

METODA POMIARU NACISKU GLEBY WYWIERANEGO NA POWIERZCHNIE ROBOCZE ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH W GLEBIE

Piotr Kostencki, Piotr Borowiak

Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Stanisław Stężala

Instytut Inżynierii Rolniczej, Akademia Rolnicza w Szczecinie

Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa – Oddział w Gdańsku

Streszczenie. Opisano układ do pomiaru nacisku gleby występującego w czterech miejscach powierzchni roboczej lemieszka płużnego. Badania testacyjne wykazały poprawność działania układu. Opracowane czujniki nacisku cechują się liniową charakterystyką i stabilną wartością sygnału zerowego. Układ działał też poprawnie w zakresie przetwarzania i rejestracji mierzonego sygnału.

Słowa kluczowe: lemiesz płużny, nacisk gleby

Wstęp

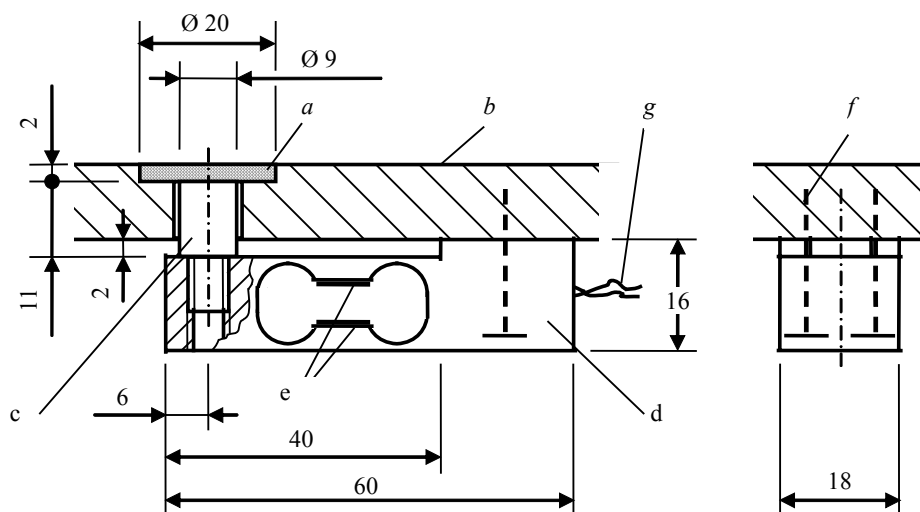
Nacisk gleby, działający na robocze powierzchnie uprawowych narzędzi rolniczych, w dużej mierze wpływa na ważne parametry eksploatacyjne tych narzędzi. Między innymi od jego wartości zależy opór ich pracy oraz intensywność zużycia elementów roboczych. W literaturze zagadnienia znaleźć można informacje o wynikach badań oporu pracy całych narzędzi lub ich elementów roboczych [Kufel i Dawidowski 1990; Lejman i Owsiak 1993; Lejman i Owsiak 2001; Miszczak i in. 2000; Waszkiewicz i Klonowski 2002]. Względnie powszechne są również badania, w których analizowana jest trwałość i zużycie roboczych elementów narzędzi stosowanych przy uprawie gleby. Natomiast informacje o naciskach gleby występujących w czasie typowych zabiegów uprawowych, w określonych miejscach powierzchni roboczych tych elementów podawane są sporadycznie [Sewierniew 1972]. Dotyczy to również propozycji metod pomiaru tego parametru [Kęska i Rybka 2002].

Celem pracy jest przedstawienie metody pomiaru nacisku gleby wywieranego podczas orki w określonych miejscach powierzchni roboczej lemieszka płużnego, przy zastosowaniu czujnika pomiarowego opracowanego przez autorów [Kostencki i in. 2006], jej weryfikacja w typowych warunkach orki oraz ocena przydatności metody do zastosowania w innych elementach niż lemieszki pługów.

2. Metodyka badań

Opis układu pomiarowego

Istotnym elementem układu jest czujnik nacisku przedstawiony na rysunku 1. Elementem czujnika bezpośrednio wchodzącym w kontakt z uprawianą glebą jest elastyczna przepona (a) o grubości około 2 mm, wklejona w pogłębiony otwór wykonany w lemieszu (b).



Rys. 1. Czujnik nacisku gleby: a – elastyczna przepona, b – lemiesz (powierzchnia natarcia), c – końcówka czujnika, d – tensometryczny czujnik siły (belka tensometryczna), e – tensometry, f – śruby imbusowe M4, g – przewody łączące czujnik ze wzmacniaczem

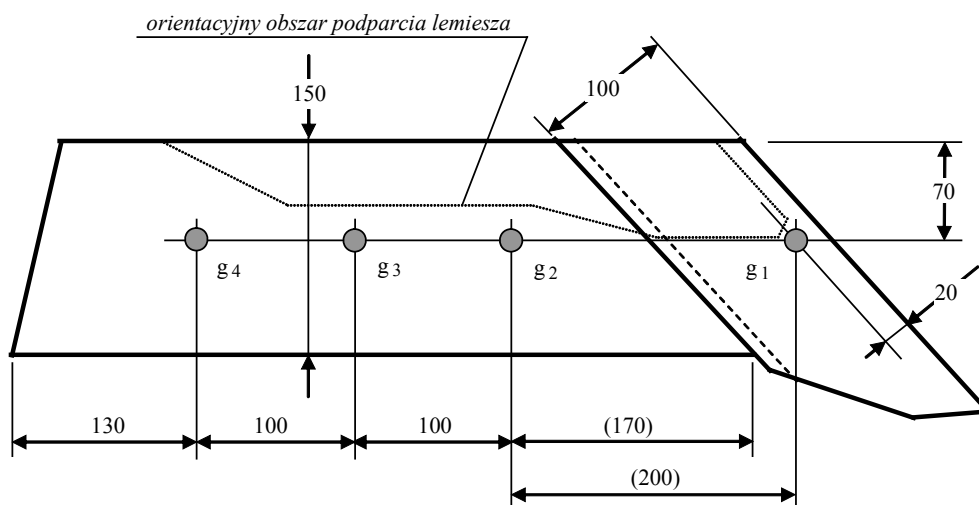
Fig. 1. The soil pressure sensor: a – the elastic diaphragm, b – the ploughshare (the attack surface), c – the ending of sensor, d – the strain force sensor (the strain beam), e – strain gauges, f – internal wrenching bolts M4, g – conductors joining the amplifier with the sensor

Nacisk gleby wywierany na powierzchnię lemieszka powoduje ugięcie przepony i przeniesienie go poprzez końcówkę czujnika (c) na belkę tensometryczną (d). Odkształcenia belki, wywołujące odstrojenia mostka tensometrycznego, zamieniane są na sygnał napięciowy, który następnie jest wzmacniany i rejestrowany. Belki tensometryczne czujników opracowane zostały przez Zakład Elektroniki Pomiarowej Wielkości Nielektrycznych w Markach k. Warszawy. Na elastyczną przeponę wykorzystano elastomer poliuretanowy, uzyskany z poliestrodiolu (Poles 55/20) i MDI (Desmodur 44M), który sieciowano związkiem butanodiol - 1,4. Podstawowe właściwości fizykomechaniczne tego materiału wynoszą: twardość $T_w = 88-90^\circ\text{ShA}$ [wg PN-80/C-04238], ścieralność $S_c = 0,119\text{ g}$ (wg PN-ISO 4646), naprężenia zrywające $R_t = 50\text{ MPa}$ (wg PN-EN ISO 527-2), rozdzierność $R_{rd} = 86\text{ kN}\cdot\text{m}^{-1}$ (wg PN-EN ISO 527-2) i elastyczność przy odbiciu – 27 % (określana metodą Shoba wg PN-97/C-04255). Powyższe cechy tworzywa gwarantują dużą wytrzyma-

małość i odporność ścierną przepony, co jest nieodzowne przy ciężkich warunkach orki. Do wklejenia przepony zastosowano klej do połączeń stal–poliuretan o nazwie PulsarFix. Przedstawione na rysunku 1 rozwiązanie czujnika dostosowane jest do lemieszki o grubości 11 mm. Przy innych ich grubościach należy stosować różne długości wymiennych końcówek (c).

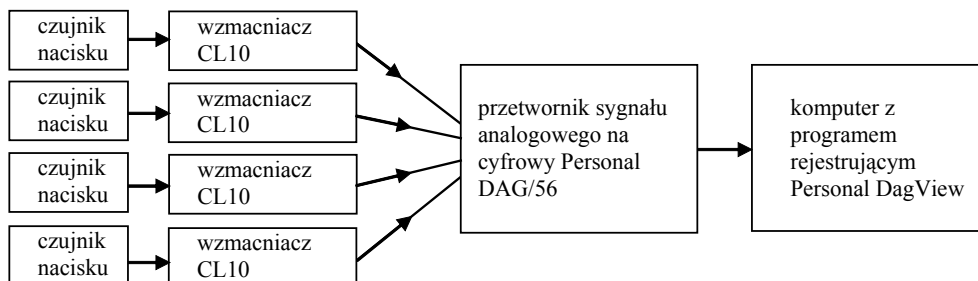
Należy zaznaczyć, że przedstawiony czujnik umożliwia pomiar uśrednionej wartości nacisku występującego w danym obszarze powierzchni roboczej elementu pracującego w glebie, gdyż ugięcie belki tensometrycznej czujnika w chwili pomiaru wynika z sumy oddziaływań cząstek gleby wywieranych na określoną powierzchnię roboczą membrany.

Ze względu na znaczne gabaryty czujników oraz obszar konstrukcyjnego podparcia lemieszki, pomiar nacisku gleby zaplanowano w czterech miejscach jego powierzchni natarcia (rys. 2). Schemat układu pomiarowego ilustruje rysunek 3. Poza czujnikami nacisku, w układzie zastosowano przemysłowe wzmacniacze sygnałów tensometrycznych CL 10 (produkcji również ZEPWN) i przetwornik sygnału analogowego na cyfrowy Personal DAG/56. Rejestrację mierzonej wielkości przewidziano przy pomocy programu Personal DagView, którego częstotliwość próbkowania wynosi do 10 Hz. Częstotliwości tej odpowiada pomiar nacisku co 20 cm drogi tarcia lemieszki, przy założeniu prędkości roboczej pługa wynoszącej $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Układ zasilany jest z dwóch akumulatorów 12 V, przy czym dla komputera przewidziano oddzielne źródło energii.



Rys. 2. Rozmieszczenie miejsc pomiaru nacisku gleby (punkty g₁ do g₄) na powierzchni roboczej dzielonego lemieszki stosowanego w pługach firmy Lemken (maksymalna szerokość robocza lemieszki wynosi 45 cm)

Fig. 2. The distribution of measuring points of soil pressure (the points g₁ to g₄) on work surface of sectional ploughshare used in ploughs of firm Lemken (the maximum working width of share is 45 cm)



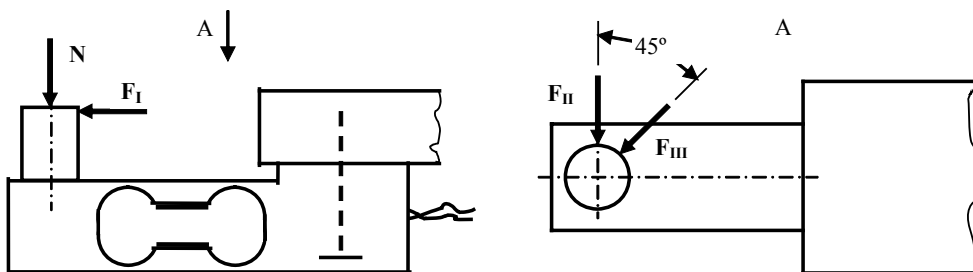
Rys. 3. Schemat układu pomiarowego

Fig. 3. The scheme of measuring arrangement

Opis metod stosowanych przy testowaniu układu pomiarowego

Skalowanie czujników przeprowadzono mierząc wartości sygnałów ze wzmacniaczy podczas obciążania przepon czujników powietrzem pod ciśnieniem do 240 kPa.

Ponieważ istnieje obawa, że w czasie pracy czujników w glebie siły styczne działające na przepony mogą być częściowo przenoszone na ich końcówki, poddano ocenie wpływ sił stycznych na wartość rejestrowanego sygnału. W tym celu, w warunkach laboratoryjnych końcówkę czujnika obciążano siłą normalną N (symulującą nacisk gleby), a następnie dodatkowo siłami stycznymi F_I , F_{II} lub F_{III} zgodnie z rysunkiem 4 (stosowano N i F do około 10 N). Ustalano przy tym wpływ sił F na wartość sygnału wywołanego siłą N .

Rys. 4. Warianty obciążania czujnika przy ustalaniu wpływu sił stycznych na wartość sygnału: wariant I – siły N i F_I , wariant II – siły N i F_{II} , wariant III – siły N i F_{III} Fig. 4. The variants of loading of sensor while evaluating the influence of tangential forces on value of signal: variant I – forces N and F_I , variant II – forces N and F_{II} , variant III – forces N and F_{III}

Poprawność działania układu sprawdzono także w typowych warunkach orki. Uprawiano pył zwykły (pole po pszenicy, bez wcześniejszej podorywki) o wilgotności, gęstości objętościowej i zwięzłości w warstwie pracy lemiesz (15-30 cm) wynoszącej odpowiednio około 19% (odchylenie standardowe $s = 0,9\%$), $1,43 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ($s = 0,05 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) i $1,1 \text{ MPa}$ ($s = 0,24 \text{ MPa}$). Badany lemiesz mocowano na jednym z wewnętrznych korpusów zago-

nowego pługa firmy Lemken. Orkę wykonywano z prędkością około $1,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, na głębokość 25,0 cm ($s = 1,5 \text{ cm}$), przy pełnej szerokości roboczej pługa. Sygnały ze wzmacniaczy rejestrowano z częstotliwością 3 Hz na drodze przejazdu pługa wynoszącej ponad 200 m.

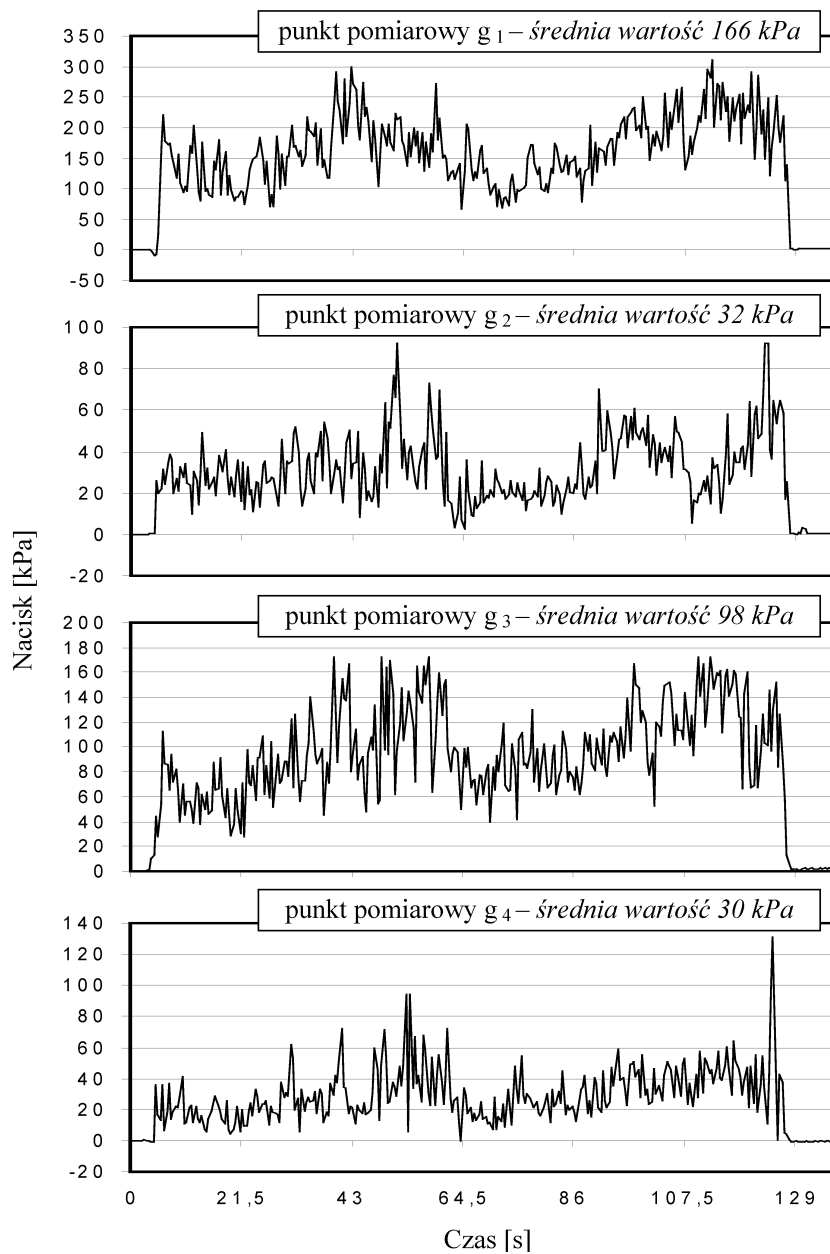
Wyniki badań

Stwierdzono, że czujniki cechują się dużą liniowością, o czym świadczą mieszczące się w zakresie od 0,9850 do 0,9971 współczynniki determinacji R^2 liniowych równań opisujących ich charakterystyki. Ustalono również, że siły styczne F przykładane do końcówki czujnika nieznacznie wpływają na wartość sygnału. Największy wpływ sił stycznych występował przy obciążaniu czujników zgodnie z wariantem I (rys. 4), podczas którego wartość sygnału ulegała zmianie od 0,1 do 2,5% (przeciętnie 1,1%) w stosunku do wartości wywoływanej jedynie siłą N .

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg zmian wartości nacisku gleby w miejscach g_1 , g_2 , g_3 i g_4 powierzchni roboczej lemiesza podczas jego pracy w warunkach polowych. W celu zwiększenia przejrzystości wykresów kolejne punkty pomiarowe połączono liniami. Stwierdzono, że działanie opracowanego układu pomiarowego jest poprawne. Podczas polowych badań testacyjnych belki tensometryczne czujników nie ulegały przeciążeniu, co świadczy o właściwym doborze ich parametrów. Należy zwrócić uwagę również na znaczną stabilność sygnału zerowego, tj. sygnału od nieobciążonych czujników przed i po ich pracy w glebie. Pod tym względem różnice wartości sygnałów dla poszczególnych czujników wynosiły od 0,5 do 2,0 kPa, co odpowiada od około 1,4 do 2,0% przeciętnej wartości mierzonego sygnału. Układ poprawnie działał też w zakresie przetwarzania i gromadzenia danych. Oszacowana niepewność pomiaru, uwzględniająca nieliniowość, histerezę, wpływ temperatury, wpływ sił stycznych (oszacowany we własnym zakresie) i stabilność sygnału zerowego dla czujników, nieliniowość, temperaturowy współczynnik wzmocnienia i temperaturowy współczynnik pełzania sygnału wyjściowego dla wzmacniaczy oraz względny błąd przetwarzania karty pomiarowej, wynosi 3,4%.

Podsumowanie

Przedstawiony układ pomiarowy może znaleźć również zastosowanie przy pomiarach nacisku gleby wywieranego na powierzchnie innych niż lemiesze płużne elementów roboczych nieaktywnych narzędzi rolniczych, np. lemieszy w kombajnach ziemniaczanych, łap kultywatorów, obsypników itp. Przy adaptacji układu wymiary czujnika i jego materiał powinny być dopasowane do warunków pracy, tj. miejsca lokalizacji na elemencie oraz przewidywanego zakresu wartości nacisków gleby. Przy pomiarach wykonywanych przedstawioną metodą, w celu uzyskiwania dokładniejszych wyników, zaleca się zwiększenie drogi pracy narzędzia i częstotliwości rejestracji mierzonego sygnału, w stosunku do wartości stosowanych podczas opisanych badań testacyjnych.



Rys. 5. Wartości nacisku w określonych miejscach powierzchni roboczej lemiesza w funkcji czasu pracy elementu w glebie

Fig. 5. The values of pressure at specified points of the ploughshare working surface as a function of the sensor's work period in soil

Ograniczeniem przedstawionego sposobu pomiaru nacisku gleby są względnie duże gabaryty czujników, limitujące liczbę punktów pomiarowych. Czujniki mogą być też stosowane tylko w takich miejscach, w których między niepracującą powierzchnią elementu a glebą powstaje odpowiednio duża przestrzeń do ich zamocowania. Czujników nie można również stosować w miejscach podparcia elementów. Istnieje także obawa, że w czasie eksploatacji czujników może wystąpić ich zablokowanie glebą lub uszkodzenie, w następstwie uderzenia o kamienie. Podczas przeprowadzonych badań polowych do takich sytuacji nie dochodziło, przy czym uprawiano gleby o niskim stopniu zakamienienia. Zastosowanie osłon dla belek tensometrycznych ograniczyłoby takie przypadki, ale wpłynęłoby na zwiększenie gabarytów czujników.

Zaletą proponowanej metody pomiaru nacisku jest jej bezpośredni związek z rzeczywistymi warunkami pracy narzędzi rolniczych. Znajomość rozkładu nacisku występującego na powierzchni elementów pracujących w glebie może być pomocna przy wyjaśnieniu procesu zużywania się tych elementów oraz przy analizie obciążeń przenoszonych przez elementy. W szczególności uzyskiwane z omówionych pomiarów wyniki mogą być wykorzystywane przy tworzeniu i weryfikacji matematycznych modeli ściernego zużycia elementów pracujących w glebie, w których opis procesu ścierania powiązany jest z naciskami gleby.

Bibliografia

- Kęska W., Rybka P.** 2002. Metoda pomiaru rozkładu ciśnienia na powierzchni klina roboczego zagłębianego w ośrodek glebowy. V Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy techniki rolniczej i leśnej”. Warszawa 19-20 czerwiec 2002. Materiały konferencyjne SGGW. s. 107-108.
- Kostencki P., Borowiak P., Stężalą S.** 2006. Czujnik pomiarowy nacisku gleby na powierzchni elementów roboczych zwłaszcza rolniczych narzędzi uprawowych. Akademia Rolnicza w Szczecinie. Urząd Patentowy RP. Zgłoszenie patentowe nr P 380835 przyjęte 16.10.2006 r.
- Kufel K., Dawidowski B.** 1990. Energetyczne efekty stosowania pługów ze sprężynowym zamocowaniem korpusów do ramy. Zeszyty Naukowe AR Szczecin. Rolnictwo. Nr 141. s. 115-122.
- Lejman K., Owsiak Z.** 1993. Badania testacyjne stanowiska do pomiaru sił działających na narzędzie pracujące w glebie. Roczniki Nauk Rolniczych. T. 79-C-4. s.107-112.
- Lejman K., Owsiak Z.** 2001. Wpływ prędkości przemieszczania narzędzi skrawających glebę na wartość oporów. Inżynieria Rolnicza. Nr 13. s. 261-267.
- Miszczak M., Bialek J., Alberski M.** 2000. Opór roboczy różnych korpusów płuznych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. Nr 7. s. 5-6.
- Sewierniew M.** (red.) 1972. Iznos detaliel selskochozajstwiennych maszin. Kołos. Leningrad, s. 26-36.
- Waszkiewicz C., Klonowski J.** 2002. Opory robocze pluga wahadłowego. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej. Nr 6. s. 2-3.

THE METHOD OF MEASUREMENT OF SOIL PRESSURE EXERTED ON SURFACES OF THE ELEMENTS WORKING IN THE SOIL

Summary. The arrangement to measurement of soil pressure in four points of working surface of ploughshare was described. The investigations show the correctness of rule of arrangement. The worked out sensors of pressure mark with line profile and stable power of zero signal. The arrangement acted in range the processings also correctly and the registration of measured signal.

Key words: ploughshare, soil pressure

Adres do korespondencji:

Piotr Kostencki
Instytut Inżynierii Rolniczej
Akademia Rolnicza w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI/1
71-459 Szczecin