych za pomocą obrazów termicznych dokonywali Gordon i in. (1998). Diagnostowania, przy udziale termografii, zakrzepów żylnych podjął się Harding (1998). Bhatia i in. (2003) diagnozowali przy pomocy tej metody zmiany miażdżycowe. Znana jest także rola zapisów termograficznych przy określaniu stopnia schłodzenia serca podczas operacji kardiologicznych (Kaczmarek, 2001).

Szczególne zastosowanie ma termografia w diagnozowaniu raka piersi. Już w 1961 roku Lloyd-Williams i Handley opublikowali badania dotyczące tej choroby. Spośród 57 pacjentek z klinicznie wykrytym rakiem piersi, dzięki detekcji promieniowania podczerwonego, udało się potwierdzić diagnozę u 54 z nich. Autorzy zaobserwowali, że chore tkanki miały o 1–2°C wyższą temperaturę.

Gautherie i Pasteur (1982) analizowali mechanizmy rozchodzenia się ciepła w chorej piersi. Potwierdzili oni opinię, iż chora tkanka na skutek zmiany jej metabolizmu emituje wyższą temperaturę. Udowodnili również, że na podstawie wielkości produkcji ciepła przez chorą tkankę można określić czas jej podwojenia.

Gamagami i in. (1997) ustalili między innymi, że zdjęcia termiczne są przydatnym narzędziem do obserwacji wyników chemoterapii.

Według Keyserlinka i in. (2000), termografia jest doskonałym narzędziem wspomagającym badanie kliniczne i mammograficzne w wykrywaniu nowotworów piersi. Autorzy pokazują, że przez kombinację badania mammograficznego, klinicznego i termograficznego można dojść do osiągnięcia 98% wykrywalności tej choroby.

Termografię stosuje się często przy diagnozowaniu chorób narządów ruchu. Jest także ważnym narzędziem przy identyfikacji dysfunkcji układu nerwowego odpowiedzialnej za ból. Takie badania przeprowadzał Hooshmand (1998), który za pomocą termowizji monitorował pacjentów z bólami o różnej etiologii. Uzyskał obrazy w hipertermii i hipotermii, co było podstawą do wyjaśnienia zjawisk neurologicznych, będących przyczyną bólu. Termografia może być także według niego wykorzystywana przy ocenie czasowego porażenia nerwów, jak i w przypadku stałego ich uszkodzenia.

Znaczące okazało się wykorzystanie termogramów przy diagnozowaniu łuszczykowego zapalenia stawów (Maleszka i in., 2003). Porównanie obrazów termograficznych wykonanych u osób z klinicznie stwierdzoną chorobą oraz u pacjentów wolnych od łuszczykowego zapalenia stawów (stanowiących grupę kontrolną) dało ciekawe wyniki. U pacjentów chorych w termogramach widoczna była asymetria termalna pomiędzy stawami, przekraczająca 0,5°C. Chore stawy w obrazach charakteryzowały się przy tym wyższą temperaturą.

Jak wynika z badań Nitery (2003), termografia może być pomocna przy określeniu skuteczności ćwiczeń rehabilitacyjnych. Autorka objęła badaniami pacjentów po operacjach mikrochirurgicznych kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Pomiaru temperatury skóry w okolicy lędźwiowo-krzyżowej wykonywane u pacjentów potwierdziły skuteczność zabiegów rehabilitacyjnych. Średnie statystyczne temperatury badanego obszaru ciała były niższe w ostatnim dniu leczenia od zarejestrowanych w pierwszym dniu. Badania wykazały, że istnieje istotny statystycznie związek pomiędzy pomiarami temperatury a stanem mięśni przykręgosłupowych badanej okolicy lędźwiowo-krzyżowej.

Znane są badania wykorzystujące termografię do oceny rozległości oparzeń i chorób skóry. Na przykład, praca Zhu i Xin (1999) dotyczy obserwacji temperatury skóry po oparzeniu.

Termografia sprawdziła się także przy badaniach pacjentów z łuszczycą. Przeprowadzone przez Zalewską i in. (2003) obserwacje dowodzą, że jest ona

doskonałym narzędziem przy diagnozowaniu tego schorzenia. Dzięki termografii możliwa jest lokalizacja zarówno zmian przewlekłych, stacjonarnych, jak i aktywnych. Zastosowanie kamery na podczerwień przy badaniu łuszczyca umożliwia klasyfikację zmian oraz ocenę aktywności procesu chorobowego, co ułatwia podejmowanie decyzji o dalszym leczeniu.

Zastosowanie termowizji w weterynarii

Widząc, jak niezwykle możliwości niesie ze sobą termowizja wykorzystywana w badaniach medycznych, nie dziwi fakt, że znajduje ona szerokie zastosowanie również w weterynarii czy przy obserwowaniu emisji ciepła u zwierząt. Jedną z pierwszych prac dotyczących tego tematu była publikacja Ceny i Clarka z 1973 r.

W literaturze dotyczącej zastosowania termografii (termowizji) u zwierząt najczęściej można znaleźć informacje o wykorzystywaniu tej techniki w hodowli koni (Purohit i McCoy, 1980; Schweinitz, 1999; Eddy i in., 2001). Łatwa i bezinwazyjna metoda wydaje się być idealnym rozwiązaniem przy diagnozowaniu chorób u tych zwierząt.

Śród monitorowanych przez Turner (1996) 254 przypadków kulawizn u koni, 86% wykazało istotne zmiany w zapisach termograficznych. Badanie przeprowadzone przez autorkę przy pomocy kamery termowizyjnej umożliwiło wykrycie zapaleń, zwłaszcza w górnej części kończyn. W omawianej publikacji udowodniono, że termografia wraz z badaniem klinicznym jest doskonałym narzędziem diagnostycznym w przypadku kulawizn u koni.

Możliwości zastosowania technik podczerwieni w rozpoznawaniu chorób narządu ruchu u tych zwierząt badali także Kulesza i Kaczorowski (2004). Opisane przez autorów przypadki dotyczyły, między innymi, ropnego zapalenia tworzywa kopytowego, aseptycznego zapalenia ścięgien oraz nieprawidłowej korekcji kopyta, co było przyczyną kulawizn. Badania te uświadamiają, że termogramy pozwalają ustalać przyczyny stanu chorobowego oraz dokładne miejsce jego występowania. Dzięki termogramom widoczne są również postępy w procesach rehabilitacyjnych uszkodzonych obszarów ciała.

Podobne wnioski wysuwa Nordfeldt (2004), według którego dzięki termografii można wykrywać zwichnięcia, nakostniaki, zapalenia ścięgien, więzadeł, uszkodzenie nerwów u koni, jak również pokazywać przebieg procesów naprawczych.

Ciekawe badania, dotyczące wpływu treningu wyścigowego na temperaturę powierzchni ciała koni, przeprowadzili Jodkowska i in. (2001). Autorzy badali klacze i ogiery różnych ras (pełnej krwi angielskiej, półkrewi, wielkopolskiej). Wykonano termogramy prawego i lewego boku, uwzględniając powierzchnie kłody oraz kończyn przednich i tylnych. Dokonywano pomiarów przed i po treningu. Na podstawie termogramów ustalono, że temperatura powierzchni ciała koni istotnie zależała od temperatury otoczenia i treningu. Klacze charakteryzowały się wyższą temperaturą powierzchni ciała, zwłaszcza nóg. Nogi tylne miały wyższą temperaturę niż przednie, choć różnica ta zmniejszała się po wysiłku fizycznym. Świadczy to, że podczas treningu wyścigowego bardziej obciążone były kończyny przednie.

Według Harper (2000), termowizja może być w weterynarii narzędziem diagnostycznym i prognostycznym w stanach chorobowych zwierząt. Autorka opisuje zastosowanie metod termowizyjnych nie tylko przy badaniu koni, lecz także psów czy kotów.

Nikkhah i in. (2005), stosując termografię, obserwowali rozkład temperatury na racicach krów w różnych stadiach laktacji. Badacze stwierdzili, że krowy we wczesnym stadium charakteryzowały się wyższą temperaturą racic.

Hurnik i in. (1984), rejestrując emisję ciepła skóry krów doszli do wniosku, że termografia jest doskonałym narzędziem, dzięki któremu można łatwo i wcześniej wykrywać choroby u bydła. Podobne wnioski wysuwają autorzy pracy poświęconej wirusowym infekcjom u cieląt (Schaefer i in., 2004).

Schaefer i in. (2006) zajmowali się chorobami układu oddechowego u cieląt, ich detekcją przy użyciu technik podczerwieni oraz zastosowaniem tlenu azotu przy leczeniu tych schorzeń. Badacze wysunęli wnioski, że dzięki termografii można wcześniej wykrywać schorzenia układu oddechowego cieląt niż przy pomocy tradycyjnych metod klinicznych.

Kamera termowizyjna była wykorzystywana przy badaniu dzikich zwierząt z ogrodów zoologicznych (Kouba i Williard, 2005). Stosowano ją tam m.in. do wykrywania chorób stóp u afrykańskich słoni, przy monitorowaniu termoregulacji małych ssaków czy do obserwacji zwierząt w ciemności. Rejestrowano także regulację ciepła u krokodyli i żółwi w zależności od czynników środowiskowych. Badacze ustalili, że kamera na podczerwień może posłużyć także jako narzędzie do określania późnej ciąży u zwierząt, jak również jest pomocna przy diagnozowaniu rui.

Hurnik i in. (1985) na podstawie temperatury skóry ustalali ruję u krów mlecznych. Tym samym zagadnieniem zajmowali się Brehme i in. (2003).

Hellebrand i in. (2003), monitorując temperaturę ciała ciężarnych jałówek uznali, że za pomocą termowizji nie da się z dużą pewnością ustalić cielenności, natomiast przy diagnozowaniu rui kamera na podczerwień może mieć istotne znaczenie. Z kolei Bowers i in. (2004) używali w swoich obserwacjach termografii jako narzędzia wykrywającego ciążę, także u kłaczy.

Znane są również prace dotyczące wykorzystywania termogramów do detekcji stanów chorobowych wymienia u krów. Zapalenie gruczołu mlekowego jest częstym zjawiskiem występującym w stadach mlecznych. Mastitis powoduje istotne spadki w produkcji, dlatego też niezwykle ważne jest jego wczesne wykrywanie.

Tematyką tą zajmowali się między innymi Schutz i in. (2000), zakażając poszczególne ćwiartki wymienia chorobotwórczymi drobnoustrojami *Staphylococcus aureus* i obserwując (za pomocą termowizji), jak zmienia się temperatura po wtargnięciu bakterii. Według nich, termowizja może być przydatnym narzędziem do wczesnej detekcji zapalenia wymienia.

Scott i in. (2000), stosując omawianą technikę ustalili, że wtargnięcie chorobotwórczych drobnoustrojów związane jest ze wzrostem temperatury wymienia o 2,3°C. Ciekawych obserwacji dokonali Berry i in. (2003). Używając kamery na podczerwień ustalili oni, że w ciągu dnia istnieją pewne charakterystyczne wahania

temperatury na powierzchni wymienia. Zakłócenie tego rytmicznego wahania może być sygnałem o początkach zapalenia gruczołu mlekowego. Zatem i ci autorzy potwierdzają tezę o istotności zastosowania termowizji przy wczesnej detekcji mastitis.

Zastosowanie termowizji w zootechnice

Komfort zwierząt, czy też ich dobrostan, jest bardzo ważnym czynnikiem wpływającym na efektywność produkcji, zwłaszcza w obecnych czasach, gdy nacisk konsumenta wymusza u producentów humanitarne postępowanie ze zwierzętami i zapewnienie im wysokiego poziomu dobrostanu. Z pojęciem dobrostanu ściśle związane jest zjawisko stresu u zwierząt. Istnieją różne techniki jego pomiaru, najczęściej jednak mierzy się poziom kortyzolu we krwi. Jak twierdzą Stewart i in. (2005), takie inwazyjne metody same w sobie mogą być przyczyną wystąpienia reakcji stresowej u zwierzęcia, dlatego konieczne jest szukanie nieinwazyjnych technik pomiarów. Autorzy ci twierdzą, że doskonałą metodą do oceny stresu, a tym samym w pewnym stopniu do oceny dobrostanu u zwierząt, jest termowizja.

Knizkova i in. (2002) ustalali wpływ naturalnej wentylacji na komfort cieplny zwierząt. Badane krowy mleczne utrzymywane były w oborze kurtynowej. Poszczególne części ciała zwierzęcia były monitorowane, wyniki zapisywane w postaci termogramów, a następnie poddawane analizie. Z omawianych badań wynikało, że zmiana temperatury środowiska ma wpływ na zmianę ciepłoty ciała zwierząt. Najmniejsze zmiany temperatury pod wpływem czynników zewnętrznych notowano na powierzchni wymienia.

Wśród badań dotyczących wykorzystywania kamery na podczerwień przy obserwowaniu rozkładu temperatur wymienia ważne miejsce zajmują prace Paulrud i in. z 2002 oraz 2005 roku. W pierwszej pracy autorzy za pomocą termowizji obserwowali rozkład temperatur na strzykach u krów podczas doju dwiema technikami. Zwierzęta dojone były aparatem ze standardowymi gumami strzykowymi oraz specjalnym aparatem o bardziej miękkich gumach. Dokonano pomiarów termograficznych strzyków przed przygotowaniem do doju, po przygotowaniu oraz po doju. Brano pod uwagę podstawę strzyka, jego część środkową i wierzchołek. Jednym z wniosków wysuniętych przez badaczy było to, że aparat z bardziej miękkimi gumami ma mniejsze zastosowanie przy masażu części wierzchołkowej strzyka, natomiast istotnie wpływa na cyrkulację płynów u jego podstawy i w zatoce strzykowej.

Paulrud i in. (2005) obserwowali strzyki przy pomocy termowizji oraz ultrasonografii. Podobnie jak w omawianym wcześniej doświadczeniu, badali oni wpływ dwóch technik doju (standardowy aparat udojowy i specjalny aparat z bardziej miękkimi gumami) na strzyki. Zarówno ultrasonografia, jak i termowizja okazały się dobrymi metodami do badania tkanek gruczołu mlekowego. Schmidt i in. (2004), badając temperaturę wymienia 16 krów rasy holsztyńskiej, określili relację pomiędzy rozkładem temperatur na wymieniu przed i po doju a produkcją mleka. Badacze podzielili zwierzęta na dwie grupy — krowy w stadium wysokiej

i niskiej laktacji. Obrazy termograficzne rejestrowane były dla każdego wymienia z trzech płaszczyzn — lewej i prawej przedniej oraz tylnej. Badania te pokazały, że krowy w wysokiej laktacji miały wyższą temperaturę wymienia zarówno przed, jak i po doju w porównaniu z krowami w niskiej laktacji.

Znaczenie okrywy włosowej dla regulacji cieplnej u lam badała Gerken (1997). Autorka, posługując się kamerą termowizyjną, notowała emisję ciepłą skóry tych zwierząt przed i po strzyżeniu. Usuwanie okrywy włosowej przeprowadzone było dwoma sposobami: nożycami ręcznymi oraz maszynką elektryczną. Po dokonaniu strzyży maszynką elektryczną emisja ciepłoty skóry wzrosła w porównaniu ze stanem wyjściowym o 23%, a tylko o 5% w przypadku strzyży nożycami ręcznymi. Autorka twierdzi, że całkowite usunięcie okrywy włosowej nie polepsza termoregulacji u zwierząt oraz że obecność włosów jest konieczna do ochrony skóry przed niekorzystnym działaniem promieni słonecznych.

Badacze Lunstra i Coulter (1997) prowadzili obserwacje na 75 buhajach. Rejestrowali oni kamerą termowizyjną temperaturę moszny tych zwierząt. Zauważyli, że samce o anormalnym rozkładzie temperatur w mosznie charakteryzują się niższymi wskaźnikami rozrodczymi.

Zależność pomiędzy temperaturą powierzchni moszny a temperaturą jąder u baranów badali przy pomocy termowizji Coulter i in. (1998).

Termowizja ma, jak już wspomniano, duże znaczenie w budownictwie, także w budownictwie inwentarskim. Wykorzystywana jest przy konstruowaniu nowych rozwiązań technologicznych dla zwierząt i przy ocenie budynków inwentarskich.

Przykładem publikacji dotyczącej tej właśnie tematyki jest praca Kuczyńskiego i Przybyłej (2002). Autorzy monitorowali kamerą termowizyjną pomieszczenie dla prosiąt. Dzięki zapisom termograficznym widoczne były miejsca ucieczki ciepła z budynku, którymi okazały się szczeliny w suficie. Nadolna i in. (2004) to autorzy publikacji dotyczącej analizy rozkładu temperatur w gniazdach prosiąt. Kamera umożliwiała obserwację rozkładu ciepła w gniazdach podgrzewanych podłogowo, w różnym stopniu zabudowanych (model I bez ścian bocznych; model II z zadaszeniem; model III z 3 ścianami i zadaszeniem; model IV z 3 ścianami oraz model V z 3 ścianami, dachem i kurtyną z przodu). Obrazy termograficzne pokazały związek pomiędzy stopniem zabudowy gniazda a wzrostem temperatury. Średnia temperatura powierzchni w modelu V w porównaniu z modelem I wzrosła o 3,93°C. Autorzy sugerują, że taki wzrost temperatury może mieć wpływ na rozwój i behavior prosiąt.

Metody termografii stosuje się również w przypadku oceny przyżyciowej zwierząt rzeźnych i ich mięsa po uboju. Szczegółne miejsce zajmują badania dotyczące występowania stresu przedubojowego u zwierząt rzeźnych i jakości ich mięsa.

Stres przedubojowy u zwierząt jest czynnikiem w dużym stopniu wpływającym na produkcję ciepła w organizmie. Według Schaefera i in. (1988), stres ten powoduje początkowo wzrost, a następnie, po upływie kilku godzin, spadek emisji ciepła z organizmu zwierząt. Występowanie tego zjawiska zależne jest od takich czynników stresotwórczych, jak transport zwierząt do rzeźni, ograniczenie poży-

wienia przed ubojem czy też od samej podatności zwierzęcia na stres. Interesujące doświadczenie z tej dziedziny zostało opisane przez Schaefera i in. (1989). Dotyczyło ono interpretacji termogramów świń o różnej podatności na stres (genotypy *NN*, *Nn* oraz *nn*) w powiązaniu z jakością ich mięsa. Zapisy termograficzne świń uzyskano monitorując żywe zwierzęta z boku oraz od strony grzbietu. Zarejestrowano także obrazy termograficzne półtuszy 45 minut po uboju. Pobrano również i poddano ocenie próbki mięsa. Analiza statystyczna termogramów wykazała brak różnic w średniej temperaturze ciała żywych zwierząt z różnymi genotypami. Termogramy tuszy również nie różniły się statystycznie. Autorzy dostrzegli jednakże, że u świń z genotypem *nn* widoczne były w okolicy barków miejsca o wysokiej temperaturze ($>31^{\circ}\text{C}$). U tej grupy świń zanotowano także wyższą niż u pozostałych średnią temperaturę w okolicy zadu. Obserwacje te potwierdzają inni badacze, jak Lucke i Hall (1983) oraz Gariepy i in. (1989).

Trudny do wytłumaczenia wydaje się fakt, że świnię z genotypem *nn* charakteryzowała ujemna korelacja pomiędzy ich temperaturą ciała (zapis termograficzny zarejestrowany z boku zwierzęcia) a procentem wycieku swobodnego, jak i wymuszonego z mięsa.

Scott i in. (2002) prowadzili badania na bydle mięsnym przy użyciu termowizji. W doświadczeniu tym utrata ciepła przez zwierzęta była zestawiana z efektywnością ich przyrostów. Bydło żywione było *ad libitum* i utrzymywane w temperaturze -18°C i $+18^{\circ}\text{C}$ przez okres 3 tygodni. W 22. dniu eksperymentu mierzona była emisja ciepła z organizmu zwierzęcia (przy udziale termowizji). Przez cały okres mierzone było pobranie paszy oraz masa zwierząt. Z badań wynika, że istnieje istotna zależność pomiędzy oddawaniem ciepła a efektywnością przyrostów. Bydło charakteryzujące się niższą emisją ciepła z organizmu miało lepsze przyrosty.

Tak liczne publikacje dotyczące wykorzystywania termowizji świadczą o niezwykłej uniwersalności tej metody. Poza wszechstronnym zastosowaniem tej techniki w medycynie czy weterynarii, niebywale istotna z punktu widzenia zootechniki wydaje się jej przyszłość w produkcji zwierzęcej.

Podsumowując dotychczasowe wykorzystanie termowizji w zootechnice przewiduje się, że znajdzie ona dalsze zastosowanie w diagnozowaniu stanu fizjologicznego zwierząt gospodarskich. Wykorzystanie termowizji, zwłaszcza przy diagnozowaniu rui czy stanów chorobowych może mieć duże znaczenie.

W Polsce badania dotyczące zastosowania termowizji w produkcji zwierzęcej są jeszcze rzadkością, o czym świadczy niewielka ilość literatury krajowej. Istnieje jednak silna przesłanka do podejmowania badań i diagnostyki z wykorzystaniem obrazów termograficznych, których ilość wzrośnie w miarę zwiększania się dostępności, nie najtańszej obecnie, aparatury.

Wizualizacja procesów regulacji cieplnej u zwierząt gospodarskich to ogromne źródło wiedzy, dzięki któremu możliwe będą efektywniejsze działania dążące do zapewnienia dobrostanu zwierzętom, a tym samym poprawy efektywności produkcji.

Piśmiennictwo

- Berry R.J., Kennedy A.D., Scott S.L., Kyle B.L., Scheafer A.L. (2003). Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.*, 83 (4): 687–693.
- Bhatia V., Bhatia R., Dhindsa S., Dhindsa M. (2003). Imaging of the vulnerable plaque: new modalities. *South Med. J.*, 96 (11): 1142–1147.
- Bowers S., Gandy S., Anderson B., Ryan P., Willard S. (2004). Assessment of pregnancy in the mare using digital infrared thermography. ASAS/ADSA 2004 National Meeting (Abstract accepted and to be presented July 2004).
- Brehme U., Ahlers D., Beuche H., Hasseler W., Stollberg U. (2003). Is there a possibility of clinic application on infrared-thermography for diagnostics in oestrus detection in dairy cows? Academic Publishers: Proceedings 3rd Research and Development Conference of Central and Eastern European Institutes of Agricultural Engineering, Hungarian Institute of Agricultural Engineering, Gödöllő, 11–13.09.2003, pp. 137–142.
- Cena K., Clark J.A. (1973). Thermographic measurements of the surface temperatures of animals. *J. Mamm.*, 54: 1003–1007.
- Coulter G.H., Senger P.L., Bailey D.R. (1998). Relationship of scrotal surface temperature measured by infrared thermography to subcutaneous and deep testicular temperature in the ram. *J. Reprod. Fert.*, 84 (2): 417–423.
- Eddy A.L., Hoogmoed L.M. van, Snyder J.R. (2001). The role of thermography in the management of equine lameness. *Vet. J.*, 162 (3): 172–181.
- Gamagami P., Silverstein M.J., Waisman J.R. (1997). Infra-red imaging in breast cancer. 19th Annual International Conference of the IEEE-EMB Society, Chicago, USA, 2.10–30.11.1997.
- Garipey C., Amiot J., Nadai S. (1989). Ante-mortem detection of PSE and DFD by infrared thermography of pigs before stunning. *Meat Sci.*, 25: 37–41.
- Gautherie M., Pasteur L. (1982). Temperature and blood flow patterns in breast cancer during natural evolution and following radiotherapy. *Biomedical Thermology 1982*, Alan R. Liss, Inc., NY, pp. 21–64.
- Gerken M. (1997). Application of infra-red thermography to evaluate the influence of the fibre on body surface temperature in llamas. *European Fine Fibre Network, Occasional Publication*, 6: 65–71.
- Gordon N., Rispler S., Sideman S., Shofty R., Beyar R. (1998). Estimation of coronary blood flow by ECG gated cardiac thermography in open-chest conditions. *Physiol. Meas.*, 19: 353–366.
- Harding J.R. (1998). Thermal imaging in investigation of deep venous thrombosis (DVT). *Eur. J. Thermol.*, 1: 7–12.
- Harper D.L. (2000). The value of infrared thermography in the diagnosis and prognosis of injuries in animals. In: *Proceedings from InfraMation 2000*, 1, Orlando, Florida, pp. 115–122.
- Hellebrand H.J., Brehme U., Beuche H., Stollberg U. (2003). Östrus und Trächtigkeitdiagnostik mittels Thermografie. Jahrestagung der Deutschen Physiker-Gesellschaft 2003, Hannover, 24–28.03.2003.
- Hooshmand H. (1998). Is thermal imaging of any use in pain management? *Pain Digest.*, 8: 166–170.
- Hurnik J.F., Webster A.B., Boer S. de (1984). Detection of health disorders in dairy cattle utilizing a thermal infrared scanning technique. *Can. J. Sci.*, 64: 1071–1073.
- Hurnik J.F., Webster A.B., Boer S. de (1985). An investigation of skin temperature differentials in relation to estrus in dairy cattle using a thermal infrared scanning technique. *J. Anim. Sci.*, 61: 1095–1102.
- Jodkowska E., Dudek K., Bek-Kaczkowska I. (2001). Wpływ treningu wyścigowego na temperaturę powierzchni ciała koni różnych ras. *Rocz. Nauk. Zoot.*, Supl., 14: 63–72.
- Kaczmarek M. (2001). <http://www-med.eti.pg.gda.pl/~mariusz/termografia.html>.

- Keyserlink J.R., Ahlgren P.D., Belliveau E., Yu N., Yassa M. (2000). Functional infrared imaging of the breast. *Journal of IEEE Engineering in Medicine and Biology*, V — VII, pp. 30–41.
- Knizkova I., Kunc P., Koubkova M., Flusser J., Dolezal O. (2002). Evaluation of naturally ventilated dairy barn management by a thermographic method. *Livest. Prod. Sci.*, 77: 349–353.
- Kouba A., Williard S. (2005). What's new and "not" in zoo technology. *Communique, American Zoo and Aquarium Association*. March 2005, pp. 10–13.
- Kuczyński T., Przybyła K. (2002). Porous ceiling air inlet as a potential source of uncontrolled air exchange at nurseries with exhaust mechanical ventilation. <http://www.ejpau.media.pl/series/volume5/issue1/engineering/art-02.html>.
- Kulesza O., Kaczorowski M. (2004). Termografia jako jedna z technik diagnostyki obrazowej. *Med. Wet.*, 60 (11): 1143–1146.
- Lloyd-Williams K., Handley R.S. (1961). Infra-red thermometry in the diagnosis of breast disease. *Lancet*, 2: 1378–1381.
- Lucke J.N., Hall G.M. (1983). A study of the potential role brown adipose tissue in thermogenesis in the stress sensitive pigs. *Environment, drugs and thermoregulation*. 1st Int. Symp. Pharmacol. Thermoregulation. Saint Paul-de-Vince, pp. 169–170.
- Lunstra D.D., Coulter G.H. (1997). Relationship between scrotal infrared temperature patterns and natural-mating fertility in beef bulls. *J. Anim. Sci.*, 75: 767–774.
- Maleszka R., Rozewicka M., Parafiniuk M., Kempńska A., Mikulska D. (2003). Trial of thermographic investigations application in patient with psotriatic arthritis. *Dermatol. Klin.*, 5: 11–15.
- Nadołna M., Kuczyński T., Houszka H. (2004). Analysis of temperature distribution within the piglet creep area using the numerical technique. *Ann. Anim. Sci., Suppl.*, 1: 155–158.
- Nikkah A., Plaizier J.C., Einarson M.S., Berry R.J., Scott S.L., Kennedy A.D. (2005). Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. *J. Dairy Sci.*, 2005, 88: 2749–2753.
- Nitera A. (2003). Ocena termograficzna skuteczności ćwiczeń rehabilitacyjnych u pacjentów po operacjach mikrochirurgicznych kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. *Neuroskop*, 1, 5: 81–84.
- Nordfeldt K.J. (2004). *Faculty of Vet. Med. Anim. Sci.*, 1: 30.
- Paulrud C.O., Clausen S., Andersen P.E., Bjerring M., Rasmussen M.D. (2002). Infrared thermography to evaluate milking induced alterations in teat tissue fluid circulation, 2002 ADSA-ASAS-CSAS Joint annual meeting, Québec (CA), 21–25.07.2002. *J. Dairy Sci.*, 85 (Suppl. 1): p. 84.
- Paulrud C.O., Clausen S., Andersen P.E., Rasmussen M.D. (2005). Infrared thermography and ultrasonography to indirectly monitor the influence of liner type and overmilking on teat tissue recovery. *Acta Vet. Scand.*, 46 (3): 137–147.
- Purohit R.C., McCoy M.D. (1980). Thermography in the diagnosis of inflammatory process in the horse. *Am. J. Vet. Res.*, 41: 1167–1172.
- Schaefer A.L., Jones S.D.M., Tong A.K.W., Vincent B.C. (1988). The effects of fasting and transportation on beef cattle. 1. Acid–base–electrolyte balance and infrared heat loss of beef cattle. *Livest. Prod. Sci.*, 20: 15–24.
- Schaefer A.L., Jones S.D.M., Murray A.C., Sather A.P., Tong A.K.W. (1989). Infrared thermography of pigs with known genotypes for stress susceptibility in relation to pork quality. *Can. J. Anim. Sci.*, 69 (2): 491–495.
- Schaefer A.L., Cook N., Tessaro S.V., Deregts D., Desroches G., Dubeski L., Tong A.K.W., Godson D.L. (2004). Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Can. J. Anim. Sci.*, 84: 73–80.
- Schaefer A.L., Perry B.J., Cook N.J., Miller C., Church J., Tong A.K.W., Stenzler A. (2006). Infrared detection and nitric oxide treatment of bovine respiratory disease. *J. Vet. Res.*, 10 (1): 7–16.
- Schmidt S., Bowers S., Dickerson T., Graves K., Willard S. (2004). Assessments of udder temperature gradients pre- and post-milking relative to milk production in Holstein cows as determined by digital infrared thermography. *J. Anim. Sci.*, 82 (Suppl. 1): p. 460.

- Schutz M., Eicher S., Townsend J., Shaw G., Kocak D. (2000). Evaluation of early detection of Induced *Staphylococcus aureus* mastitis using infrared thermography. *J. Dairy Sci. (Suppl. 1)*: p. 150.
- Schweinitz D. (1999). Thermographic diagnosis in equine back pain. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, 15 (1): 161–177.
- Scott S.L., Schaefer A.L., Tong A.K.W., Lacasse P. (2000). Use of infrared thermography for early detection of mastitis in dairy cows. *Proceedings of the Canadian Society of Animal Science Annual Meeting*, Winnipeg, MB August 2000.
- Scott S.L., Schaefer A.L., Kennedy A.D., Christopherson R.J., Tong A.K.W., Harrison H. (2002). Predicting growth efficiency in life animals using infrared thermography (IRT). *J. Anim. Sci.*, 80, Suppl. 1: p. 213.
- Stewart M., Webster J.R., Schaefer A.L., Cook N.J., Scott S.L. (2005). Infrared thermography as non invasive tool to study animal welfare. *Anim. Welfare*, 14, 4: 319–327.
- Turner T.A. (1996). Thermography as an aid in the localization of upper hindlimb lameness. *Pferdeheilkunde*, 12: 632–634.
- Zalewska A., Gralewicz G., Owczarek G., Więcek B., Narbutt J. (2003). Próba jakościowej oceny łuszczyca za pomocą termografii. *Postępowanie Dermatologii i Alergologii*, 22, 3: 124–128.
- Zhu W.P., Xin X.R. (1999). Study on the distribution pattern of skin temperature in normal chinese and detection of the depth of early burn wound by infrared thermography. *Ann. New York Academy Sci.*, 888: 300–313.
- Żuber J., Jung A. (1997). *Metody termograficzne w diagnostyce medycznej*. Wyd. Bamar, Warszawa.

Zatwierdzono do druku 27 X 2006

DOROTA MAZUR, EUGENIUSZ HERBUT, JACEK WALCZAK

Infrared thermography as a diagnostic method

SUMMARY

Infrared thermography (thermovision) is a completely safe and non-invasive diagnostic method. Initially it found application in the army and industry, and later also in medicine, veterinary medicine and animal production. The principle of thermography is based on the fact that every body whose temperature is greater than absolute zero emits thermal radiation.

In live organisms, infrared radiation indirectly shows metabolic rate. Taking advantage of this phenomenon, many authors used an infrared thermography camera to diagnose diseases in humans. In medicine, infrared thermography has widely been used for detection of breast cancer.

Infrared thermography also enabled many diseases to be detected in animals. This method finds very wide application for imaging of lameness in horses. In veterinary medicine, infrared thermography is an important tool used for diagnosing udder mastitis in cows.

The role of thermovision in animal production is equally important. In one experiment, fluctuations in cow's body temperature were determined in a curtain barn. Another experiment investigated the importance of hair coat and the effect of shearing method on animal body radiation. Publications on the use of infrared thermography to detect oestrus in animals are also important.

Key words: infrared thermography, medicine, veterinary medicine, animal production