

METODA KINEMATOGRAFICZNO-STROBOSKOPOWA  
W BADANIACH MASZYN ROLNICZYCH

Józef Walczyk

Instytut Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa AR w Krakowie

WSTĘP

W badaniach maszyn rolniczych konieczne jest określenie kinematyki mechanizmów, procesów roboczych maszyn, przeprowadzenie charakterystyki ruchów roboczych obsługi [2, 8]. We wspomnianych przypadkach może znaleźć zastosowanie technika zdjęć szybkich, czasem jednak korzystniejszy jest zapis badanych parametrów na jednej klatce filmu. Uzyskanie takiego obrazu nakładania kolejnych klatek jest bardzo pracochłonne i mało dokładne [2, 6, 7]. Zadanie to dobrze spełnia technika stroboskopowa [3]. Jednak brak urządzenia sterującego kamerą, współpracującego z badanym obiektem, powoduje, że uzyskane obrazy przy pracy ciągłej kamery nie są synchronizowane z przebiegiem analizowanego procesu i tylko niektóre z nich nadają się do analizy.

W wielu przypadkach przeprowadzenie pomiarów jest niemożliwe ze względu na tak długi okres trwania zjawiska, że czas naświetlania typowej kamery filmowej nie pozwala na jego ujęcie na jednej klatce filmu, zaś sterowanie ręczne czasem naświetlania (b) jest mało dokładne. Wykonanie więc urządzenia synchronizacyjnego jest niezbędne, aby można było stosować technikę stroboskopową.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Stosowanie techniki pomiaru kamerą do zdjęć szybkich jest utrudnione ze względu na dużą jej pracochłonność oraz cenę kamery.

Podjęte badania mają na celu opracowanie takiej metody, która w określonych warunkach zastąpiłaby kamerę do zdjęć szybkich, zmniejszyła zużycie taśmy filmowej i ułatwiła analizę materiału filmowego. Opracowana metoda oparta jest na technice kinematograficzno-stroboskopowej, przy czym kamera filmowa zsynchronizowana jest z badanym obiektem. W opracowaniu ograniczono się do podania metodyki i opisu aparatury opartej na badaniach siewnika precyzyjnego.

#### TECHNIKA KINEMATOGRAFICZNO-STROBOSKOPOWA

W celu uzyskania na jednej klatce filmu obrazu badanego zjawiska dynamicznego należy tak dobrać okres trwania jednego ujęcia, aby był on równy lub dłuższy od czasu trwania tego zjawiska. Przyjmując, że badany element o średnicy  $d$  porusza się ruchem jednostajnym lub jednostajnie przyspieszonym z prędkością  $V_{o/1-n/}$ , maksymalny czas naświetlania jednego punktu można obliczyć wg wzoru

$$t_{p/1-n/} = \frac{d}{V_{o/1-n/}} \quad /s/ \quad (1)$$

w którym:

$t_{p/1-n/}$  - czas naświetlania punktów toru 1 - n,

$d$  - średnica nasienia,

$V_{o/1-n/}$  - prędkość lotu nasiona w punktach od 1 - n.

Jak widać ze wzoru, w ruchu przyspieszonym czas ekspozycji poszczególnych ujęć jest zmienny i maleje ze wzrostem prędkości analizowanego punktu. Czas naświetlania jednego punktu zależy od prędkości i może być kilkadziesiąt razy mniejszy od czasu otwarcia migawki kamery, co nawet przy dużym kontraście tła i badanego elementu nie może dać dobrego obrazu.

Różnicę pomiędzy czasem naświetlania tła i badanego elementu zmniejszono, dzieląc czas naświetlania na szereg znacznie krótszych okresów i umieszczając przed obiektywem kamery filmowej wirującą tarczę z wycięciami [4]. W ten sposób na filmie uzyskano zbiór punktów, wyznaczonych w jednakowych odstępach czasu, przed-

stawiających tor ruchu [ 5]. Z zatrzymanego obrazu można określić średnie prędkości pomiędzy poszczególnymi punktami toru wg wzoru

$$\bar{V}_n = \frac{l_n - l_{n-1}}{t} \quad (\text{ms}^{-1}) \quad (2)$$

w którym:

- $\bar{V}_n$  - średnia prędkość nasiona pomiędzy rozpatrywanymi punktami toru,  
 $l_n - l_{n-1}$  - droga pomiędzy analizowanymi punktami toru od n do (n-1),  
 t - czas pomiędzy dwoma kolejnymi naświetleniami.

Czas t zależy od prędkości kątowej tarczy stroboskopu oraz od wielkości i ilości wycięć, zaś prędkość kątowa i wielkość wycięć dobierane są w zależności od wymaganej ilości punktów wyznaczających tor badanego elementu i czasu naświetlania jednego punktu. Czas ten powinien być jak najmniejszy i dla elementów ruchomych powinien się mieścić w granicach  $t_p = 1/1000$  s [ 2].

Sumaryczny czas naświetlania klatki filmu

$$t_k = t_p \cdot i \quad (\text{s}) \quad (3)$$

w którym:

- $t_k$  - sumaryczny czas naświetlania klatki filmu,  
 $t_p$  - czas naświetlania jednego punktu toru,  
 i - wymagana liczba punktów toru,

Jak widać ze wzoru, stosunek czasu naświetlania całej klatki do czasu naświetlania jednego punktu toru jest równy liczbie wymaganych punktów.

Przyjmując średnią odległość punktów toru  $\bar{l}$  i średnią prędkość filmowanego obiektu (nasiona)  $\bar{V}$

$$\bar{V} = \frac{V_o + V_z}{2} \quad (\text{ms}^{-1}) \quad (4)$$

określono czas t między poszczególnymi naświetleniami punktów toru

$$t = \frac{\bar{l}}{V} = \frac{\alpha_0 + \alpha_w}{V} \quad (s) \quad (5)$$

Wiadomo, że

$$\frac{t}{t_{\hat{p}}} = \frac{\alpha_0}{\alpha_w} \quad (6)$$

Tarcza zaś musi spełniać następujący warunek:

$$n_1 (\alpha_0 + \alpha_w) = 2\pi \quad (7)$$

w którym:

- $\alpha_w$  - kąt wycięcia tarczy stroboskopu (rad),
- $\alpha_0$  - kąt pomiędzy wycięciami (rad),
- $n_w$  - liczba wycięć na tarczy,

Zakładając wartość wycięcia na tarczy  $\alpha_w$  obliczono  $\alpha_0$  ze wzoru 6.

Prędkość kątową tarczy można obliczyć ze wzoru:

$$\omega_t = (\alpha_0 + \alpha_w) \cdot i \quad (\text{rad s}^{-1}) \quad (8)$$

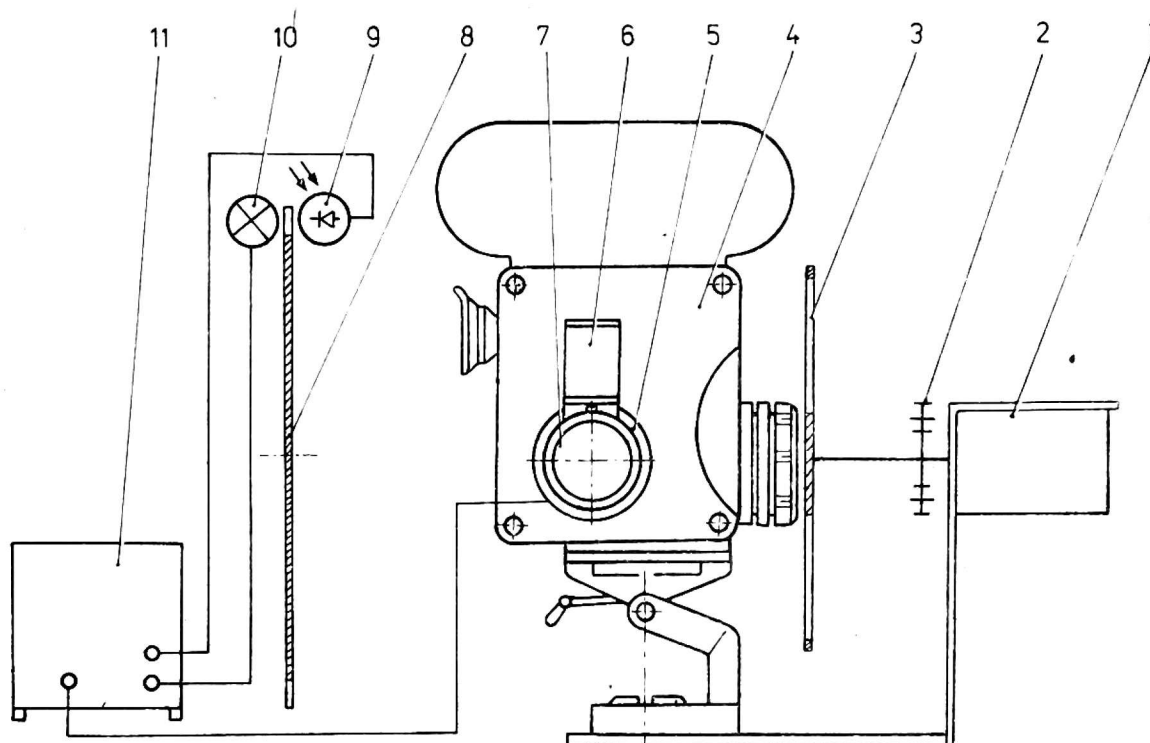
$$i = \frac{n}{t_k} \quad (\text{s}^{-1})$$

w którym:

- $i$  - liczba punktów toru na (s),
- $n$  - wymagana liczba punktów toru na jednej klatce filmu,
- $t_k$  - czas otwarcia migawki kamery.

Aby urządzenie stroboskopowe mogło spełniać założoną wyżej funkcję, kamera musi być zsynchronizowana z filmowanym obiektem. Rozwiązano to w ten sposób, że obiekt filmowany steruje czasem otwarcia i zamknięcia migawki. W tym celu zastosowano urządzenie poklatkowe kamery, nastawiając go na ręczne sterowanie czasem migawki (B), które współpracuje z elektronicznym urządzeniem steru-

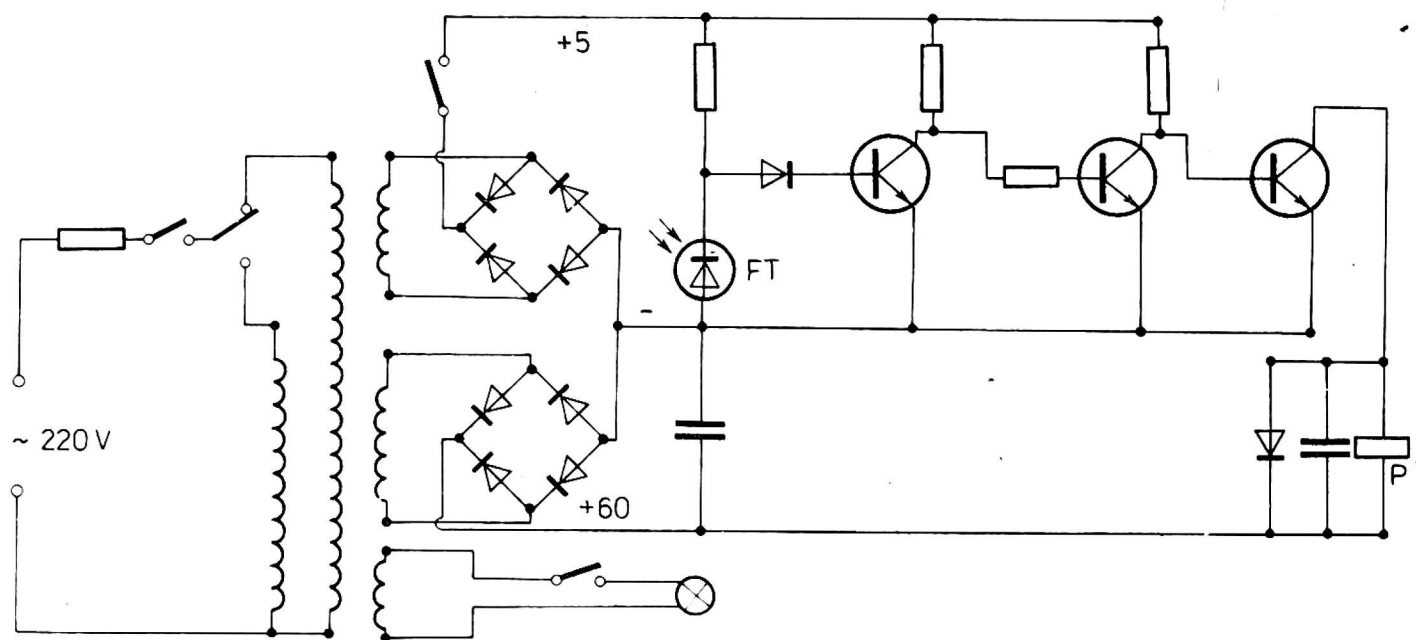
jącym (rys. 1) które odbiera impulsy sterownicze za pomocą fototranzystora z tarczy sterującej zamocowanej na filmowanym obiekcie. Elementem wykonawczym jest elektromagnes, który powoduje włączenie i wyłączenie urządzenia poklatkowego kamery zgodnie z im-



Rys. 1. Kamera ze stroboskopem i urządzeniem sterującym: 1 - silnik stroboskopu, 2 - przekładnia napędowa, 3 - tarcza stroboskopu z wycięciami, 4 - kamera filmowa, 5 - urządzenia poklatkowe kamery, 6 - elektromagnes sterujący urządzeniem poklatkowym, 7 - silnik kamery, 8 - tarcza sterująca elektromagnesu, 9 - fototranzystor, 10 - źródło światła, 11 - wzmacniacz

pulsem otrzymanym od tarczy sterującej za pomocą elektronicznego urządzenia sterującego (rys. 2).

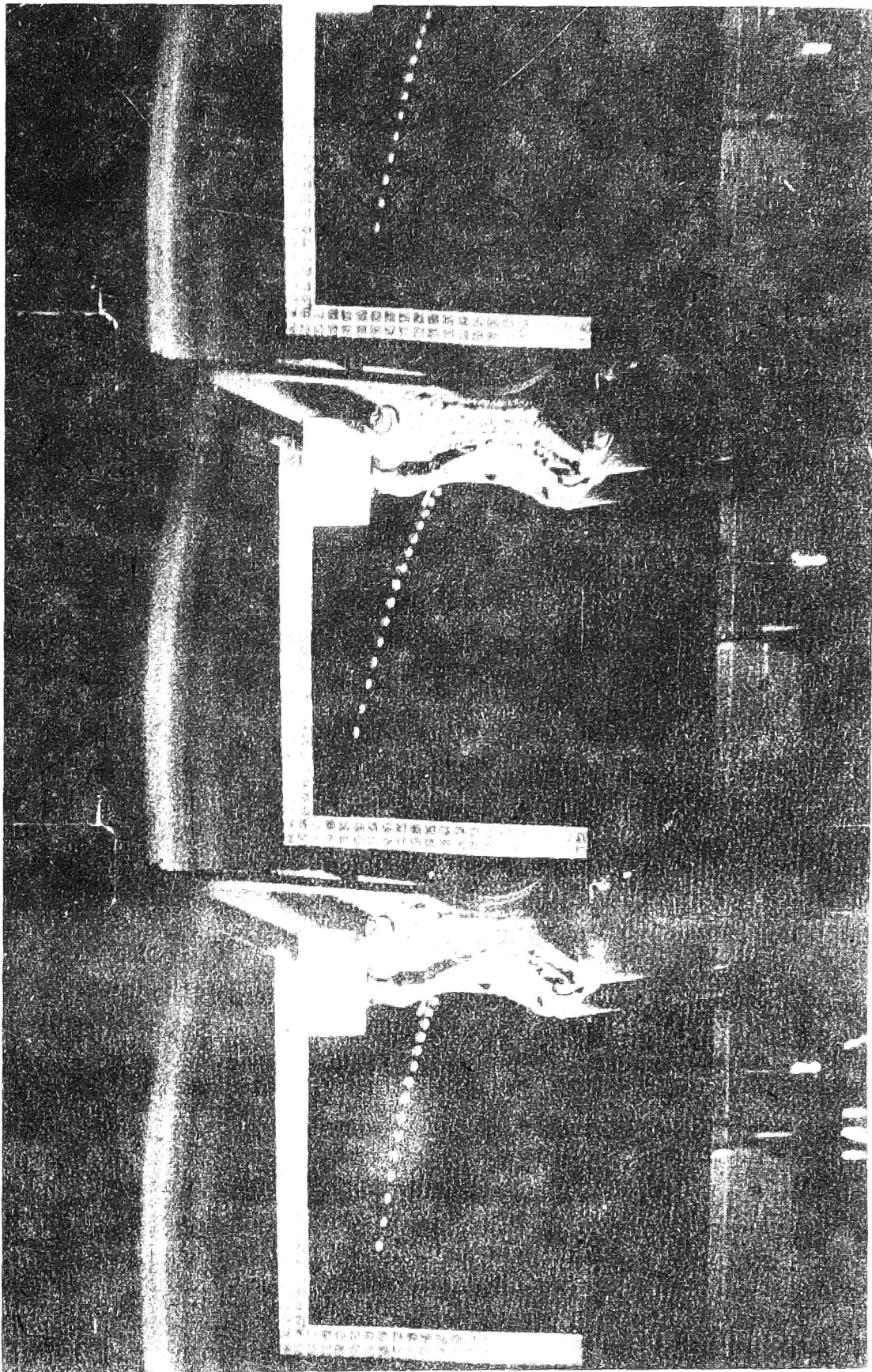
W przypadku badania siewników precyzyjnych, przy odpowiednio dobranej odległości wysiewu nasion w rzędzie, można uzyskać tory wszystkich wysiewanych w czasie badania nasion. Obraz uzyskany na filmie po wykonaniu synchronizacji kamery z siewnikiem (rys. 3) nie tylko pozwala na wyznaczenie kształtu toru i określenie parametrów lotu nasiona, ale daje też możliwość określenia odległości między wysiewanymi nasionami. Badanie wysiewu można wykonać zwykłą kamerą, uzyskując dowolną ilość punktów toru, czyli dowolnie dużą dokładność pomiaru. Oszczędność filmu jest 10-20-krotna w zależności od wymaganej dokładności analizy badanego procesu.



Rys. 2. Schemat elektronicznego urządzenia sterowniczego: FT - fototranzystor, P - cewka elektromagnesu sterująca urządzeniem poklatkowym kamery

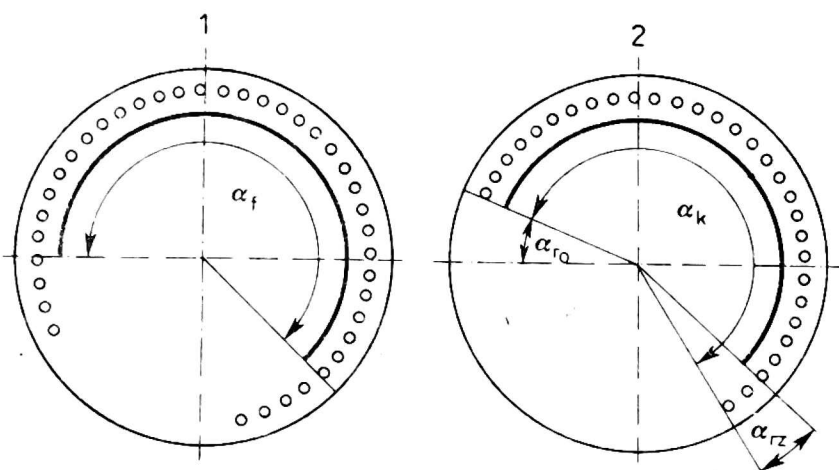
W celu dokładnego określenia czasu trwania ekspozycji jednej klatki filmu w kamerze i czasu reakcji urządzenia opracowano metodę skalowania urządzenia. Metoda polega na równoczesnym fotografowaniu i filmowaniu tarczy obrotowej, na której znajdują się dwie lampy tłące. Jedna lampa zasilana jest od generatora impulsów o znanej częstotliwości, druga od urządzenia sterującego elektromagnesu. Z chwilą otrzymania impulsu na elektromagnes podłączona równolegle lampa tłąca zapali się i będzie się palić aż do zwolnienia elektromagnesu, druga lampa tłąca zasilana od generatora impulsów miga w sposób ciągły. W kamerze fotograficznej migawka musi być wcześniej otwarta i zwolniona dopiero po zamknięciu migawki kamery filmowej. W aparacie fotograficznym uzyskuje się wycinek koła zaznaczony linią ciągłą przez lampę zaświeconą przy pomocy urządzenia sterującego kamery filmowej i linią przerywaną zaznaczoną przez lampę zasilaną z generatora impulsów. Linia ciągła wyznacza czas między początkiem i końcem włączenia elektromagnesu przez urządzenie sterujące. Ilość punktów wyznaczonych na tym wycinku koła przez zasilaną z generatora lampę tłącą pozwala na określenie czasu trwania impulsu (rys. 4).

Na obrazie uzyskanym w kamerze początek linii ciągłej, jak i przerywanej, może być obcięty (kąt  $\alpha_{r0}$ ) ze względu na czas rea-



Rys. 3. Obraz toru nasion uzyskany metodą kinematograficzno-stroboskopową

akcji elektromagnesu i kamery, koniec linii ciągłej będzie zgodny z końcem uzyskanym w aparacie fotograficznym. Czas reakcji urzą-



Rys. 4. Schemat obrazu uzyskanego aparatem fotograficznym (1) i kamerą filmową (2) wg metody skalowania urządzenia

dzenia od chwili uzyskania impulsu do otwarcia migawki kamery oblicza się wg wzoru

$$t_{ro} = (i_f - i_{kc}) \cdot \frac{1}{f} \quad (s) \quad (9)$$

w którym:

- $t_{ro}$  - czas reakcji otwarcia migawki kamery,
- $i_f$  - liczba impulsów świetlnych, zarejestrowana przez aparat fotograficzny na wycinku koła ograniczonego linią ciągłą,
- $i_{kc}$  - liczba impulsów świetlnych zarejestrowana przez kamerę na wycinku koła ograniczonego linią ciągłą,
- $f$  - częstotliwość generatora.

Na obrazie zarejestrowanym przez kamerę impulsy świetlne mogą być rejestrowane jeszcze poza wycinkiem koła ograniczonego linią ciągłą (kąt  $\alpha_{rz}$ ), z tego określa się czas, jaki upłynie od podania impulsu zamykającego migawkę kamery do jej zamknięcia wg wzoru

$$t_{rz} = i_{kz} \cdot \frac{1}{f} \quad (s) \quad (10)$$

w którym:

- $t_{rz}$  - czas reakcji zamknięcia migawki kamery,
- $i_{kz}$  - liczba impulsów zarejestrowanych przez kamerę poza wycinkiem koła oznaczonym linią ciągłą.



Czas otwarcia migawki kamery oblicza się ze wzoru

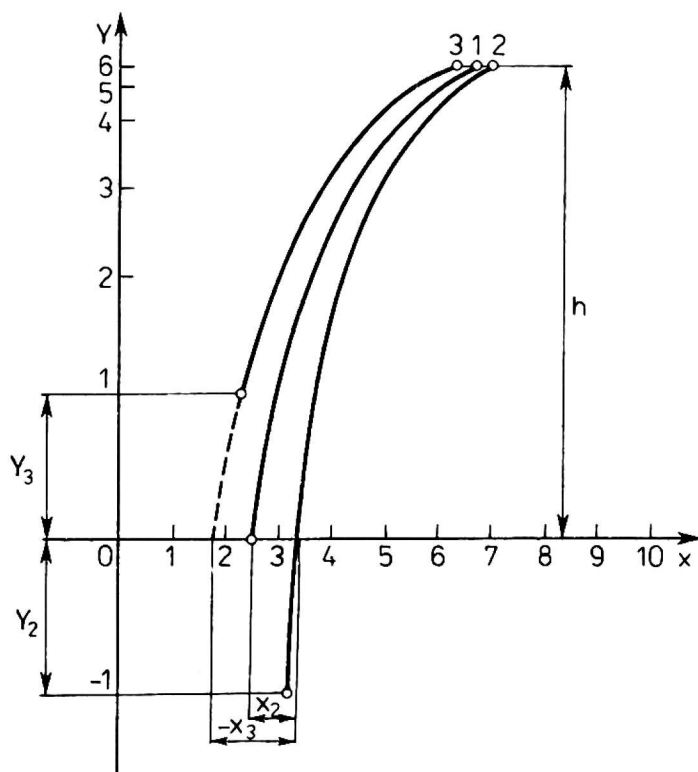
$$t_k = i_{ko} \cdot \frac{1}{f} \quad (s) \quad (11)$$

w którym:

- $t_k$  - czas otwarcia migawki kamery,  
 $i_{ko}$  - całkowita liczba punktów świetlnych zarejestrowanych przez kamerę,  
 $f$  - częstotliwość generatora impulsów.

Częstotliwość generatora impulsów ustala się w zależności od wymaganej dokładności pomiaru. Prędkość kątową i średnicę tarczy z lampami tłącymi należy tak przyjąć, aby dwa kolejne punkty lampy tłącej zasilanej generatorem impulsów nie zlewały się.

Analiza odległości między nasionami za pomocą metody kinematograficzno-stroboskopowej polega na odczytaniu współrzędnych toru nasiona i porównaniu ich ze współrzędnymi poprzedniego nasiona (rys. 5).



Rys. 5. Schemat analizy odległości między nasionami metodą stroboskopową

Skala osi  $x$  odpowiada stosunkowi prędkości jazdy siewnika do czasu między kolejnymi punktami toru i jest przedstawiona w powiększeniu odpowiadającym powiększeniu obrazu na ekranie

$$S_x = \frac{V_p}{t} \cdot p \quad (m) \quad (17)$$

w którym:

- $V_p$  - prędkość jazdy siewnika,
- $t$  - czas między dwoma naświetleniami punktów toru,
- $p$  - powiększenie obrazu.

Skala osi  $y$  będzie zmienna i z oddaleniem się od punktu wylotu nasiona będzie wzrastać wg wzoru

$$S_y = (V_{oy} \cdot t + gt^2) \cdot p \quad (m) \quad (18)$$

w którym:

- $S_y$  - podziałka na osi  $y$ ,
- $V_{oy}$  - prędkość początkowa nasiona w kierunku osi  $y$ ,
- $t$  - czas między dwoma kolejnymi naświetleniami punktów toru,
- $g$  - przyspieszenie ziemskie,
- $p$  - powiększenie obrazu,

$$V_{oy} = \omega_t \cdot r \sin \beta \quad (ms^{-1}) \quad (19)$$

w którym:

- $\omega_t$  - prędkość kątowna tarczy,
- $r$  - promień tarczy,
- $\beta$  - kąt działania prędkości początkowej.

Odległość  $l$  między dwoma kolejnymi nasionami można obliczyć ze wzoru

$$l = V_p \cdot t_L + S_x + S_y \quad (20)$$

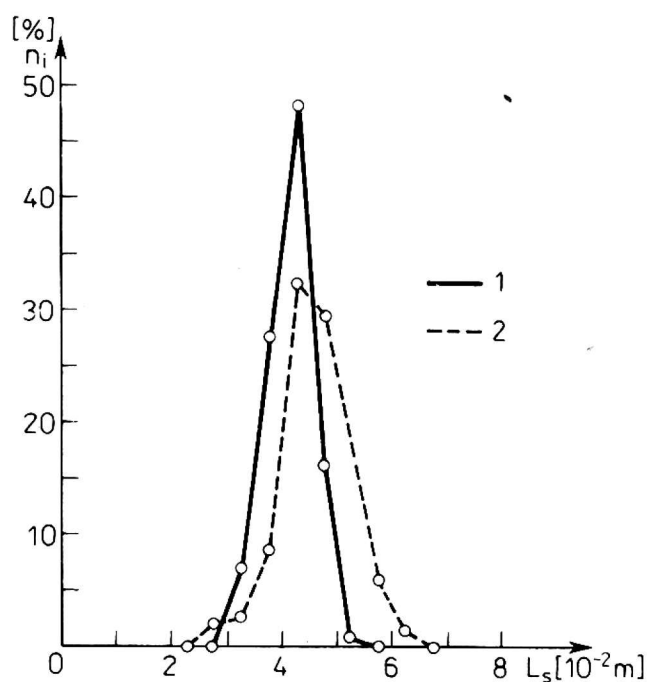
w którym:

- $l$  - odległość między dwoma kolejnymi nasionami,

$t_L$  - czas lotu nasiona od punktu wylotu do linii analizy (osi x),

$t_L = i \cdot t$ ,

Jak widać z rysunku 5, pole widzenia i synchronizację należy tak dobrać, aby był widoczny przebieg toru względem osi x oraz jego zakończenie względem osi y. Analiza filmu wykonywana jest na stanowisku pomiarowym, wyposażonym w projektor z poklatkowym przesuwem filmu i ekran matowy do projekcji tylnej. Z uzyskanych wyników badań wynika, że długość lotnicy nasiona  $L_z$  względem jego punktu wylotu przy stałej prędkości  $V_t$  tarczy wysiewu jest zmienna (rys. 5). Zmienność długości lotnicy wzrasta, gdy mierzymy tor nasion wysiewanych przez siewnik będący w ruchu (badania toru nasiona w czasie ruchu siewnika w kanale glebowym - linia 2, rys. 6).



Rys. 6. Rozkład długości lotnicy nasion (%) uzyskany za pomocą techniki stroboskopowej: 1 - badanie w czasie postoju siewnika, 2 - badanie w czasie ruchu siewnika

W warunkach naturalnych, gdy drgania siewnika na skutek nierówności pola są duże, należy się spodziewać większych różnic w przebiegu toru wysiewanych nasion.

## WNIOSKI

1. Metoda kinematograficzno-stroboskopowa może być stosowana do badań kinematyki niektórych maszyn lub analizy ruchów roboczych obsługi.

2. Stosując technikę kinematograficzno-stroboskopową można uzyskać obraz ruchu na jednej klatce filmu.

3. W przedstawionej metodzie używa się typowej kamery filmowej, a jej oprzyrządowanie jest tanie i proste w konstrukcji.

4. Metoda kinematograficzno-stroboskopowa daje znaczne oszczędności materiału filmowego i ułatwia jego analizę.

## LITERATURA

1. Cyprian T.: Fotografia, technika i technologia. WNT, Warszawa 1968.
2. Kalina J.: Vychodnocování filmu z rychlostní kamery použité k řešení kinematyký mechanismů a procesů na zemědělských strojích. Zemědělská technika 1966 nr 9.
3. Latoś H.: 1000 słów o fotografii. WMON, Warszawa 1979.
4. Šimek J.: Fotografické techniky. Práce, Praha 1969.
5. Walczyk J., Walczyk M.: Stanowiska do badań siewników precyzyjnych. Roczn. Nauk Roln. 1975, t. 72-C-1.
6. Walczyk J.: Zastosowanie analizy filmowej do badań siewników precyzyjnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1977, z. 188.
7. Velda K.: Kinematografická metoda registrace přesnosti vysevu. Zemědělská technika 1968, nr 1.
8. Zalewski P., Pleszczyński W.: Ergonomia dla mechanizatorów rolnictwa. PWRiL, Warszawa 1979.

Юзеф Вальчик

КИНЕМАТИЧЕСКО-СТРОБОСКОПНЫЙ МЕТОД  
В ИСПЫТАНИЯХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Р е з ю м е

Сконструировано стробоскопный прибор сотрудничающий с компьютером. Привод кинокамеры осуществляется с помощью кадрового механизма управляемого электромагнитом. Импульс на электромагнит передается от управляющего диска с помощью фототранзистора и электронного усилителя. Указанный прибор позволяет в некоторых случаях заменять ки-

нокамеру для быстрых съемок, обеспечивая значительную экономию филь-  
мового материала и упрощая его анализ. Сконструированный прибор и  
разработанный метод измерения применяли в испытаниях пунктирной  
сеелки.

Józef Walczyk

KINEMATICO-STROBOSCOPIC METHOD  
IN THE FARM MACHINERY TESTS

S u m m a r y

A stroboscopic appliance cooperating with the film camera has been developed. The camera is driven by the electromagnet. Impulse to the electromagnet is transmitted from the controlling disc by means of a phototransistor and electronic amplifier. The above appliance allows in some cases to replace the film camera for rapid shots, giving considerably economy of the film material and the measurement method were used in tests of the single-seed drill.