

**Piotr KOSTENCKI\***, **Tomasz STAWICKI\***

## **WZROST TEMPERATURY LEMIESZY PŁUŻNYCH WYWOŁANY TARCIEM GLEBY PODCZAS ICH UŻYTKOWANIA**

### **THE INCREASE OF PLOUGHSHARE TEMPERATURE AS THE EFFECT OF SOIL FRICTION DURING WORK**

#### **Słowa kluczowe:**

lemiesze płużne, temperatura pracy

#### **Key words:**

ploughshares, working temperature

#### **Streszczenie**

Zmierzono temperaturę powierzchni lemieszki płużnych podczas orki prowadzonej w dwóch warunkach. Pomiary wykonywano za pomocą termometru kontaktowego w dwóch miejscach powierzchni lemieszki oraz za pomocą kamery termowizyjnej dla całej jego powierzchni. Stwierdzono, że w zależności od warunków pracy temperatura powierzchni lemieszki w miejscach pomiaru była wyższa od około 4 do blisko 9°C niż temperatura uprawianej gleby. Silniejszemu nagrzewaniu ulegała powierzchnia części dziobowej lemieszki, prawdopo-

---

\* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, Katedra Inżynierii Systemów Agrotechnicznych.

dobnie ze względu na większy nacisk gleby. Stwierdzono również, że kamera termowizyjna, bez wcześniejszego przygotowania powierzchni lemiesza do pomiaru, nie może być stosowana w celu ustalenia rozkładu temperatury na jego powierzchni. Przedstawiono szereg czynników mogących wpływać na wartość temperatury pracy lemieszy, których znaczenie wymaga doświadczalnego potwierdzenia.

## WPROWADZENIE

Podczas eksploatacji elementów roboczych narzędzi rolniczych pracujących w glebie nieuniknionym jest ich ścieranie w wyniku zużyciowego oddziaływania środowiska pracy. Proces ten klasyfikowany jest jako zużycie ścierne, a ściślej jako zużywanie w masie ściernej, którą stanowi gleba zawierająca twarde cząstki, głównie kwarcu.

Mechaniczne właściwości gleby, takie jak kąt tarcia wewnętrznego i zewnętrznego, spójność, naprężenia ścinające, zwięzłość, plastyczność itp., w dużym stopniu zależą od składu granulometrycznego, wilgotności i stanu zagęszczenia gleby oraz zawartości próchnicy. Konsekwencją współdziałania gleby z elementem roboczym o danej geometrii i zadanych parametrach pracy (głębokość, prędkość) jest określony rozkład nacisku gleby na jego powierzchni roboczej. Nacisk ten zawiera składową statyczną związaną z ciężarem gleby spoczywającej na powierzchni roboczej elementu i oporami jej odkształcania oraz składową dynamiczną wywołwaną przez siły bezwładności gleby i dodatkowe opory jej odkształcania wynikające z nadawania glebie przyspieszenia na powierzchni roboczej elementu podczas jego ruchu [L. 13]. Nacisk ten rozłożony jest w obszarach rzeczywistego styku ziaren gleby z powierzchnią elementu i w zależności od sił wiążących cząstki gleby i sił spójności materiału elementu, może skutkować mikroskrawaniem, rysowaniem, brzdowaniem lub odkształceniem sprężystym materiału z jego wierzchniej warstwy [L. 3, 11, 12, 18]. Proces ten jest oczywiście dynamiczny, tzn. że ziarna w trakcie przemieszczania się po powierzchni elementu mogą zmieniać formę i intensywność oddziaływania, a wartość i kierunek względnej prędkości ruchu ziaren gleby po powierzchni elementu o określonej geometrii wynika z prędkości przemieszczania narzędzia i zachodzących procesów deformacji gleby.

Intensywność procesu zużywania elementów roboczych narzędzi rolniczych przemieszczających się w glebie determinowana jest przez szereg czynników. Są one powszechnie grupowane na związane z właściwościami i stanem uprawianej gleby (skład granulometryczny, udział żwiru i kamieni w glebie, zawartość próchnicy, gęstość objętościowa, wilgotność i zwięzłość gleby itp.), związane z funkcją elementów, ich geometrią i parametrami pracy (czy są to elementy skrawające glebę, czy takie, po których gleba się jedynie przemieszcza, głębokość i prędkość robocza itp.) oraz związane z właściwościami materiału zastosowanego na elementy (skład chemiczny, twardość, struktura itp.)

[L. 9–12, 15]. Procesy zużywania mogą być dodatkowo wspomagane fizykochemicznym oddziaływaniem środowiska pracy elementów [L. 11, 16, 18].

Natomiast w badaniach zużywania się elementów roboczych narzędzi rolniczych pracujących w glebie nie jest uwzględniane nagrzewanie się ich materiału wywołane procesem tarcia. Sporadycznie [L. 7], przy teoretycznej próbie opisu deformacji materiału lemiesza na jego powierzchni w czasie tarcia o glebę, uwzględniane są takie parametry, jak ciepło właściwe, przewodność cieplna i termiczna rozszerzalność linowa materiału lemiesza oraz gradient temperatury. Niemniej autorzy ci w nieco późniejszej pracy [L. 8] w podobnym opisie zaniechali członu zawierającego wymienione wielkości. Również w zamieszczonych przykładowych obliczeniach dotyczących jednostkowego masowego zużycia lemieszy nie zostały uwzględnione powyższe parametry. Tak więc, powtarzając za Owsiakiem [1998], generalnie przyjmowane jest założenie upraszczające, że zmiana temperatury powierzchni tych elementów spowodowana tarciem o glebę jest nieistotna i nie powoduje zmian w procesie zużycia. Niemniej opisywanym procesom tarcia i zużywania towarzyszy wydzielanie się ciepła, którego źródłem są zjawiska występujące w mikroobszarach styku ziaren gleby z materiałem elementu. Można założyć, że po pewnym okresie pracy elementu w stałych warunkach następuje jego termodynamiczna równowaga – ilość ciepła wytworzonego w wyniku tarcia gleby o jego powierzchnię odpowiada ilości ciepła odprowadzonego w procesie chłodzenia (ciepło odebrane przez glebę, elementy obsady i powietrze kontaktujące się z powierzchniami nieroboczymi). Pojawiają się pytania: jaka ilość ciepła jest wydzielana w przypadku stalowego elementu roboczego przemieszczającego się w glebie, a co może ważniejsze, do jakiej temperatury w takich warunkach tarcia nagrzewa się jego powierzchnia i czy w wyniku nagrzania może zachodzić modyfikacja struktury jego materiału?

Wśród elementów roboczych narzędzi rolniczych przeznaczonych do uprawy gleby, jednymi z najsilniej obciążonych, a tym samym ulegających względnie intensywnemu procesowi zużywania są lemiesze płuzne. Wynika to między innymi z oddziaływania na zleżałą glebę, przy względnie znacznej głębokości pracy. Zatem celem podjętych badań było określenie temperatury powierzchni lemieszy nagrzewających się podczas orki w wyniku tarcia o glebę charakteryzującą się stanem zastanym w warunkach polowych.

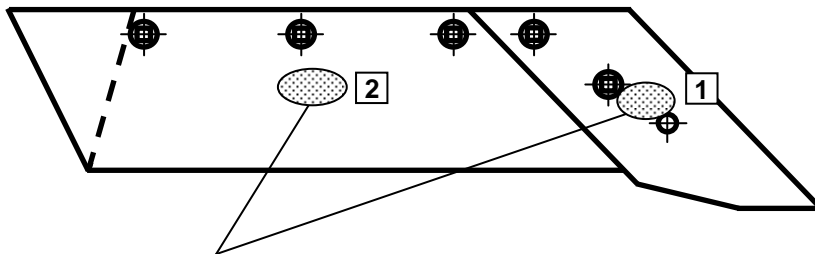
## **METODYKA BADAŃ**

Badania wykonano jesienią 2013 r. na polach dwóch przedsiębiorstw rolnych (przedsiębiorstwa Agrochleb z Chlebówka i Spółdzielczej Agrofirmy Witkowo z siedzibą w Witkowie). Pozwoliło to na pomiar temperatury lemieszy w różnych warunkach orki. Dążono przy tym do przeprowadzenia badań przy uprawie gleb różniących się uziarnieniem. W obu przypadkach uprawiano pola po zbiorze pszenicy, z wcześniej wykonaną uprawą poźniwną.

W badaniach wykorzystano pługi wymienionych przedsiębiorstw. Były to obracalne siedmioskibowe pługi produkcji firmy Lemken, wyposażone w oryginalne napawane lemieszki producenta, przy czym części trapezowe tych lemieszki różniły się długością, na co autorzy nie mieli wpływu, jak i na cały szereg innych parametrów badań. Należy tu wyjaśnić, że lemieszki produkowane przez firmę Lemken są elementami dzielonymi, składającymi się z oddzielnej części dziobowej i części trapezowej, której geometria może być różna, umożliwiająca wykonywanie orki na różną maksymalną szerokość. W pługu przedsiębiorstwa Agrochleb zastosowane były części trapezowe o oznaczeniu Scharblatt SB56P 558×150×11, które są mocowane za pomocą trzech śrub lemieszowych i pozwalają wykonywać orkę na maksymalną szerokość wynoszącą 56 cm dla jednego korpusu narzędzia. Natomiast w pługu Spółdzielczej Agrofirmy Witkowo stosowane były części trapezowe Scharblatt SB45P 449×150×11 mocowane za pomocą dwóch śrub i umożliwiające orkę na szerokość do 45 cm. W obu pługach stosowano napawane dzioby o oznaczeniu Scharspitze B2SP. Wszystkie części poddawane są przez producenta objętościowej obróbce cieplnej.

Pomiar temperatury powierzchni lemieszki wykonywano bezpośrednio po zakończeniu roboczego przejazdu narzędzia, uniesieniu korpusów i oczyszczeniu lemieszki z gleby. Dla każdego warunków orki taki cykl pomiarowy powtarzano trzykrotnie. Ze względu na ostudzenie się elementu, temperaturę jego powierzchni mierzono tylko w dwóch miejscach, których położenie przedstawiono na **Rys. 1**. Pomiary wykonywano zawsze dla lemieszki umieszczonej na środkowym, czwartym korpusie pługa. Przy pomiarach posługiwano się cyfrowym termometrem kontaktowym o oznaczeniu CHY 502, który wyposażony był w termoparę typu K o zakresie pomiarowym od -200 do 1370°C. Podana w instrukcji urządzenia dokładność pomiaru gwarantowana była na okres roku. Stąd dokonano weryfikacji dokładności pomiaru termometru kontaktowego, przez porównanie jego wskazań ze wskazaniami laboratoryjnego termometru rtęciowego. Stwierdzono, że w zakresie temperatur stosowanych przy tych pomiarach (12–25°C), różnice wskazań między termometrami wynosiły od 0,0 do 0,2°C.

Podjęto także próbę ustalenia rozkładu temperatury występującej na powierzchni lemieszki z zastosowaniem kamery termowizyjnej Hotfind-Lxt o zakresie pomiarowym od -20 do 1500°C, czułości termicznej 80 mK dla 30°C oraz dokładności pomiaru wynoszącej dla zakresu mierzonych temperatur  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Przy pomiarach tych stosowano pokryty czarnym tuszem, cienki samoprzylepny papier, którego emisyjność określono doświadczalnie, na drodze analizy zdjęć wykonanych kamerą termowizyjną obiektu z naklejonym papierem i o znanej temperaturze (40°C), ustalonej metodą pomiaru kontaktowego.



miejsca pomiaru temperatury – okolica połowy długości i szerokości części dziobowej oraz części trapezowej lemieszka

**Rys. 1. Miejsca pomiaru temperatury powierzchni lemieszka (linią grubą ciągłą przedstawiono lemiesz o maksymalnej szerokości orki wynoszącej 56 cm, natomiast linią kreskową zaznaczono koniec części trapezowej, przy której maksymalna szerokość orki wynosi 45 cm)**

**Fig. 1.** The measurement places of the ploughshare surface temperature (thick continuous line shows the ploughshare with a maximum width of 56 cm ploughing, while the hidden line marked the end of trapezoidal section, at which the maximum width is 45 cm ploughing)

Wyznaczony w ten sposób współczynnik emisyjności papieru wyniósł  $\varepsilon = 0,93$ . Po przejeździe roboczym pługa papier ten naklejano na lemiesz, po czym rejestrowano kamerą obraz termalny lemieszka. W założeniach przyjęto, że temperatura powierzchni lemieszka w bezpośredniej okolicy naklejonego papieru jest taka sama jak temperatura papieru odczytana przy  $\varepsilon = 0,93$ . Wyznaczona w ten sposób temperatura lemieszka miała posłużyć do wykalibrowania kamery dla obiektu badań, tj. ustalenia emisyjności materiału lemieszka zgodnie z wcześniej opisaną procedurą dla papieru. Pozwoliłoby to na poprawne przeprowadzenie analizy obrazów otrzymanych z kamery termowizyjnej, a tym samym na wyznaczenie rozkładu temperatury na powierzchni lemieszka. Należy jednak dodać, że liczone się z możliwością niepowodzenia tych pomiarów, głównie z powodu względnie dużej gładkości powierzchni lemieszka, przyczyniającej się do dużej jej refleksyjności. Ponieważ pomiar termowizyjny odzwierciedla skumulowaną wartość natężenia promieniowania podczerwonego emitowanego i odbijanego przez powierzchnię obiektu, to przy dużej refleksyjności tej powierzchni oraz różnicy temperatur otoczenia i badanego obiektu analiza obrazu termalnego może być utrudniona lub niemożliwa.

W celu scharakteryzowania warunków pracy lemieszka ustalono: gatunek uprawianych gleb, który określono na podstawie danych z map glebowo-rolniczych obszaru badań; uziarnienie gleby, udział żwiru i zawartość próchnicy wyznaczone dla zbiorczych prób glebowych odpowiednio metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego, metodą sitową oraz na podstawie zawartości węgla organicznego oznaczonej za pomocą analizatora CHNS firmy Costech; wilgotność i gęstość objętościową gleby wyznaczone metodą suszarkowo-wagową, z zastosowaniem cylinderek Kopecky'ego o objętości 100 cm<sup>3</sup>; zwięzłość gleby mierzona za pomocą zwięzłościomierza sprężynowego wykonanego przez Instytut Agrofizyki PAN i wyposażonego

w stożek o średnicy podstawy 16,6 mm oraz kącie wierzchołkowym 30°; naprężenia ścinające glebę mierzone ścinarką obrotową firmy Geonor, typu Vane Tester H-60, zakończoną krzyżakiem o szerokości 20 i wysokości 40 mm; prędkość, szerokość i głębokość orki mierzone zgodnie z wytycznymi podanymi w PN-90/R-55021. Dodatkowo, na podstawie czasu przejazdu pługa i prędkości jego pracy, określono orientacyjną długość drogi tarcia lemieszki przy poszczególnych przejazdach roboczych pługa. Mierzono również temperaturę uprawianej gleby i temperaturę powietrza, wykorzystując cyfrowy termometr kontaktowy.

## WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

W **Tabeli 1** podano wartości parametrów charakteryzujących warunki orki, podczas których mierzono temperaturę powierzchni lemieszki (zastosowane w tabeli oznaczenia warunków **I** i **II** dotyczą orki wykonywanej pługiem wyposażonym w części trapezowe umożliwiające uprawę gleby na maksymalną szerokość wynoszącą odpowiednio 56 i 45 cm w odniesieniu do jednego korpusu pługa). Należy zaznaczyć, że w czasie badań wartości określonych parametrów glebowych ustalano w odniesieniu do dwóch lub trzech warstw gleby (**Tab. 1**) z powodu różnej głębokości uprawy wykonywanej w warunkach **I** i **II**, wynoszącej odpowiednio 19,4 i 24,7 cm.

W uśrednionej próbce gleby pobranej podczas pracy pługa w warunkach **I** udział frakcji piasku ( $2 \geq d > 0,05$ ) wynosił 60,0%, przy czym dominowały frakcje piasku średniego, drobnego i bardzo drobnego (**Tab. 1**). Natomiast zawartość cząstek drobnych, tj. pyłu ( $0,05 \geq d > 0,002$ ) i iłu ( $d \leq 0,002$ ) wynosiła odpowiednio 30,2 i 9,8%. W warunkach **II** pobrana gleba zawierała więcej frakcji piasku – 79,4%, również z większym udziałem frakcji piasku średniego, drobnego i bardzo drobnego, a zawartość pyłu i iłu była mniejsza, odpowiednio – 15,7% i 4,9%. W warunkach **I** lemieszki pracowały zatem w glebie nieco cięższej, o większym udziale frakcji drobnych (pyłu i iłu), przyczyniających się do konsolidacji gleby.

Zawartość próchnicy wpływającej poza właściwościami chemicznymi także na fizyczne właściwości gleby (działanie strukturotwórcze, zmniejszenie przyczepności i lepkości, zwiększenie pojemności wodnej), w obu warunkach orki była typowa dla gleb mineralnych, przy czym w warunkach **I** jej udział był około 1,6 razy większy.

Gęstość objętościowa uprawianej gleby była charakterystyczna dla późnego stanu. Natomiast wilgotność gleby (ustalona wagowo) w warstwie pracy lemieszki w warunkach **I** i **II** (odpowiednio 10–20 i 20–25 cm) była w miarę zbliżona (**Tab. 1**), przy dużej różnicy wilgotności gleby z wierzchniej warstwy (0–10 cm). W obu warunkach orki zwięzłość gleby w poszczególnych warstwach była porównywalna. Niemniej ze względu na różnice w głębokości uprawy lemieszki w warunkach **II** pracowały w glebie o około 1,6-krotnie większej zwięzłości, przy czym gleba ta charakteryzowała się około 1,2 razy mniejszymi naprężeniami ścinającymi niż gleba z warstwy pracy lemieszki w warunkach **I** (**Tab. 1**).

**Tabela 1. Charakterystyka warunków pracy lemiesz**  
 Table 1. Characteristics of working conditions of ploughshares

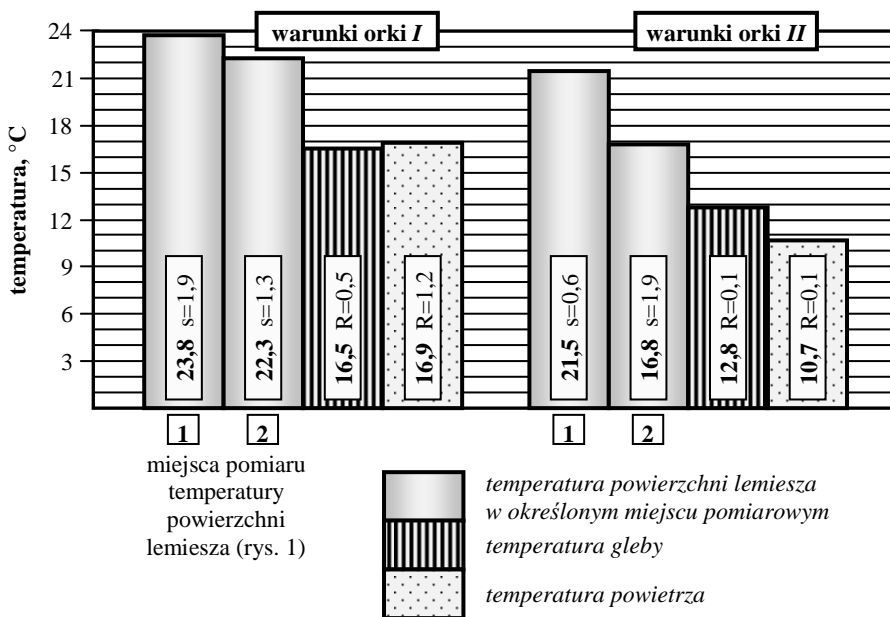
Wielkość	Warstwa gleby	Ustalona wartość					
		warunki <i>I</i>			warunki <i>II</i>		
Gatunek gleby <sup>**</sup> wg map glebowo-rolniczych	warstwa orna	• glina lekka pylasta			• piasek gliniasty mocny (~30% udziału) • piasek gliniasty mocny pylasty (~35%) • glina lekka pylasta (~35%)		
Uziarnienie i grupa granulometryczna uprawianej gleby <sup>*</sup>		frakcja, mm	udział, %	grupa	frakcja, mm	udział, %	grupa
		2 ≥ d > 1	2,5	glina lekka	2 ≥ d > 1	1,7	piasek gliniasty drobnoziarnisty
		1 ≥ d > 0,5	6,0		1 ≥ d > 0,5	5,9	
		0,5 ≥ d > 0,25	11,7		0,5 ≥ d > 0,25	14,0	
		0,25 ≥ d > 0,1	21,9		0,25 ≥ d > 0,1	27,5	
		0,1 ≥ d > 0,05	17,9		0,1 ≥ d > 0,05	30,3	
		0,05 ≥ d > 0,02	10,7		0,05 ≥ d > 0,02	1,0	
		0,02 – 0,002	19,5		0,02 – 0,002	14,7	
d ≤ 0,002		9,8	d ≤ 0,002		4,9		
Udział zwirow w glebie, %	5,47 <sup>*)</sup> 7,82 <sup>**)</sup>			3,54 <sup>*)</sup> 5,19 <sup>**)</sup>			
Zawartość próchnicy, %	2,83			1,72			
Wilgotność aktualna gleby, % wag.	0–10 cm	17,0	s = 1,4	11,5	s = 0,7		
	10–20 cm	13,9	s = 1,4	11,6	s = 0,6		
	20–25 cm	–		11,1	s = 0,9		
Gęstość objętościowa gleby, g·cm <sup>-3</sup>	0–10 cm	1,26	s = 0,11	1,29	s = 0,14		
	10–20 cm	1,56	s = 0,09	1,53	s = 0,09		
	20–25 cm	–		1,52	s = 0,08		
Zwięzłość gleby, kPa	0–10 cm	333	s = 160	792	s = 436		
	10–20 cm	1230	s = 412	1321	s = 463		
	20–25 cm	1946	s = 373	2026	s = 774		
Naprężenia ścinające glebę, kPa	0–10 cm	23	s = 15	26	s = 13		
	10–20 cm	72	s = 30	41	s = 15		
	20–25 cm	–		58	s = 21		
Szerokość pracy jednego korpusu, cm		54,7	s = 0,8	49,1	s = 0,8		
Głębokość robocza pługa, cm		19,4	s = 1,2	24,7	s = 2,3		
Prędkość pługa, m·s <sup>-1</sup>		2,54	s = 0,05	2,51	s = 0,06		
Długość przejazdów roboczych pługa, m		~ 700		~ 1300			

s – odchylenie standardowe, <sup>\*)</sup> wg aktualnych oznaczeń Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, <sup>\*\*)</sup> wg wcześniejszych oznaczeń PTG.

W obu warunkach orki prędkość robocza pługa była praktycznie taka sama i wynosiła około 9 km·h<sup>-1</sup>. Długość przejazdu roboczego pługa podczas pomiarów prowadzonych w warunkach *I* była prawie dwukrotnie mniejsza niż w warunkach *II*. Natomiast szerokość pracy korpusów płużnych w warunkach *I* była

zblizona do maksymalnej szerokości roboczej (56 cm), a w warunkach **II** przekraczała ją (45 cm) o około 4 cm.

Na **Rys. 2** przedstawiono wyniki pomiarów (wykonanych termometrem kontaktowym) temperatury powierzchni badanych lemiesz oraz temperatury gleby i powietrza podczas orki w warunkach **I** i **II**. W stosunku do temperatury uprawianej gleby temperatura powierzchni lemiesz w miejscach pomiarowych 1 i 2 była wyższa o odpowiednio 7,3 i 5,8°C w warunkach **I** oraz o 8,7 i 4,0°C w warunkach **II**. Wyższe temperatury powierzchni lemiesz stwierdzono w miejscu pomiarowym zlokalizowanym na jego dziobie (miejsce pomiarowe 1), o 1,5 i 4,7°C odpowiednio dla warunków **I** i **II**, w porównaniu z temperaturą ustaloną na powierzchni części trapezowej (miejsce pomiarowe 2). Powiązać to można z silniejszym naciskiem gleby wywieranym na powierzchnię części dziobowej w porównaniu z obciążeniem części trapezowej [**L. 5, 6, 13, 15**].



**Rys. 2.** Temperatura powierzchni lemiesz w miejscach pomiarowych 1 i 2 (Rys. 1), gleby i powietrza podczas orki w warunkach I i II

Fig. 2. The surface temperature of the plowshare in measurement place 1 and 2 (Fig. 1), soil and air during ploughing in conditions I and II

W warunkach **I** powierzchnia lemiesz uległa nieco większemu nagraniu niż podczas orki w warunkach **II**, o 2,3°C w miejscu pomiarowym zlokalizowanym na dziobie i o 5,5°C w miejscu pomiarowym leżącym na części trape-

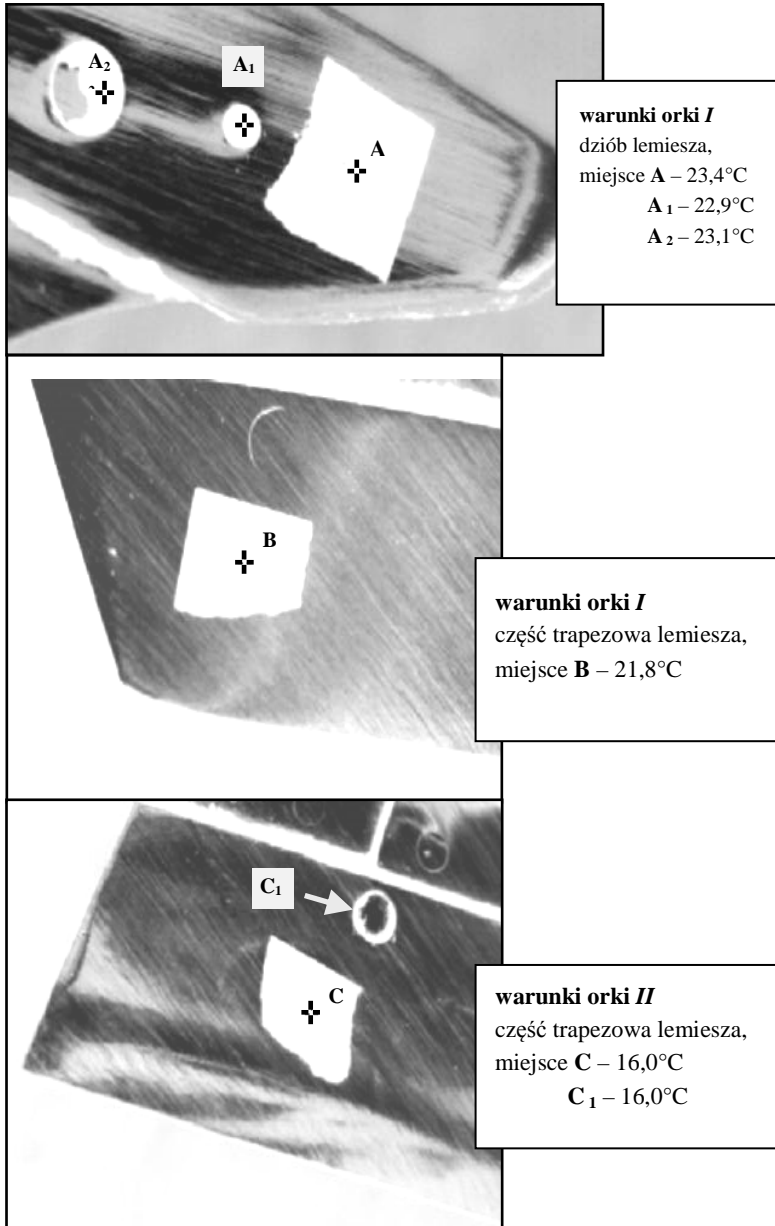


zowej. Przymuszczalnie zasadniczym tego powodem była wyższa o  $3,7^{\circ}\text{C}$  temperatura uprawianej w warunkach **I** gleby. Mimo nieco większej wilgotności (**Tab. 1**), jej zdolność chłodzenia lemiesza była mniejsza. Niemniej przyczyną wyższej temperatury lemiesza w warunkach **I** mógł być też odmienny skład granulometryczny uprawianej gleby lub też większa wartość nacisku gleby wywieranego na powierzchnię lemiesza.

Na **Rys. 3** przedstawiono wykonane kamerą termowizyjną zdjęcia fragmentów lemieszy z naklejonym papierem stosowanym przy pomiarach. Niestety uzyskane obrazy termalne lemieszy nie odzwierciedlają rzeczywistego rozkładu temperatury, jaka występowała na ich powierzchni. Widoczne na zdjęciach obszary o różnej temperaturze (**Rys. 3**), to przede wszystkim efekt dużej refleksyjności badanej powierzchni oraz zmienności natężenia sygnału pomiarowego, wywołanej różnokierunkowym odbiciem promieniowania podczerwonego od nieregularnej powierzchni lemiesza. W tej sytuacji nie było możliwe wyznaczenie emisyjności materiału lemieszy i skorygowanie wskazań kamery.

Analizując obrazy z kamery termowizyjnej stwierdzono, że temperatura ustalona w obszarach lemieszy, na które naklejony został papier wykorzystywany podczas pomiarów, zbliżona była do ustalonej za pomocą termometru kontaktowego (**Rys. 2 i 3**). Stosowano przy tym wartość współczynnika emisyjności wyznaczoną doświadczalnie dla papieru ( $\varepsilon = 0,93$ ). Miejsca naklejania papieru były przypadkowe i nie pokrywały się z miejscami pomiarowymi 1 i 2 (**Rys. 1**), które stosowano przy kontaktowym sposobie pomiaru temperatury, co tłumaczy pewne odstępstwa w wynikach pomiarów termowizyjnych i kontaktowych. Należy również zwrócić uwagę na to, że we wszystkich przypadkach temperatura ustalona za pomocą kamery termowizyjnej była od  $0,4$  do  $0,8^{\circ}\text{C}$  mniejsza niż zmierzona termometrem kontaktowym.

Stwierdzono także, że temperatura odczytana ze zdjęć termalnych lemieszy dla gleby zalegającej w obniżeniach ich powierzchni, tj. w miejscach otworów na śruby montażowe, była bliska temperatury odczytanej dla obszarów z naklejonym papierem (**Rys. 3**). W ramach wykonanych ustaleń różnice między tymi temperaturami dochodziły jedynie do  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Przy pomiarach tych przyjęto średnią wartości emisyjności gleby z zakresu  $0,92\text{--}0,96$  [<http://stop-emisji.pl>], tj.  $\varepsilon = 0,94$ .



**Rys. 3. Termalne obrazy fragmentów lemieszów z aklejonym papierem stosowanym przy pomiarach termowizyjnych wraz z ustalonymi temperaturami w obszarach naklejonego papieru (miejsca A, B i C) oraz gleby zalegającej w otworach na śruby montażowe (miejsca A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> i C<sub>1</sub>)**

Fig. 3. Thermal images of fragments of ploughshares with a rough paper used for measurements of thermal with temperatures set in the areas of glued paper (location A, B and C) and residual soil in the holes for the mounting screws (locations A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>)

## PODSUMOWANIE

W warunkach pomiarów stwierdzono niewielki, w stosunku do temperatury gleby, wzrost temperatury powierzchni lemieszki płużnych wywołany procesami tarcia i zużycia zachodzącymi na ich powierzchni podczas orki. W miejscach wykonywania pomiarów, w zależności od warunków pracy lemieszki wzrost ten wahał się w zakresie od około 4 do blisko 9°C. Silniejszemu nagrzewaniu ulegała powierzchnia części dziobowej lemieszki, co zapewne podyktowane było większym naciskiem uprawianej gleby.

Niemniej mimo stwierdzenia niewielkiego wzrostu temperatury lemieszki nasuwa się tu kilka uwag. Po pierwsze należy zaznaczyć, że za pomocą termometru kontaktowego i kamery termowizyjnej mierzono niejako „temperaturę uśrednioną”, do jakiej nagrzaniu uległ materiał elementów na ich powierzchni. Zaś źródłem tego nagrzania jest ciepło wydzielające się w mikroobszarach kontaktu ziaren gleby z powierzchnią lemieszki. W wyniku dużej przewodności cieplnej stali część tego ciepła szybko rozprzestrzenia się w całej objętości materiału elementów, przy czym szacunkowo, aby ogrzać część dziobową lemieszki o jeden stopień, konieczne jest doprowadzenie energii wynoszącej około 1,18 kJ, natomiast dla części trapezowej – około 2,23 kJ. Pojawia się więc pytanie, jakiego rzędu temperatury powstają bezpośrednio w obszarach tarcia i zużycia materiału elementów przez twarde ziarna gleby. Przykładowo stwierdzono [L. 2, 17], że w przypadku procesów zachodzących przy tarcu granicznym typowych węzłów kinematycznych (np. łożysk ślizgowych, kół zębatach), w mikroobszarach tarcia temperatura stykających się wierzchołków nierówności może przekraczać nawet 1000°C. Proces ten nie jest jednak do tej pory rozpoznany w odniesieniu do układu tribologicznego gleba–element roboczy.

W celu zwiększenia trwałości lemieszki płużne i inne elementy robocze narzędzi przeznaczonych do uprawy gleby poddawane są ulepszaniu cieplnemu. Elementy te mogą być wykonywane również z blach poddawanych już w procesie wytwórczym hartowaniu lub hartowaniu i odpuszczaniu (np. blachy wykonane ze stali Raex czy Hardox). W wyniku tych zabiegów nadawana jest stali struktura typu martenzytycznego. Martenzyt jest przesyconym roztworem stałym węgla w żelazie  $\alpha$  o sieci tetragonalnej. Jego mikrostruktura odbiega od stanu równowagi, cechuje się dużą gęstością dyslokacji, niekiedy też mikroblizniaków oraz dużą powierzchnią granicy ziarn, ze względu na znaczne rozdrobnienie. W zależności od udziału węgla i pierwiastków stopowych w stali oraz warunków jej chłodzenia przy hartowaniu martenzyt zawiera też określoną ilość austenitu szczątkowego. Cechy te wpływają na niestabilność martenzytu, w którym, przy doprowadzeniu energii w postaci wzrostu temperatury, następują przemiany fazowe i zmiany struktury nazywane odpuszczaniem stali. Zachodzące przy tym procesy nie są w całości poznane z powodu ich złożoności, silnego oddziaływania na siebie i subtelnego charakteru występującego w szczególności przy niskich temperaturach. Zakres zmian zachodzących

w ogrzewanej zahartowanej stali istotnie zależy od jej składu chemicznego oraz temperatury i czasu wygrzewania. Zmiany rozpoczynają się już w temperaturze poniżej 100°C dyfuzją atomów węgla do miejsc dyslokacji oraz pierwotnych granic ziarn austenitu i granic ziarn austenitu szczątkowego. W temperaturze 100–200°C węgiel wydzielany jest w postaci węglików przejściowych, co w wyniku zmniejszenia zawartości węgla w martenzytcie powoduje częściowy zanik tetragonalnego zniekształcenia sieci martenzytu. W temperaturze 200–350°C austenit szczątkowy (który występuje w stalach węglowych tylko przy zawartości węgla większej od 0,4%) ulega przemianie w ferryt i cementyt. W temperaturze 250–400°C wydzielają się cementyt, węgliki przejściowe ulegają rozpuszczeniu, a w osnowie martenzytycznej nadal zmniejsza się zawartość węgla. W temperaturze 400–727°C następuje koagulacja cementytu i łączenie się go wraz ze wzrostem temperatury w większe sferoidalne wydzielenia, przy czym osnowę stanowi ferryt. Dalszy wzrost temperatury prowadzi do tworzenia się austenitu. Procesy zachodzące w odpuszczanych stalach węglowych i stopowych do temperatury 400–450°C są zbliżone, przy czym obecność pierwiastków stopowych wpływa na temperaturę występowania określonych zjawisk i zmniejszenie szybkości ich przebiegu. W wyższych temperaturach możliwa jest dyfuzja pierwiastków stopowych, co w odpuszczanej stali stopowej umożliwia wydzielanie się węglików stopowych [L. 1]. Przedstawione pokrótce zmiany w strukturze stali wpływają oczywiście na jej właściwości wytrzymałościowe. Pojawia się więc pytanie, czy w materiale elementów roboczych pracujących w glebie przyległym do mikroobszarów tarcia, ze względu na jego nagrzewanie wywołane tarciem, zachodzą wcześniej przedstawione zjawiska występujące w niższych temperaturach. Czy dla tych materiałów, które w procesie produkcyjnym były poddawane odpuszczaniu, ponowne nagrzanie wywołuje zmiany ich właściwości. W dużym stopniu odpowiedź na te pytania byłaby możliwa, gdyby znana była temperatura, jaką osiąga materiał w mikroobszarach tarcia powierzchni elementów przez twarde cząstki gleby. W przypadku wydzielania się dużych temperatur pewne znaczenie w przebiegu procesu zużywania materiału mogłoby dodatkowo odgrywać częściowe jego uplastycznienie.

Należy dodać, że pomiary temperatury powierzchni lemieszki wykonywano dla elementów zamocowanych na pługach obracalnych, w których naprzemienianie, przy poszczególnych przejazdach roboczych, pracują elementy odkładające glebę na prawą i na lewą stronę. Zatem elementy, których temperatura w danym przejeździe uległa podwyższeniu, podczas następnego przejazdu roboczego pługa nie pracują i są chłodzone. Natomiast w przypadku pługów zagonowych lemieszki i inne elementy robocze korpusów płużnych pracują w sposób bardziej ciągły. Ich praca w glebie przerywana jest jedynie przejazdami jałowymi związanymi z zagonowym sposobem wykonywania orki. Oczywiście stosunek czasu przejazdu roboczego i jałowego związany jest z wielkością i kształtem uprawianego pola. Można więc przypuszczać, że sposób wykonywania orki będzie w pewnym zakresie wpływał na temperaturę, do jakiej będą nagrzewać się elementy.

Temperatura nagrzewania się lemieszki może być również zależna od prędkości i głębokości wykonywania zabiegu. Zakres prędkości i głębokości stosowanej przy orce podyktowany jest poprawnością oczekiwanego efektu agrotechnicznego. Przy większej prędkości i głębokości orki wzrastają opory stawiane narzędziu przez glebę, co przekłada się na wzrost nacisku gleby wywieranego na powierzchnie robocze korpusów płuznych. W konsekwencji większym naciskom gleby może odpowiadać wyższa temperatura, jaką uzyskują elementy robocze.

Kolejne zagadnienie dotyczy warunków pracy elementów, a ściślej wilgotności uprawianej gleby. Gleby o obniżonej zawartości wody charakteryzują się większą konsolidacją, wykazują się większą zwięzłością a ich ścinanie zachodzi przy większych siłach niż przy glebach normalnie i silnie nawilgoconych. Ogólnie stawiają zdecydowanie większy opór elementom przemieszczającym się w nich. Dodatkowo wodę zawartą w glebie można traktować jako pewien czynnik smarujący, którego ograniczenie przybliży tarcie występujące między glebą a materiałem elementu w kierunku tarcia suchego. Ważnym wydaje się też to, że przy zmniejszonej ilości wody w glebie warunki chłodzenia elementów ulegają znacznemu pogorszeniu. Zatem można założyć, że podczas uprawy gleb o zmniejszonej wilgotności temperatura pracy elementów roboczych będzie większa od tej, jaką uzyskałby przy uprawie tych samych gleb w stanie nawilgoconym.

Zatem temperatura do jakiej mogą nagrzać się elementy robocze uprawowych narzędzi rolniczych, w zależności od warunków ich pracy, może zmieniać się w pewnym zakresie. Oczywiście wpływ powyżej przedstawionych czynników na temperaturę pracy elementów wymaga doświadczalnego potwierdzenia.

Jak już wcześniej wspomniano, przy planowaniu pomiarów termowizyjnych (za pomocą których zamierzano ustalić rozkład temperatury występującej na powierzchni lemieszki podczas jego eksploatacji) liczone się z możliwością ich niepowodzenia, co miało miejsce w prezentowanych badaniach. Niemniej, jak wykazano, nie wyklucza to całkowicie możliwości zastosowania tego sposobu pomiaru dla osiągnięcia omawianego celu. Konieczne byłoby jednak przy takich pomiarach zwiększenie emisyjności badanej powierzchni lemieszki w celu ograniczenia wpływu warunków otoczenia na wyniki pomiarów. Pozytywny rezultat nie zostałby przypuszczalnie osiągnięty przez naklejenie na całą powierzchnię lemieszki samoprzylepnego, pokrytego czarnym tuszem papieru, który wykorzystywano w badaniach. Zatem należy poszukiwać substancji o dużej emisyjności i małej pojemności cieplnej (aby nie powodować chłodzenia obiektu), która umożliwiałaby przed wykonaniem pomiarów termowizyjnych szybkie i równomierne pokrycie powierzchni lemieszki (lub innych elementów będących obiektami badań).

**LITERATURA**

1. Blicharski M. 2004. Inżynieria materiałowa. Stal. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa.
2. Hsu S.M., Shen M.C., Klaus E.E., Cheng H.S., Lacey P.J. 1994. Mechanochemical model: reaction temperatures in a concentrated contact. *Wear*, 175, s. 209–218.
3. Hebda M., Wachal A. 1980. Trybologia. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa.
4. <http://stop-emisji.pl/termowizja/przykladowe-wartosci-wspoczynnikow-emisyjnosci.html>
5. Kostencki P., Borowiak P. 2008. Nacisk gleby na powierzchnię roboczą lemieszka płuznego pracującego w glebie piaszczystej. *Tribologia 1* (217), s. 35–43.
6. Kostencki P., Borowiak P. 2011. Nacisk wywierany przez glebę w wybranych miejscach powierzchni roboczej lemieszka płuznego podczas uprawy gleby pylastej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 56 (2), s. 94–97.
7. Kufel K., Wierzcholski K., Kostencki P., Mischczak A. 1994. Wagowe zużycie lemieszki korpusów płuznych zamocowanych sprężynowo. *Tribologia 1* (133), 1994, s. 43–53.
8. Kufel K., Wierzcholski K., Czajkowski A. 1998. Experimental and analytical wear study of plough shears with the elastic and rigid connections to the frame. *Tribologia*, 5 (161), s. 740–753.
9. Łabęcki M. 1993. Wpływ gatunku materiału, sposobu obróbki cieplnej i twardości na trwałość organów roboczych maszyn pracujących w glebie, ze szczególnym uwzględnieniem lemieszki do pługów ciągnikowych. *Prace PIMR*, nr 2, s. 22–35.
10. Łabęcki M. 1995. Określenie wpływu stopnia zwięzłości, wilgotności i zakamienienia gleby na zużycie lemieszki do pługów ciągnikowych. Opracowanie Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych w Poznaniu TT-5/95.
11. Napiórkowski J. 2005. Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych (rozprawa habilitacyjna). *Inżynieria Rolnicza*, nr 12 (72). Rozprawy habilitacyjne Nr 17.
12. Owsiak Z. 1998. Narzędzia skrawające glebę. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu* nr 348. Monografie XV. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Wrocław.
13. Pawlik A. 1964. Opory orki w świetle pomiaru ciśnienia skiby na powierzchnię roboczą korpusu pługa. *Biuletyn prac naukowo-badawczych IMER* nr 3, s. 105–180.
14. PN-90/R-55021 Maszyny rolnicze. Metody badań narzędzi i maszyn uprawowych.
15. Sevierniev M. (red.) 1972. Iznos detalej sel'skohożajstviennyh mašin. *Kolos*, Leningrad.
16. Stabryła J., Starczewski L. 2006. Oddziaływanie wodoronowych składników gleby na zużycie ściernicze narzędzi rolniczych. *Problemy Eksploatacji*, nr 1, s. 199–207.
17. Wysocki K.I. 1993. Fullereny. *Postępy Fizyki*, nr 44, s. 339–363.
18. Zwierzycki W. (red.) 1990. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn. Państwowe Wydawnictwo Naukowe. Warszawa – Poznań.

### Summary

The surface temperature of ploughshares was measured during ploughing carried out in two conditions. Measurements were taken at two points on the surface of ploughshare using a contact thermometer and by means of thermal imaging of the whole surface. It was found that, depending on the working conditions, the surface temperature measured at two points of ploughshare was higher by about 4 to almost 9°C than the temperature of the cultivated soil. The surface of the bow section of the ploughshare underwent stronger heating, probably due to more soil stress. It was also found that pre-treatment of the surface of ploughshare to take measurements with thermal imaging cannot be used to determine the temperature distribution on the surface. A number of factors may affect the value of the ploughshares' operating temperature, the importance of which requires experimental confirmation.

