

POMIAR POŚLIZGU KÓŁ JEZDNYCH CIĄGNIKA METODĄ FILMOWĄ
Z UWZGLĘDNIENIEM DYNAMICZNYCH ODKSZTAŁCEŃ OPONY

Jan Kozicz, Stanisław Podsiadłowski, Leszek Piechnik

Instytut Mechanizacji Rolnictwa Akademii Rolniczej w Poznaniu

WSTĘP

Koło napędowe ciągnika rolniczego, wykonującego określoną pracę, zmienia swe wymiary geometryczne w zależności od wielkości i charakteru obciążeń oraz ciśnienia w ogumieniu. Zmianom ulega długość styku opony i powierzchnia styku koła z podłożem oraz wysokość ściany opony i promień dynamiczny. Zjawisko to stanowi duże utrudnienie metodyczne w przeprowadzeniu badań trakcyjnych pojazdów czy badań dotyczących wpływu mechanizmów jezdnych maszyn i ciągników rolniczych na środowisko glebowe. W ostatnim z wymienionych kierunków badawczych zachodzi często konieczność dokładnego określenia poślizgu i powierzchni styku z podłożem koła ciągnika czy maszyny samobieżnej na bardzo krótkim odcinku - na przykład jednego metra.

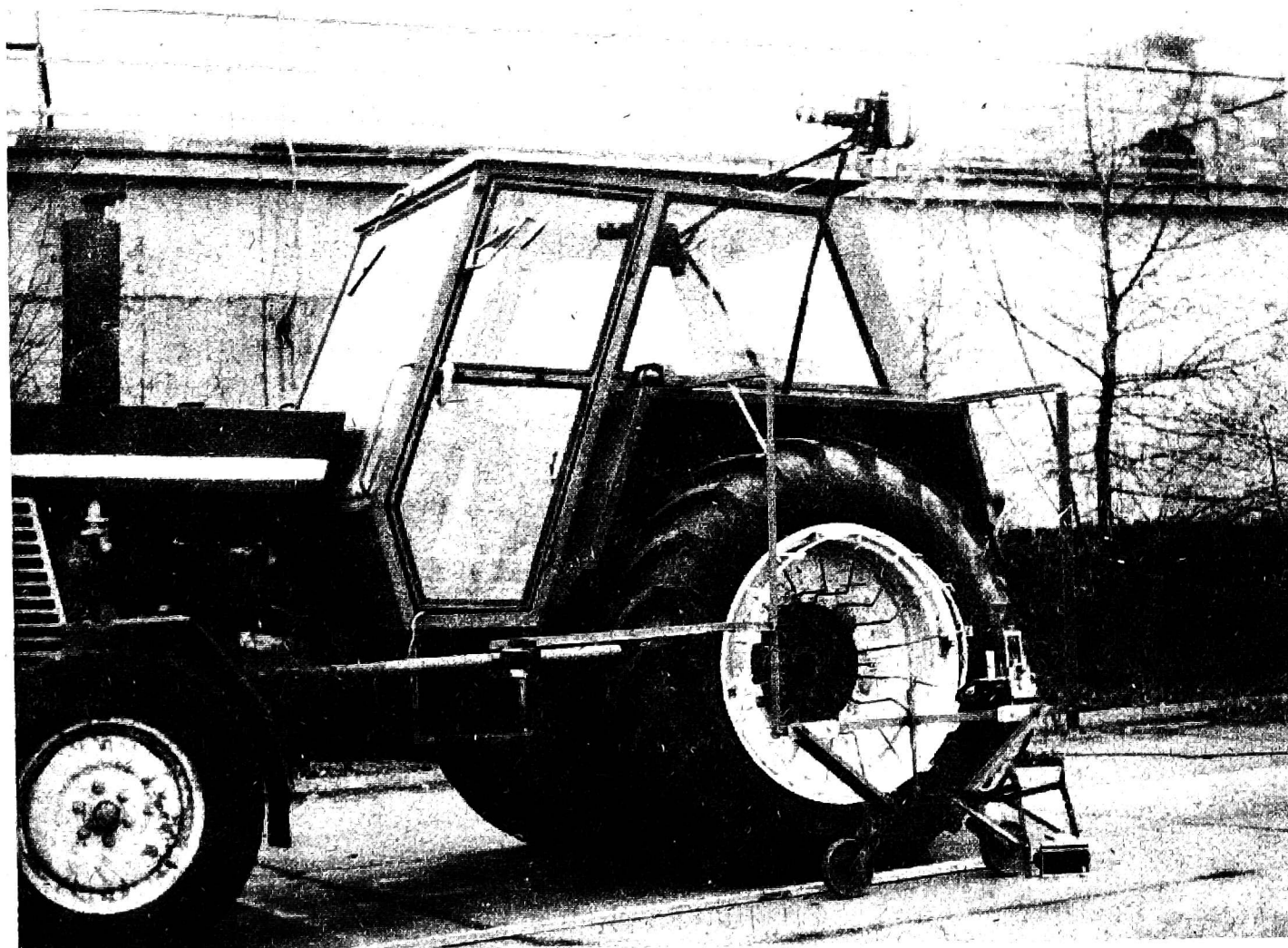
Opracowanie filmowej metody pomiaru poślizgu [1] umożliwiło wprawdzie znaczne zwiększenie dokładności pomiarów, jednakże nie zawsze wiadomo, po jakim promieniu toczy się koło napędowe ciągnika w czasie przejazdu odcinka pomiarowego. Wykorzystywanie natomiast filmowej metody pomiaru poślizgu przy założeniu błędu względnego na poziomie 0,01 zmusza do uwzględnienia zmian w wartości promienia dynamicznego, zachodzących wskutek zmienności siły uciążu przyłożonej na zaczepie. Poślizg koła określany jest formułą:

$$s = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \quad (1)$$

w którym

- m_1 - droga przebyta przez ciągnik w czasie jednego obrotu koła przy poślizgu zerowym,
 m_2 - droga przebyta przez ciągnik obciążony na haku zaczepowym w czasie jednego obrotu koła.

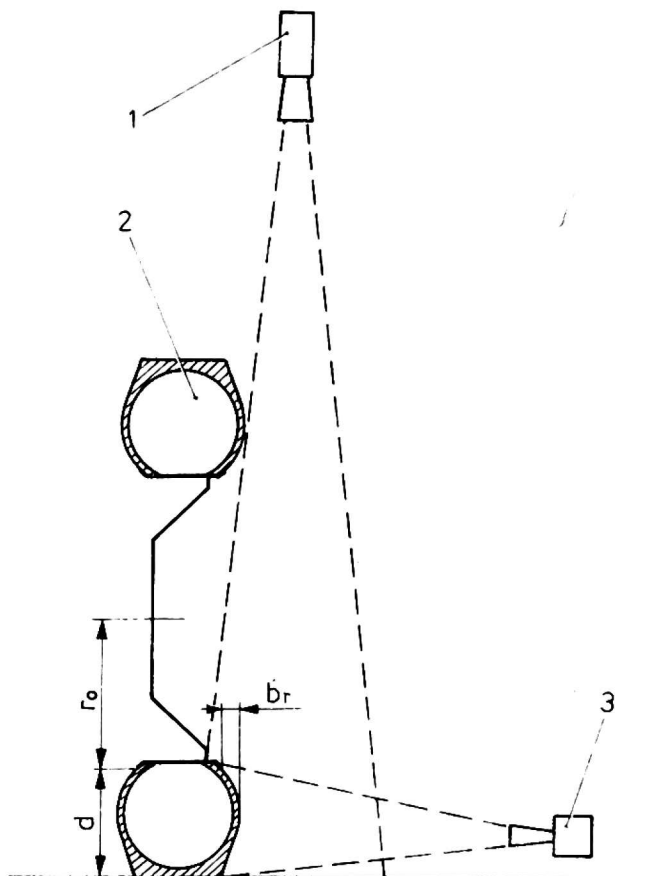
Praktycznie drogę m_1 określa się przez przeciąganie ciągnika, popełniając tym samym pewną nieścisłość w pomiarze poślizgu, bowiem promień, po którym toczy się koło ogumione ciągnika przeciąganego, jest większy od promienia dynamicznego r_d , po którym toczy się koło obciążone momentem obrotowym. Brak prostych, a jednocześnie dokładnych metod określania zmian dynamicznych opony koła napędowego występujących przy pracy, zarówno na podłożu sztywnym jak i miękkim, spowodował, iż postanowiono rozwiązać ten problem za pomocą techniki fotograficzno-filmowej, wykorzystywanej przez autorów do pomiaru poślizgu.



Rys. 1. Pomiar poślizgu metodą filmową z uwzględnieniem odkształceń dynamicznych opony

OMÓWIENIE METODY

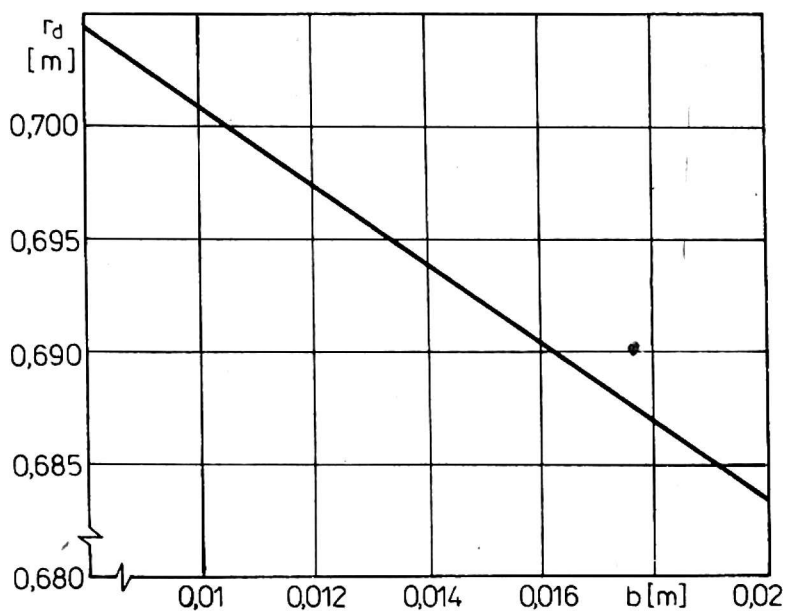
Istotą omawianej metody pomiaru dynamicznych odkształceń opony koła napędowego jest fotografowanie i filmowanie bocznej ściany opony w dwóch płaszczyznach (rys. 2).



Rys. 2. Rozmieszczenie aparatury przy pomiarze odkształceń dynamicznych opony: 1 - kamera filmowa, 2 - opona, 3 - aparat fotograficzny

Każde z uzyskanych zdjęć (kadrów) odpowiada pewnemu stanowi odkształceń ogumienia przy znanej wartości siły oporu na haku zaczepowym (siły uciągu) oraz ciśnienia w oponie. Warunkiem dokładności pomiarów jest zachowanie jednakowej odległości aparatu fotograficznego (3) od koła ciągnika (2), zastosowanie specjalnego wózka oraz kamery filmowej (1) od osi koła (usztynwienie zamocowania kabiny ciągnika).

Powiększenie wywołanego materiału filmowego do naturalnej wielkości badanej opony daje rzeczywisty obraz stanu ogumienia w chwili rejestracji. Z powiększenia za pomocą liniału z podziałką milimetrową odczytać można następujące wielkości:



Rys. 3. Zależność wielkości ujęcia bocznego b od wartości promienia dynamicznego r_d (16,9/14,34 o ciśnieniu 98,1 kPa). Równanie prostej regresji: $r_d = 72715 \cdot 10^{-5} - 2184003 \cdot 10^{-6} b$

- wysokość ściany opony, d , określoną jako odcinek leżący na linii prostopadłej do osi koła, mierzony od obręczy do punktu styku opony z podłożem;
- długość styku opony z podłożem, l ;
- ugięcie boczne opony w czasie ruchu ciągnika obciążonego na haku zaczepowym przy określonym ciśnieniu w ogumieniu, b_r ;
- ugięcie poszczególnych stref ściany bocznej opony, d_i , jeśli przedtem strefy te na ścianie wykreślono.

W problematyce metody filmowego pomiaru poślizgu kół napędowych ciągnika szczególne znaczenie ma możliwość określenia zależności między wielkością promienia dynamicznego r_d a ugięciem bocznym opony b . Znalezienie bowiem takiej zależności dla danej opony i ciśnienia w jej wnętrzu pozwala na obliczenie poślizgu rzeczywistego, co bez uwzględnienia zmian r_d nie jest możliwe. Podkreślić trzeba, iż w proponowanym schemacie metodycznym pomiaru poślizgu kamera filmowa umieszczona nad osią koła rejestruje jednocześnie przebytą drogę w czasie pomiaru, liczby obrotów koła przypadających na tę drogę oraz ugięcie boczne opony, a więc pośrednio także i promień dynamiczny.

Poślizg można określać, jak wiadomo, następującym wyrażeniem:

$$S = \frac{v_t - v_{rz}}{v_t} \quad (2)$$

w którym:

v_t - prędkość teoretyczna ($m \cdot s^{-1}$),
 v_{rz} - prędkość rzeczywista ($m \cdot s^{-1}$).

A zatem

$$S = 1 - \frac{r_t}{r_d} \quad (3)$$

w którym:

r_t - promień toczy (promień wyobraźalnego koła toczącego się bez poślizgu), m,
 r_d - promień dynamiczny, m.

Jeżeli przyjąć ogólną postać zależności $r_d = f(b)$ jako

$$r_d = A - B \cdot b \quad (m),$$

w której:

A i B - wartości określone empirycznie dla danej opony i ciśnienia w jej wnętrzu.

Jeśli przyjąć ponadto, iż

$$b = b_r - b_o \quad (m), \quad (\text{rys. 2})$$

w którym:

b_r - ugięcie boczne opony koła ciągnika obciążonego momentem obrotowym przy określonym ciśnieniu w ogumieniu,
 b_o - ugięcie boczne opony koła ciągnika nie obciążonego momentem obrotowym

oraz

$$r_t = \frac{1}{0,3925 \cdot z} \quad (m),$$

w którym:

- l droga odmierzona na liniale w czasie pomiaru,
- z ilość prętów wskaźnikowych odpowiadająca drodze l (w podanym schemacie obwód koła ciągnika podzielono na 16 części, stąd $16 \cdot 0,3925 = 2\pi$).

Ostateczny wzór, określający poślizg na podstawie wielkości rejestrowanych na filmie, przybierze postać

$$S = 1 - \frac{l}{0,3925 \cdot z [A - B / b_r - b_0 /]} \quad (4)$$

Błąd względny pomiaru poślizgu dokonywanego omawianą metodą i określonego formułą (4) obliczono według wzoru

$$\gamma_s = \left| \frac{\delta s}{\delta l} \right| \Delta l + \left| \frac{\delta s}{\delta b_r} \right| \Delta b_r + \left| \frac{\delta s}{\delta b_0} \right| \Delta b_0 \quad (5)$$

Ponieważ $\Delta b_r = \Delta b_0 = \Delta b$,

$$\gamma_s = \frac{1}{0,3925 \cdot z [A - B / b_r - b_0 /]} \Delta l + \quad (6)$$

$$+ 2 \left| \frac{0,3925 \cdot B \cdot z \cdot 1 (b_r - b_0)}{0,3925 \cdot z [A - B / b_r - b_0 /] [0,3925 \cdot A - 0,3925 \cdot z \cdot B - /b_r - b_0 / - l]} \right| \Delta b$$

Zgodnie z przedstawioną metodą badania odkształceń dynamicznych opony koła napędowego ciągnika przeprowadzono cykl pomiarów owych zmian w odniesieniu do ciągnika Ursus C-385.

Celem badań było określenie przydatności przedstawionej metody w praktycznych warunkach pomiarowych oraz znalezienie zakresu

błędu pomiaru dla różnych odcinków pomiarowych. Pomiarzy przeprowadzono na podłożu sztywnym, betonowym, przy czym:

- przedmiotem badań była opona o wymiarze 16,9/14 - 34 i ciśnieniu wewnątrz 98,1 kPa;

- w czasie pomiarów obciążono ciągnik na haku zaczepowym siłą 5; 10; 12,5; 19; oraz 20 kN;

- pomiary przeprowadzono przy prędkości postępowej ciągnika $0,66 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;

- do rejestracji ugięć opony użyto kamery filmowej AK-16 wyposażonej w obiektyw Pentovar 1:2,8 15-60 mm oraz w układzie napędowym wykorzystano przekładnię i silnik wysokiej sprawności.

Pracowano na przysłonach 2,8; 4; 5,6 - w zależności od warunków (przy oświetleniu dziennym). Stosowanie prędkości przesuwu taśmy 48 i 64 kadry/s pozwoliły na prawidłowe zarejestrowanie zjawisk na materiale światłoczułym, którym był film ORWO UP-52, 16 mm 26 DIN, czarno-biały;

- do rejestracji ugięć użyto aparatu fotograficznego Pentacon six wyposażony w obiektyw 2,8 i 50. Zdjęcia wykonywano na filmach ORWO 27 DIN.

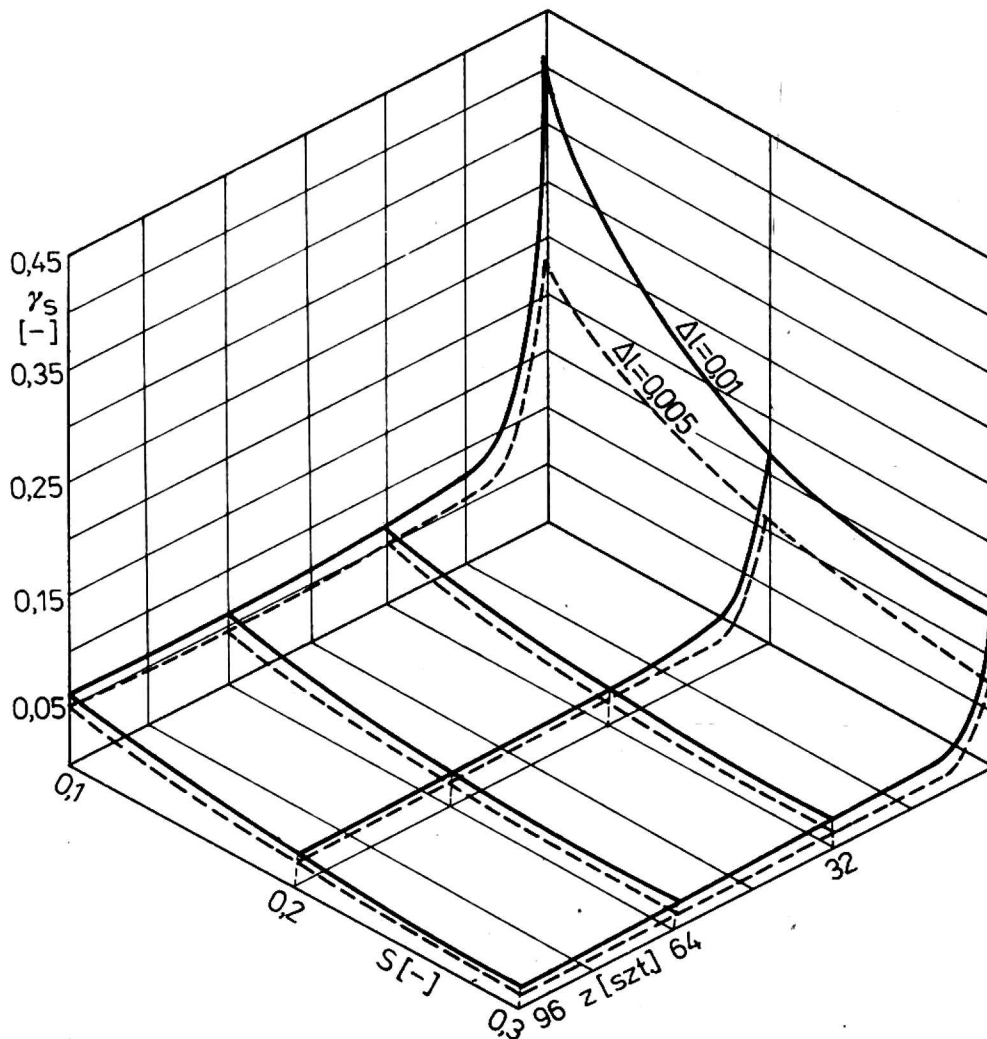
Badania prowadzono w okresie letnim, co pozwoliło na prawidłową ekspozycję materiałów światłoczułych.

Rezultatem badań było określenie zależności między wartością promienia dynamicznego r_d a ugięciem bocznym opony b , w odniesieniu do stosowanego w czasie pomiaru ciśnienia w oponie (98,1 kPa). Do zobrazowania wartości błędu względnego pomiaru poślizgu w zależności od ilości prętów wskaźnikowych z oraz poślizgu S i wielkości błędu bezwzględnego pomiaru odcinka drogi $L - l$, na rysunku 5 przedstawiono te zależności w postaci graficznej, zakładając

$$\left. \begin{aligned} b &= 0,01 \text{ m (co odpowiada } r_d = 0,0705 \text{ m)}, \\ A &= 72715 \cdot 10^{-5} \\ B &= 2184003 \cdot 10^{-6} \end{aligned} \right\} \text{ zgodnie z rysunkiem 4}$$

$$l = 0,01 \text{ (w czasie pomiaru używano liniażu z podziałką centymetrową)}.$$

Z analizy rysunku 4 wynika ilość prętów z , którą należy brać pod uwagę przy pomiarze poślizgu, by utrzymać się w granicach założonego błędu. Przykładowo przy założeniu:



Rys. 4. Błąd względny pomiaru poślizgu w zależności od liczby prętów wskaźnikowych z oraz poślizgu S i wielkości błędu bezwzględnego pomiaru odcinka drogi l - Δl , określony dla ugięcia bocznego opony, $b = 0,01$, co odpowiada $r_d = 0,705$ m

$\gamma_s = 0,05$, $S = 0,2$ oraz $\Delta l = 0,01$ należy brać pod uwagę w czasie pomiaru co najmniej siedem prętów wskaźnikowych, zatem niespełna pół obrotu koła jezdnych może być w podanym przykładzie podstawą pomiaru poślizgu. Należy dalej podkreślić, iż całkowicie możliwe jest użycie do pomiaru drogi l liniału z podziałką półcentymetrową, co znacznie zwiększa dokładność pomiaru poślizgu (Δl w tym przypadku wyniesie $0,005$).

PODSUMOWANIE

Przedstawiona metoda pomiaru poślizgu kół jezdnych ciągnika z uwzględnieniem odkształceń dynamicznych opony, a ściślej z uwzględnieniem zmian wielkości promienia dynamicznego, jest metodą sto-

sunkowo mało skomplikowaną i łatwą w stosowaniu. Zrealizowanie badań wstępnych według proponowanego schematu, zmierzających do określenia zależności wielkości ugięcia bocznego ściany opony b od wartości promienia dynamicznego r_d dla danej opony i ciśnienia w jej wnętrzu, pozwala na dokonywanie pomiaru poślizgu metodą filmową w sposób bardzo dokładny, uwzględniający zmiany promienia dynamicznego r_d .

Podkreślić dalej trzeba, iż pomiar poślizgu realizowany po uprzednim określeniu funkcji $b = f(r_d)$ wymaga stosowania jednej kamery filmowej, liniażu z podziałką oraz tarczy wskaźnikowej dzielącej obwód koła na równe części, a więc w sumie oprzyrządowania, które stosunkowo łatwo skompletować.

Warto ponadto zauważyć, iż rejestrowanie wielkości ugięcia bocznego opony jest również możliwe w warunkach ruchu ciągnika po podłożu miękkim, jednakże otrzymywane tą drogą wartości promienia dynamicznego mogą mieć, jak się wydaje, jedynie charakter orientacyjny.

LITERATURA

1. Błaszkiwicz Z., Kozicz J., Piechnik L., Podsiadłowski S.: Pomiar poślizgu kół jezdnych ciągnika metodą filmową. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 1978, nr 4.
2. Orzechowski J.: Wykorzystanie i efektywność filmu badawczego w naukach rolniczych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1977, z. 128.
3. Sołtyński A.: *Mechanika Układu Pojazd-Teren*. Wydawnictwo MON, Warszawa, 1966.
4. Woźniak W.: Zastosowanie techniki filmowej w badaniach maszyn rolniczych. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 1975, nr 10.

Ян Козич, Станислав Подсядловски, Лешек Пехник

ИЗМЕРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ КОЛЕС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬМОВОЙ ТЕХНИКИ,
С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ ШИНЫ

Р е з ю м е

Представленный метод измерения скольжения ходовых колес трактора с учетом динамических деформаций шины, а точнее изменений величины динамического радиуса, весьма несложный и легко применимый. Проведение предварительных исследований в соответствии с разрабо-

танной схемой, направленных на определение зависимости величины бокового прогиба стенки шины, b от величины динамического радиуса r_d для данной шины и давления внутри ее, позволяет провести с использованием фильма очень точное измерение скольжения, с учетом изменений динамического радиуса r_d .

Далее следует отметить, что измерение скольжения проводимое после предварительного определения функции $b = f(r_d)$, требует использования одной кинокамеры, масштабной линейки и показательного диска разделяющего длину окружности на равные части, т.е. легко доступного оборудования.

Сверх того необходимо подчеркнуть, что регистрирование величины бокового прогиба возможно также в условиях движения трактора по мягком основании, однако полученные таким путем величины динамического радиуса могут иметь, как кажется, лишь ориентировочный характер.

Jan Kozicz, Stanisław Podsiadłowski, Leszek Piechnik

MEASUREMENT OF WHEEL SLIP USING THE FILM TECHNIQUE TAKING INTO
CONSIDERATION DYNAMICAL DEFORMATIONS OF TIRE

S u m m a r y

The method described of the tractor ground wheel slip measurement taking into consideration dynamical deformations of tire, and more exactly changes of the dynamical radius value, is relatively simple and easy for application. Carrying out preliminary investigations according to the proposed scheme, aiming at determination of the value of dynamical radius r_d for the given tire and pressure inside it allows to measure very exactly the wheel slip by the method of filming at consideration of changes of the dynamical radius r_d .

Furthermore, it is to stress that the wheel slip measurement performed after preliminary determination of the function $b = f(r_d)$ requires the use of one film camera, measuring rule with the scale and index shield dividing the circle periphery into equal parts, and thus the equipment, which can be easily completed.

Moreover, it is worthwhile to mention that the registering lateral deflection of the tire also possible under conditions of the tractor movement over a soft substrate, but the values of the dynamical radius obtained in such a way can be, as it seems, of an indicatory character only.