

BADANIA PRZENOŚNIKÓW ZIARNA KOMBAJNÓW ZBOŻOWYCH  
PRZY ZASTOSOWANIU KAMERY DO SZYBKICH ZDJĘĆ

Jan Gieroba, Kazimierz Dreszer, Jan Zętar

Instytut Mechanizacji Rolnictwa Akademii Rolniczej w Lublinie

WPROWADZENIE

Do analizy zjawisk towarzyszących pracy maszyn i urządzeń rolniczych używa się stosunkowo skomplikowanej aparatury pomiarowo-rejestrującej. Jedną ze współczesnych metod i technik badawczych, dających niespotykane dotąd możliwości rejestracji i analizy zachodzących zjawisk, jest utrwalenie przebiegu procesu przy wykorzystaniu kamery do szybkich zdjęć, a następnie odtworzenie go za pomocą specjalnego projektora-analizatora. Badania maszyn i urządzeń rolniczych, w których posługiwano się omawianym sprzętem, należą do nielicznych ze względu na stosunkowo nową dziedzinę badań, jaką jest technika szybkich zdjęć, kosztowną aparaturą, oraz konieczność dostosowania obiektu badań do współpracy z wymienioną kamerą. Najważniejszymi zaletami, jakie wynikają z przedstawionej metody, jest możliwość rejestracji zjawisk z częstotliwością do ułamka sekundy oraz odtwarzanie i analiza ich z dowolnie obranym opóźnieniem ekspozycji lub zatrzymanie obrazu na wybranym kadrze. Badania z wykorzystaniem kamer szybkich zdjęć prowadzili Arnold [1, 2], Schulze [4], Siwiło [5, 6], Woźniak [7] i inni badacze [3]. Autorzy ci w większości przypadków zajmowali się zjawiskami zachodzącymi w zespołach omłotowych.

Zagadnieniem przemieszczania ziarna i materiałów sypkich w przenośnikach śrubowych i zabierakowych zajmowało się wielu autorów, przedstawiając różne modele geometryczne i różny przebieg pracy elementów roboczych tych przenośników. Dokładniejsza i szer-

sza analiza pracy elementów tych przenośników jest możliwa dzięki zastosowaniu kamery szybkich zdjęć. Zastosowanie jej umożliwia przedstawienie rzeczywistego charakteru pracy przenośników. Do badań wykorzystano przenośnik śrubowy i zabierakowy, które są stosowane w kombajnach zbożowych BIZON Z060 i Z056 do przemieszczania ziarna.

### CEL BADAŃ

Szersza analiza ruchu ziarna w przenośniku śrubowym i zabierakowym jest możliwa dzięki zastosowaniu techniki szybkich zdjęć. Technika ta pozwala na pełne odtworzenie procesu przemieszczania masy i gruntowną analizę zachodzących zjawisk.

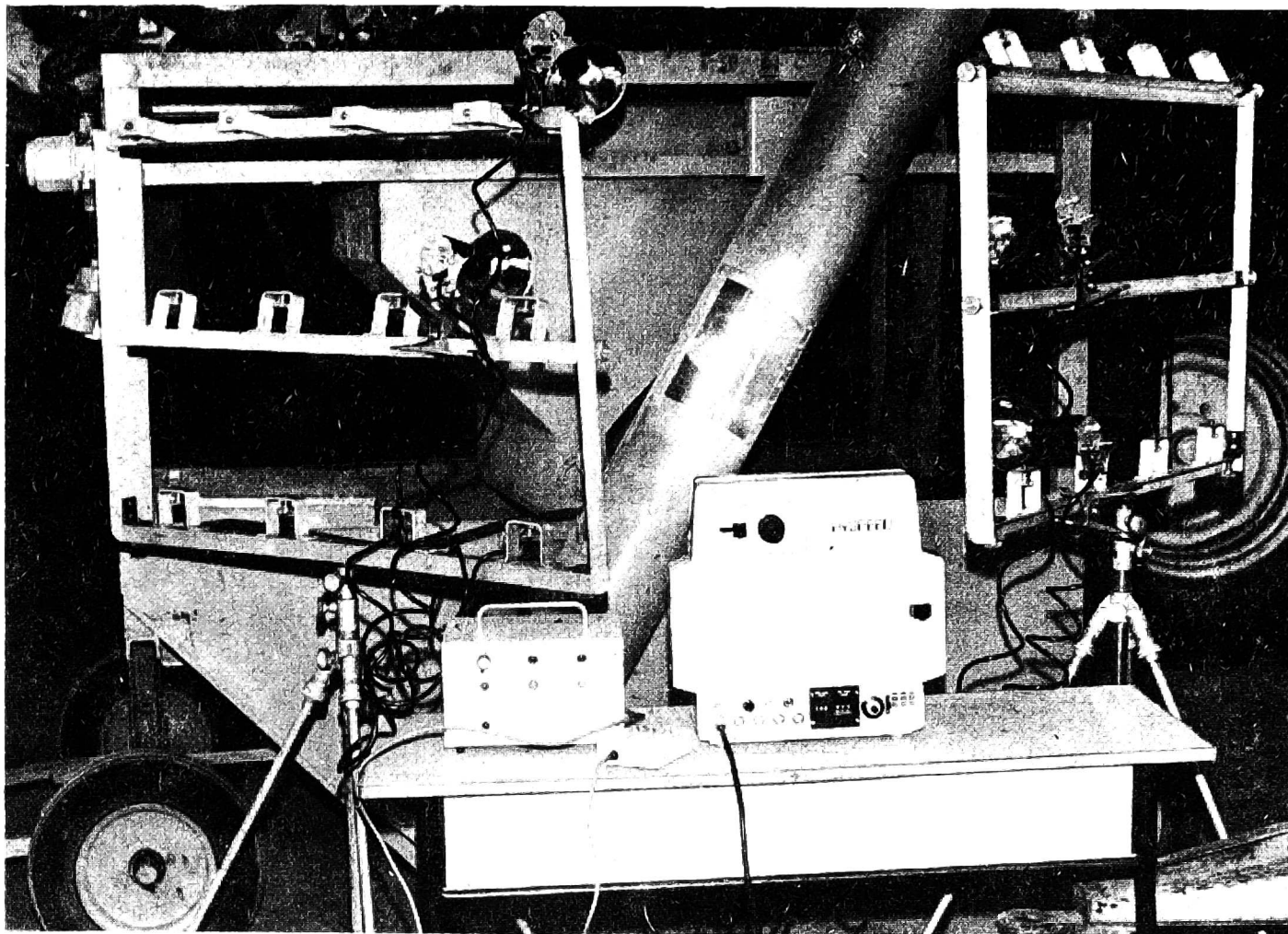
Podstawowym celem badań było:

- określenie rzeczywistego charakteru ruchu masy w przenośniku śrubowym i zabierakowym, pracujących pod określonym kątem,
- określenie głównych przyczyn powstawania uszkodzeń przemieszczanego ziarna,
- ocena możliwości określenia stopnia napełnienia przenośnika  $\varphi$  w czasie pracy.

### APARATURA REJESTRUJĄCO-FILMOWA I WARUNKI BADAŃ

Zachodzące zjawiska filmowano kamerą do szybkich zdjęć firmy John Hadland typu Hyspeed produkcji angielskiej, o możliwości wykonywania 6500 klatek na sekundę. Stosowano taśmę filmową czarno-białą o szerokości 16 mm ORWO NP 7 i czułości 27 DIN. Analizy filmu dokonano za pomocą analizatora-projektora „Specto Motion Analysis Projektor MK III” produkcji angielskiej.

W celu realizacji filmu w badanych przenośnikach wykonano specjalne, przeszklone szkłem organicznym wzierniki (rys.1) umożliwiające filmowanie procesu przemieszczania. W przenośniku śrubowym wysokość wziernika wynosiła 1,5 skoku zwoju śrubowego  $\approx 0,30$  m na  $1/3$  obwodu obudowy przenośnika. W przenośniku zabierakowym wziernik obejmował całą wysokość i szerokość kanału roboczego na  $1,5$  długości skoku zabieraków  $\approx 0,25$  m. W czasie rejestracji procesu do doświetlania filmowego obiektu użyto żarówek typu Halogen o łącznej mocy 4000 W. Filmowanie zachodzących zja-



Rys. 1. Ogólny widok stanowiska badawczego z aparaturą i osprzętem filmującym

Fot. Jan Zętar

wisk w pracujących przenośnikach kamerą Hyspeed odbywało się w odległości około 1 m, co gwarantowało wystarczająco dobrą ostrość obrazu przy jednoczesnym całkowitym ujęciu w kadrze całego obszaru wziernika. W obu przenośnikach do filmowania zachodzących zjawisk w czasie przemieszczania użyto ziarna kukurydzy, stosując przy tym dwie prędkości elementów roboczych. W przenośniku śrubowym prędkość zwoju śrubowego wynosiła  $8,16$  i  $9,66 \text{ s}^{-1}$ , natomiast w przenośniku zabierakowym prędkość zabieraków wynosiła  $2,25$  i  $3,00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### METODYKA FILMOWANIA I ANALIZA ZDJĘĆ

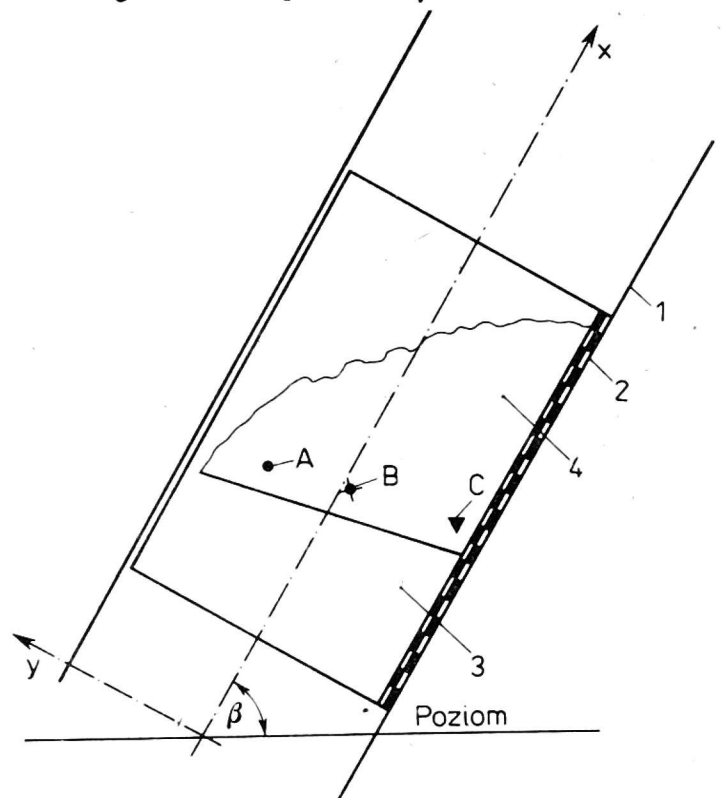
Metodykę badań opracowano pod kątem możliwości wykonania i realizowania założonego programu. W tym celu odpowiednio przygotowano obiekty badań (przenośnik śrubowy i zabierakowy). Na obrzeżach opisanych wzierników przytwierdzono taśmę kontrolną. Taśma z naniesioną kratką o wymiarach  $0,01 \text{ m}$  służyła do jednoznacznego określenia

położenia i prędkości analizowanych elementów masy ziarna. Filmowanie procesu przemieszczania dokonywano z 42-krotnym przyspieszeniem ekspozycji w stosunku do odtwarzanego, co odpowiadało 1000 klatkom na sekundę. Do analizy użyto ziarna kukurydzy cechującego się wyraźnym konturem, co zapewniało dobrą widoczność.

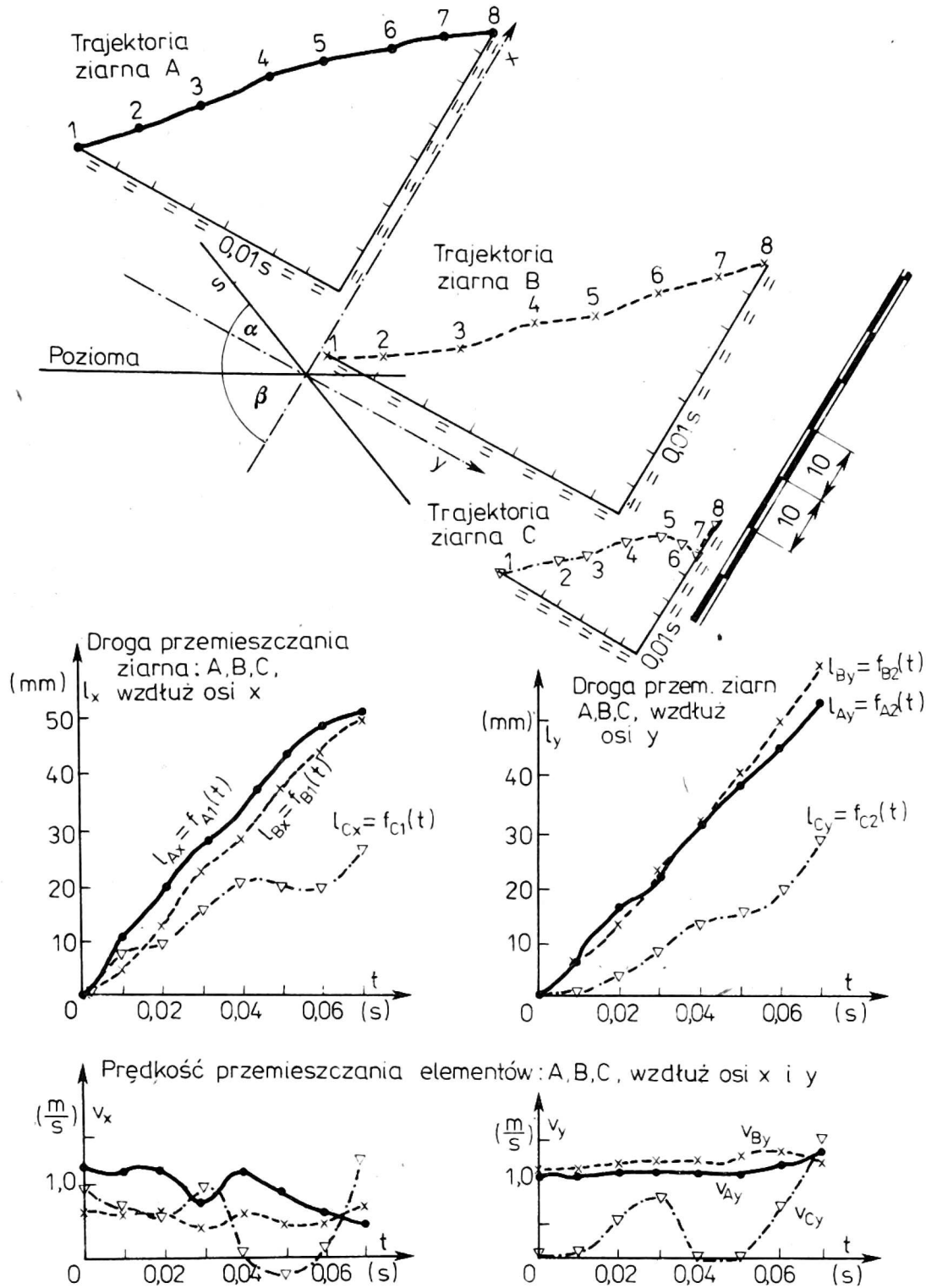
W celu określenia rodzaju ruchu ziarna w czasie przemieszczania obserwowano trzy elementy (ziarna) położone w różnych strefach strugi: górnej - zewnętrznej, oznaczonej literą A, środkowej - wewnętrznej, oznaczonej literą B i dolnej, położonej najbliżej elementów roboczych i osłony, oznaczonej literą C (rys. 2).

Proces przemieszczania filmowano przez 10 s po uzyskaniu przez przenośnik maksymalnej przepustowości na danej prędkości. W ten sposób otrzymano cztery filmy, charakteryzujące pracę omawianych przenośników (śrubowego i zbierakowego) przy dwu różnych prędkościach.

Filmy w całości poddano analizie na projektorze-analizatorze, a do sporządzenia wykresów charakteryzujących trajektorie i prędkości elementów masy w poszczególnych strefach ABC wybrano po jednym odcinku odpowiadającym projekcji 0,10-0,15 sekundy, co zapowiadało długości filmu 100 do 150 klatek. Na podstawie wybranych kadrów filmu sporządzono wykresy przedstawiające trajektorie elementów masy ABC w układzie  $x, y$  (rys. 3-6). Do analizy współrzędnych wybranych elementów masy A, B, C przyjęto jednakowe odstępy równe 0,01 s, odpowiadające projekcji filmu co 10 klatka. W celu umożliwienia analizy sporządzono zależności określające przemieszczanie poszczególnych elementów masy wzdłuż osi  $x$  i  $y$ , w zależ-



Rys. 2. Schemat wycinka wziernika i położenia wyjściowego analizowanych elementów: 1 - obudowa przenośnika, 2 - kratka kontrolna, 3 - wziernik, 4 - masa przemieszczana, A, B, C - obserwowane elementy masy



Rys. 3. Charakterystyka ruchu elementów masy A, B, C w przenośniku śrubowym przy prędkości obrotowej zwoju śrubowego  $n = 8,16 \text{ s}^{-1}$

ności od elementarnego czasu ekspozycji -  $t = 0,01 \text{ s}$ , otrzymując w ten sposób wykresy funkcji  $l_x = f(t)$  i  $l_y = f(t)$ , (rys. 3-6), gdzie  $l_x$  i  $l_y$  oznaczają drogi przemieszczania wzdłuż osi x lub y,  $t$  - czas trwania przemieszczania. Dalszą analizę funkcji  $l_x = f(t)$  i  $l_y = f(t)$  przeprowadzono metodą różniczkowania graficznego, ot-

trzymując konstrukcję wykresu pochodnych  $l'_x = f'(t)$  i  $l'_y = f'(t)$  odpowiadających prędkości elementów A, B, C w danym przedziale czasowym wzdłuż osi x i y.

### ANALIZA FILMU DOTYCZĄCEGO PROCESU PRZEMIESZCZANIA PRZENOŚNIKAMI ŚRUBOWYMI I ZABIERAKOWYMI

Charakterystykę zjawisk zachodzących w czasie przemieszczania przenośnikiem śrubowym przy prędkości obrotowej  $8,16$  i  $9,66 \text{ s}^{-1}$  przedstawiono na rysunku 3 i 4. Odpowiadającą charakterystykę ruchu ziarna w przenośniku zabierakowym przedstawiono na rysunku 5 i 6, przy dwu skrajnych prędkościach liniowych zabieraków.

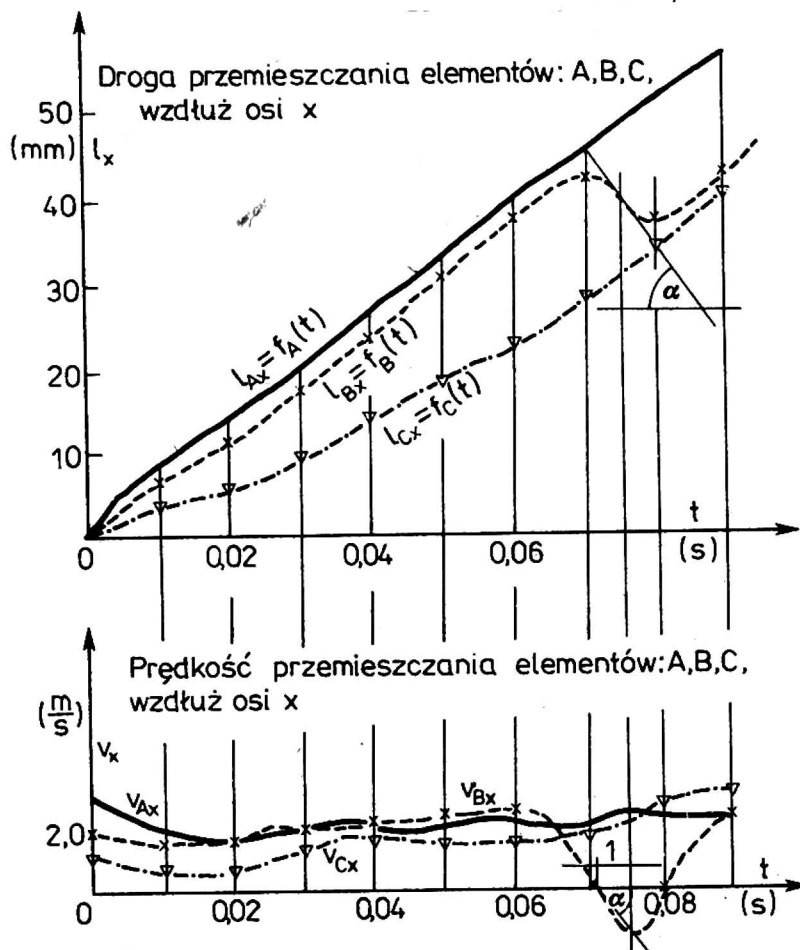
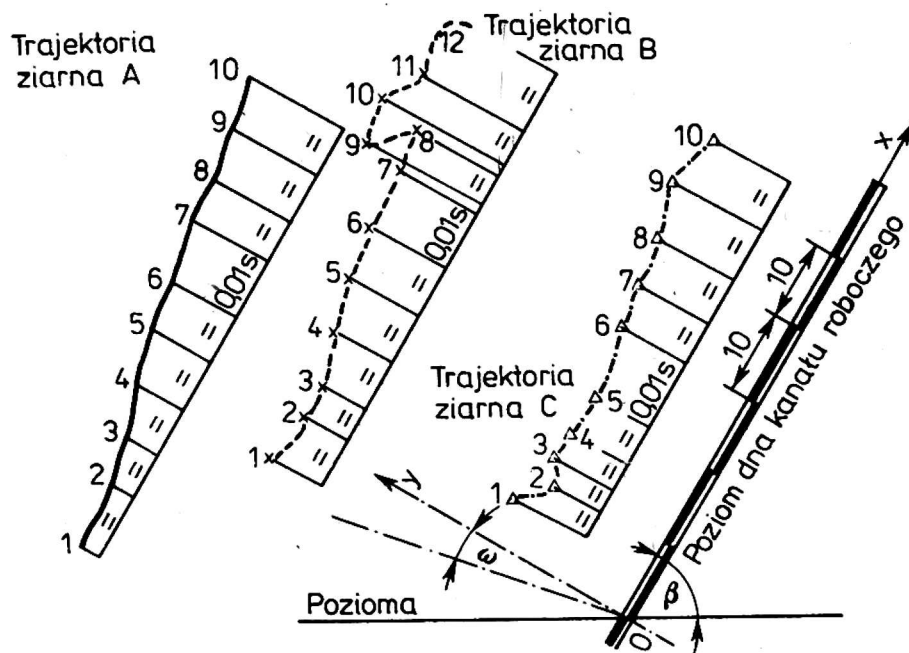
Proces przemieszczania ziarna można podzielić na trzy główne fazy:

- fazę początkową, gdy przenośnik nie osiągnął nominalnego wypełnienia w danych warunkach;
- fazę właściwego przemieszczania, gdy przenośnik pracuje przy nominalnych wypełnieniach przestrzeni roboczej, możliwych do osiągnięcia w danych warunkach eksploatacyjnych;
- fazę końcową, gdy proces przemieszczania zanika, a wypełnienie przenośnika zmierza do 0.

Przedmiotem analizy filmowej było przemieszczanie ziarna kukurydzy przy nominalnym wypełnieniu przestrzeni roboczej przenośników w określonych kierunkach.

Obserwując ruch masy ziarna w przenośniku śrubowym z normalną ekspozycją filmu (24 klatki na sekundę) odnosi się wrażenie, że przemieszczana masa wykonuje równomierny ruch po linii śrubowej. Jak wykazała analiza wycinków filmu (rys. 3 i 4), prędkość obserwowanych elementów wzdłuż osi x i y uzależniona była od prędkości obrotowej zwoju śrubowego i posiadała różne chwilowe wartości. Porównując składowe prędkości obserwowanych elementów masy A, B, C przy obrotach  $8,16^{-1}$  i  $9,66 \text{ s}^{-1}$  różnice w średnich wartościach składowych  $v_x$  i  $v_y$  były niewielkie co do wartości bezwzględnej (rys. 3). Przy prędkości obrotowej zwoju śrubowego  $n = 9,66 \text{ s}^{-1}$  bezwzględna wartość prędkości osiowej  $v_x$  jest nieproporcjonalnie większa w stosunku do składowej  $v_y$ . Wynika więc wniosek, że przemieszczana masa ziarnista przy prędkości obrotowej zwoju śrubowego  $n = 8,16 \text{ s}^{-1}$  odbywała ruch po linii śrubowej ze znacznie

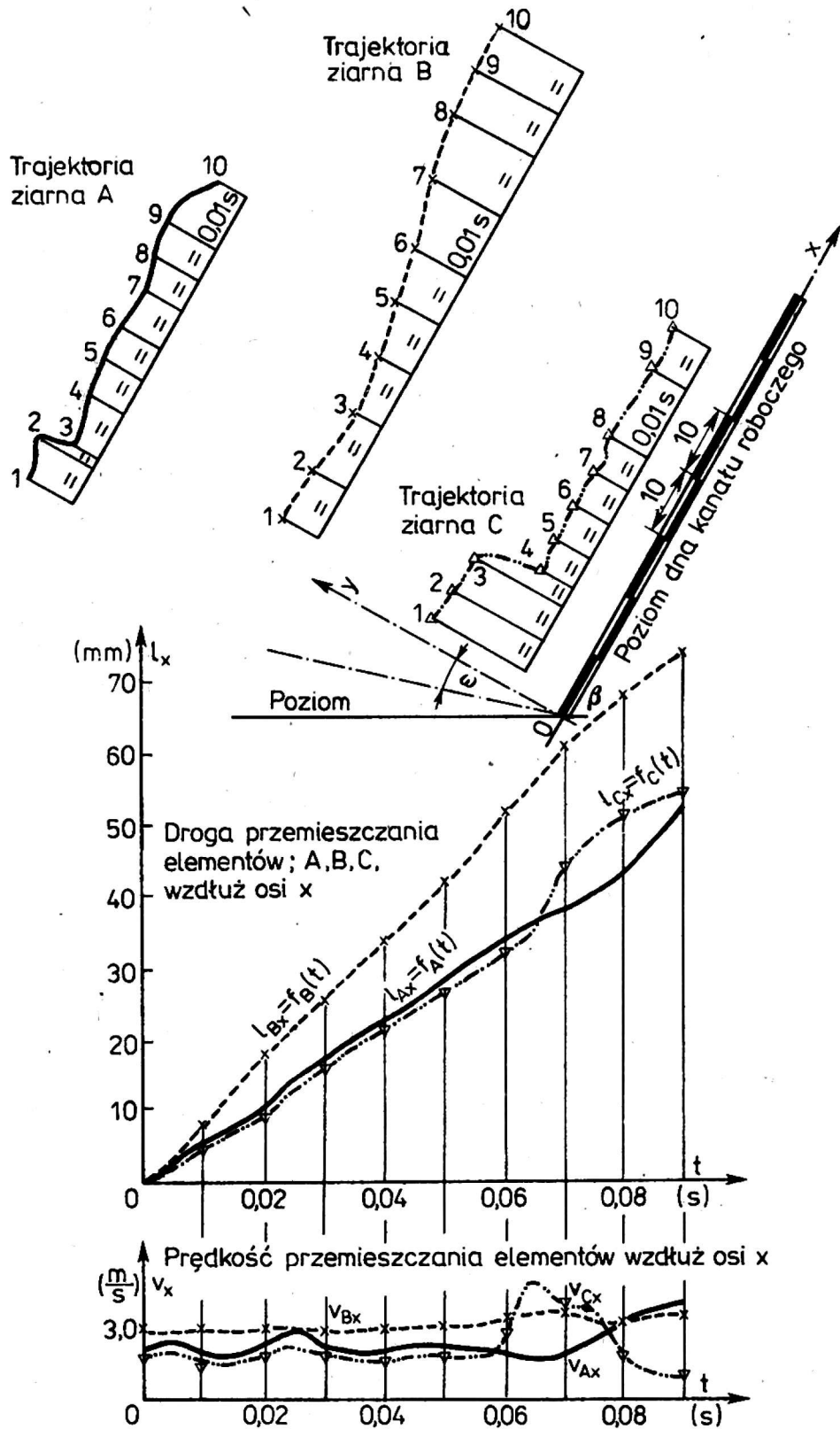




Rys. 5. Charakterystyka ruchu elementów masy A, B, C w przenośniku zabierakowym przy prędkości zabieraka  $v = 2,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

wanych elementów masy (A, B, C). Fakty te świadczą, że przemieszczanie masy odbywa się ze znacznym poślizgiem, co ujemnie odbija się na wydajności przenośnika. Film dostarczył interesującego materiału odnośnie do genezy powstawania uszkodzeń. Mechanizm po-





Rys. 6. Charakterystyka ruchu elementów masy A,B,C w przenośniku zabierakowym przy prędkości zabieraka  $v = 3,00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

wstawiania uszkodzeń w procesie przemieszczania przenośnikiem śrubowym przedstawia trajektoria ziarna C (rys. 3).

W wyniku znacznie mniejszej prędkości przemieszczania ziarna C w porównaniu z teoretyczną prędkością posłową ( $v_x$ ) i obwodową ( $v_y$ ) zwoju śrubowego spowodowało, że obserwowane ziarno C znalazło

się między krawędzią zwoju śrubowego a obudową przenośnika punktu 4,5,6,7 trajektorii ziarna C. Napór masy ziarnistej oraz sił składowych działających na obserwowany element spowodował, że ziarno C zostało wciśnięte pomiędzy wspomniane elementy. W wyniku ruchu zwoju śrubowego następowało zakleszczanie i wzrost naprężeń zewnętrznych i wewnętrznych ziarna C do stanu, w którym następowało jego mechaniczne uszkodzenie, punkt 6. Zjawisku temu towarzyszyło zwiększenie prędkości obwodowej ( $v_o = v_y$ ) oraz odprysnięcie części ziarna C w kierunku przeciwnym do kierunku ruchu masy. Część masy, która w wyniku przesypania się poprzez oś zwoju śrubowego wydostała się ze strefy bezpośredniego oddziaływania elementu roboczego (zwoju śrubowego) jak i ziarna znajdującego się na tym zwoju, przemieszczała się wzdłuż osi x ruchem opóźnionym - typowym dla ruchu w polu grawitacyjnym do momentu aż kolejna partia ziarna porwie i nada odpowiednio większą prędkość równą prędkości masy. Te partie ziarna, na które nie oddziałują wymienione siły, stwarzają pozorny ruch opadający.

Charakter ruchu przemieszczonej masy ziarna przy prędkości obrotowej zwoju śrubowego  $n = 9,66 \text{ s}^{-1}$  ma zbliżony charakter do ruchu, jaki odbywa się przy prędkości obrotowej  $n = 8,16 \text{ s}^{-1}$ . Zaobserwowano jedynie, że przy prędkościach obrotowych  $n = 9,66 \text{ s}^{-1}$  prędkości obwodowe ( $v_o = v_y$ ) obserwowanych obiektów były znacznie niższe niż przy prędkościach obrotowej  $n = 8,16 \text{ s}^{-1}$  (rys. 3, 4). Zjawisko to można wytłumaczyć bezwładnością masy ziarna oraz układem sił tarcia kinetycznego, działających na obserwowane elementy masy.

W konkluzji analizy filmu, dotyczącego przemieszczania ziarna kukurydzy przenośnikiem śrubowym, należy zwrócić szczególną uwagę na następujące fakty.

W czasie badań stwierdzono, że składowe prędkości ( $v_x, v_y$ ) wybranych elementów masy A, B, C w obu prędkościach zwoju śrubowego są znacznie mniejsze od teoretycznie określonych. Ruch tych elementów odbywa się ze zmiennymi prędkościami po dowolnych trajektoriach trudnych do opisanego metodami analitycznymi.

Biorąc pod uwagę fakt, że poszczególne ziarna posiadają niewielką masę jednostkową oraz to, że przyspieszenia, jakich dostają w czasie zmian prędkości, są niewielkie, a więc i za małą energię kinetyczną, by spowodować uszkodzenie okrywy owocowo-nasiennej. Wynika więc wniosek, że podstawową przyczyną mechanicznych

uszkodzeń ziarna są wszelkiego rodzaju zakleszczenia ziarna między elementami roboczymi przenośników.

Innym faktem godnym podkreślenia, wynikającym z zastosowania kamery szybkich zdjęć, jest to, że w przypadku pracy przenośnika śrubowego pod znacznym nachyleniem przedstawione modele geometryczne rozkładu ziarna na zwoju śrubowym nie odpowiadają rzeczywistości.

W przenośniku zabierakowym kombajnu Z056 obserwowano ruch masy przy prędkościach liniowych zabieraków wynoszących 2,25 i 3,00 m  $\cdot$  s<sup>-1</sup>. Ponieważ trajektorie wybranych elementów masy A, B, C (rys. 5 i 6) wykonywały w zasadzie ruch poosiowy wzdłuż osi x, przy minimalnych przemieszczeniach poprzecznych (wzdłuż osi y), analizę zmian przemieszczania dokonano jedynie wzdłuż współrzędnej x (rys. 5, 6). Analiza ruchu wybranych elementów masy A, B, C pozwala na stwierdzenie, że przemieszczają się one po dowolnych trajektoriach nie wykazując podobieństwa ani regularności, przy czym prędkości obserwowanych elementów masy (ziarn) są tym większe im większa jest prędkość zabieraków.

Mechanizm powstawania mechanicznych uszkodzeń ziarna jest identyczny jak w przypadku przemieszczania przenośnikiem śrubowym. Uszkodzenie ziarna powstaje w wyniku zakleszczenia się ziarna pomiędzy krawędzią zabieraka a ścianą obudowy przenośnika. Przykład procesu niszczenia ziarna obrazuje trajektoria ziarna B pomiędzy punktami 7-10 (rys. 5).

W punkcie obserwacyjnym 8 (rys. 5) trajektorii B nastąpiło pęknięcie ziarna. Uszkodzone ziarno odprysnęło w przeciwnym kierunku do ruchu masy i zabieraków. Oczywiście nie wszystkie ziarna, które dostaną się pomiędzy zabierak a obudowę są uszkodzone. Przemieszczają się one znacznie wolniej do momentu aż kolejna partia lub zabierak nada im dodatkową energię, w wyniku której zaczną się szybciej przemieszczać.

#### WNIOSKI

Przeprowadzone badania kamerą szybkich zdjęć nad procesem przemieszczania przenośnikami mechanicznymi (ciągnowymi i bezciągnowymi) pozwalają na sformułowanie następujących ogólnych wniosków.

1. Wykorzystanie techniki szybkich zdjęć do badań przenośników mechanicznych daje większe niż dotąd możliwości analizy procesu przemieszczania. Umożliwia ona bowiem opisywanie rzeczywistego ruchu masy i jego analizę (drogą, prędkość, przyspieszenia) oraz zjawisk towarzyszących temu przemieszczaniu, jak procesy uszkodzeń, zapchań itp. Innym istotnym aspektem pracy jest strona metodyczna, wskazano tu bowiem na metodę rejestracji i analizy filmu oraz możliwości, jakie daje technika szybkich zdjęć.

2. Przeprowadzone badania wykazały, że średnie prędkości obserwowanych ziarn były znacznie mniejsze niż wynikało to z teoretycznych obliczeń dla obu typów przenośników. Świadczy to, że przemieszczanie masy ziarnistej przenośnikami ustawionymi pod znacznym kątem odbywa się z dużym poślizgiem. Poślizg zwiększa energochłonność procesu przemieszczania, powodując większe uszkodzenia ziarn oraz zmniejsza współczynnik napełniania przenośnika -  $\varphi$ .

3. Niewielka masa jednostkowa ziarna oraz kilkakrotnie mniejsze od krytycznej prędkości chwilowe, nie stwarzają podstaw do stwierdzenia, że przyczyną uszkodzeń ziarna jest ich energia kinetyczna.

4. Przeprowadzone obserwacje przy zastosowaniu techniki szybkich zdjęć sugerują, że główną przyczyną uszkodzeń przemieszczania masy ziarnistej są zgniecenia poszczególnych ziarn pomiędzy elementami konstrukcyjnymi przenośników.

5. Mając na uwadze możliwość techniki szybkich zdjęć, w okresie gdy kombajn zbożowy adaptowany jest do zbioru coraz to liczniejszej grupy roślin, celowe byłoby przeprowadzenie szerszych badań nad procesem przemieszczania różnych nasion o znacznej wilgotności. Dałoby to cenny materiał do analizy zmierzającej do poprawienia pracy układu przemieszczania.

#### LITERATURA

1. Arnold R. E.: Combine threshing efficiency. Farm. Mechaniz. 1964, nr 181, 25-26 i 29-31.
2. Arnold R. E.: Die Bedeutung einiger Einflussgrößen auf die Arbeit der Schlagleistentrommel. Grundlagen der Landtechnik 1964, nr 21, 22-28.
3. Frenzel D.: Der Einfluss der Korbknstruktion auf die Kornabscheidung in Dreschkorb. Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt-Universität zu Berlin Math.-Nat RXVII, 1968, z. 2, 319-327.

4. Schulze K. H.: Kinematografische Untersuchung des Dreschvorganges in einer Schlagleistentrommel. Grundlagen der Landtechnik, nr 7, 1956, 113-120.
5. Siwiżo R.: Technika zbioru i konserwacji kukurydzy na ziarno. Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem prof. J. Orzechowskiego. Maszynopis, Lublin 1975.
6. Siwiżo R., Zętar J.: Zastosowanie kamery filmowej Hyspeed i projektora-analizatora Specto MK-III w badaniach maszyn rolniczych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 237, 1981, 85-98.
7. Woźniak W. W.: Zastosowanie zdjęć szybkich w badaniach zespołów maszyn rolniczych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1973, z. 148, 65-72.

Ян Героба, Казимех Дренер, Ян Зęтар

**ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСПОРТЕРОВ ЗЕРНА В ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНАХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КИНОКАМЕРЫ ДЛЯ БЫСТРЫХ СЪЕМОК**

**Р е з ю м е**

В статье рассматривается метод и возможности техники быстрых съёмок в исследованиях процесса перемещения зерна с помощью инековых и мотовильных транспортеров. Обсуждаются собственные исследования авторов касающиеся процесса перемещения указанными транспортерами, с учетом подробной методики и условий реализации фильма, а также его анализа. Проводится графический анализ выбранных отрезков фильма иллюстрирующих траектории и скорости передвижения наблюдаемых элементов массы зерна. В заключении формулируются общие выводы.

Jan Gieroba, Kazimierz Dreszer, Jan Zętar

**INVESTIGATIONS OF GRAIN CONVEYORS OF THE GRAIN COMBINE HARVESTERS  
AT APPLICATION OF THE FILM CAMERA FOR RAPID SHOTS**

**S u m m a r y**

The method and possibilities of the technique of rapid shots in investigations of the process of carrying grain by screw and reel conveyors are presented in the paper. The author's own investigations concerning the grain carrying process by the above conveyors, including a detailed methodics and realization conditions

of the film and its analysis, are described. The graphical analysis of chosen film sectors concerning the trajectory and speed of the observed grain mass elements is given. Eventually general conclusions have been drawn.