Piotr KOSTENCKI[*], Piotr BOROWIAK[*]

PROBLEMY POMIARU NACISKU GLEBY NA POWIERZCHNIĘ ROBOCZĄ LEMIESZA PŁUŻNEGO

THE PROBLEMS OF PRESSURE MEASUREMENT OF SOIL ON THE WORKING SURFACE OF THE PLOUGHSHARE

Słowa kluczowe:

lemiesz płużny, naciski gleby

Key-words:

ploughshare, soil pressure

Streszczenie

Przedstawiono układ pomiarowy, opracowany do pomiaru i rejestracji wartości nacisku gleby występujących w sześciu miejscach powierzchni natarcia lemiesza płużnego. Układ dostosowany był do prowadzenia pomiarów w warunkach polowych, podczas typowej eksploatacji pługa. W czasie testowania układu stwierdzono brak stabilnego sygnału zerowego. Wartości sygnału z nieobciążonych czujników po pracy lemiesza

[*] Akademia Rolnicza w Szczecinie, Instytut Inżynierii Rolniczej, ul. Papieża Pawła 6 m. 1, 71-459 Szczecin, tel. (091) 42-50-293.

w glebie odbiegała znacznie od wartości rejestrowanej przed jego pracą. Najprawdopodobniej taka właściwość czujników związana jest ze środowiskiem ich pracy, tj. glebą.

WPROWADZENIE

Od wartości nacisków, występujących w określonych miejscach powierzchni roboczych elementów pracujących w glebie, w dużej mierze zależy intensywność zużycia tych elementów. Oczywistym jest, że przy większych siłach działających na cząsteczki gleby, będące w kontakcie z powierzchnią elementu roboczego, ilość materiału zużytego w wyniku mikroskrawania, rysowania czy bruzdowania wzrasta. Intensywność zużycia, w danych warunkach glebowych, będzie zależała od wartości nacisku i prędkości poślizgu cząstek gleby po powierzchni elementu. Zatem znajomość rozkładu nacisku na roboczej powierzchni elementów pracujących w glebie daje określone możliwości. Poza walorami czysto poznawczymi, pozwala na wyznaczenie potencjalnych obszarów maksymalnego zużycia części. Ma też podstawowe znaczenie przy weryfikacji matematycznych modeli zużywania się elementów pracujących w glebie.

W literaturze zagadnienia badania ukierunkowane na pomiar nacisku wywieranego przez glebę na powierzchnie robocze narzędzi rolniczych występują niezmiernie rzadko (Sewierniew 1972, Kęska i in. 2002). Nieco większa liczba prac dotyczy określenia sił działających na elementy pracujące w glebie oraz oceny sił uciągu narzędzi rolniczych, a w szczególności pługów (Waszkiewicz i in. 2002., Miszczak i in. 2000, Lejman i in. 2001).

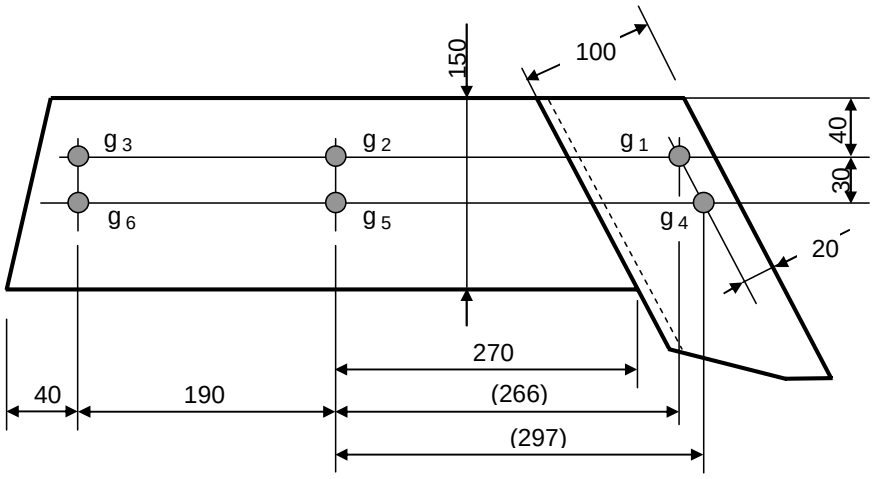
W niniejszej pracy omówiono układ pomiarowy, którego przeznaczeniem był pomiar nacisków gleby występujących na powierzchni natarcia lemiesza płużnego podczas standardowych orek. Układ ten, w którym wykorzystano rozwiązanie konstrukcyjne czujników stosownych do pomiaru ciśnienia w płynach, okazał się niezadowalający. Zamierzeniem pracy jest więc przedstawienie zastosowania czujnika membranowego do pomiarów ciśnienia, który nie sprawdził się w warunkach glebowych.

OPIS UKŁADU POMIAROWEGO

W badaniach wykorzystano lemiesze płużne stosowane w pługach firmy Lemken, wykonane przez polskiego producenta, którym jest Zakład Badawczo-Wdrożeniowy Techniki Rolniczej B.M. Worona. Lemiesze te

składają się z dwóch oddzielnych elementów, tj. części dziobowej (o długości około 350 mm, szerokości 100 mm i grubości 13 mm) i części trapezowej (długość około 500 mm, szerokość 150 mm, grubość 10 mm). Część dziobowa jest płaska, natomiast trapezowa profilowana. W pługach firmy Lemken istnieje możliwość regulacji szerokości orki. Zakres tej regulacji ograniczony jest długością lemiesza. Zastosowana w badaniach część trapezowa umożliwiała wykonywanie orki maksymalnie na szerokość 45 cm w odniesieniu do jednego korpusu pługa.

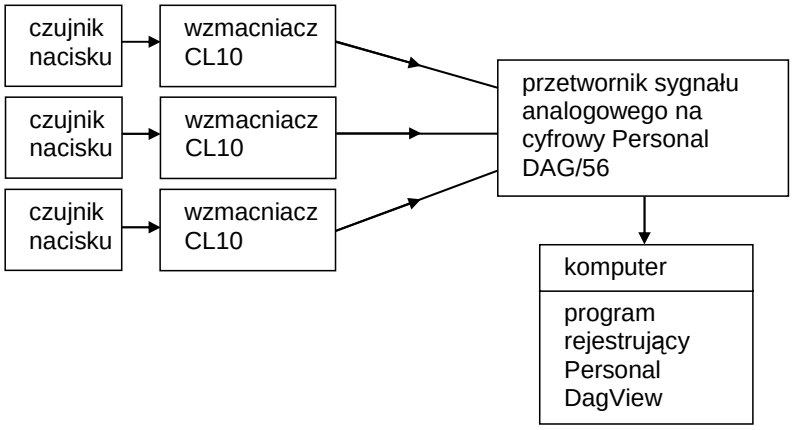
Układ pomiarowy do oceny wartości nacisku gleby na powierzchni natarcia lemiesza płużnego opracowano wspólnie z Zakładem Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nieelektrycznych, mieszczącym się w Markach k. Warszawy. Przy opracowywaniu układu przyjęto, że nacisk gleby będzie mierzony w sześciu miejscach powierzchni natarcia lemiesza (**Rys. 1**). W badaniach zastosowano dwa lemiesze. Jeden przeznaczony był do pomiarów nacisku w górnej linii pomiarowej (punkty g_1, g_2, g_3), a drugi – w dolnej linii (punkty g_4, g_5, g_6). Przyjęto takie rozwiązanie, aby nie osłabić zbytnio lemiesza przez dużą liczbę otworów przeznaczonych do zamocowania czujników oraz rowków do poprowadzenia przewodów od czujników.



Rys. 1. Miejsca pomiaru nacisku gleby – punkty od g_1 do g_6
Fig. 1. The spots of measurement of soil pressure – the points from g_1 to g_6

Schemat układu pomiarowego ilustruje **Rysunek 2**. Układ składał się z czujników nacisku, wzmacniaczy sygnałów tensometrycznych, przetwornika sygnału analogowego na cyfrowy i komputera. Przewody łączące czujniki z wzmacniaczami ułożono, w ramach obszaru lemiesza,

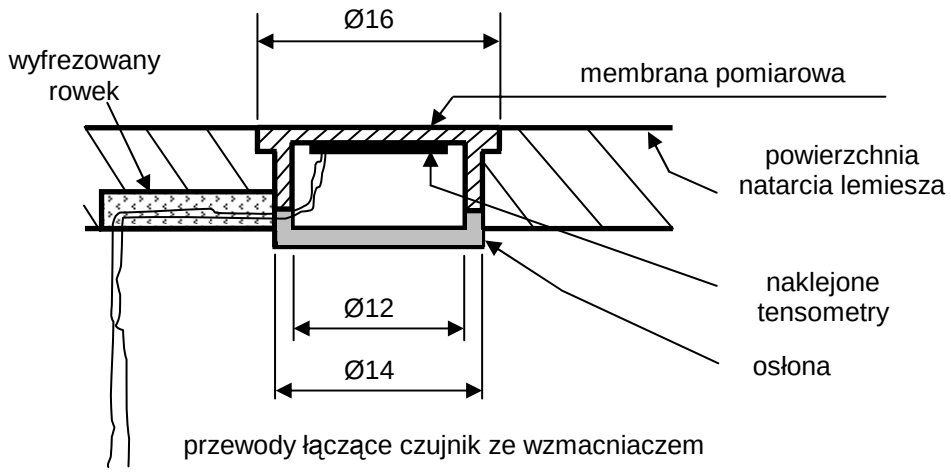
w rowkach wykonanych na stronie niepracującej elementu, które następnie wypełniono masą plastyczną. W układzie zastosowano przemysłowe wzmacniacze tensometryczne CL 10 przedsiębiorstwa ZEPWNE i 10-kanałowy przetwornik sygnału analogowego na cyfrowy Personal DAG/56, przy czym podczas pomiarów wykorzystywano tylko trzy kanały. Wartość sygnałów rejestrowana była przy pomocy programu Personal DagView z częstotliwością próbkowania 3 razy na sekundę. Układ pomiarowy zasilany był z akumulatorów 2 × 12 V.



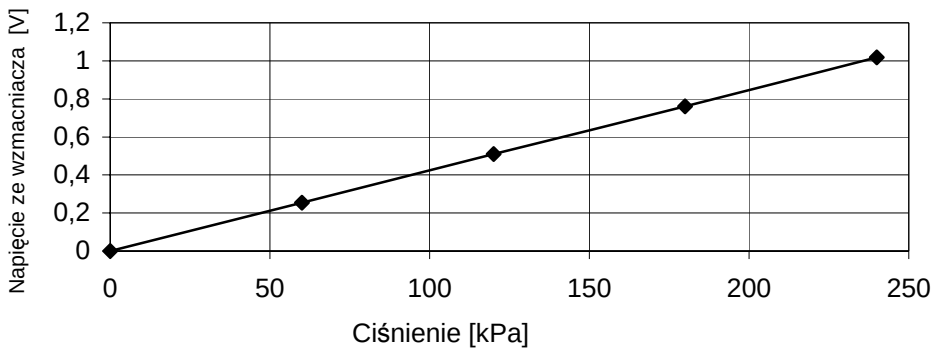
Rys. 2. Schemat układu pomiarowego
Fig. 2. Scheme of measuring arrangement

W układzie pomiarowym zastosowano czujniki o konstrukcji stosowanej przy pomiarach ciśnienia w gazach i cieczach (**Rys. 3**). Tulejki z cienkościenną membraną, wykorzystywane w tych czujnikach, wykonane zostały z chromowo-niklowej stali X22CrNi17 (wcześniejsze oznaczenie 2H17N2) cechującej się dużą sprężystością. Ich wysokość wynosiła 8 mm, a średnica – 16 mm, z 1 milimetrową szerokością kołnierza. Grubość robocza membrany wykonywana jest w zakresie od 0,15 do 0,35 mm i jest dostosowana do obciążenia czujników. Od spodu membrany przyklejony został układ tensometrów.

Przy skalowaniu czujniki obciążano powietrzem pod ciśnieniem do 240 kPa. Ciśnieniu temu odpowiadał uzyskiwany ze wzmacniaczy sygnał o wartości od około 1,1 do 1,9 V. Podczas skalowania czujniki pracowały poprawnie. Wykazywały liniową charakterystykę i stabilną wartość sygnału zerowego (sygnału przy nieobciążonych czujnikach). Przykładową charakterystykę czujnika przedstawiono na **Rysunku 4**.



Rys. 3. Stosowany czujnik nacisku
Fig. 3. The pressure sensor



Rys. 4. Przykładowa charakterystyka czujnika nacisku gleby (dla czujnika montowanego w miejscu pomiarowym g_4)
Fig. 4. The exemplary characteristics of soil pressure sensor (for the sensor placed in measuring place g_4)

OPIS WARUNKÓW BADAŃ POLOWYCH

Badania sprawdzające poprawność działania układu pomiarowego przeprowadzono w dwóch warunkach glebowych, podczas uprawy gleb piaszczystych (warunki I) i podczas orki gleb pylastych (warunki II). Przy warunkach I uprawiano pola po zbiorze pszenicy, na których wykonana była uprawa ścierniskowa kultywatorem Smaragd. W tych warunkach wykorzystywano obracalny 7-skibowy półzawieszany pług Vari-

-Diamant 9X. Natomiast podczas warunków II uprawiano pola po zbiorze buraków cukrowych. Uprawę wykonywano zagonowym 8-skibowym półzawieszanym pługiem Vari-Turmalin 9. W obu pługach zastosowane były korpusy BS 42 z ażurowymi odkładnicami. Podczas pomiarów w warunkach I i II lemiesz z czujnikami montowano na czwartym korpusie pługa.

Tabela 1. Charakterystyka warunków badań polowych
Table 1. Characterisation of field working conditions

Wielkość	Warstwa gleby	Ustalona wartość przeciętna	
		warunki I	warunki II
Gatunek uprawianej gleby	warstwa orna	piasek gliniasty lekki i piasek gliniasty mocny	pył zwykły
Wilgotność aktualna gleby, % wagowe	0 – 15 cm 15 – 30 cm pon. 30 cm	**13,8** s = 1,7 **13,3** s = 1,7 **11,6** s = 1,4	**19,5** s = 1,2 **17,1** s = 1,3 **13,9** s = 3,2
Gęstość objętościowa gleby, $g \cdot cm^{-3}$	0 – 15 cm 15 – 30 cm pon. 30 cm	**1,41** s = 0,11 **1,46** s = 0,16 **1,55** s = 0,10	**1,43** s = 0,07 **1,43** s = 0,11 **1,54** s = 0,08
Zwięzłość gleby, kPa	0 – 15 cm 15 – 30 cm pon. 30 cm	**806,4** s = 419,0 **1847,4** s = 468,7 **2728,8** s = 464,5	**854,7** s = 240,9 **1974,6** s = 620,7 **2540,1** s = 879,0
Naprężenia ścinające glebę, kPa	0 – 15 cm 15 – 30 cm pon. 30 cm	**26,9** s = 5,9 **30,1** s = 6,9 **37,3** s = 5,4	**29,3** s = 7,1 **37,6** s = 14,4 **54,0** s = 23,5
Szerokość pracy korpusu, cm		**46,6** s = 0,7	**44,8** s = 1,6
Głębokość robocza pługa, cm		**24,5** s = 1,7	**25,2** s = 2,2
Prędkość pługa, $km \cdot h^{-1}$		**8,13** s = 0,34	**6,30** s = 0,41

S – odchylenie standardowe.
Ustalenia, poza gatunkiem uprawianej gleby, wykonano na podstawie od 5 do 20 dla warunków I i od 5 do 16 dla warunków II poszczególnych pomiarów lub średnich wartości.

Rejestrację nacisku gleby przeprowadzano na odcinkach pomiarowych o długości wynoszącej około 130 m.

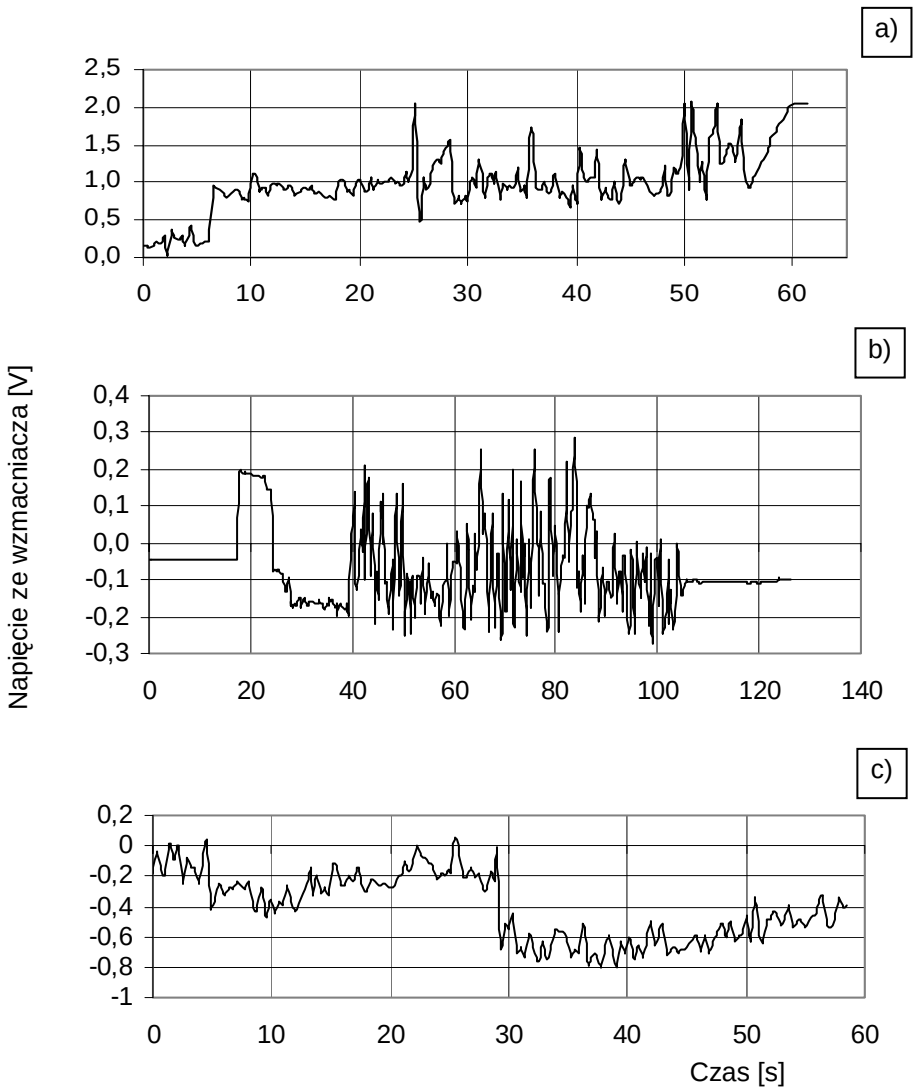
Wartości parametrów charakteryzujących obydwie uprawy podano w **Tabeli 1**. Gatunek uprawianej gleby ustalono na podstawie map glebowo-

-rolniczych terenu badań. Gęstości objętościową i wilgotność gleby określano zgodnie z PN-90/R-55003, stosując cylinderki Kopecky'ego o pojemności 100 cm^3. Próbki pobierano z trzech warstw gleby: 0–15, 15–30 i poniżej 30 cm. Do oceny zwięzłości gleby stosowano penetrometr sprężynowy, opracowany i wykonany w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie. Przy pomiarach stosowano stożek o kącie wierzchołkowym 30º i średnicy podstawy 19 mm. Na podstawie uzyskanych wykresów ustalono przeciętną zwięzłość gleby dla warstw: 0-15, 15-30 i poniżej 30 cm. Naprężenia ścinające glebę mierzono za pomocą ścinarki obrotowej firmy Eijkelkamp, wykorzystując tarczę pomiarową o średnicy około 25 mm (1 cal). Wartość tych naprężeń określano dla trzech warstw gleby: 0–15, 15–30 i poniżej 30 cm. Szerokość i głębokość orki ustalano zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-90/R-55021. Natomiast prędkość orki określano na podstawie pomiaru czasu przejazdu pługa na zadanej drodze.

WYNIKI BADAŃ TESTACYJNYCH UKŁADU POMIAROWEGO

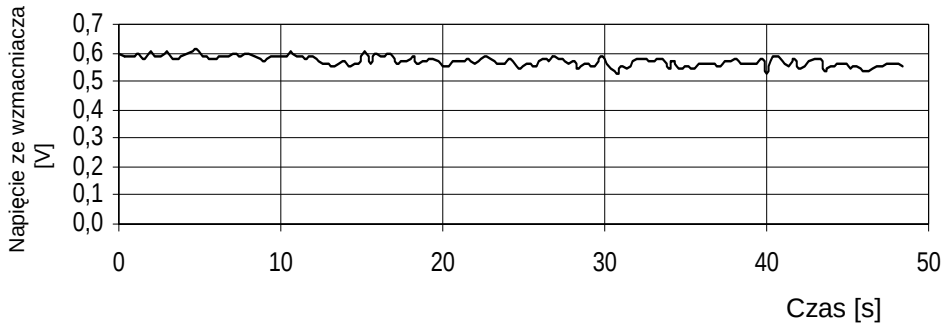
W przypadku obu upraw ujawniło się wadliwe działanie czujników, związane z błędną koncepcją ich zastosowania. Wartość sygnału od nieobciążonych czujników przed pracą lemiesza w glebie odbiegała od wartości rejestrowanej po jego pracy. Przykładowe wykresy obrazujące przebieg pomiarów przedstawiono na **Rysunku 5**. Na wykresach tych wyraźnie zauważalne są różnice w wartości sygnału przed i po pracy lemiesza. W ramach przeprowadzonych pomiarów wartość sygnału końcowego odbiegała od wartości sygnału początkowego o od 0,003 do około 0,9 V. W odniesieniu do średniej wartości sygnału występującej w czasie pomiaru stanowiło to od 1,4 do 373%. Nie stwierdzono przy tym żadnych prawidłowości.

W programie badań zaplanowano również rejestrację sygnału przy-pracy lemiesza z „zasłoniętymi" czujnikami, tzn. z czujnikami, które podczas uprawy nie kontaktowały się z glebą. W celu osłony powierzchni roboczej czujników zastosowano wytłoczone krążki z blachy, które naklejano na powierzchnię lemiesza. Zamierzeniem tych pomiarów było ustalenie wpływu odkształceń pracującego lemiesza na wartość sygnału od czujników. Przykładowy rezultat tych pomiarów przedstawiono na **Rysunku 6**, na którym zauważalne są niewielki zmiany sygnału, związane z deformacją obciążonego lemiesza. Przy tych pomiarach wartość rejestrowanego sygnału przed i po pracy lemiesza w glebie utrzymywała się na zbliżonym poziomie.



Rys. 5. Przykładowe wyniki pomiarów nacisku gleby na powierzchni natarcia lemiesza płużnego uzyskiwane przy zastosowaniu omawianych czujników nacisku: warunki I, a – dla czujnika mocowanego w miejscu pomiarowym g_3, b – dla czujnika mocowanego w miejscu pomiarowym g_4, c – dla czujnika mocowanego w miejscu pomiarowym g_6

Fig. 5. The exemplary results of measurements of soil pressure on active surface of plough share obtained by described pressure sensors: conditions I, a – for the sensor fixed in the measuring point g_3, b – for the sensor fixed in the measuring place g_4, c - for the sensor fixed in the measuring place g_6



Rys. 6. Przykładowy zapis sygnału od czujników przy orce wykonywanej z „zasłoniętymi" czujnikiem (warunki I, dla czujnika mocowanego w miejscu pomiarowym g_2)

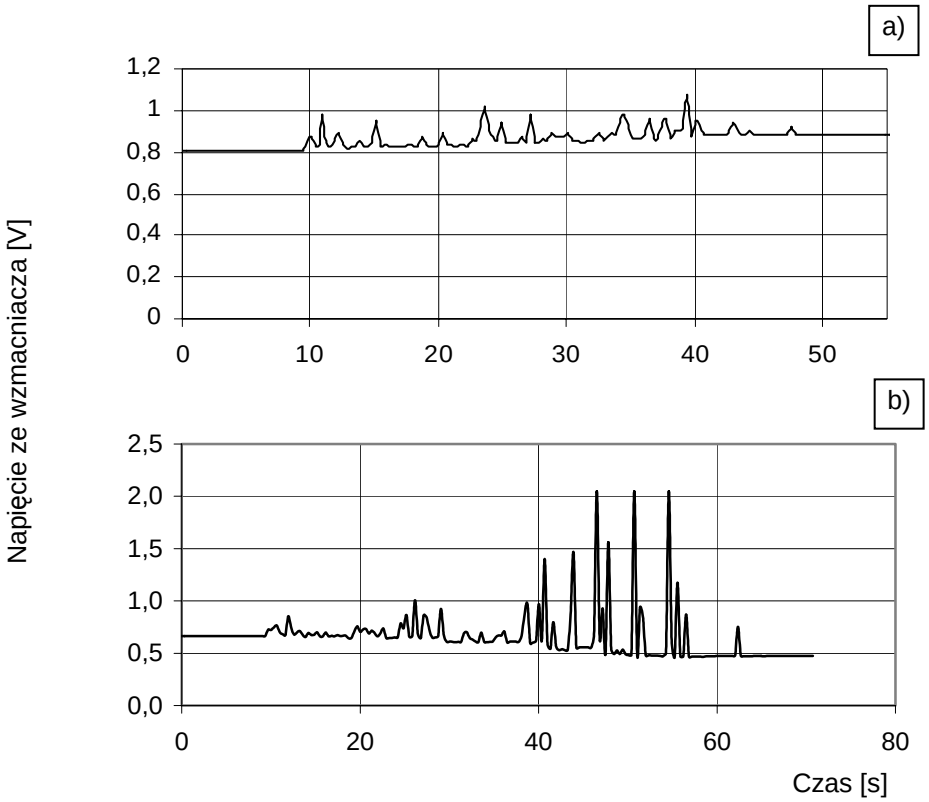
Fig. 6. The exemplary signal from sensors while ploughing executed with "curtained" sensors (conditions I, for the sensor fixed in the measuring place g_2)

Podjęto szereg działań zmierzających do ustalenia przyczyny wadliwego działania czujników podczas ich pracy w glebie. Na podstawie analizy wykresów nie stwierdzono, aby podczas badań doszło do tak silnego obciążenia powierzchni czujników, przy którym wystąpiłoby nasycenie wzmacniaczy (napięcie nasycenia 11,1 V) i możliwe by było trwałe odkształcenie membrany czujnika. Ponownie więc sprawdzono charakterystyki czujników, obciążając je powietrzem pod ciśnieniem. Działanie czujników było poprawne, a po odciążeniu powracały do sygnału wyjściowego. Obciążano również czujniki siłą skupioną przyłożoną centralnie do membrany (należy zaznaczyć, że nie jest to sposób obciążenia występujący podczas pracy czujnika stosowanego jako czujnik ciśnienia). Do obciążenia rzędu 40 N testowany czujnik pracował właściwie, utrzymując wartość sygnału zerowego. Przy obciążeniu siłą o wartości 45 N wystąpiło nasycenie wzmacniacza i obciążeniu temu odpowiadał zakres sprężystych odkształceń membrany (wartość sygnału zerowego po odciążeniu czujnika wzrosła o 0,04 V).

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń nasunął się wniosek, że prawdopodobną przyczyną wadliwego funkcjonowania czujników jest środowisko ich pracy, tzn. gleba. Przy kontakcie czujników z jednorodnym medium można przypuszczać, że ich praca byłaby właściwa. Natomiast w przypadku kontaktu z glebą, składającą się z cząstek o różnej wielkości i twardości, może występować wciskanie jej ziaren w szczelinę występującą między kołnierzem membrany a ścianką otworu wykonane-

go w lemieszu do zamontowania czujnika. Proces taki może powodować deformację membrany, a tym samym wpływać na wartość sygnału od czujnika. Wykonano zatem testy polegające na „wcieraniu” w obszarze czujnika suchej gleby, stosując przy tym tylko frakcję ziemistą oraz frakcję ziemistą wraz z dużym udziałem drobnego żwiru. Wyniki tych działań przedstawiono na **Rysunku 7**, na którym jednoznacznie zauważalna jest zmiana wartości sygnału zerowego przed i po doświadczeniu (o około 0,1 i 0,25 V). Takie wartości zmian sygnału zerowego w stosunku do wartości sygnału podczas pomiarów polowych powodowałyby kilkudziesięcioprocentowy błąd pomiaru.

Należy nadmienić, że testowane czujniki charakteryzują się też dodatkową cechą, która może rzutować na dokładność wykonywanych



Rys. 7. Zapis wartości sygnału podczas „wcierania” w obszarze czujnika (mocowanego w miejscu pomiarowym g_6) frakcji ziemistej (a) i frakcji ziemistej ze żwirem (b)

Fig. 7. Recorded value of signal during "rubs in” within the area of a sensor (fixed in the measuring place g_6) the fine fraction (a) and the fine fraction with gravel (b)

pomiarów w przypadku ich zastosowania do określania wartości nacisku gleby na powierzchnię roboczą lemiesza płużnego. Mianowicie w omawianym rozwiązaniu konstrukcyjnym czujników wartość sygnału zależna jest od miejsca przyłożenia siły skupionej na powierzchni membrany czujnika. W próbach laboratoryjnych stwierdzono, że wartość sygnału od czujników była około 2,7-krotnie mniejsza przy sile skupionej przyłożonej w odległości połowy promienia membrany w porównaniu z wartością sygnału przy centralnym jej obciążeniu. Gdyby środowisko pracy czujników było jednorodne, to wpływ tej właściwości czujników nie ujawniałby się. Natomiast przy ich pracy w glebie, zawierającej zazwyczaj frakcję żwiru punktowo oddziałującego na powierzchnię lemiesza, wartość sygnału w pewnym stopniu związana byłaby z drogą przemieszczania tych cząstek gleby po membranie czujnika.

PODSUMOWANIE

Ogólnie można stwierdzić, że tor pomiarowy prezentowanego układu pomiarowego nacisku gleby na powierzchni natarcia lemiesza płużnego w zakresie wzmocnienia i rejestracji sygnału działał bez zarzutu. Należy podkreślić, że w celu zwiększenia dokładności pomiarów istnieje możliwość zwiększenia częstotliwości próbkowania mierzonej wartości do 10 razy na sekundę. Niemniej układ ten posiadał istotną wadę związaną z aplikacją elementu pomiarowego. Czujniki pracujące w glebie charakteryzowały się brakiem stabilnego sygnału odniesienia. W trakcie pracy lemiesza zakres zmian wartości sygnału zerowego czujników był tak duży, że pomiar nacisku gleby na jego powierzchni z zastosowaniem omawianych czujników był praktycznie niemożliwy do przeprowadzenia. Autorzy sądzą, że brak stabilności sygnału zerowego związany był z deformacjami membrany pomiarowej czujników, wywoływanymi przez twarde ziarna gleby wciskane w szczelinę między membraną a ścianką wyfrezowanego w lemieszu gniazda.

Dodatkowo, przy takim rozwiązaniu konstrukcyjnym czujników, wartość sygnału zależy od miejsca przyłożenia siły skupionej, co może mieć znaczenie dla dokładności pomiaru, biorąc pod uwagę formę miejscowego oddziaływania żwiru zawartego w glebie. Ta cecha związana jest wyłącznie z omawianą aplikacją czujników, gdyż przy pomiarach ciśnienia w płynach obciążenie membrany jest zawsze równomierne i wartość sygnału jest związana tylko z wartością ciśnienia.

Należałoby zwrócić uwagę też na to, że omawiane czujniki cechują się zwartą budową, umożliwiającą, przy wyeliminowaniu ich niedoskonałości, przeprowadzanie pomiaru nacisku gleby w każdym miejscu powierzchni natarcia lemiesza płużnego lub powierzchni innych elementów roboczych pracujących w glebie. Według autorów poprawę pracy czujników mógłby dać inny sposób ich zamocowania w lemieszu. Na przykład różne średnice membrany i gniazda oraz wypełnienie powstałego rowka tworzywem sztucznym uniemożliwiłoby wnikanie ziaren gleby między krawędzie membrany i gniazda. Rozwiązanie takie przypuszczalnie mogłoby wyeliminować deformacje membrany czujnika wywołane bocznymi siłami, a tym samym uzyskano by stabilność sygnału zerowego.

LITERATURA

1. Kęska W., Rybka P.: Metoda pomiaru rozkładu ciśnień na powierzchni klina roboczego zagłębianego w ośrodek glebowy. V Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy techniki rolniczej i leśnej". Warszawa, 19–20 czerwca 2002. Materiały konferencyjne SGGW, 2002, s. 107–108.
2. Lejman K., Owsiak Z.: Wpływ prędkości przemieszczania narzędzi skrawających glebę na wartość oporów. Inżynieria Rolnicza nr 13, 2001, s. 261–267.
3. Miszczak M., Białek J., Alberski M.: Opór roboczy różnych korpusów płużnych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej nr 7, 2000, s. 5–6.
4. Sewierniew M.: Iznos detaliej chozjajstwiennych maszyn. Kołos, Leningrad 1972.
5. Waszkiewicz C., Klonowski J.: Opory robocze pługa wahadłowego. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej nr 6, 2002, s. 2–3.

Recenzent:
Jan SENATORSKI

Summary

The measuring system designed to measurement and registration of values of soil pressure in six points on the ploughshare active surface was presented. The system was adapted to conducting measurements in field conditions, during typical exploitation of the plough. There was stated lack of stable zero signals while testing the system in field conditions. The signal from unloaded sensors after work of the share in soil deviated considerably from the signal value recorded before its work. It seems that such behaviour of sensors is related to their work environment, i.e. soil.