

## METODA FILMOWA I FOTOGRAFICZNA W BADANIACH RUCHU POWTARZALNEGO NA MASZYNACH ROLNICZYCH

*Józef Walczyk, Piotr Zalewski*

Instytut Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa Akademii Rolniczej w Krakowie

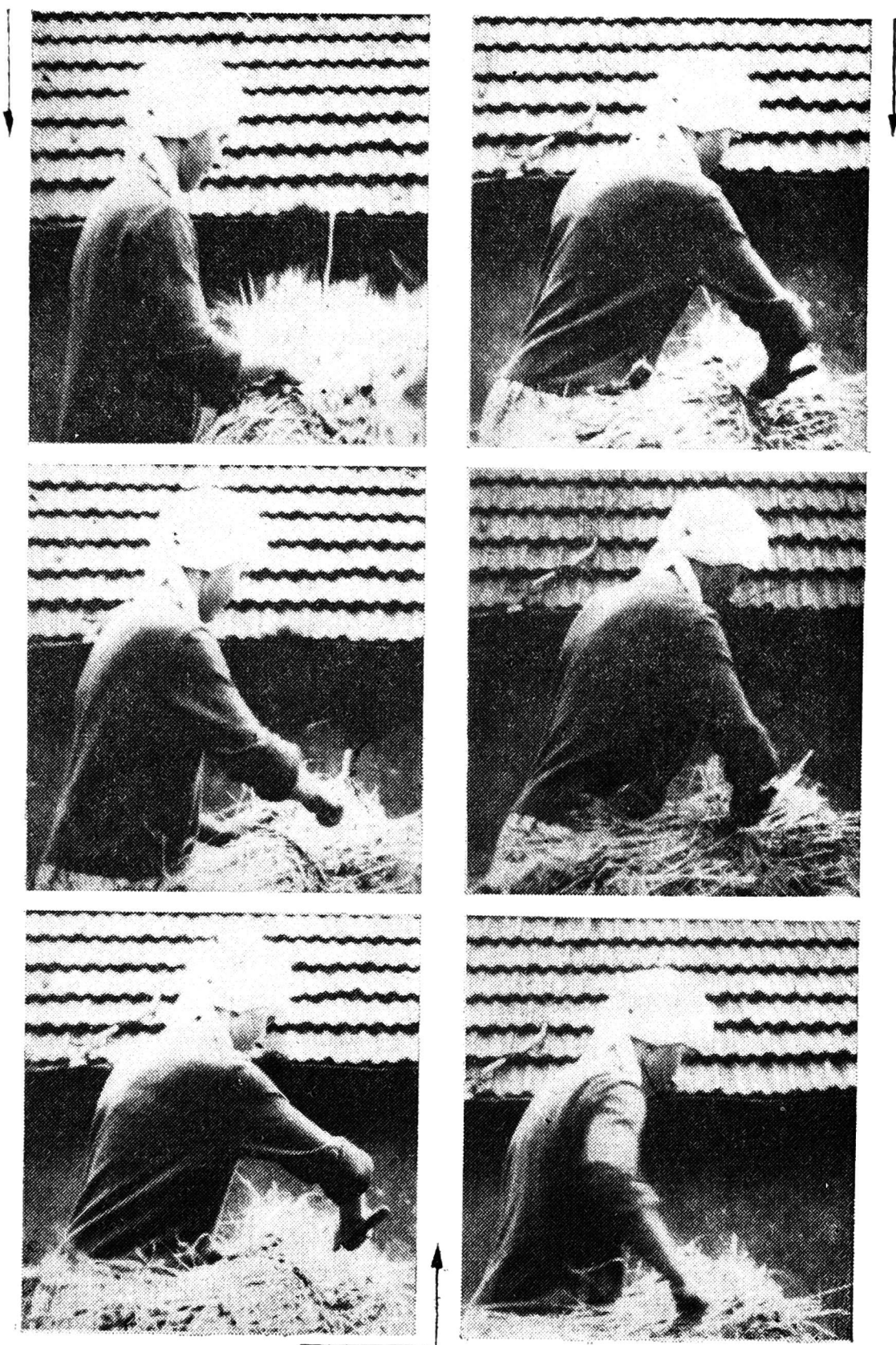
Powtarzalny (cykliczny) ruch rąk na maszynach rolniczych występuje przy pracach typu operacyjnego i sterowniczego. Praca manualna stanowi ogniwo maszynowego procesu przetwórczego w takich miejscach, w których z różnych względów zastosowanie mechanizmu jest mniej korzystne. Sadzarki tzw. półautomatyczne, stoły do ręcznej selekcji ziemiopłodów, naszywarki liści tytoniu, czy wreszcie młocarnie (rys. 1) stanowią typowe przykłady takich maszyn.

Na ogół cykliczny przebieg ma także ruch ręki przy sterowaniu działaniem maszyn, np. kombajnów, chociaż częstość występowania powtórzeń ruchu jest tu mniejsza.

Studiowanie ruchów powtarzalnych ma znaczenie w ergonomicznej ocenie maszyn. Na podstawie cech ruchu, takich jak prędkość i kształt toru, można ocenić prawidłowość rozmieszczenia elementów stanowiska pracy, obciążenie pracownika, preliminować wydajność, dobierać prędkość ruchu maszyny w czasie badań itp. Najbardziej pewną metodą prowadzenia tego typu badań jest metoda filmowa.

### TECHNIKA BADAŃ FILMOWYCH

Prędkość przemieszczenia dłoni podczas cyklicznych ruchów operacyjnych na maszynach rolniczych w większości przypadków nie przekracza 2-3 m/s [5], zatem prędkość przesuwu taśmy filmowej 24 lub 32 kl./s jest wystarczająca dla normalnych celów. Również typowe ruchy sterownicze, z wyjątkiem bardzo szybkich ruchów „interwencyjnych”, z powodzeniem mogą być filmowane tą prędkością kamery. Należy posługiwać się tylko kamerą z napędem elektrycznym. Filmowanie odbywa się najczęściej w warunkach produkcyjnych, może być „z ręki”.

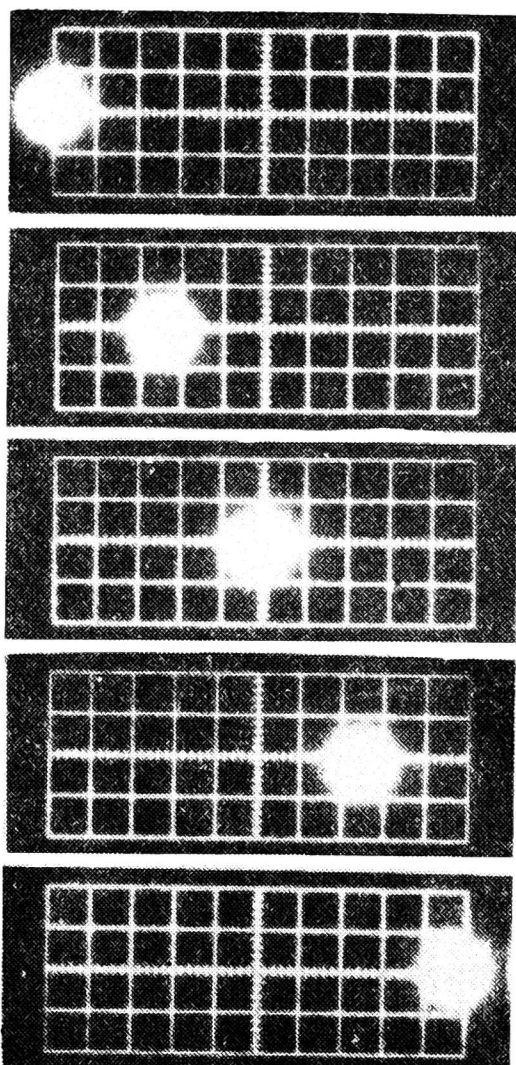


Rys. 1. Praca robotnicy na młocarni jako przykład ruchu powtarzalnego (kolejne zdjęcia z taśmy filmowej przy prędkości kamery 24 kl/s)

więc wygodniej jest stosować lekkie aparaty typu amatorskiego, których precyzja, przy dzisiejszej doskonałości wyrobów tego typu, jest na ogół zupełnie zadowalająca. Przemawia za tym także zasada niezakłócania toku normalnej pracy. Jak wiadomo z doświadczenia, wszelka zbędna ostentacja filmowania może wywołać pewną sztuczność ruchu u osób filmowanych.

Ocenę błędu systematycznego prędkości kamery, tj. stałej niezgodności nominalnego i rzeczywistego przesuwu taśmy w jednostce czasu, możemy wykonać jednym z następujących sposobów:

1. Przez filmowanie przemieszczania plamki świetlnej na ekranie oscyloskopu z naniesioną skalą (rys. 2). Używa się w tym celu niskich,



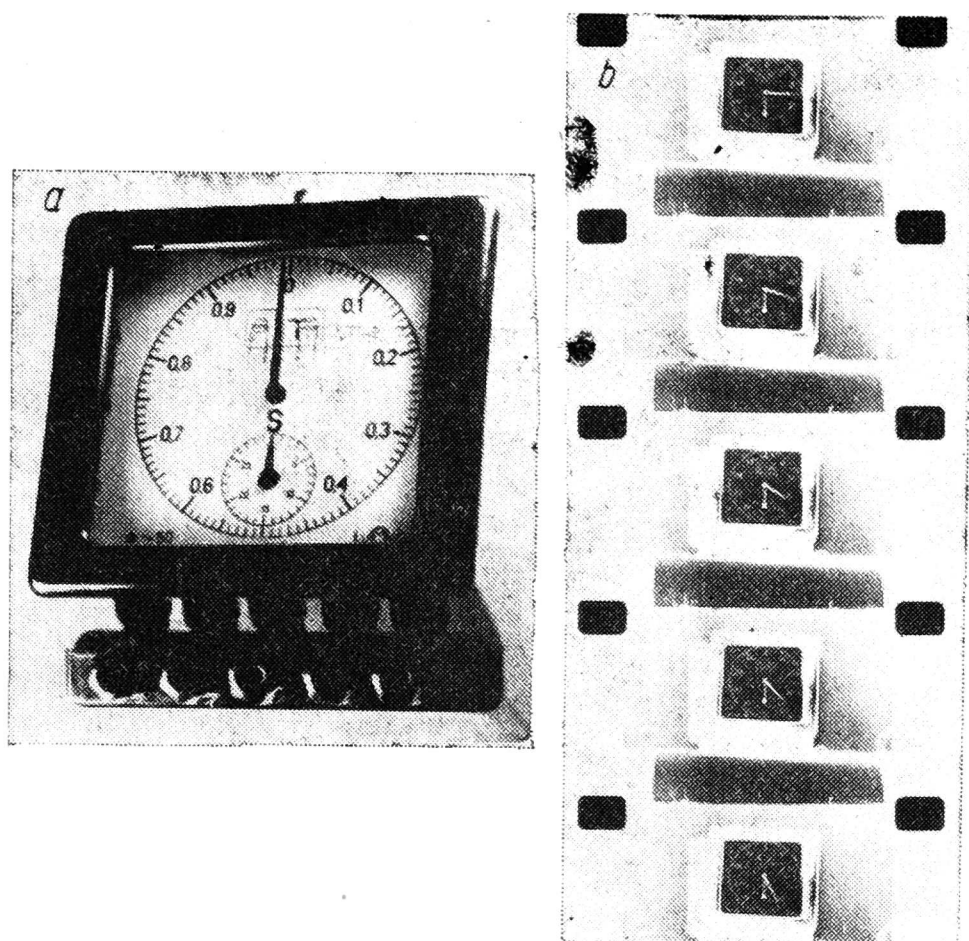
Rys. 2. Cechowanie kamery za pomocą oscyloskopu; pokazano co czwartą klatkę z taśmy filmowej

w stosunku do prędkości taśmy w kamerze, częstości generatora (np. 0,5 cykli/s) oraz oscyloskopu, w którym płynna regulacja podstawy czasu może zostać wyłączona w taki sposób, że pozostaje tylko regulacja skokowa.

2) Przez filmowanie sekundomierza elektrycznego sieciowego. Z polskich przyrządów tego typu może być sekundomierz Lumel SMA 31 (rys. 3).

Istotne znaczenie dla utrzymania stałej prędkości przesuwu taśmy filmowej, zwłaszcza w małej kamerze amatorskiej, ma zastosowanie akumulatora o zwiększonej pojemności w stosunku do fabrycznego albo paru akumulatorów fabrycznych do wymiany po naświetleniu określo-





Rys. 3. Sekundomierz elektryczny SMA 31 użyty do cechowania kamery. *a* — wygląd przyrządu, *b* — odcinek taśmy filmowej

nego wypróbowanego metrażu filmu. Z naszych doświadczeń wynika, że niektóre kamery lepiej utrzymują nominalne obroty przy większych prędkościach przesuwu taśmy. Na przykład prędkość 8 kl./s była obciążona błędem systematycznym, którego dostępnymi środkami nie stwierdzono przy prędkości 24 i 32 kl./s.

Błąd statystyczny spowodowany takimi czynnikami jak: wahania prędkości ruchu pracownika w poszczególnych cyklach pracy, czy błędne oznaczenie początku lub końca fazy ruchu przy analizie filmu oceniano, obliczając błąd standardowy średniego czasu trwania badanej fazy ruchu. Należy przy tym pamiętać, że założenie dokładności większej niż połowa czasu przesuwu jednej klatki filmu (np. 0,02 s przy prędkości 24 kl./s) jest nieosiągalne.

Z błędem statystycznym filmowych pomiarów czasu wiąże się problem liczby powtórzeń pomiaru.

Jeżeli zakres zmienności czasów trwania fazy ruchu i żądana dokładność (np. wyrażona w procentach średniej lub jako liczba stała) są znane, to można obliczyć liczbę obserwacji potrzebną do osiągnięcia tej dokładności ze stosunku kwadratów odchylenia standardowego i błędu standardowego średniej wg wzoru.

$$n = \frac{\sigma^2}{\sigma_x^2} \quad (1)$$

Na podstawie serii wstępnych pomiarów obliczamy przeciętny zakres zmienności  $\bar{R}$  oraz orientacyjną średnią czasów trwania ruchu  $\bar{X}$ . Z tabelic [3] odczytujemy wartość  $d_2$ , tj. stosunek zakresu zmienności do standardowego odchylenia, odpowiadający liczbie pomiarów w podgrupach, na które dzielimy pomiary wstępne:

$$d_2 = \frac{\bar{R}}{\sigma} \quad (2)$$

Żądana w tego typu badaniach dokładność wynosi zwykle  $\pm 5\%$  średniej [1], co przy 95-procentowym przedziale ufności odpowiada w przybliżeniu podwojonemu błędowi standardowemu średniej:

$$0,05 \bar{X} = 2\sigma_x \quad (3)$$

Na podstawie wzorów (2) i (3) obliczamy dzielną i dzielnik ilorazu (1).

Inne metody preeliminowania liczby obserwacji [2] są mniej dokładne. Przedstawiony sposób obliczania jest jedynie orientacyjny, głównie z dwóch powodów:

1. Arbitralnej oceny koniecznej liczebności pomiarów próbnych, na podstawie których ustala się zakres zmienności czasów ruchu. Wprawa i znajomość rzeczy odgrywają przy takiej ocenie niewątpliwą rolę, ale mogą nie wystarczyć, jeżeli pomiar dotyczy prac mało zbadanych.

2. Niepewności co do udania się filmu ze wszystkich powtórzeń, co z kolei powoduje stosowanie nadmiaru liczebności powtórzeń. Dotyczy to szczególnie cykli pracy powtarzanych w pewnych odstępach czasu, np. ruchów sterowniczych. Z reguły w takich przypadkach nie filmuje się nieprzerwanie, lecz uruchamia kamerę na okres trwania ruchu sterowniczego. Wymaga to nie tylko wyczucia sytuacji, w jakiej w danej chwili znajduje się układ człowiek — maszyna, ale także refleksu. „Obcięcie” początku ruchu w części filmowanych cykli jest w takich przypadkach nieuniknione. Także i inne techniczne przyczyny mogą wpłynąć na to, że część powtórzeń nie będzie zakwalifikowana do analizy. Uzupełnienie pomiarów po wywołaniu filmu nie zawsze jest możliwe (np. w przypadku pomiarów polowych) z powodu sezonowości prac rolniczych.

W typowych warunkach niewielkiego laboratorium ergonomicznego, zajmującego się badaniami maszyn rolniczych, analiza taśm filmowych odbywa się prostymi, „ręcznymi” metodami, których pracochłonność zależy jednak w znacznym stopniu od rodzaju zastosowanej aparatury i organizacji pracy. Przy analizie taśm dla filmowych pomiarów czasu wyróżnimy 3 czynności:

- 1) określenie granic fazy ruchu,
- 2) oznakowanie cykli i faz,
- 3) liczenie klatek.

Przyrządy optyczne, takie jak projektory czy stoły montażowe (o różnym stopniu doskonałości i w związku z tym w różnej cenie) ułatwiają niekiedy znacznie czynności określone w punktach 1 i 3 w stosunku do zwykłej kopiarki ze skalą, natomiast w wersji fabrycznej na ogół utrudniają znakowanie taśm. Z reguły, im bardziej skomplikowany jest przyrząd optyczny, tym trudniejszy dostęp do taśmy.

Oznaczanie granic faz, jak również numerowanie cykli, jest jednak potrzebne przede wszystkim dlatego, żeby można było wrócić do interesujących fragmentów taśmy lub powiązać ze sobą informacje czerpane z tych samych odcinków taśmy równoległe, np. dotyczące równoczesności ruchu lewej i prawej ręki. Dlatego zachodzi często konieczność przebudowy kamery fabrycznej w taki sposób, żeby możliwy był dostęp do klatki, najlepiej w trakcie jej projekcji, a jeżeli to nie jest możliwe, to bezpośrednio po projekcji.

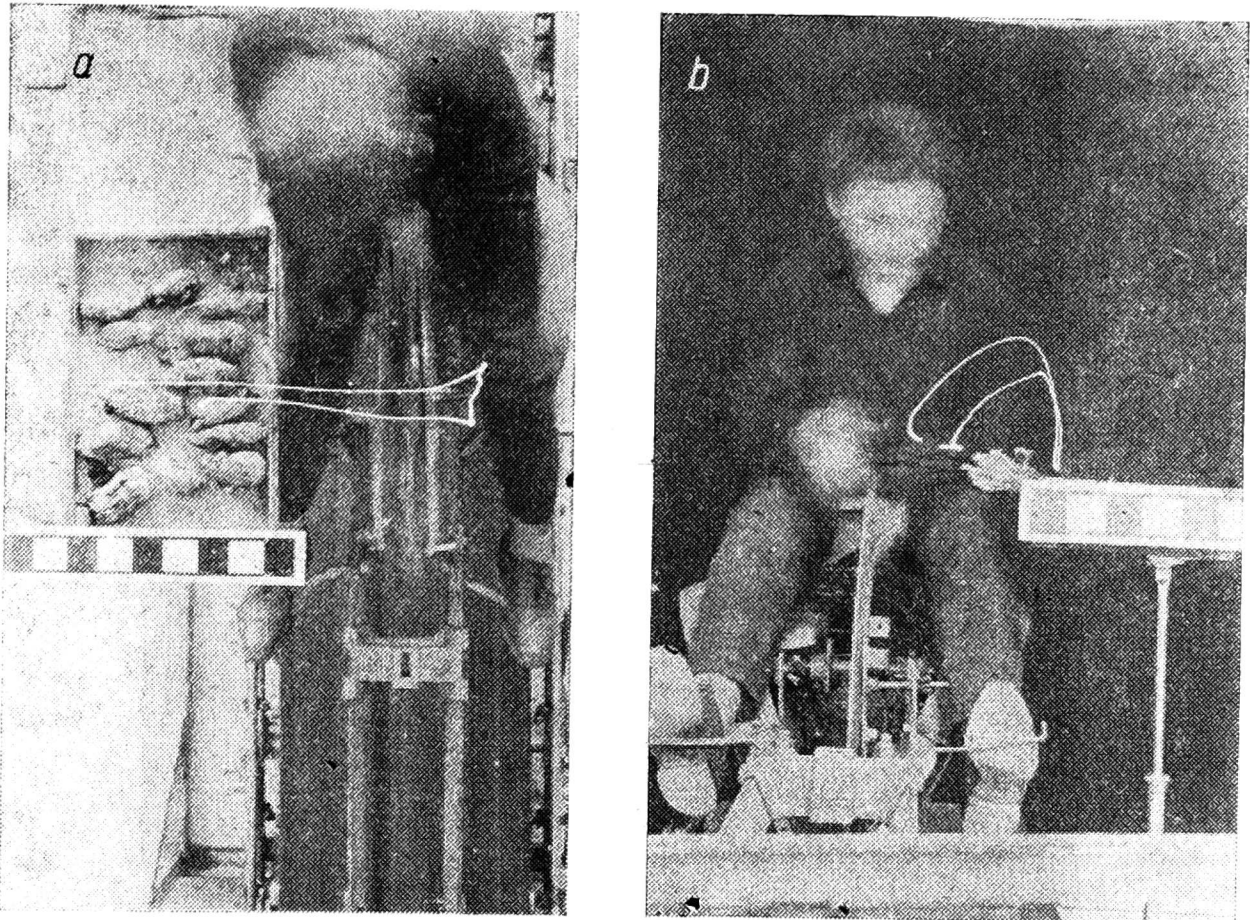
#### TECHNIKA FOTOGRAFICZNA

Fotograficzne metody rejestrowania toru ruchu powtarzalnego mają przewagę nad filmowymi w tym, że pozwalają otrzymać na jednym zdjęciu obraz toru w całości. Nanoszenie toru z poszczególnych zdjęć filmowych jest mozolne i rzadko daje w efekcie rysunek tak przejrzysty i — co czasem ma znaczenie dla celów szkoleniowych — poglądowy, jak np. zdjęcie cyklograficzne.

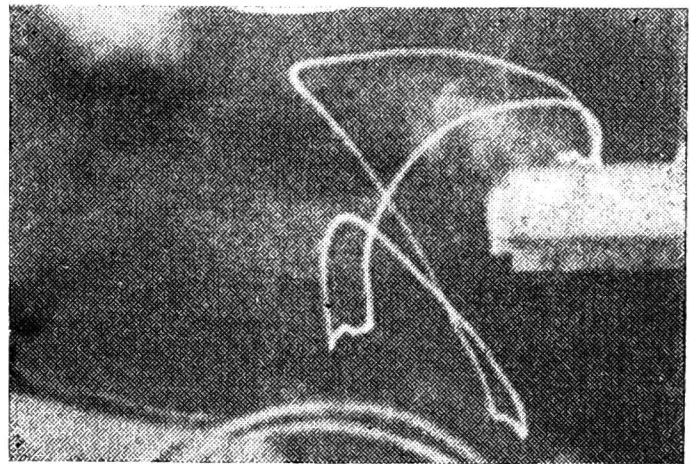
Cyklografia, tj. technika polegająca na fotografowaniu w ruchu pracownika z małą żarówką elektryczną przymocowaną do pracującej kończyny lub tułowia, wymaga jednak warunków laboratoryjnych lub halowych, co w przypadku badania ruchu roboczego na maszynach rolniczych jest trudne. Ponieważ chodzi tylko o takie oświetlenie zewnętrzne, które nie maskowałoby światła żarówki cyklograficznej, więc cyklografia możliwa jest także i w polu. W praktyce jednak rzadko w takich warunkach bywa stosowana. Tym niemniej wiele problemów ergonomicznych, dotyczących maszyn polowych, może być skutecznie rozpracowanych za pomocą cyklografii w laboratorium. Optymalizacja położenia platformy z rozsądą lub wysadkami na sadzarce (rys. 4 i 5) może stanowić przykład takiego rozwiązania.

Technikę wykonywania zdjęć stroboskopowych omówiono obszerniej w innym miejscu [4]. Doświadczenia nasze oparte są na pracy ze stroboskopem lampowym oraz z fotostroboskopem, obydwa przyrządy we





Rys. 4. Optymalizacja metodą cyklograficzną położenia zasobnika na sadzarce rozsady i wysadków; *a* — rzut poziomy, *b* — rzut pionowy toru ruchu



Rys. 5. Tor ruchu prawej dłoni pracownika przy sadzeniu korzeni buraka cukrowego sadzarką A-821

własnym wykonaniu. Fabrycznej lampy stroboskopowej SB 05 używano tylko do cechowania tych przyrządów.

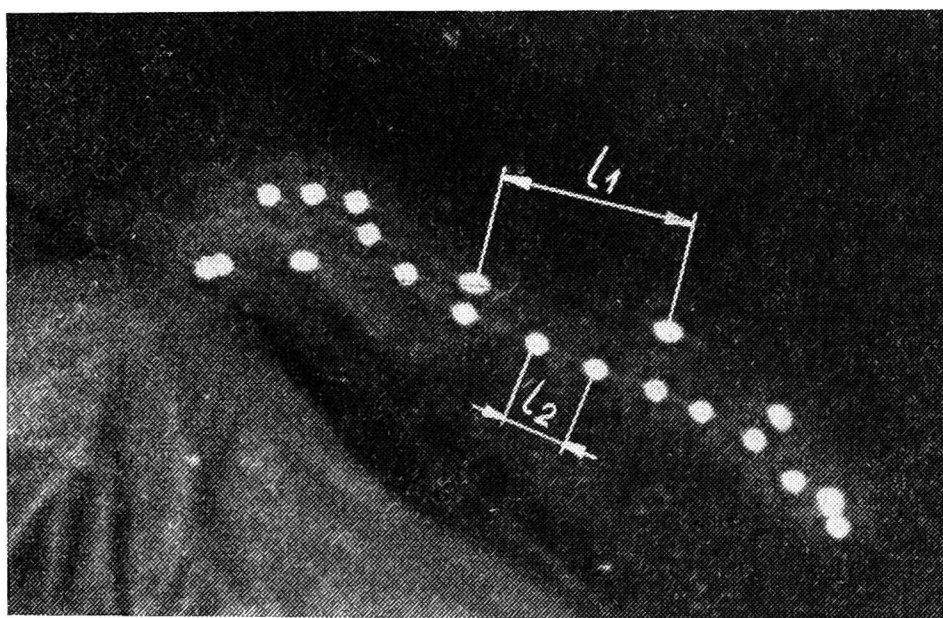
Stroboskop lampowy ma mniejsze zastosowanie w omawianej dziedzinie badań z tej przyczyny, że zdjęcia wykonuje się w ciemności. Jest to ponadto urządzenie stosunkowo duże i ciężkie. Wymagane duże natężenie przerywanego strumienia świetlnego otrzymano z żarówki fotograficznej 500 W, natomiast przerwy światła za pomocą tarczy wirującej.

Fotostroboskop, który konstrukcyjnie jest znacznie prostszy, umożliwia pracę przy oświetleniu dziennym lub sztucznym. Tarcza z otworami

wiruje tu przed otwartym obiektywem aparatu fotograficznego. Zmiany obrotów tarczy, najprościej można osiągnąć metodą elektryczną (przez zmianę napięcia prądu zasilającego silnik). Również w przypadku tego przyrządu właściwy moment otwarcia i zamknięcia migawki odgrywa istotną rolę.

W naszych doświadczeniach fotostroboskop okazał się najbardziej przydatny w chronocyklografii i do pomiaru kątowych przemieszczeń segmentów ciała w czasie pracy.

Jak wiadomo, pulsujące światło lampki cyklograficznej daje na zdjęciu przerywany, świetlny tor ruchu (rys. 6). Ta metoda rejestrowania

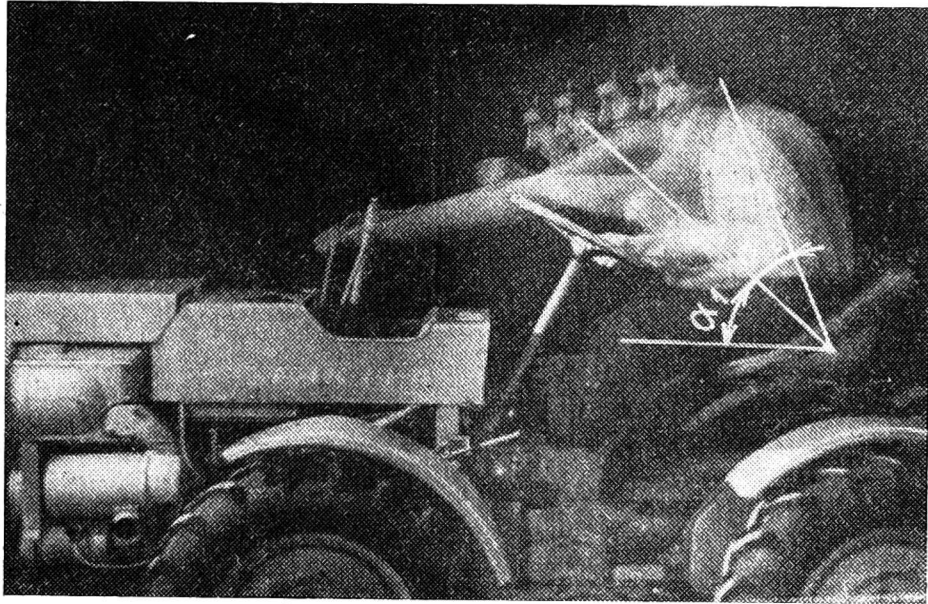


Rys. 6. Zdjęcie chronocyklograficzne toru ruchu prawej dłoni na sadzarce rozsady TP-4.  $l_1$  — odległość przebyta przez dłoń w czasie  $t = 0,05$  s w fazie transportu pustego,  $l_2$  — w tym samym czasie w fazie transportu pełnego

ruchu znana jest pod nazwą chronocyklografii. Zastosowanie fotostroboskopu do zdjęć chronocyklograficznych jest technicznie znacznie prostsze, tak w zakresie konstrukcji przyrządu jak i jego cechowania, niż posługiwanie się pulsującym światłem żarówki. Na podstawie rozmieszczenia punktów świetlnych wzdłuż toru można ocenić nie tylko kształt, ale i zmiany prędkości ruchu. Na przykład na zdjęciu (rys. 6) wykonanym przy częstotliwości 1200 błysków stroboskopu na minutę widoczna jest wyraźnie różnica prędkości ruchu dłoni w fazie „transport pełny” i „transport pusty”. W pierwszym przypadku droga przebyta pomiędzy dwoma błyskami wynosi  $l_2 = 3$  cm, w drugim  $l_1 = 9$  cm, co odpowiada prędkościom odpowiednio:  $V_2 = 0,6$  m/s i  $V_1 = 1,8$  m/s.

Zdjęcie stroboskopowe do pomiaru kąta nachylenia tułowia kierowcy ciągnika przedstawia rysunek 7. Pomiar kąta jest na ogół możliwy, z wystarczającą dokładnością nawet na zdjęciach tego typu niedoskona-





Rys. 7. Pomiar zmian kąta nachylenia tułowia kierowcy ciągnika metodą stroboskopową:  $\alpha_1 + \alpha_2$  — kąt w czasie kierowania ciągnikiem,  $\alpha_1$  — kąt w czasie zmiany biegów

łych technicznie, co ma istotne znaczenie wobec stosunkowo dużych wymagań w zakresie doboru warunków naświetlania przy dziennej fotografii stroboskopowej.

#### LITERATURA

1. Barnes R. M.: Motion and Time Study. New York 1959.
2. Bojarski A.: Matematyka dla ekonomistów. Warszawa 1965.
3. Grant E. L.: Statistical Quality Control. New York 1952.
4. Wałczyk J., Zalewski P.: Technika wykonywania zdjęć stroboskopowych do badań powtarzalnego ruchu roboczego na maszynach rolniczych. Roczn. Nauk rol. 1974, t. 71-C-1 (w druku).
5. Zalewski P.: Metody ergonomicznej oceny maszyn rolniczych obsługiwanych ruchem powtarzalnym. Roczn. Nauk rol. 1974, t. 152-D (w druku).

*Ю. Вальчик, П. Залевски*

#### ПРИМЕНЕНИЕ КИНОФИЛЬМА И ФОТОСНИМКОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОВТОРЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

##### Резюме

На основе личных опытов оговорено технику съёмки на киноплёнку времени рабочего движения. Учтено также метод маркировки кинокамеры и ведение учёта количества повторений измерения. Из фотографических методов описано циклографический метод а также применение стробоскопных снимков.

*J. Walczyk, P. Zalewski*

CINEMATOGRAPHIC AND PHOTOGRAPHIC METHODS  
IN THE ERGONOMIC STUDY OF SOME AGRICULTURAL MACHINES

S u m m a r y

The description of film and photographic methods is based on the authors' own experiments. The application of the film camera is covered including such aspects of the study as the calibration of the camera and the calculation of the number of replications. Of the photographic methods, the cyclography and stroboscopic photography are considered.