

Piotr KOSTENCKI*, **Tomasz STAWICKI***

**TEMPERATURA WARSTWY WIERZCHNIEJ
ELEMENTÓW ROBOCZYCH NARZĘDZI ROLNICZYCH
PRZEZNACZONYCH DO UPRAWY GLEBY.
CZEŚĆ I – OBIEKTY BADAŃ I WARUNKI ICH
PRACY, KONTAKTOWE POMIARY TEMPERATURY**

**TEMPERATURE OF THE TOP LEVEL SURFACE
OF PARTS OF AGRICULTURAL SOIL TILLING MACHINERY.
PART I – THE ANALYSED OBJECTS, OPERATING
CONDITIONS AND CONTACT TEMPERATURE
MEASUREMENTS**

Słowa kluczowe:

lemiesz płużny, dłuto głębosza, redlica i skrzydło łapy kultywatora, temperatura elementu roboczego

Key words:

ploughshare, 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.

Streszczenie

Podczas pracy elementów roboczych narzędzi rolniczych przeznaczonych do uprawy gleby występuje tarcie i zużywanie materiału tych elementów wywołane oddziaływaniem cząstek gleby. Procesy te są przyczyną zwiększenia temperatury elementów. Stosując pomiary kontaktowe, określano temperaturę lemieszki płużnych, dłut głębosza oraz redlic i skrzydeł łap kultywatora podczas ich użytkowania w glebie. Zwiększenie temperatury materiału elementów w mikroobszarach tarcia i zużywania może rzutować na procesy tribologiczne. Temperaturę mierzono w trzech miejscach powierzchni roboczej elementów (w przypadku lemieszki płużnych pomiary wykonywano dodatkowo w dwóch miejscach na powierzchni przeciwnej do powierzchni roboczej). Elementy pracowały w zróżnicowanych warunkach glebowych. W przypadku lemieszki płużnych pomiary przeprowadzono podczas orki wykonywanej w okresie letnim i jesiennym. Największą temperaturę ($29,3 \div 36,0^{\circ}\text{C}$) stwierdzono w przypadku lemieszki płużnych użytkowanych w okresie letnim, w glebie o małej wilgotności. W odniesieniu do temperatury gleby była ona od $5,5$ do $12,2^{\circ}\text{C}$, tj. od około 1,2 do 1,5 razy większa. W przypadku orki wykonywanej jesienią, kiedy gleba cechowała się niższą temperaturą i większą wilgotnością, temperatura lemieszki była mniejsza ($19,9 \div 22,0^{\circ}\text{C}$). W odniesieniu do temperatury gleby była ona od $2,8$ do $4,9^{\circ}\text{C}$, tj. od około 1,2 do 1,3 razy większa. W przypadku dłut głębosza temperatura materiału ich warstwy wierzchniej była wyrównana (około $23,5^{\circ}\text{C}$) i od $9,9$ do $10,9^{\circ}\text{C}$, tj. około 1,8-krotnie większa od temperatury gleby. Najmniejszy przyrost temperatury stwierdzono dla redlic i skrzydeł łap kultywatora. W przypadku redlic zarejestrowana temperatura była o $2,0$ i $2,2^{\circ}\text{C}$, tj. nieco powyżej 1,1 razy większa w odniesieniu do temperatury gleby, a temperatura skrzydeł porównywalna z nią.

WPROWADZENIE

Ośrodkiem, w którym użytkowane są elementy robocze uprawowych narzędzi i maszyn rolniczych, jest gleba. Elementy te ulegają zużyciu ściernemu na skutek zużyciowego oddziaływania środowiska pracy [L. 1]. Elementarnymi formami zużycia ściernego są mikroskrawanie, rysowanie i bruzdowanie, przy czym udział poszczególnych form i wzajemne ich interakcje mogą być różne w zależności od składu granulometrycznego gleby, jej stanu oraz sposobu oddziaływania elementów na glebę, a także właściwości materiału, z którego są one wykonane [L. 2–4].

Procesy zużywania ściernego mogą być intensyfikowane w wyniku chemicznego oddziaływania środowiska pracy, tj. substancji nieaktywnych chemicznie (adsorpcja, chemisorpcja), substancji aktywnych korozyjnie (chemicznie,

elektrochemicznie) i substancji absorbowanych do wierzchniej warstwy materiału (wodór, zmniejszający wytrzymałość mechaniczną materiału) [L. 4–7].

Na powierzchni roboczej (natarcia) przemieszczającego się w glebie elementu o danej geometrii i ustawieniu w stosunku do kierunku ruchu powstaje określony rozkład nacisków, właściwy dla danych warunków glebowych i prędkości wykonywania zabiegu [L. 8–10]. Intensywność ściernego zużywania jest ściśle związana z naciskiem wywieranym przez glebę. W tych obszarach powierzchni roboczej elementu, w których nacisk gleby przemieszczającej się po niej jest większy, proces zużycia ściernego przebiega intensywniej. Tarcia i zużywaniu towarzyszy wydzielanie się ciepła w ilości zależnej od intensywności tych procesów. Zatem temperatura materiału elementu w tych obszarach, na których procesy zużywania warstwy wierzchniej przebiegają z większym tempem, jest większa niż na pozostałych, na których nacisk gleby, a tym samym intensywność ścierania jest mniejsza. Należy podkreślić, że źródłem wydzielania ciepła są zjawiska występujące w mikroobszarach styku ziaren gleby z materiałem elementu, w których lokalne naciski mogą osiągać duże wartości. W tych mikroobszarach tarcia wzrost temperatury może być znaczny i rzutować na procesy tribologiczne. Niemniej dzięki dobrej przewodności cieplnej stali ($\sim 52 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ciepło to przenika do większej objętości materiału, przy czym część ciepła z nagrzanego w procesie tarcia elementu odbierana jest przez glebę, części obsady i powietrze stykające się z jego powierzchniami nieroboczymi. Stal ma oczywiście zdolność akumulowania ciepła, między innymi wydzielającego się w procesach tarcia i zużywania. Stąd parametrem wskazującym na intensywność procesów tribologicznych zachodzących w obszarach warstwy wierzchniej może być temperatura.

W dostępnej literaturze brak jest prac związanych z tym zagadnieniem, co wskazuje na oryginalność poruszanej problematyki. Wśród powszechnie przyjmowanych czynników wpływających na zużycie elementów roboczych narzędzi i maszyn przeznaczonych do uprawy gleby nie uwzględnia się zwiększenia ich temperatury wywołanego procesem tarcia o glebę [L. 11]. Jedynie w pracy [L. 12], w teoretycznej analizie odkształcenia wierzchniej warstwy materiału lemiesza podczas jego eksploatacji został uwzględniony aspekt termiczny. Niemniej brak doświadczeń na obiektach rzeczywistych i opisu teoretycznego stanowi o wciąż nierozpoznanym problemie oceny wpływu lokalnego wzrostu temperatury elementów pracujących w glebie na zmiany właściwości ich materiału oraz proces zużywania ściernego.

Celem badań było ustalenie, w przyjętych miejscach pomiarowych, wartości temperatury materiału warstwy wierzchniej lemieszy płużnych, dłut głębsza oraz redlic i skrzydeł łap kultywatora użytkowanych przy występujących podczas wykonywania prac polowych warunkach glebowych i technologicznych uprawy gleby.

Należy zaznaczyć, że przez temperaturę warstwy wierzchniej autorzy rozumieją temperaturę przypowierzchniowej warstwy materiału elementów, która znajduje się w zasięgu oddziaływania tribologicznego gleby. Ciepło wydzielające się w mikroobszarach tarcia i zużywania, dzięki dużej przewodności cieplnej stali, szybko rozprzestrzenia się z tej warstwy do całej objętości materiału elementów. Stąd autorzy zdają sobie sprawę, że przy przyjętym sposobie wykonywania pomiaru jego wynikiem jest określenie „ogólnej, wypadkowej” temperatury badanej warstwy materiału. Autorzy niestety nie znają sposobu pomiaru temperatury występującej bezpośrednio w mikroobszarach tarcia i zużywania, niemniej sądzą, że wyniki wykonanych badań mogą stanowić podstawę do rozważań dotyczących relacji zachodzących w parze tribologicznej, którą stanowi przemieszczający się w glebie stalowy element i gleba. W dalszej części pracy przedstawione powyżej ujęcie określane jest skrótowo jako temperatura elementu.

OBIEKTY BADAŃ I WARUNKI ICH PRACY

Przy wyborze elementów roboczych zastosowanych w badaniach kierowano się dążeniem do uzyskania jak największej odmienności w zakresie głębokości ich pracy i sposobu oddziaływania na glebę. Istotne było też to, że wytypowane elementy podczas użytkowania obciążone są ze strony gleby względnie dużymi naciskami. **Rysunek 1** przedstawiający obiekty badań zamieszczono w dalszej części pracy, dotyczącej metodyki wykonywania pomiarów.

W badaniach wykorzystano lemieszce przedsiębiorstwa Lemken zamontowane na pługach obracalnych tej firmy. Pomiary, ze względu na ich przeprowadzenie w dwóch różnych przedsiębiorstwach rolniczych, wykonano dla dwóch typów dzielonych lemiesz. Pierwszy składał się z napawanej (na stronie przeciwnej do roboczej) części dziobowej Scharspitze B2SP współpracującej z częścią trapezową o oznaczeniu Scharblatt SB45P 449x150x11 (element mocowany za pomocą dwóch śrub, umożliwiający orkę na szerokość do 45 cm dla jednego korpusu pługa), natomiast drugi – również z napawanej części dziobowej Scharspitze B2SP oraz część trapezowej o oznaczeniu Scharblatt SB56P 558x150x11 (element mocowany za pomocą trzech śrub lemieszowych i przeznaczony do orki na maksymalną szerokość wynoszącą 56 cm). Należy dodać, że zużycie lemiesz wymienionych w pierwszej kolejności było mniejsze niż wymienionych w drugiej kolejności i współpracowały one z pełnymi odkładnicami. Natomiast drugie z wymienionych lemiesz współpracowały z ażurowymi odkładnicami.

Badanymi dłutami głębosza były elementy zastosowane w narzędziu Terra-land T0 6000 produkowanym przez firmę Bednar. W przedsiębiorstwie rolniczym, w którym prowadzono pomiary, w czasie ich realizacji stosowano regenerowane we własnym zakresie zęby głęboszy. Regeneracja polegała na przy-

spawaniu w miejsce zużytych dłut profilowanych płaskowników wykonanych ze stali Hardox 400 o grubości i szerokości wynoszącej odpowiednio 25 i 60 mm oraz długości – około 330 mm. Na **Rysunku 1** przedstawiono regenerowany ząb głębosza wraz z zaznaczeniem orientacyjnej linii zużycia elementów.

Natomiast w przypadku redlic i skrzydeł łap kultywatora były to elementy stosowane w narzędziu Horsch Terrano 12Fg produkowanym przez firmę Horsch. Zęby kultywatora wyposażone były w łapy MulchMix składające się ze wzmocnionych przez napawanie (na powierzchni natarcia) redlic typu HM o szerokości 80 mm, osłon trzonek o szerokości wynoszącej również 80 mm i szerokich skrzydeł HM. Podobnie jak w przypadku lemiesz i dłut głębosza, poddane badaniom redlice i skrzydła łap kultywatora cechowały się częściowym zużyciem (większym w przypadku skrzydeł – **Rys. 1**).

Badania wykonano późnym latem i jesienią 2014 r. na polach trzech przedsiębiorstw rolniczych zlokalizowanych w województwie zachodniopomorskim. We wszystkich przypadkach pomiary przeprowadzono na polach po zbiorze zbóż z wykonaną uprzednio uprawą poźniwną, a przy pomiarach dotyczących kultywatora – dodatkowo po głęboszowaniu pola. W celu scharakteryzowania warunków pracy elementów ustalono: grupę granulometryczną/gatunek uprawianych gleb, udział żwiru i zawartość próchnicy, wilgotność i gęstość objętościową, zwięzłość i naprężenia ścinające oraz prędkość i głębokość wykonywanego zabiegu. Ustalano też występującą w czasie badań temperaturę gleby i powietrza. Określono także długość przejazdów roboczych narzędzi. Była ona przy poszczególnych elementach różna, gdyż wynikała z zastanej w trakcie pomiarów sytuacji polowej i w każdym przypadku odpowiadała długości uprawianego pola (odległości pomiędzy nawrotami narzędzia). Sposoby wykonywania pomiarów powyższych wielkości podano w pracy [**L. 13**]. Ze względu na trudności związane z ustaleniem głębokości pracy zębów głębosza i kultywatora wartość tych parametrów określono na podstawie wskazań ustawienia głębosza i informacji uzyskanych od operatora kultywatora.

W **Tabeli 1** podano wartości najważniejszych, według autorów, parametrów determinujących proces zużywania elementów i warunki wykonywania pomiaru temperatury. W tabeli symbolami A i B oznaczono warunki pracy lemiesz płużnych o maksymalnej szerokości roboczej wynoszącej odpowiednio 45 i 56 cm, przez C – dłut głębosza oraz D – redlic i skrzydeł łap kultywatora.

W czasie badań uprawiano gleby o dużym udziale frakcji piaskowej ($d = 2 \pm 0,05$ mm). Zawartość próchnicy była typowa dla gleb mineralnych i dla poszczególnych warunków wahała się w zakresie od 1,70 do 2,54%. W warunkach A udział żwiru w glebie wynosił 8,2% i był średnio około 2,6 razy większy niż w warunkach B, C i D. Również wilgotność gleby w warunkach A odbiegała od wilgotności stwierdzonej dla pozostałych warunków – była ona od około 1,5 do 2,2 razy mniejsza. Gęstość objętościowa gleby we wszystkich

Tabela 1. Charakterystyka warunków pracy elementów
Table 1. Characteristics of operating conditions of the elements

Wielkość	Warstwa gleby	Warunki pracy elementów			
		A	B	C	D
Grupa granulometryczna*/ gatunek gleby**	warsztwa orna	pgdr ¹⁾ / pgl ⁴⁾	gpdr ²⁾ / pgmp ⁵⁾	gpdr ²⁾ / pgm ⁶⁾ (80%), gfp ⁷⁾ (20%)	gpdr ³⁾ / pgm ⁶⁾
Aktualna wilgotność gleby, % wag.	0-10 cm 10-20 cm 20-30 cm	8,5 s = 1,1 8,4 s = 0,7 8,7 s = 0,8	16,2 s = 1,1 14,1 s = 1,1	0-15 cm 18,2 s = 4,6 15-30 cm 15,2 s = 5,0 pon. 30 cm 15,9 s = 4,5	0-10 cm 19,1 s = 2,0 10-20 cm 15,6 s = 2,3
Gęstość objętościowa gleby, g·cm ⁻³	0-10 cm 10-20 cm 20-30 cm	1,28 s = 0,13 1,49 s = 0,14 1,48 s = 0,08	1,40 s = 0,11 1,54 s = 0,06	0-15 cm 1,26 s = 0,15 15-30 cm 1,67 s = 0,14 pon. 30 cm 1,65 s = 0,05	0-10 cm 1,37 s = 0,06 10-20 cm 1,60 s = 0,10
Zwięzłość gleby, kPa	0-10 cm 10-20 cm 20-30 cm	1316 s = 999 2806 s = 1475 3924 s = 1173	372 s = 238 1419 s = 809	0-15 cm 1156 s = 1076 15-30 cm 3007 s = 1652 pon. 30 cm 3681 s = 1455	0-10 cm 185 s = 114 10-20 cm 561 s = 446
Napężenia ścinające glebę, kPa	0-10 cm 10-20 cm 20-30 cm	30 s = 15 60 s = 28 57 s = 22	43 s = 7 64 s = 11	0-15 cm 66 s = 24 15-30 cm 78 s = 24 pon. 30 cm 97 s = 21	0-10 cm 39 s = 19 10-20 cm 55 s = 30
Temperatura gleby, °C		23,8 s = 0,5	17,1 s = 0,2	13,1 s = 0,3	14,6 s = 0,3
Głębokość robocza, cm		20,5 s = 4,8	17,9 s = 1,5	~ 35	5÷10
Prędkość pracy, m·s ⁻¹		2,28 s = 0,07	2,57 s = 0,05	2,97 s = 0,04	3,32 s = 0,27
Długość przejazdu roboczego, m		470	1130	420	250
Temperatura powietrza, °C		27,6 s = 0,9	19,0 s = 0,4	12,8 s = 0,4	12,0 s = 0,3

* wg aktualnych oznaczeń Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego, ** wg wcześniejszych oznaczeń PTG, ¹⁾ pgdr – piasek gliniasty drobnoziarnisty, ²⁾ gpdr – glina drobnoziarnista, ³⁾ gpdr – glina bardzo drobnoziarnista, ⁴⁾ pgl – piasek gliniasty lekki, ⁵⁾ pgmp – piasek gliniasty mocny, ⁶⁾ pgm – piasek gliniasty mocny, ⁷⁾ gfp – glina lekka pylasta

przypadkach była typowa dla jej stanu po zbiorze zbóż. W warunkach A i C gleba cechowała się dużą i zbliżoną zwięzłością, natomiast wyraźnie mniejszą w warunkach B i najmniejszą w warunkach D. Należy zaznaczyć, że we wszystkich przypadkach zwięzłość gleby charakteryzowała się dużą zmiennością, o czym świadczą wartości odchylenia standardowego (**Tab. 1**). Wartości naprężeń ścinających glebę przy poszczególnych warunkach badań były natomiast bardziej wyrównane niż zwięzłości, przy czym największą ich wartość stwierdzono dla warunków C. Największa temperatura gleby występowała w warunkach A – była ona odpowiednio około 1,4, 1,8 i 1,6 razy większa niż w warunkach B, C i D. Również temperatura powietrza była największa w warunkach A – odpowiednio 1,5, 2,2 i 2,3-krotnie większa niż w warunkach B, C i D.

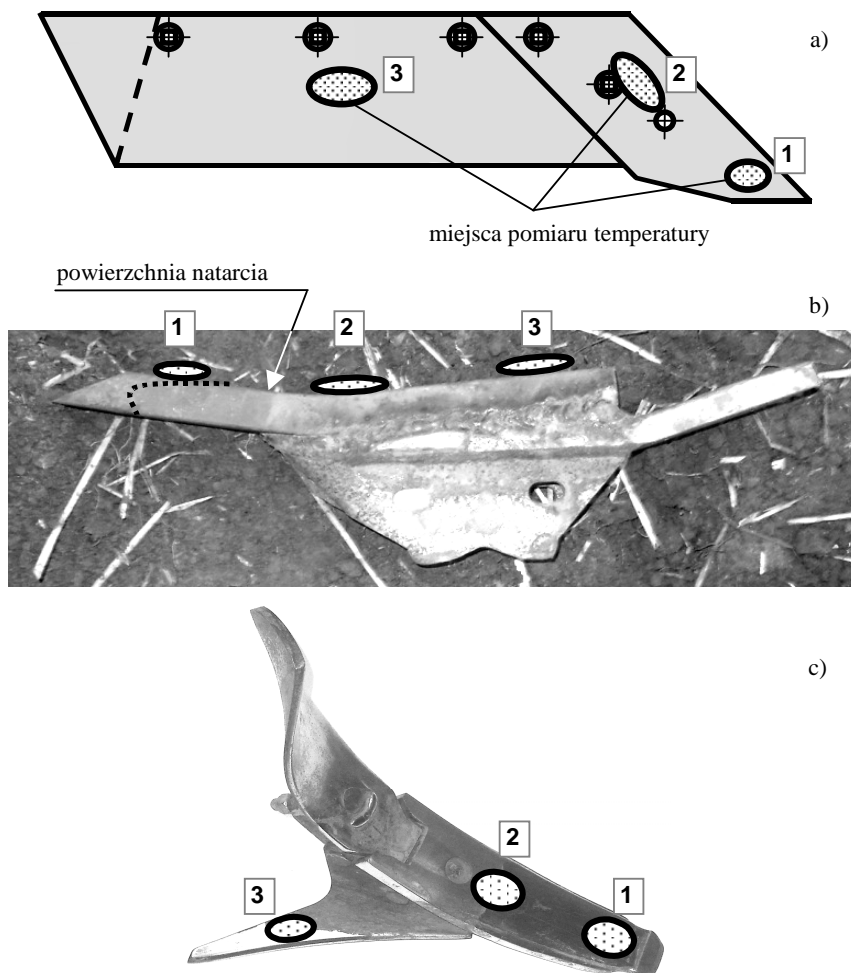
Podczas pomiarów temperatury lemieszki płuznych (warunki A i B) wykonywana była orka siewna. Głębokość uprawy była typowa dla orki o takim przeznaczeniu. W warunkach B prędkość orki była o około 1,13-krotnie większa. Spowodowane to było zapewne mniejszą głębokością pracy pługa i mniejszą zwięzłością uprawianej gleby niż w warunkach A. W przypadku głębosza Terraland T0 6000 głębokość uprawy wynosiła około 35 cm, przy maksymalnej możliwej do uzyskania – 55 cm. Natomiast uprawa gleby wykonywana narzędziem Horsch Terrano 12Fg (przeznaczonym do spulchniania gleby na głębokość wynoszącą od 3 do 20 cm) była płytka – 5÷10 cm. Celem wykonywanego zabiegu było wymieszanie z glebą zalegających na powierzchni pola resztek poźniwnych.

POMIARY KONTAKTOWE TEMPERATURY

Do pomiaru temperatury badanych elementów, a także temperatury gleby i powietrza wykorzystano cyfrowy termometr CHY 502 wyposażony w termoparę typu K. Zakres pomiarowy termometru wynosił od - 200 do 1370°C, a błąd pomiaru temperatury w zakresie mierzonych wartości nie przekraczał 0,2°C [**L. 13**]. Miejsca pomiaru temperatury badanych elementów przedstawiono na **Rysunku 1**.

Pomiary wykonywano bezpośrednio po zakończeniu pracy i uniesieniu narzędzia oraz oczyszczeniu elementu roboczego z zalegającej ewentualnie na jego powierzchni gleby. Czas przystąpienia do wykonywania pomiarów wynosił kilka do kilkunastu sekund, a czas do ich zakończenia nie przekraczał minuty. Ponowne pomiary wykonywano po przejeździe narzędzia z jednego końca pola na drugi i z powrotem. W ten sposób dla każdego miejsca pomiarowego uzyskano trzy powtórzenia pomiarów. Jedynie w przypadku lemieszki płuznych pracujących w warunkach B, ze względu na niespodziewane zakończenie pracy pługa, pomiary wykonano dwukrotnie. W przypadku lemieszki płuznych mierzono również ich temperaturę od strony przeciwnej do powierzchni natarcia. Pomiary te wykonywano jedynie w miejscach pomiarowych 1 i 3, gdyż obszar miejsca pomiarowego 2 zasłonięty był obsadą lemieszki. Również przy lemie-

szach płużnych mierzono ich temperaturę przed pracą w glebie (na powierzchni roboczej w miejscach 2 i 3 oraz przeciwnej do niej w miejscach 1 i 3). Podyktowane to było użytkowaniem lemieszów na pługach obracalnych, gdzie temperatura lemieszów niepracujących w danym przejeździe pługa może ulegać zmianie w stosunku do temperatury uzyskanej podczas bezpośrednio wykonywanej orki.



Rys. 1. Obiekty badań i miejsca pomiaru temperatury: a – lemiesz płużny (linia gruba ciągła – lemiesz o maksymalnej szerokości roboczej wynoszącej 56 cm, linia kreskowa – koniec części trapezowej lemieszów o maksymalnej szerokości roboczej wynoszącej 45 cm), b – dłuto głębosza, c – redlica i skrzydła łapy kultywatora

Fig. 1. Research objects and measuring temperature places: a – the ploughshare with 56 cm maximum working width, dashed line – the end of trapezoidal section, at which the maximum ploughing width is 45 cm), b – subsoiler shank, c – coulters and wing of cultivator tooth

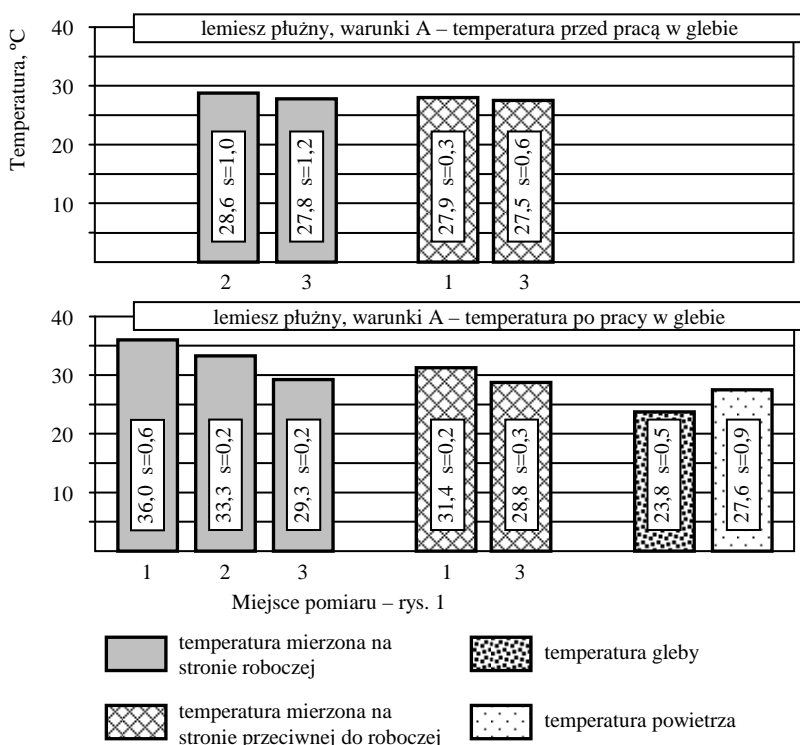
W warunkach laboratoryjnych wykonano pomiary temperatury ochładzającego się lemiesza, mierzonej w obszarze części dziobowej i trapezowej. Początkowa różnica temperatury między lemieszem a otoczeniem była większa niż w warunkach badań polowych i wynosiła około 15°C. Pomiary wykonywano co minutę, a całkowity ich czas wynosił 20 minut. Na podstawie linii trendu dla uzyskanych wyników stwierdzono, że szybkość schładzania elementów w obu miejscach pomiarowych była mała i wynosiła średnio 0,34°C na minutę. Podczas pomiarów prowadzonych w warunkach polowych wartość temperatury odczytywano po stabilizacji wskazań termometru (czas kontroli wynosił kilka sekund). We wszystkich warunkach wykonywania pomiarów nie zaobserwowano zjawiska ciągłego obniżania się temperatury elementów. Powyższe wskazuje, że szybkość schładzania elementów, zwłaszcza przy niewielkiej różnicy między temperaturą elementu roboczego i otoczenia (co miało miejsce w warunkach wykonywania pomiarów), nie wpłynęła znacząco na wyniki pomiarów.

Na **Rysunku 2 i 3** przedstawiono zmierzoną w wytypowanych miejscach pomiarowych wartość temperatury lemieszy oraz wartość temperatury gleby i powietrza podczas wykonywania orki w warunkach odpowiednio A i B. Na **Rysunku 4** podano wartości temperatury zmierzonej w określonych miejscach pomiarowych dłużej głębosza podczas uprawy prowadzonej w warunkach C oraz redlic i skrzydeł łap kultywatora przy uprawie wykonywanej w warunkach D. Na rysunku tym zamieszczono również wartości temperatury gleby i powietrza zmierzone w tych warunkach. Natomiast w tabeli 2 podano wartości przyrostu temperatury elementów ustalonego w przyjętych miejscach pomiarowych w odniesieniu do temperatury gleby oraz stosunek temperatury elementów do temperatury gleby.

Największą wartość temperatury stwierdzono dla lemieszy płuznych pracujących w warunkach A (**Rys. 2**). W tym przypadku uprawiana gleba cechowała się względnie małą wilgotnością i największą temperaturą (**Tab. 1**). Zmierzona bezpośrednio po pracy w glebie temperatura na powierzchni roboczej lemieszy była w przyjętych miejscach pomiarowych od około 1,2 do 1,5 razy większa od temperatury gleby (**Tab. 2**). Najwyższą temperaturę stwierdzono w miejscu pomiarowym 1. Była ona około 1,1 i 1,2 razy większa niż odpowiednio w miejscach pomiarowych 2 i 3. Wskazuje to na intensyfikację procesu ścierania materiału dzioba lemiesza, w szczególności jego części początkowej, w stosunku do części trapezowej lemiesza. Zapewne było to podyktowane większym ze strony gleby obciążeniem części dziobowej niż części trapezowej.

W warunkach A temperatura lemieszy mierzona w miejscach pomiarowych 1 i 3 od strony powierzchni przeciwnej do roboczej była odpowiednio o 4,6 i 0,5°C mniejsza niż na stronie roboczej, co stanowi odpowiednio około 12,8 i 1,7% wartości temperatury stwierdzonej na powierzchni natarcia elementów. Świadczy to o szybkim, dzięki dużemu przewodnictwu cieplnemu stali, rozchodzeniu się ciepła z mikroobszarów tarcia i zużywania do całej objętości materiału elementu i względnie równomiernym jego nagrzanemu w głąb materiału.

Jak już wspomniano wcześniej, w badaniach wykorzystano pługi obracalne, w których naprzemiennie pracują korpusy odkładające glebę na prawo i na lewo. Ochłodzenie lemieszki związane z taką formą ich pracy mierzone na stronie roboczej wynosiło 4,7 i 1,5°C odpowiednio w miejscach pomiarowych 2 i 3 oraz 3,5 i 1,3°C na stronie przeciwnej do roboczej w miejscach pomiarowych 1 i 3. W warunkach A temperatura powietrza była duża (27,6°C), co spowalniało proces chłodzenia elementów. Jednak przy znacznej długości i czasie przejazdu roboczego pługa (470 m, około 3,4 minuty) temperatura lemieszki niepracujących przy danym przejeździe pługa w miejscach pomiaru osiągała wartość zbliżoną do temperatury powietrza. Jedynie w miejscu pomiarowym 2, zlokalizowanym na stronie roboczej elementów, była o 1,0°C większa od temperatury powietrza (**Rys. 2**). Można przypuszczać, że związane to było z lokalizacją miejsca pomiarowego 2, które znajdowało się w obszarze



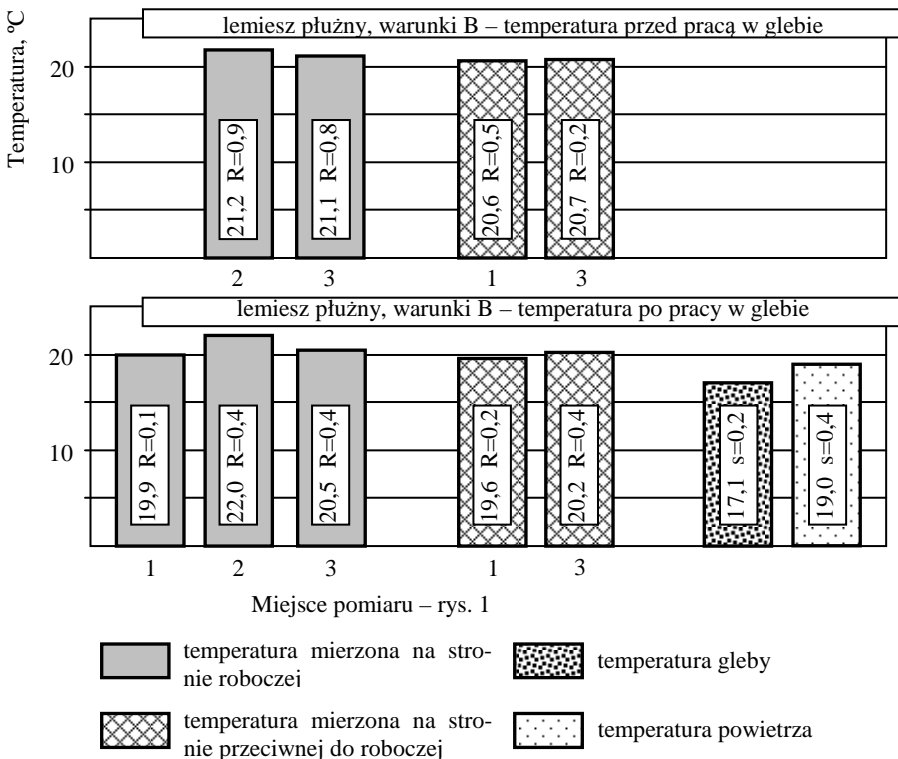
Rys. 2. Temperatura lemieszki w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3 oraz gleby i powietrza podczas wykonywania orki w warunkach A (s – odchylenie standardowe)

Fig. 2. The temperature of ploughshares at the measurement points 1, 2 and 3, and the temperature of soil and air while ploughing in conditions A (s – standard deviation)

podparcia dziobu lemieszka, przez co odprowadzanie ciepła z tej części elementu było utrudnione.

W przypadku lemieszki płużnych pracujących w warunkach B stwierdzono odmienny rozkład temperatury w stosunku do pracy tych elementów w warunkach A. Mogło to wynikać z różnych stanów uprawianej gleby. Wilgotność gleby w warunkach B była około 1,7 razy większa, a jej temperatura około 1,5 raza mniejsza niż w warunkach A. Większej wilgotności gleby odpowiadała też mniejsza jej zwięzłość (**Tab. 1**). W tych warunkach elementy ulegały zdecydowanie mniejszemu nagrzewaniu od strony roboczej niż w warunkach A – w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3 odpowiednio o 16,1, 11,3 i 8,8°C.

W warunkach B największą temperaturę stwierdzono w miejscu pomiarowym 2 zlokalizowanym na stronie roboczej (**Rys. 3**). Była ona około 1,1 razy podczas pomiarów stan zużycia lemieszki, przy którym krawędź ostrza części większa niż w miejscach 1 i 3. Natomiast, w przeciwieństwie do warunków A, najmniejsza temperatura występowała w miejscu pomiarowym 1. Wyjaśnieniem



Rys. 3. Temperatura lemieszki w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3 oraz gleby i powietrza podczas wykonywania orki w warunkach B (R – rozstęp)

Fig. 3. The temperature of ploughshares at the measurement points 1, 2 and 3, and the temperature of soil and air while ploughing in conditions B (R – the range)

dość niespodziewanego rozkładu temperatury mógłby być występujący dziobowej uległa prawie zrównaniu z linią ostrza części trapezowej elementów. W konsekwencji powierzchnia dziobu w okolicy miejsca pomiarowego 1 mogła ulec w pewnym stopniu odciążeniu, przy którym nastąpiło zmniejszenie intensywności procesu tarcia i zużywania w tym obszarze. Natomiast miejsce pomiarowe 2 zlokalizowane było w strefie podparcia dziobu, o czym pisano już wcześniej, w którym odprowadzanie ciepła z elementu jest utrudnione. Stąd w tym miejscu zarejestrowano temperaturę o 2,1°C większą niż w miejscu pomiarowym 1. Jednak równie dobrze przyczyną takiego rozkładu temperatury mógł być intensywniejszy, w konsekwencji zużycia lemieszki i warunków ich pracy, proces tarcia i zużywania zachodzący w obszarze miejsca pomiarowego 2 w odniesieniu do miejsca 1.

W odniesieniu do temperatury gleby, temperatura lemieszki użytkowanych w warunkach B była bezpośrednio po ich pracy w glebie około 1,3 w miejscu pomiarowym 2, a miejscach 1 i 3 – 1,2 razy większa (**Tab. 2**).

Tabela 2. Przyrost temperatury elementów w przyjętych miejscach pomiarowych spowodowany procesami tarcia i zużywania w czasie ich pracy w glebie, w odniesieniu do temperatury gleby oraz stosunek temperatury elementów do temperatury gleby

Table 2. Temperature increase of the objects due to friction and abrasive wear processes during their work in soil in the relation to the soil temperature and the ratio of the temperature of objects to the soil temperature

Miejsce pomiaru (na powierzchni roboczej elementu – rys. 1)	Przyrost temperatury elementu w odniesieniu do temperatury gleby, °C	Stosunek temperatury elementu do temperatury gleby
lemiesz płuzny, warunki pracy A		
1	12,2	1,51
2	9,5	1,40
3	5,5	1,23
lemiesz płuzny, warunki pracy B		
1	2,8	1,16
2	4,9	1,29
3	3,4	1,20
dłuto głębosza, warunki pracy C		
1	10,9	1,83
2	10,5	1,80
3	9,9	1,76
redlica i skrzydło łapy kultywatora, warunki pracy D		
1	2,2	1,15
2	2,0	1,14
3	(- 0,2)*	(0,99)*

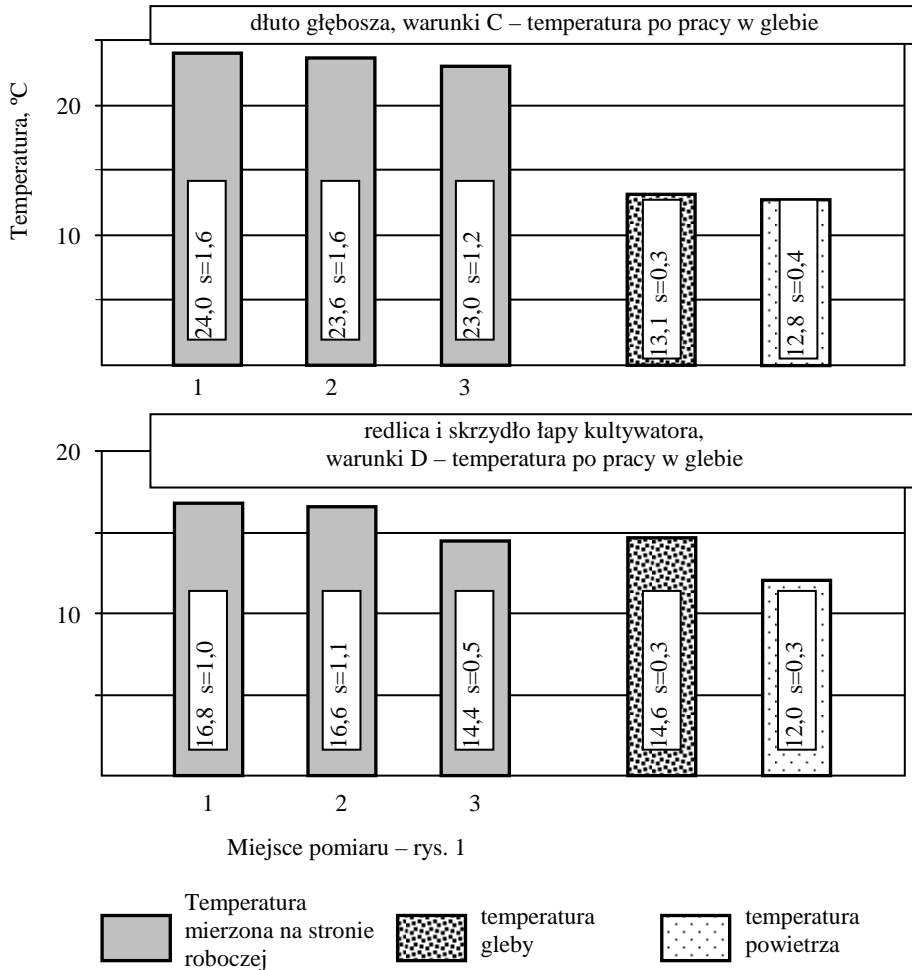
* zmniejszenie temperatury elementu wywołane najprawdopodobniej jego ochłodzeniem przez powietrze w czasie wykonywania pomiaru temperatury.

Temperatura elementów mierzona na stronie przeciwnej do roboczej w miejscach pomiarowych 1 i 3 była jedynie o $0,3^{\circ}\text{C}$ mniejsza niż ustalona w tych samych miejscach na powierzchni natarcia.

Temperatura lemieszki, które nie uprawiały gleby w danym przejeździe pługa, mierzona w miejscu pomiarowym 3 na stronie roboczej i miejscach 1 i 3 na stronie przeciwnej do niej, była większa od temperatury stwierdzonej po ich bezpośredniej pracy w glebie oraz większa od temperatury powietrza ($19,0^{\circ}\text{C}$). Natomiast temperatura zmierzona na stronie roboczej w miejscu pomiarowym 2 była również większa od temperatury powietrza, ale o $0,8^{\circ}\text{C}$ mniejsza niż po pracy elementów w glebie. Ogólnie, temperatura powierzchni lemieszki w opisywanych miejscach była zbliżona i zawierała się w zakresie od $20,6$ do $21,2^{\circ}\text{C}$. Większa temperatura lemieszki od temperatury powietrza wynikała przypuszczalnie z ich ogrzania przez promienie słoneczne, czemu sprzyjała duża długość przejazdów roboczych pługa (ponad $1,1$ km), a tym samym długi czas ogrzewania (około $7,3$ minuty). Zatem temperatura lemieszki rozpoczynających pracę w danym przejeździe pługa, na skutek zetknięcia z chłodną glebą ($17,1^{\circ}\text{C}$), zmniejszała się aż do momentu wystąpienia równowagi dynamicznej przy określonej temperaturze, tj. zrównania się ilości ciepła wytwarzanego w procesie tarcia z ilością ciepła odprowadzonego z elementu.

Temperatura mierzona na stronie roboczej dłut głębosza bezpośrednio po ich pracy w glebie była w przyjętych miejscach pomiaru zbliżona (**Rys. 4**). Różnice w wartościach temperatury zawierały się w przedziale od $0,4$ do $1,0^{\circ}\text{C}$. Największą temperaturę stwierdzono w miejscu pomiarowym 1, zlokalizowanym w pobliżu ostrza elementu, a najmniejszą – w miejscu pomiarowym 3 leżącym przy jego końcu (**Rys. 1**). W odniesieniu do temperatury gleby wzrost temperatury dłut w przyjętych miejscach pomiarowych był znaczny, pomimo uprawy gleby nawilgoconej i o względnie małej temperaturze ($13,1^{\circ}\text{C}$). Wynosił on $10,9$, $10,5$ i $9,9^{\circ}\text{C}$ odpowiednio w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3. W konsekwencji temperatura materiału warstwy wierzchniej powierzchni roboczej dłut była około $1,8$ -krotnie większa od temperatury gleby (**Tab. 2**). Wskazuje to na duże ze strony gleby obciążenie tej powierzchni i intensywny przebieg procesów tarcia i zużywania, co zapewne wynikało ze znacznej głębokości pracy elementów.

Natomiast materiał redlic i skrzydeł łap kultywatora, w wyniku tarcia i zużywania wywołanego oddziaływaniem gleby na powierzchnię tych elementów, uległ małemu nagraniu (**Rys. 4**). Stwierdzona dla redlic temperatura w miejscach pomiarowych 1 i 2 była odpowiednio o $2,2$ i $2,0^{\circ}\text{C}$ większa od temperatury gleby ($14,6^{\circ}\text{C}$). Natomiast temperatura skrzydeł łap kultywatora mierzona w miejscu pomiarowym 3 (**Rys. 1**) była o $0,2^{\circ}\text{C}$ mniejsza od temperatury gleby.



Rys. 4. Temperatura dłuł gębosza w miejscach pomiarowych 1, 2 i 3 podczas uprawy wykonywanej w warunkach C oraz redlic i skrzydeł łap kultywatora podczas uprawy wykonywanej w warunkach D oraz temperatura gleby i powietrza występująca w warunkach C i D (s – odchylenie standardowe)

Fig. 4. The temperature of subsoiler shanks at the measurement points 1, 2 and 3 while tilling in the conditions C, temperature of cultivator coulters and tooth wings while tilling in conditions D and the temperature of soil and air for the conditions C and D (s – standard deviation)

Spowodowane to było najprawdopodobniej ochłodzeniem skrzydeł w czasie wykonywania pomiaru przez powietrze o temperaturze 12,0°C (sprzyjała temu mała pojemność cieplna elementów wynikająca z małej ich masy). Mały wzrost temperatury redlic i skrzydeł łap kultywatora w stosunku do temperatury gleby

wynikał przypuszczalnie z małej głębokości ich pracy, dużej wilgotności i małej zwięzłości uprawianej gleby, pomimo wykonywania zabiegu z największą prędkością w porównaniu z prędkością orki i głęboszowania (**Tab. 1**).

PODSUMOWANIE

Dla objętych badaniami roboczych elementów narzędzi rolniczych przeznaczonych do uprawy gleby stwierdzono różny wzrost temperatury materiału ich warstwy wierzchniej wywołany w czasie użytkowania tarciami i zużywaniem przez cząstki gleby.

W stosunku do temperatury uprawianej gleby największy względny wzrost temperatury wystąpił na powierzchni dółt głębosza. Ich temperatura ustalana od strony powierzchni natarcia była w przyjętych miejscach pomiaru około 1,8-krotnie większa od temperatury gleby. Wskazuje to na duże obciążenie powierzchni dółt przez glebę ze względu na znaczną głębokość ich pracy, co jest specyficzne dla wykonywanego zabiegu agrotechnicznego. Należy zaznaczyć, że w warunkach prowadzenia pomiarów bezwzględna wartość temperatury dółt nie była duża (w przyjętych miejscach pomiarowych była zbliżona i wynosiła średnio około 23,5°C). Wyjaśnić to można małą temperaturą uprawianej gleby (13,1°C) i jej nawilgoceniem (15,2÷18,2%), gdyż woda zawarta w glebie dzięki większemu ciepłu właściwemu i przewodnictwu cieplnemu od powietrza wpływa sprzyjająco na proces chłodzenia elementów.

Największą bezwzględną temperaturę stwierdzono w przypadku lemieszki płużnych użytkowanych przy orce gleby o małej wilgotności (~8,4%) i dużej temperaturze (23,8°C). W tych warunkach pracy temperatura lemieszki w przyjętych miejscach pomiarowych na stronie roboczej elementów zawierała się w przedziale od 29,3 do 36,0°C, przy czym najsilniejszemu nagrzewaniu ulegał dolny obszar dziobów. Jednak względny wzrost temperatury elementów w stosunku do temperatury gleby był mniejszy niż w przypadku dółt głębosza – była ona od 1,2 do 1,5 razy większa od temperatury gleby. Natomiast w przypadku lemieszki płużnych użytkowanych w glebie nawilgoconej (~14%) i o mniejszej temperaturze (17,1°C) bezwzględny wzrost temperatury elementów był wyraźnie mniejszy niż przy elementach wcześniej opisanych. Była ona w przyjętych miejscach pomiaru jedynie od 2,8 do 4,9°C większa od temperatury gleby, przy czym największemu nagrzewaniu w tych warunkach pracy elementów ulegał górny obszar dziobów.

Najmniejszy wzrost temperatury stwierdzono dla redlic i skrzydeł łap kultywatora. W miejscach pomiarowych stosowanych na redlicy była ona jedynie o 2,0 i 2,2°C większa w odniesieniu do temperatury gleby (14,6°C). Natomiast wartość temperatury skrzydeł była porównywalna z temperaturą gleby. Tak mały wzrost temperatury tych elementów uzasadnia mała głębokość wykony-

wania zabiegu, duża wilgotność uprawianej gleby i mała jej zwięzłość wynikająca z uprzednio wykonanego na polu głęboszowania.

Reasumując, można wnioskować, że w przypadku uprawy gleb o zmniejszonej wilgotności, gdy powierzchnia elementów obciążona jest dużym naciskiem gleby, a warunki ich chłodzenia ograniczone z racji małej ilości wody występującej w glebie, wzrost temperatury elementów wywołany procesami tarcia i zużywania będzie zdecydowanie większy niż przy uprawie gleb nawilgoconych i o małej zwięzłości.

Przy pomiarach temperatury lemieszki płużnych mierzono jej wartość od strony roboczej oraz w dwóch miejscach leżących na powierzchni przeciwnej do niej i pokrywających się z miejscami pomiarowymi na stronie roboczej. Różnice w wartości między zmierzonymi temperaturami nie były duże. Przy lemieszach pracujących w glebie o małej wilgotności (~8,4%) wartość temperatury mierzonej na stronie przeciwnej do roboczej była o 4,6 i 0,5°C, a przy elementach pracujących w glebie nawilgoconej (~14%) w obu miejscach pomiarowych jedynie o 0,3°C mniejsza od zmierzonej na stronie roboczej. Stanowi to odpowiednio około 12,8, 1,7 i 1,5% wartości temperatury mierzonej na stronie roboczej elementów. Zatem ciepło powstałe w mikroobszarach tarcia cząstek gleby i zużywania materiału elementów ulega szybkiemu rozprzestrzenieniu do całej objętości materiału. Należy dodać, że część wytworzonego w procesie tarcia ciepła jest zapewne rozpraszana w wyniku chłodzenia elementów przez glebę, elementy obsady i powietrze, z którym się one stykają na powierzchni nieroboczej.

Uogólniając, można stwierdzić, że te obszary elementów, na których procesy tarcia i zużywania przebiegają intensywniej, ulegają większemu nagrzewaniu. W konsekwencji temperatura całego elementu wzrasta, a na jego stronie roboczej ujawnia się właściwy dla danych warunków pracy rozkład temperatury, związany z różną intensywnością zachodzących procesów tribologicznych.

Wykonane pomiary wskazują na możliwość wydzielania się dużej ilości ciepła w obszarze warstwy wierzchniej elementów użytkowanych w glebie. Ponieważ źródłem tego ciepła są zjawiska zachodzące w mikroobszarach tarcia, można sądzić, że lokalny wzrost temperatury w tych mikroobszarach jest duży. Nadal jednak pozostaje otwarty problem, do jakiej temperatury nagrzewa się materiał elementów bezpośrednio w mikroobszarach tarcia i zużywania ich warstwy wierzchniej przez twarde cząstki gleby i czy w wyniku lokalnego jej wzrostu mogą zachodzić zjawiska odpuszczania stali opisane w publikacji [L. 13] zgodnie z opracowaniem Blicharskiego [L. 14] lub inne zjawiska wpływające na procesy tribologiczne.

LITERATURA

1. Talarczyk W., Zużycie elementów roboczych maszyn w procesie uprawy gleby. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 1993, 2, s. 36–42.
2. Hebda M., Wachal A., Trybologia. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1980.
3. Owsiak Z., Mechanizm zużycia elementów maszyn rolniczych pracujących w glebie. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, 1985, 156, s. 115–122.
4. Zwierzycki W. (red.), Wybrane zagadnienia zużycia się materiałów w ślizgowych węzłach maszyn. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa – Poznań 1990.
5. Napiórkowski J., Wpływ odczynu gleby na intensywność zużycia elementów roboczych. Tribologia, 1997, 5–6, s. 793–801.
6. Napiórkowski J., Zużyciowe oddziaływanie gleby na elementy robocze narzędzi rolniczych. Inżynieria Rolnicza, 2005, 12 (72). Rozprawy habilitacyjne nr 17.
7. Stabryła J., Starczewski L., Oddziaływanie wodoronowych składników gleby na zużycie ściernic narzędzi rolniczych. Problemy Eksploatacji, 2006, 1, s. 199–207.
8. Sevierniev M. (red.), Iznos detalej sel'skohozajstviennyh mašin. Kolos, Leningrad 1972.
9. Pawlik A., Opory orki w świetle pomiaru ciśnienia skiby na powierzchnię roboczą korpusu pługa. Biuletyn Prac Naukowo-Badawczych IMER, 1964, 3, s. 105–180.
10. Kostencki P., Borowiak P., Nowowiejski R., Statyczny i dynamiczny nacisk wywierany przez glebę pylastą na powierzchnię roboczą lemieszka płuznego. Tribologia, 2012, 6 (246), s. 61–73.
11. Owsiak Z., Narzędzia skrawające glebę. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu nr 348. Monografie XV. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1998.
12. Kufel K., Wierzcholski K., Kostencki P., Miszczak A., Wagowe zużycie lemieszki korpusów płuznych zamocowanych sprężynowo. Tribologia, 1994, 1 (133), s. 43–53.
13. Kostencki P., Stawicki T., Wzrost temperatury lemieszki płuznych wywołany tarciem gleby podczas ich użytkowania. Tribologia, 2014, 1 (253), s. 11–25.
14. Blicharski M., Inżynieria materiałowa. Stal. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2004.

Summary

During operation of working parts of agricultural machinery for soil tilling, the friction and abrasive wear of their surfaces occur due to the interaction of soil particles. Those processes cause a temperature increase in working elements. Contact measurements were used to determine the values of the temperatures reached by surfaces of ploughshares, subsoil shanks, and cultivator coulters, and tooth wings, during their operation in soil. Tribological processes depend on the material temperature in the friction micro areas. The temperatures were measured at three points on

working surfaces (in the case of ploughshares, measurements were performed additionally in two places on the surface opposite to the working surface). The parts operated under various soil conditions. For the ploughshares, the measurements were carried while ploughing in the summer and autumn. The highest temperature (29.3–36.0°C) was observed for the ploughshares used during the summer period in the soil with low moisture. Compared to the soil temperature, it was higher by 5.5 to 12.2°C, i.e. approximately 1.2- to 1.5-fold higher. In the case of ploughing in the autumn, when the soil had a lower temperature and higher humidity, the temperature of ploughshares was lower (19.9 – 22.0°C). In relation to the soil temperature, it was from 2.8 to 4.9°C, i.e. from about 1.2 to 1.3 times higher. For the subsoil shanks, the temperature of their top layer was similar (ca. 23.5°C) and the values were 9.9 to 10.9°C, i.e. approximately 1.8 times higher than the soil temperature. The smallest increase in temperature was found for cultivator coulters and tooth wings. In case of coulters, the registered temperature was by ca. 2.0 and 2.2°C, i.e. slightly above 1.1-fold higher than the temperature of soil and the surface temperature of the tooth wings was comparable to that of soil.