
Piotr KOSTENCKI*, **Tomasz STAWICKI***, **Paweł SĘDŁAK***

**TEMPERATURA WARSTWY WIERZCHNIEJ
ELEMENTÓW ROBOCZYCH NARZĘDZI ROLNICZYCH
PRZEZNACZONYCH DO UPRAWY GLEBY.
CZEŚĆ II – POMIARY TERMOWIZYJNE**

**TEMPERATURE OF THE TOP LEVEL SURFACE
OF PARTS OF AGRICULTURAL SOIL TILLING MACHINERY.
PART II – THERMOVISION MEASUREMENTS**

Słowa kluczowe:

termowizja, lemiesz płużny, dłuto głębosza, redlica łapy kultywatora, temperatura elementu roboczego

Key words:

thermovision, ploughshares, subsoiler shank, cultivator coulter and tooth wing, temperature of working object

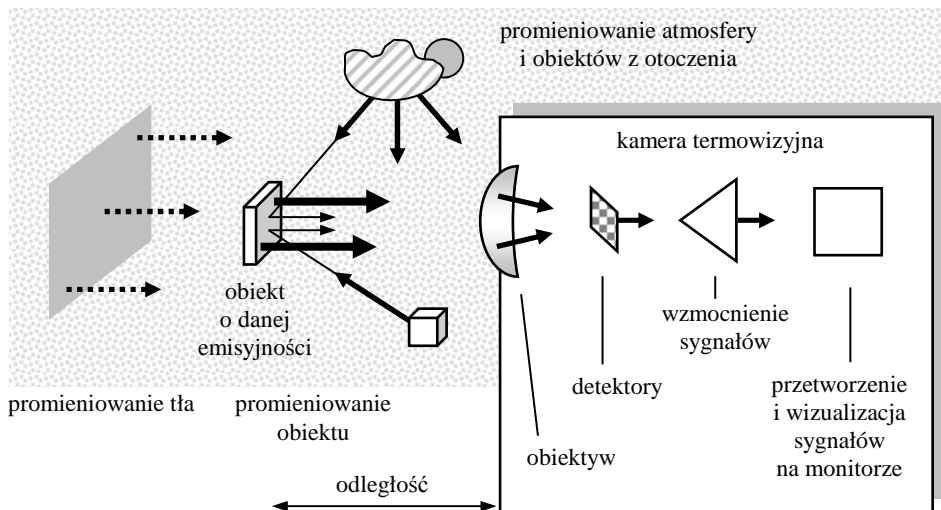
* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych, ul. Papieża Pawła VI nr 1, 71-459 Szczecin, Polska, e-mail: piotr.kostencki@zut.edu.pl, tomasz.stawicki@zut.edu.pl, pawel.sedlak@@zut.edu.pl.

Streszczenie

Za pomocą kamery termowizyjnej ustalono rozkład temperatury warstwy wierzchniej lemieszki płużnych, dłut głębosza i redlic łap kultywatora podczas ich użytkowania w warunkach glebowych występujących w czasie prac polowych. Dla lemieszki płużnych zaobserwowano bardziej zróżnicowany rozkład temperatury warstwy wierzchniej niż w przypadku dłut głębosza i redlic łap kultywatora. Części dziobowe lemieszki charakteryzowały się najwyższymi temperaturami (w szczególności przy uprawie gleby o małej wilgotności ~8,4%), co świadczy o dużym obciążeniu ze strony gleby tego obszaru elementów. Natomiast temperatura warstwy wierzchniej dłut i redlic była wyrównana, z nieznacznie większym przyrostem temperatury w okolicy połowy ich długości.

WPROWADZENIE

Pomiary temperatury wykonywane kamerą termowizyjną narażone są na określone zakłócenia i odchyłki wynikające m.in. z warunków i sposobu ich realizacji. Sygnał pomiarowy docierający do obiektywu kamery może, poza pożądanym promieniowaniem cieplnym wyemitowanym z obiektu badań, zawierać sygnały zakłócające, takie jak promieniowanie dochodzące do obiektu z otoczenia i odbijane od niego oraz promieniowanie emitowane przez tło i przechodzące przez badany obiekt (przy obiektach transparentnych), a także promieniowanie samej atmosfery (**Rys. 1**). W celu uzyskania dokładnego wyniku pomiaru należy również znać emisyjność powierzchni badanego obiektu,



Rys. 1. Schemat budowy kamery termowizyjnej i czynniki wpływające na pomiar temperatury obiektu

Fig. 1. Thermal camera scheme and parameters affecting the measured results

temperaturę otoczenia (t_a), wilgotność powietrza (znacząco wpływającą na pochłanianie promieniowania podczerwonego przy pomiarach prowadzonych dla odległych obiektów) oraz odległość od obiektu i dane te wprowadzić do oprogramowania kamery w celu uzyskania odpowiedniej korekty wskazań. W niektórych warunkach wykonywania pomiarów istotny jest też wpływ ciepłego promieniowania nieboskłonu, związany z odbiciem przez powierzchnię obiektu promieniowania pochodzącego z bezchmurnego, zimnego nieba (tzw. efekt zimnego nieba) [L. 1–3]. Za korzystną dla oceny termowizyjnej uznaje się sytuację pomiaru obiektów o równej bądź zbliżonej do siebie emisyjności, a jednocześnie bliskiej teoretycznemu maksimum, którym jest wartość współczynnika emisyjności ciała doskonale czarnego ($\epsilon = 1$). Trudno mierzone są natomiast ciała cechujące się dużą refleksyjnością, a tym samym małą emisyjnością własną, np. polerowane aluminium ($\epsilon = 0,05$) [L. 4]. W przypadku badań wykonywanych w warunkach otwartej przestrzeni, w szczególności kiedy pomiary dotyczą ciał cechujących się niską emisyjnością, zwraca się uwagę na zasadność ich realizacji przy zachmurzonym niebie [L. 2, 5, 6]. Ogranicza to efekt nagrzewania się obiektów od promieniowania słonecznego, zjawisko chłodzenia radiacyjnego oraz efekt zimnego nieba. W takich warunkach wykonywania pomiarów nie występuje też ryzyko uszkodzenia kamery termowizyjnej przez przypadkowe ustawienie jej obiektywu w kierunku słońca, wynikające z bardzo wysokiego poziomu natężenia strumienia radiacyjnego wysyłanego przez słońce w stosunku do czułości detektorów. Powyższe czynniki należy uwzględnić w warunkach pomiarów przeprowadzanych w otwartej przestrzeni, a takie występowały w pomiarach własnych.

Obecnie sprzęt termowizyjny znajduje coraz szersze zastosowanie [L. 7–9]. W przypadku techniki rolniczej stwierdzono przydatność termowizji w diagnostyce stanu technicznego maszyn rolniczych lub przebiegu wybranych procesów zachodzących podczas ich użytkowania [L. 10, 11].

Autorzy pracy podjęli próbę zastosowania kamery termowizyjnej do określenia rozkładu temperatury materiału warstwy wierzchniej elementów roboczych uprawowych narzędzi rolniczych, a także wyznaczenia jej wartości w określonych miejscach pomiarowych. Podczas użytkowania takich elementów następuje ich zużywanie wywołane oddziaływaniem twardych cząstek gleby [L. 12–14]. Tarcia cząstek gleby o powierzchnię elementu i elementarnym procesom jego zużywania ściernego [L. 15, 16] towarzyszy wydzielanie się ciepła ulegającego w części akumulacji w materiale elementu. W konsekwencji temperatura elementu wzrasta w stosunku do temperatury gleby (t_a), a kamera termowizyjna może zostać zastosowana do jej pomiaru i obrazowania. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że w przypadku ciał stałych źródłem promieniowania ciepłego jest przypowierzchniowa warstwa materiału [L. 17]. Zatem pomiary termowizyjne ciał stałych dostarczają informacji o stanie cieplnym ich warstwy wierzchniej, umożliwiając identyfikację obszarów różniących się temperaturą.

METODYKA

Badania przeprowadzono dla trzech rodzajów elementów roboczych narzędzi rolniczych pracujących w glebie, tj. lemiesz płużnych, dłut głębosza oraz redlic łap kultywatora. Elementy te opisano w I części pracy, w której przedstawiono wyniki kontaktowych pomiarów ich temperatury. Warunki użytkowania badanych elementów zostały również scharakteryzowane w I części pracy. W niniejszej części dla poszczególnych warunków pracy elementów zastosowano takie same oznaczenia symboliczne jak w części I (A i B – warunki pracy lemiesz płużnych, C – dłut głębosza, D – redlic łap kultywatora).

Do określenia rozkładu temperatury oraz pomiaru jej wartości w określonych miejscach pomiarowych wykorzystano kamerę termowizyjną Hotfind-Lxt o zakresie pomiarowym od -20 do 1500°C , czułości termicznej $0,08^{\circ}\text{C}$ dla 30°C oraz dokładności pomiaru wynoszącej dla zakresu mierzonych temperatur $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Pomiary wykonywano bezpośrednio po zakończeniu roboczego przejazdu i uniesieniu narzędzia, oczyszczeniu z gleby i pokryciu elementów roboczych cienką warstwą oleju wymieszanego z talkiem. Czas do zakończenia pomiaru wynosił około pół minuty. Na drodze teoretycznej ustalono, że ochłodzenie lemiesz wynikające z pokrycia jego powierzchni roboczej (natarcia) olejem o temperaturze o 1°C mniejszej niż temperatura lemiesz wynosi około $0,01^{\circ}\text{C}$. Elementy pokrywano mieszaniną oleju z talkiem w celu wyeliminowania refleksyjności ich powierzchni (**Rys. 2**). Emisyjność tak przygotowanej powierzchni ustalono w warunkach laboratoryjnych, na podstawie porównawczych pomiarów termowizyjnych i kontaktowych uprzednio nagrzanego i pokrytego powyższą mieszaniną lemiesz. Ustalona pomiarem kontaktowym



Rys. 2. Termogram fragmentu powierzchni roboczej korpusu płużnego – lemiesz pokryty cienką warstwą oleju wymieszanego z talkiem, pozostała część metaliczna

Fig. 2. Thermogram of part of plough body working surface – the ploughshare is covered with a thin oil and talc film, the other part is metallic

temperatura lemiesza, przy której dokonywano odpowiedniej kalibracji kamery, tak by uzyskać zbieżność wskazań termometru kontaktowego i kamery termowizyjnej, wynosiła 46,1°C. Emisyjność przygotowanej w ten sposób powierzchni była duża, tj. $\varepsilon = 0,95$.

W przypadku lemieszy płużnych użytkowanych w warunkach A, poza zdjęciem termowizyjnym powierzchni roboczej elementu, wykonano również zdjęcie termowizyjne powierzchni przeciwnej do niej. W pozostałych przypadkach termogramy zostały wykonane jedynie dla powierzchni roboczej elementów.

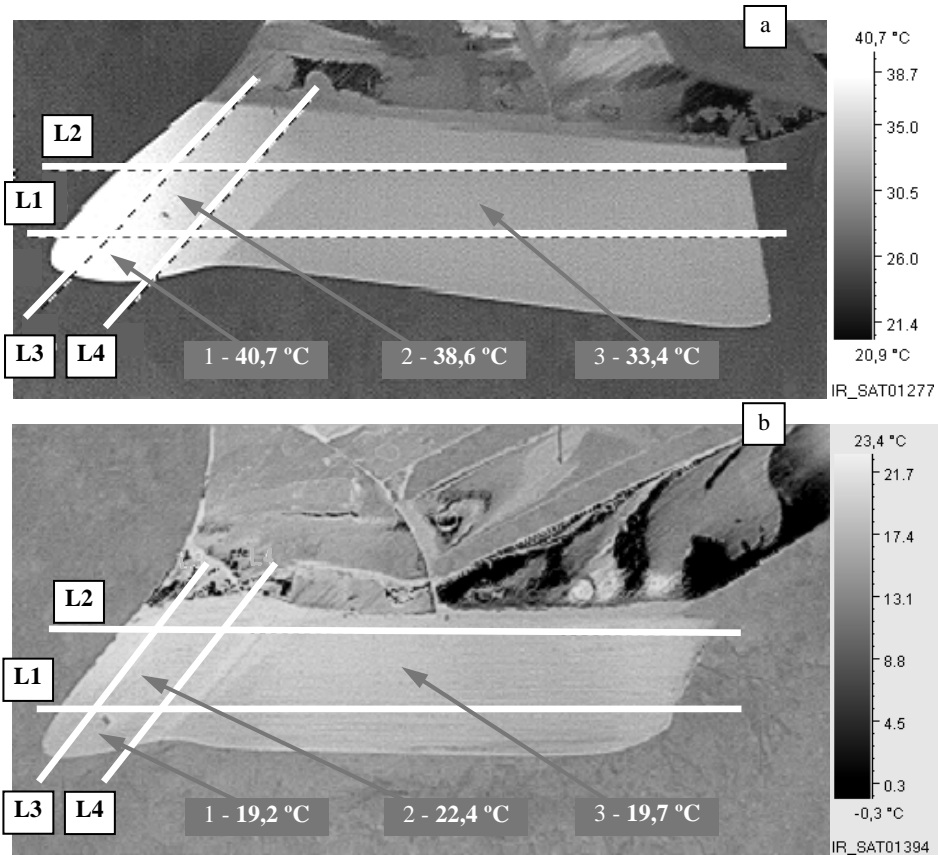
Wykorzystując oprogramowanie komputerowe przeznaczone do wykonywania analiz zdjęć termowizyjnych, zgromadzono dane niezbędne do wykonania rozkładu temperatury warstwy wierzchniej badanych obiektów, wzdłuż wybranych linii pomiarowych. Położenie linii pomiarowych przedstawiono na zdjęciach termowizyjnych elementów, które zamieszczono w dalszej części publikacji (**Rys. 3, 5, 7 i 9**). Do bezpośredniego graficznego przedstawienia profili temperatury wykorzystano program Excel, który według opinii autorów umożliwia sporządzenie czytelniejszych i łatwiejszych do opracowania rysunków niż standardowe oprogramowanie kamery. Dodatkowo na wspomnianych powyżej zdjęciach termowizyjnych podano wartości temperatury, które odczytano z termogramów powierzchni badanych elementów w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3, tj. w miejscach odpowiadających obszarom powierzchni badanych elementów, w których wykonano kontaktowe pomiary temperatury (część I pracy).

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Na **Rysunkach 3, 5, 7 i 9** zamieszczono termogramy badanych elementów. Natomiast **Rysunki 4, 6, 8 i 10** przedstawiają rozkład temperatury warstwy wierzchniej tych elementów wzdłuż założonych linii pomiarowych.

W przypadku lemieszy płużnych użytkowanych w warunkach A najwyższą temperaturę stwierdzono dla początkowego obszaru ich części dziobowych, co jest wyraźnie zauważalne na **Rysunku 3a**. Temperatura elementów w tym obszarze osiągała wartość wynoszącą około 41°C (zgodnie z rozkładem temperatury wzdłuż linii pomiarowych L1 i L3 – **Rys. 4**). W miarę zbliżania się do piersi odkładnicy temperatura dziobów zmniejszała się do wartości 35 i 33°C (linie pomiarowe L3 i L4 – **Rys. 4**). Stwierdzono ponadto wyższą temperaturę (do 5°C) dziobów od strony krawędzi polowej w stosunku do obszaru przyległego do części trapezowej lemieszy (**Rys. 4** – linie pomiarowe L1 i L2). Powiązać to można z większym obciążeniem dziobów od strony krawędzi polowej oraz tarciem gleby o jej powierzchnię przy odcinaniu ścianki bruzdy. Natomiast temperatura części trapezowych lemieszy była wyrównana i wynosiła około 33°C (**Rys. 4** – linie pomiarowe L1 i L2).

Temperatura elementów wyznaczona za pomocą kamery w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3 była od 4,1 do 5,3°C większa od zmierzonej termometrem cyfrowym, a więc większa od błędu pomiarowego kamery. W stosunku do temperatury określonej za pomocą termometru cyfrowego różnica ta wynosi średnio około 14%.

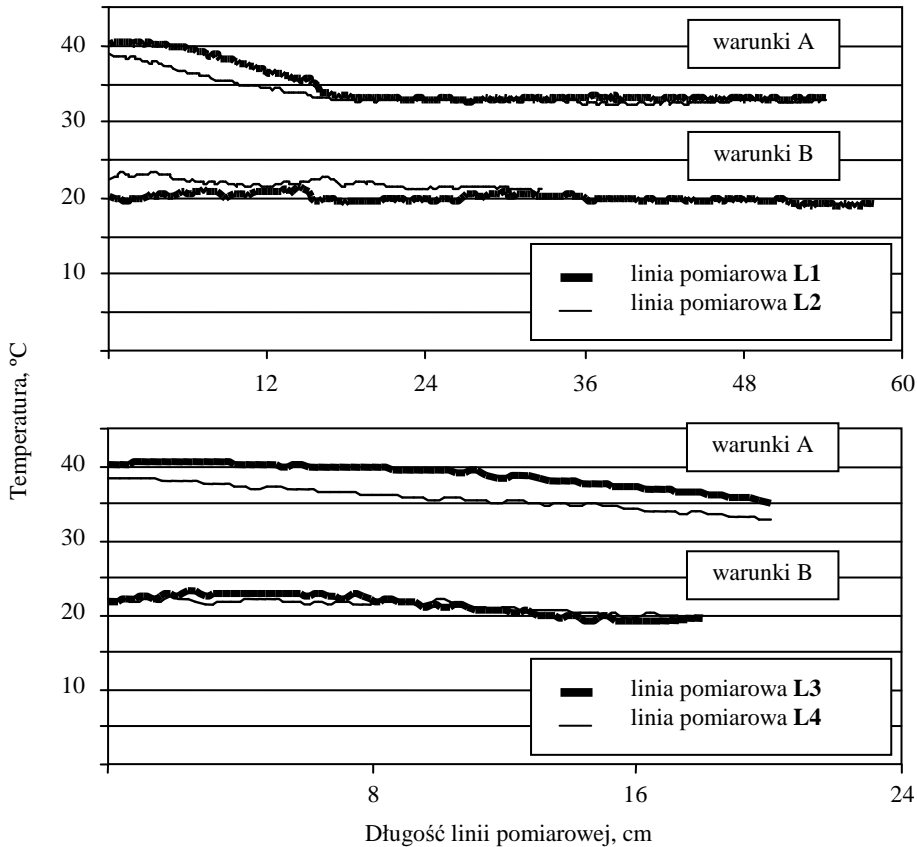


Rys. 3. Termogramy lemieszki płużnych użytkowanych w: (a) – warunkach A, (b) – warunkach B, z zaznaczeniem linii, dla których wykonano profilogramy rozkładu temperatury i podaniem wartości temperatury w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3

Fig. 3. Thermograms of ploughshares operated: (a) – under conditions A, (b) – under conditions B, with indication of the lines for which the temperature distribution profilograms were made and with temperature values at the measurement points 1, 2 and 3

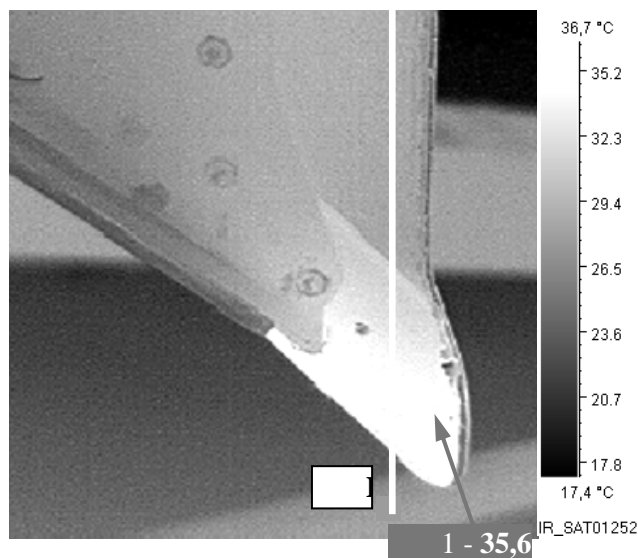
Obraz termiczny lemieszki (użytkowanego w warunkach A) wykonany od strony przeciwnej do powierzchni natarcia (**Rys. 5**) oraz rozkład temperatury wzdłuż linii L1 (**Rys. 6**) stanowią potwierdzenie zaobserwowanej wcześniej

zależności. Potwierdzono efekt największego przyrostu temperatury początkowego obszaru części dziobowej lemiesza oraz stabilizację wartości temperatury dla jego części trapezowej, przy jednocześnie ogólnie mniejszych bezwzględnych wartościach temperatury (odpowiednio dla części dziobowej i części trapezowej o około 5 i 3°C) w stosunku do wartości charakteryzujących powierzchnię roboczą elementu (**Rys. 4** – linia L1).



Rys. 4. Rozkład temperatury warstwy wierzchniej lemieszy płużnych wzdłuż linii pomiarowych L1, L2, L3 i L4 (Rys. 3) – powierzchnia robocza elementów użytkowanych w warunkach A i B

Fig. 4. Temperature distribution for the working surface of ploughshares along the measuring lines L1, L2, L3 and L4 – Fig. 3) – working surface of parts operated under conditions A and B



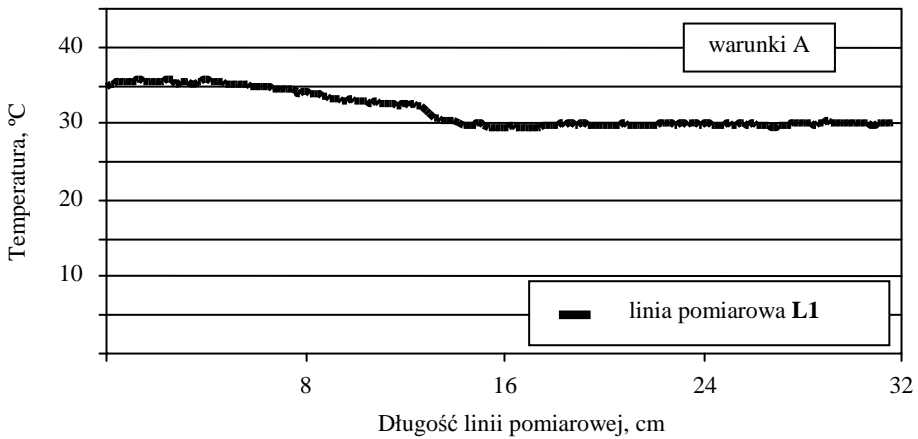
Rys. 5. Termogram lemiesza płuznego (warunki A) od strony przeciwnej do powierzchni natarcia, z zaznaczeniem linii, dla której wykonano profilogram temperatury i podaniem wartości temperatury w miejscu pomiarowym 1

Fig. 5. Thermogram of ploughshare (conditions A) for the side opposite to the attack surface, with indication of the line for which the temperature distribution profilogram was made and with the temperature value at the measurement point 1

Temperatura lemiesza zmierzona za pomocą kamery termowizyjnej w miejscu pomiarowym 1 leżącym na stronie przeciwnej do roboczej wynosiła $35,6^{\circ}\text{C}$ i była o $4,2^{\circ}\text{C}$ większa od ustalonej za pomocą termometru cyfrowego. Niemniej różnice w miejscu pomiarowym 1 pomiędzy wartościami temperatury zmierzonej na stronie roboczej oraz nieroboczej elementu i określone z zastosowaniem kamery termowizyjnej oraz termometru cyfrowego były zbliżone i wynosiły odpowiednio $5,1$ i $4,6^{\circ}\text{C}$.

Temperatura lemieszki płuznych pracujących w warunkach B była mniejsza niż w warunkach A (**Rys. 4**). Użytkowane one były w glebie o około 1,7-krotnie większej wilgotności i o około 1,5-krotnie mniejszej temperaturze. Większa wilgotność gleby była przyczyną mniejszej jej zwięzłości. Dodatkowo orka wykonywana w warunkach B była płytsza ($17,9$ cm) niż w warunkach A ($20,5$ cm). Czynniki te, pomimo większej prędkości orki wykonywanej w warunkach B, mogły wpłynąć na zmniejszenie nacisku wywieranego przez glebę na powierzchnię lemieszki, a tym samym na ograniczenie procesów tarcia i zużycia. Ponadto większa zawartość wody występująca w glebie w analizowanym przypadku mogła przyczynić się do korzystniejszych warunków chłodzenia elementów.

Rozkład temperatury lemieszy użytkowanych w warunkach B cechował się mniejszą zmiennością niż elementów zastosowanych w warunkach A (**Rys. 3 i 4**). Wyznaczone wzdłuż linii pomiarowych L1, L2, L3 i L4 wartości temperatury wahały się w zakresie od około 19 do 23°C (**Rys. 4**). Stwierdzono wyższą (do 3°C) temperaturę lemiesza w linii pomiarowej L2 położonej w pobliżu odkładnicy niż w linii L1 przebiegającej bliżej ostrza. Jest to szczególnie zauważalne w początkowym zakresie linii pomiarowej L2, na odcinku przekraczającym połowę długości elementu (**Rys. 4**).



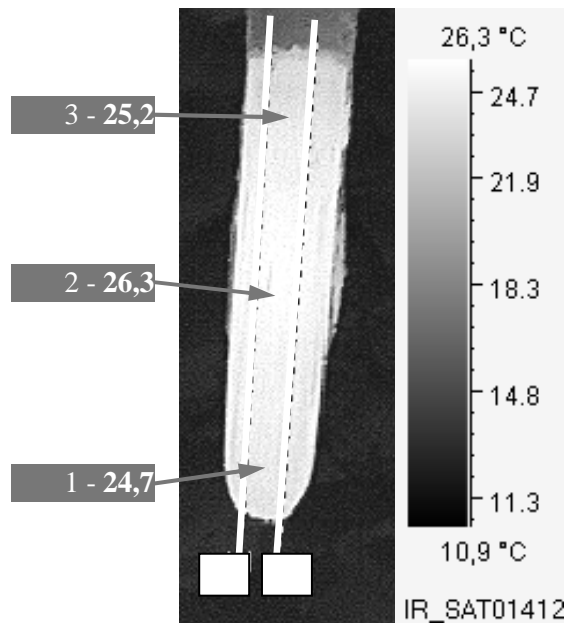
Rys. 6. Rozkład temperatury lemiesza płuźnego (warunki A) wzdłuż linii pomiarowej L1 (Rys. 5) poprowadzonej od strony przeciwnej do powierzchni natarcia

Fig. 6. Temperature distribution for the ploughshare working surface (conditions A) along the measuring line L1 (**Fig. 5**) on the side opposite to the attack surface

W warunkach B, w przeciwieństwie do warunków A, nie stwierdzono większej temperatury dziobów od strony krawędzi połowej w stosunku do obszaru przyległego do części trapezowej elementów (**Rys. 4**). Natomiast charakterystyczne dla warunków B było to, że dzioby osiągały największą temperaturę w pewnej odległości od ostrza elementów (około jednej trzeciej długości), a nie bezpośrednio przy krawędzi ostrza, jak miało to miejsce w warunkach A (**Rys. 4**). Stan taki został również stwierdzony w pomiarach kontaktowych temperatury.

W warunkach B różnice w wynikach pomiarów termowizyjnych i kontaktowych, w zakresie zarejestrowanych bezwzględnych wartości temperatury w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3, nie przekroczyły błędu pomiarowego kamery i w odniesieniu do temperatury elementów określonej za pomocą termometru cyfrowego wynosiły przeciętnie około 3%.

Temperatura dłut głębosza podczas pracy elementów w warunkach C mieściła się w zakresie od około 23 do 26°C (**Rys. 7 i 8**), a więc zróżnicowanie temperatury nie było duże. Wyznaczone rozkłady temperatury wzdłuż linii pomiarowych L1 i L2 wskazują na symetryczne nagrzewanie się elementów oraz większą o około 1,5°C temperaturę środkowego ich obszaru (**Rys. 8**). Podczas pomiarów kontaktowych nie stwierdzono takiego rozkładu temperatury (zmienność wartości temperatury była mniejsza – od 23 do 24°C, a najwyższą temperaturę zarejestrowano w miejscu pomiarowym 1 leżącym najbliżej ostrza elementów).

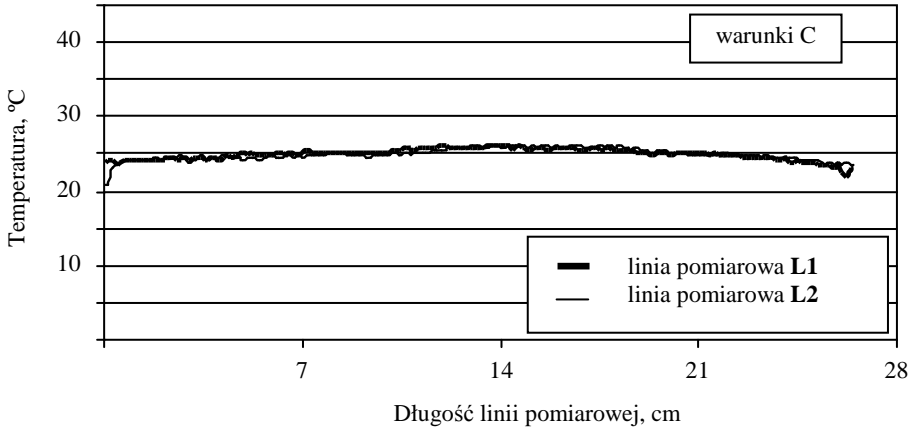


Rys. 7. Termogram dłuta głębosza użytkowanego w warunkach C, z zaznaczeniem linii, dla których wykonano profilogramy temperatury i podaniem wartości temperatury w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3

Fig. 7. Thermogram of subsoiler shank operating under conditions C, with indication of the line for which the temperature distribution profilograms were made and with temperature values at the measurement points 1, 2 and 3

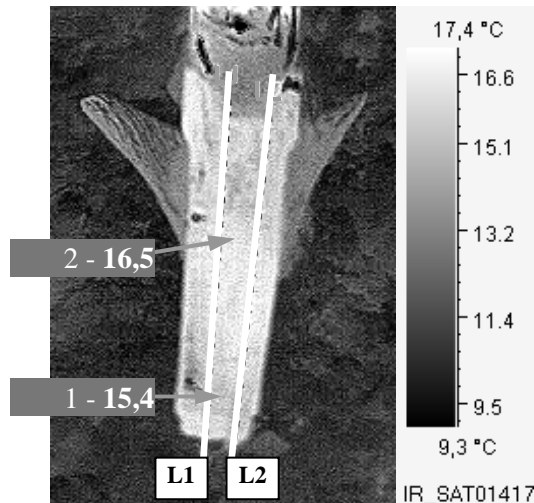
Różnice w wynikach pomiarów temperatury dłut wykonanych termometrem cyfrowym i kamerą termowizyjną były względnie małe. Temperatura dłut zmierzona za pomocą kamery termowizyjnej w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3 była od 0,7 do 2,7°C większa niż zmierzona termometrem cyfrowym. W odniesieniu do temperatury powierzchni elementów określonej za pomocą termometru cyfrowego stanowi to średnio około 8%.

Wyniki pomiarów termowizyjnych redlic łap kultywatora użytkowanych w warunkach D (**Rys. 9 i 10**) wykazują zbieżność z wynikami uzyskanymi dla dłut głębosza pracujących w warunkach C. Podobnie jak przy dłutach, redlice



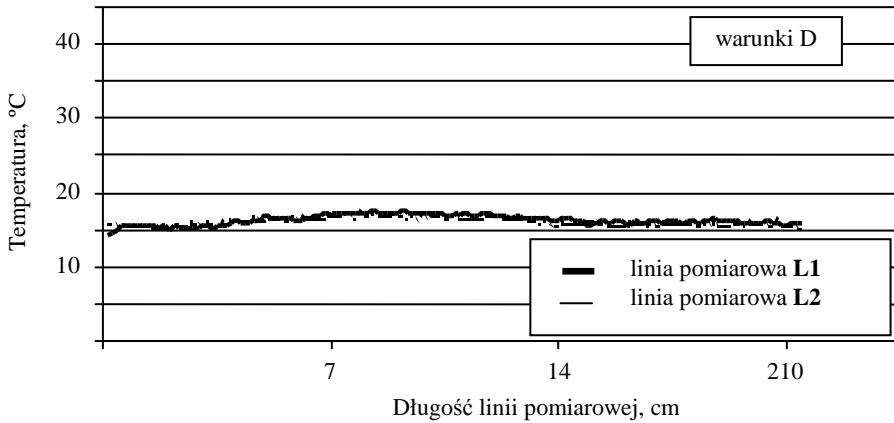
Rys. 8. Rozkład temperatury dłuta głębosza użytkowanego w warunkach C wzdłuż linii pomiarowych L1 i L2 (Rys. 7)

Fig. 8. Temperature distribution for the working surface of subsoiler shank operated under conditions C (along the measuring lines L1 and L2 – Fig. 7)



Rys. 9. Termogram redlicy i skrzydeł kultywatora użytkowanego w warunkach D, z zaznaczeniem linii, dla których wykonano profilogramy temperatury i podaniem wartości temperatury w miejscach pomiarowych 1 i 2

Fig. 9. Thermogram of cultivator coupler and tooth wing operated under conditions D, with indication of the line for which the temperature distribution profilograms were made and with temperature values at the measurement points 1 and 2



Rys. 10. Rozkład temperatury redlicy łapy kultywatora użytkowanego w warunkach C wzdłuż linii pomiarowych L1 i L2 (Rys. 9)

Fig. 10. Temperature distribution for the working surface of cultivator coulters and tooth wing operated under conditions C (along the measuring lines L1 and L2 – Fig. 9)

ulegały równomiernemu i symetrycznemu nagrzewaniu (**Rys. 9 i 10**). Zgodnie z rozkładem temperatury w liniach pomiarowych L1 i L2 (**Rys. 10**) temperatura redlic wahała się w zakresie od około 15,0 do 17,5°C i podobnie jak przy dłutach była większa o około 2°C w środkowym ich obszarze. Natomiast zasadniczym odstępstwem był zakres temperatury, do jakiej nagrzewały się te elementy. Temperatura dłut głębosza była o około 8°C większa w stosunku do temperatury redlic. Należy zaznaczyć, że w zakresie uziarnienia gleby, jej wilgotności, gęstości objętościowej i temperatury oraz innych parametrów warunki C i D były porównywalne. Można zatem sądzić, że większa temperatura dłut głębosza spowodowana była dużą głębokością ich pracy oraz oddziaływaniem na glebę o większej zwięzłości i wartości naprężeń ścinających.

Określone na podstawie pomiaru termowizyjnego bezwzględne wartości temperatury w przyjętych miejscach pomiarowych redlic były mniejsze niż zmierzone termometrem cyfrowym. Różnice w wartości temperatury nie przekraczały 1,4°C, a tym samym mieściły się w zakresie błędów pomiarowych kamery i w odniesieniu do temperatury elementów określonej za pomocą termometru cyfrowego wynosiły maksymalnie 8,3%.

PODSUMOWANIE

Zwiększenie temperatury elementów roboczych użytkowanych w glebie jest wynikiem występującego tarcia i zużywania materiału. W zależności od geometrii elementów i warunków pracy rozkład temperatury materiału ich warstwy wierzchniej jest różny. Większe temperatury występują w przypadku użytko-

wania elementów w cięższych warunkach. Z racji większej konsolidacji gleby lub większej głębokości pracy obciążenie ich powierzchni naciskiem ze strony gleby jest duże. Przy dużych naciskach procesy tarcia i zużywania przebiegają z większą intensywnością, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia wydzielania się ciepła. Wydaje się też, że ilość wody zawartej w glebie ma przy tym bardzo istotne znaczenie. Przy zmniejszeniu wilgotności gleby następuje zwiększenie jej zwięzłości, a tym samym wzrost oporów pracy elementów. Dodatkowo mała ilość wody występującej w glebie wpływa na pogorszenie warunków chłodzenia elementów. W przeciwnym przypadku przy nawilżonej glebie opory pracy elementów są mniejsze, a warunki ich chłodzenia korzystniejsze. Stąd, podobnie jak przy pomiarach kontaktowych, największy przyrost temperatury elementów w odniesieniu do temperatury gleby stwierdzono w przypadku lemieszki płuznych użytkowanych w glebie o małej wilgotności (~ 8,4%) oraz dłut głębosza względnie głęboko oddziałujących na glebę (~ 35 cm), pomimo jej wilgotności wynoszącej około 16%. Natomiast w przypadku lemieszki płuznych pracujących w glebie nawilżonej (~ 15%) oraz redlic i skrzydeł łap kultywatora, które pracowały na niewielkiej głębokości w glebie wilgotnej (~ 19%), zwiększenie temperatury badanych elementów było mniejsze.

Dla lemieszki płuznych stwierdzono bardziej zróżnicowany rozkład ich temperatury niż w przypadku dłut głębosza i redlic łap kultywatora. Związane jest to zapewne z różnym sposobem oddziaływania elementów na glebę. Powierzchnia natarcia lemieszki płuznych jest usytuowana ukośnie do kierunku ruchu, natomiast w przypadku dłut głębosza i redlic łap kultywatora zajmuje położenie zgodne z kierunkiem ruchu. W konsekwencji lemieszki największemu nagrzewaniu ulegały w obszarze części dziobowych (w szczególności przy uprawie gleby o małej wilgotności), co świadczy o dużych obciążeniach przenoszonych przez elementy w tym obszarze. Dodatkowo przy uprawie gleby o małej wilgotności dzioby cechował się wyraźnie większą temperaturą od strony krawędzi polowej (o około 5°C w stosunku do obszaru przyległego do części trapezowych). W przypadku pomiarów termowizyjnych wykonywanych dla dłut i redlic stwierdzono równomierny rozkład temperatury materiału ich warstwy wierzchniej, z nieznacznie większą temperaturą występującą w okolicy połowy długości elementów. Nie pokrywa się to z wynikami pomiarów kontaktowych, w przypadku których największą temperaturę stwierdzono w miejscu pomiarowym zlokalizowanym przy ostrzu elementów, a w ich obszarze centralnym była ona o 0,4 i 0,2°C mniejsza odpowiednio dla dłut głębosza i redlic łapy kultywatora.

Przy pomiarach wykonywanych kamerą termowizyjną rejestrowanym sygnałem pomiarowym jest ciepłone promieniowanie własne badanego obiektu i promieniowanie odbijane przez ten obiekt, a pochodzące z otoczenia. W przypadku obiektów o wklęsłej powierzchni przyjmuje się [L. 17], że składową

promieniowania odbijanego może być promieniowanie własne obiektu, które jest emitowane z obszaru centralnej części zakrzywionej powierzchni. Powierzchnia robocza dłuł głębosza i redlic łap kultywatora charakteryzuje się wklęsłym kształtem. Być może wystąpienie tego zjawiska tłumaczy rozbieżność wskazań kamery termowizyjnej i termometru cyfrowego występującą przy pomiarach wykonanych dla dłuł i redlic.

W przypadku elementów, dla których materiał warstwy wierzchniej osiągał większą wartość temperatury (lemieszki płużne pracujące w glebie o małej wilgotności i dłuła głębosza), różnice w wynikach pomiarów wykonanych za pomocą kamery termowizyjnej i wskazań termometru cyfrowego były większe niż przy elementach, które cechowały się mniejszymi temperaturami (lemieszki płużne pracujące w glebie nawilgoconej oraz redlice łap kultywatora). W pierwszym przypadku temperatura ustalona za pomocą kamery termowizyjnej była zawsze większa od zmierzonej termometrem cyfrowym, przeciętnie odpowiednio o około 14 i 8% – odpowiadało to bezwzględnym różnicom temperatury wynoszącym 5,6°C w przypadku lemieszki płużnych i 2,8°C przy dłułach głębosza. Różnice wskazań przekraczały więc wartość błędu pomiarowego kamery, który wynosił $\pm 2^\circ\text{C}$. Natomiast w drugim przypadku wartość temperatury ustalonej za pomocą kamery termowizyjnej oscylowała wokół wartości zmierzonych termometrem cyfrowym. Przypuszczalnym powodem odmiennych wskazań stosowanego sprzętu pomiarowego był zakłócający wpływ warunków na pomiar wykonywany kamerą termowizyjną w otwartej przestrzeni, co opisano we wstępie. Jednak zasadniczą zaletą kamer termowizyjnych jest ich duża czułość (która może być nawet mniejsza od $0,03^\circ\text{C}$) umożliwiająca określanie rozkładu temperatury m.in. dla elementów pracujących w glebie. Pomiaru takie mogą być przydatne przy konstruowaniu elementów użytkowanych w glebie do wyznaczania ich obszarów, które podlegają największym obciążeniom ze strony gleby, a więc na których spodziewać się można intensywnego procesu zużycia. Umożliwia to dobór właściwych metod wzmocnienia elementów w tych obszarach.

LITERATURA

1. Maksymowicz K., Dudek K., Bauer J., Jurek T., Drozd R., Ocena możliwości zastosowania techniki termowizyjnej w diagnostyce medyczno-sądowej. Podstawy teoretyczne. *Annales Academiae Medicae Stetinensis Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie*, 2007, 53, Suppl. 2, s. 102–106.
2. Nowak H., Wpływ oddziaływania cieplnego promieniowania środowiska zewnętrznego na wyniki termowizyjnych badań budynków. *Budownictwo i Architektura*, 2013, 12 (3), s. 59–66.
3. Derwiński W., Termowizja w badaniach rurowciągów. *Rurociągi*, 2013, 3–4 (68), s. 2–5.
4. http://www.podkontrola.pl/21/akademia_automatyki_s2.html – pobrano 09.01.2015 r.

5. Minkina W., Rutkowski P., Wild W., Podstawy pomiarów termowizyjnych; część II – Współczesne rozwiązania systemów termowizyjnych, błędy metody. *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, 2000, 1, s. 11–14.
6. Madura H. (red.), *Pomiary termowizyjne w praktyce*. Wydawnictwo Pomiary Automatyka Kontrola PAK, Warszawa 2004.
7. Madura H., Sosnowski T., Bieszczad G., Termowizyjne kamery obserwacyjne – budowa, zastosowania i krajowe możliwości realizacji. *Przegląd Elektroniczny*, 2014, R. 90, 9, s. 5–8.
8. American Technical Publishers. *Wprowadzenie do termografii*. Inc. Orland Park. Illinois, 2009
(www.kameratermo.pl/documents/wprowadzeniedotermograficz1.pdf).
9. Gade R., Moeslund T.B., *Thermal cameras and applications: a survey*. *Machine Vision and Applications*, 2014, 25, p. 245–262.
10. Dudek K., Banasiak J., Bieniek J., *Diagnostyka węzłów kinematycznych w kosiarkach rotacyjnych. Eksploatacja i Niezawodność*, 2003, 4, s. 17–21.
11. Bieniek J., Banasiak J., Komarnicki P., *Zastosowanie termowizji w badaniach eksploatacyjnych maszyn rolniczych*. *Inżynieria Rolnicza*, 2006, 12, s. 17–24.
12. Sevierniev M. (red.), *Iznos detalej sel'skhozajstviennyh mašin*. Kolos, Leningrad, 1972.
13. Owsiak Z., *Narzędzia skrawające glebę*. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 348. Monografie XV*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1998.
14. Napiórkowski J., *Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych*. *Inżynieria Rolnicza*, 2005, 12 (72). *Rozprawy habilitacyjne nr 17*.
15. Hebda M., Wachal A., *Trybologia*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
16. Zwierzycki W. (red.), *Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa – Poznań 1990.
17. Kostowski E., *Promieniowanie cieplne*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2009.

Summary

Using a thermal camera, the temperature distribution of the surfaces of ploughshares, subsoil shanks, and cultivator tooth coulters was determined. These parts worked in soil conditions during operation in the field. The ploughshares' temperature distribution was more diverse than subsoil shanks and cultivator tooth coulters. The front parts of the ploughshares had the highest temperature (in particular soil tillage with low moisture ~ 8.4%). This shows a heavy load from the ground. Moreover, the subsoil shanks, and cultivator tooth coulters' temperatures were similar with a slight increase of the half-length their parts.