

Wpłynęło 24.08.2012 r.
Zrecenzowano 22.10.2012 r.
Zaakceptowano 18.12.2012 r.

A – koncepcja
B – zestawienie danych
C – analizy statystyczne
D – interpretacja wyników
E – przygotowanie maszynopisu
F – przegląd literatury

Metoda badania w trójwymiarze trajektorii cząstek gleby w procesie powierzchniowej uprawy

Robert ŁUKAWSKI^{ABDEF}

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kludzienku

Streszczenie

W pracy przedstawiono nową metodę badawczą pracy narzędzi talerzowych na głębokościach zbliżonych do głębokości siewu. Znane metody badawcze z zakresu uprawy gleby nie umożliwiają precyzyjnego wyznaczenia torów cząstek gleby w przekroju odkładanej skiby ani toru masy gleby zalegającej na powierzchni. Dlatego opracowano nową metodę identyfikacji torów cząstek gleby odkrawanej narzędziem talerzowym w zależności od kształtu i kąta ustawienia talerza oraz prędkości postępowej. Ta metoda polega na rejestracji i analizie współrzędnych pojedynczych cząstek gleby odkrawanych talerzami w warunkach rzeczywistych. W metodzie zastosowano cyfrową technikę zapisu wizyjnego 3D oraz aplikację umożliwiającą digitalizację obiektów przestrzennych. Do rejestracji obrazu zastosowano zestaw dwóch kamer do zdjęć szybkich oraz specjalnie zaprojektowany komputer. Rozwiązano problem pomiaru rzeczywistej pozycji punktów na płaszczyźnie pomiarowej w widoku z nieprostokątnego ustawienia osi kamer. W tym celu opracowano aplikację kompatybilną z programem, rejestrującą szybkie sekwencje obrazowe jednocześnie z obu kamer. Tak uzyskano metodę pomiarową umożliwiającą zapis i analizę trójwymiarową szybkozmiennych obiektów. Metoda zapewnia rejestrację obrazów z płynną regulacją prędkości do 200 kadrów na sekundę. Wyniki pomiarów otrzymane na kanale glebowym i w warunkach polowych świadczą, że opracowana metoda jest przydatna w precyzyjnym badaniu zależności wpływających na stopień intensyfikacji mieszania gleby w celu uzyskania równomiernego rozmieszczenia ścierniska i resztek słomiastych lub nawozów mineralnych.

Słowa kluczowe: kamera do zdjęć szybkich, kanał glebowy, przemieszczanie cząstek gleby, stanowisko badawcze



Wstęp

W procesie powierzchniowej, mulczącej uprawie gleby, wykorzystywane są narzędzia o różnej konstrukcji, m.in. brony talerzowe. W uprawie zachowawczej, w której – eliminując orkę – pozostawia się znaczne ilości resztek roślinnych na powierzchni gleby, brony talerzowe umożliwiają płytkie podcięcie i spulchnienie gleby. Ogranicza to intensywność mechanicznego oddziaływania na aktywność biologiczną gleby i roślin. Brony talerzowe umożliwiają także równomierną i płytką uprawę wraz z mulczowaniem, sprzyjającą szybkim wschodom chwastów oraz nasion osypanych podczas zbioru. W efekcie chroni się glebę przed degradacją, zachowując jej produktywność.

Cel pracy

Postęp w konstrukcji bron talerzowych wymaga poszerzenia wiedzy o wpływie bardzo zróżnicowanych czynników na jakość mieszania resztek organicznych z glebą. Tymi czynnikami są przede wszystkim – głębokość uprawy gleby; kształt i prędkość robocza narzędzi; gatunek, wilgotność, długość i masa resztek roślinnych oraz warunki glebowo-wilgotnościowe [PTASZYŃSKI 2008].

Na rynku maszyn rolniczych występuje wiele rodzajów konstrukcji bron talerzowych. Są ich dwie podstawowe wersje: klasyczna i kompaktowa. Brony mogą pracować w szerokim zakresie regulacji kąta natarcia i kąta pochylenia krawędzi talerzy. Talerze mogą mieć różnorodny kształt i średnicę.

Dlatego podjęto próbę poszerzenia wiedzy o wpływie wszystkich wymienionych czynników na jakość mieszania resztek organicznych z glebą przez bronę.

Celem badań prezentowanych w niniejszym artykule było opracowanie metody identyfikacji efektu mieszania w procesie zachowawczej uprawy gleby z wykorzystaniem dynamicznej analizy obrazu stereoskopowego z dwóch kamer do zdjęć szybkich.

Wybór metody identyfikacji efektu mieszania gleby

Zastosowanie różnych technik filmowych w inżynierii rolniczej można w skrócie przedstawić, stosując podział na pięć grup [ŁUKAWSKI, GOLKA 2011]:

- 1) zastosowanie standardowej kamery do rejestracji i monitorowania badań lub prezentacji wyników;
- 2) zastosowanie standardowej kamery lub cyfrowego aparatu fotograficznego do analizy pojedynczych klatek obrazowych;
- 3) zastosowanie kamery termowizyjnej;
- 4) zastosowanie kamery do zdjęć szybkich;
- 5) zastosowanie technik digitalizacji obiektów przestrzennych.

Poszukując metody poprawy jakości pracy narzędzi talerzowych na głębokościach zbliżonych do głębokości siewu, należało spróbować opracować nowe

techniki badawcze. Znane metody nie umożliwiają precyzyjnego wyznaczenia torów cząstek gleby w przekroju odkładanej skiby ani toru masy zalegającej na powierzchni. Brakuje opracowań dotyczących pracy talerzy z nieciąglym obrzeżem. Dlatego, aby poznać te zagadnienia, poszukiwano nowej, skutecznej metody rejestracji współrzędnych cząstek gleby odkrawanych eksperymentalnymi talerzami w warunkach rzeczywistych. Potrzebna była technika cyfrowego zapisu obrazu umożliwiająca jednoczesny pomiar odległości we wszystkich osiach układu przestrzennego, czyli metoda z grupy 5. – digitalizacja obiektów przestrzennych.

Metody digitalizacji obiektów przestrzennych można podzielić na dwie grupy – stykowe i bezstykowe [FRĄCZEK 2003]. Metody stykowe – to takie, w których rejestrowane są współrzędne czujnika stykającego się z badaną powierzchnią. Stosowane są zazwyczaj do obiektów o dużych wymiarach. Metody bezstykowe dzielą się na:

- skanowania przestrzennego – gdy urządzenie wykorzystujące wiązkę lasera skanuje całą powierzchnię obiektu obracającego się na specjalnym stole;
- fotogrametryczne – gdy cyfrowe odtwarzanie powierzchni obiektu jest możliwe dzięki zdjęciom wykonanym w określonych jego położeniach.

Z dostępnych źródeł wynika, że pomiary wielkości i kształtów w technice trójwymiarowej w inżynierii rolniczej rzadko są wykonywane. Z uwagi na pracochłonność tej techniki stosuje się jedynie metodę skanowania trójwymiarowego, ograniczoną do badań laboratoryjnych. Przykładem wykorzystywania takiego skanera jest automatyczna analiza wielkości i kształtu ziaren osadów gleby w trójwymiarze z zastosowaniem analizatorów optyczno-elektronicznych [KAMIŃSKI i in. 2008]. Inne przykłady zastosowania różnych technik filmowych do digitalizacji obiektów przestrzennych:

- zastosowanie grafiki komputerowej trójwymiarowej w rekonstrukcji obrazu nasion [FRĄCZEK, WRÓBEL 2009];
- zastosowanie metod wideokomputerowych do uzyskania trójwymiarowego odwzorowania powierzchni kontaktu opony z podłożem odkształcalnym w warunkach laboratoryjnych [KORMANEK, WALCZYK 2005];
- badanie filmowe bryły glebowej odkształcanej przez wąskie narzędzie uprawowe [PIOTROWSKA 2003];
- wykorzystanie elementów analizy obrazu w modelowaniu kształtu nasion [FRĄCZEK 2003];
- bezstykowa metoda pomiarów obiektów przestrzennych za pomocą fotografii cyfrowej i obróbki komputerowej [MISZCZAK, KUCZEWSKI 2001].

Przeprowadzony przegląd technik filmowych możliwych do wykorzystania w identyfikacji efektu mieszania gleby w procesie powierzchniowej uprawy dał wynik negatywny. W związku z tym, że nie znaleziono odpowiedniej metody badawczej, opracowano własne, nowe rozwiązanie.

Opis przyjętej koncepcji

Przyjęto, że aby osiągnąć założony cel, należy użyć zapisu z dwóch kamer pracujących w cyfrowym zestawie do zdjęć szybkich testowanym w kanale glebowym (fot. 1) [ŁUKAWSKI, GOLKA 2011]. Oś optyczna jednej kamery jest możliwie bliska prostopadłej do kierunku ruchu narzędzia, a oś optyczna drugiej kamery jest w pozycji zbliżonej do równoległej. Nie jest to trójwymiarowa rejestracja obrazu, ale w podany sposób uzyskano oryginalny, stereoskopowy układ pomiarowy. Dane telemetryczne płynące z równoczesnej analizy obrazu obu kamer umożliwiły skuteczne przeprowadzenie pomiarów.

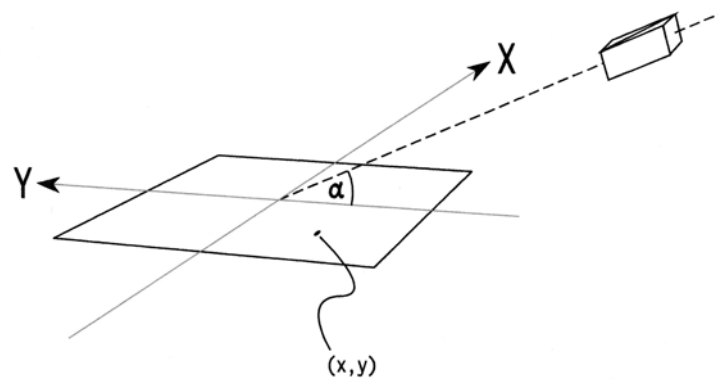


Źródło: R. Łukawski. Source: R. Łukawski.

Fot. 1. Stawisko badawcze na kanale glebowym MOK-ITP w Kłodzianku
Photo 1. Test stand on the soil bin at Kłodzianko (MOK-ITP)

Problem, jak mierzyć pozycję rzeczywistą punktów na płaszczyźnie obrazowej w widoku z nieprostokątnego ustawienia kamery, rozwiązano w sposób opisany niżej i przedstawiony na rysunku 1. Fragment gleby z lokalnym układem współrzędnych OXY jest obserwowany przez kamerę z pozycji kątowej α . Dla $\alpha = 90^\circ$ można wprowadzić wyłącznie stały współczynnik digitalizacji, tj. zamiany jednostki miary na jednostkę zobrazowania, gdyż ze względu na prostopadły kierunek obserwacji nie wystąpią zniekształcenia perspektywy. Dla kątów ostrych – w praktyce mniejszych od 45° , należy szukać metod alternatywnych.

Interesuje nas śledzenie pozycji punktów w płaszczyźnie OXY, a efekty związane ze zmianą wysokości pomijamy. Pomijamy również błędy nieliniowe związane z dystorsją obiektywu. Chcemy za pomocą widoku kamery odzyskać współrzędne rzeczywiste punktów leżących w płaszczyźnie ziemi, mając do dyspozycji ich współrzędne obrazowe. Jeżeli OXY jest rzeczywistym układem współrzędnych związanym z obserwowaną ziemią i wyskalowanym np. w milimetrach, a przykładowo O ζ ρ jest lokalnym układem współrzędnych związanym z obrazem i wymia-



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 1. Widok nieprostokątnego ustawienia kamery do analizowanej płaszczyzny
Fig. 1. View of non-perpendicular camera position to the plane analysed

rowanym w pikselach, to problem od strony obliczeniowej polega na znalezieniu takiej funkcji, za pomocą której będzie można dokonać odwzorowania z dziedziny obrazowej na rzeczywistość.

$$F_c : (\zeta, \rho) \longrightarrow (x, y)$$

Tak opisany problem można rozwiązać, stosując jedną z następujących metod:

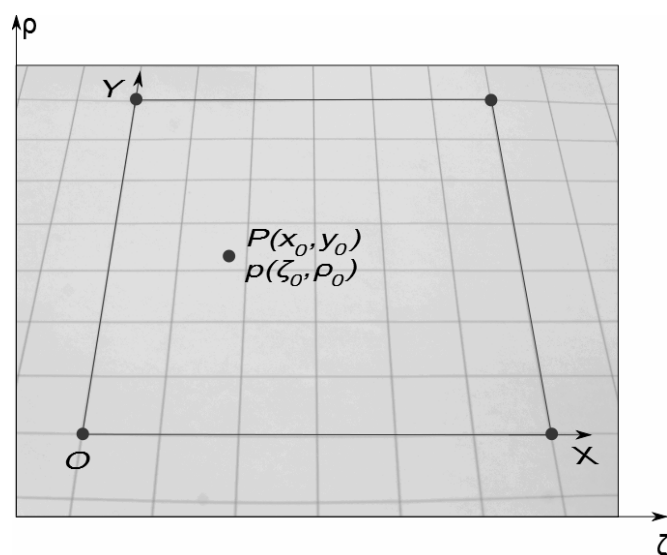
- geometryczną, wychodząc od zależności geometrii płaszczyzn układów współrzędnych i zależności odległościowo-kątowych między nimi;
- algebraiczną, wychodząc od uogólnionego modelu macierzowego kamery otworkowej (ang. „pinhole camera model”);
- empiryczną, opartą na uproszczonym modelu matematycznym z interpolacją wyników między znanymi punktami.

Do dalszej analizy zaproponowano metodę empiryczną, za którą przemawia jej prostota obliczeniowa oraz dobra aproksymacja rzeczywistych wyników.

Konstrukcja funkcji mapującej

Wprowadźmy w widok kamery prostokątną ramę o znanych wymiarach, której boki będą wyznaczały kierunki główne naszego rzeczywistego układu współrzędnych OXY, w którego jednostkach długości chcemy uzyskiwać wyniki. Ponieważ kamera obserwuje płaszczyznę ziemi pod pewnym kątem ostrym, widok ramy będzie zniekształcony przez perspektywę (rys. 2).

W odniesieniu do tak uzyskanego czworoboku zakładamy (z założoną dokładnością), że jeżeli rama między narożnikami jest linią prostą, to jej widok jest również linią prostą – czyli, że perspektywa kamery przekształca kształt w sposób liniowy.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 2. Widok z kamery na nieprostokątną powierzchnię
Fig. 2. View from a camera on non-perpendicular plane

W przypadku takiego „wzorca kalibracyjnego” w postaci ramy prostokątnej wiadomo również, że jedyne punkty, dla których znamy jednocześnie współrzędne w obu przestrzeniach – rzeczywistej i obrazowej – to cztery narożniki tej ramy. Dla pozostałych punktów obrazowych p wewnątrz czworoboku oczywiście nie znamy ich współrzędnych rzeczywistych P , a jedynie obrazowe. Ich współrzędne rzeczywiste można łatwo wyznaczyć poprzez interpolację liniową między czterema narożnikami.

Pozwala na to założenie, że przekształcenie perspektywiczne jest liniowe. Interpolacja wyznaczy więc tzw. mapę p w P :

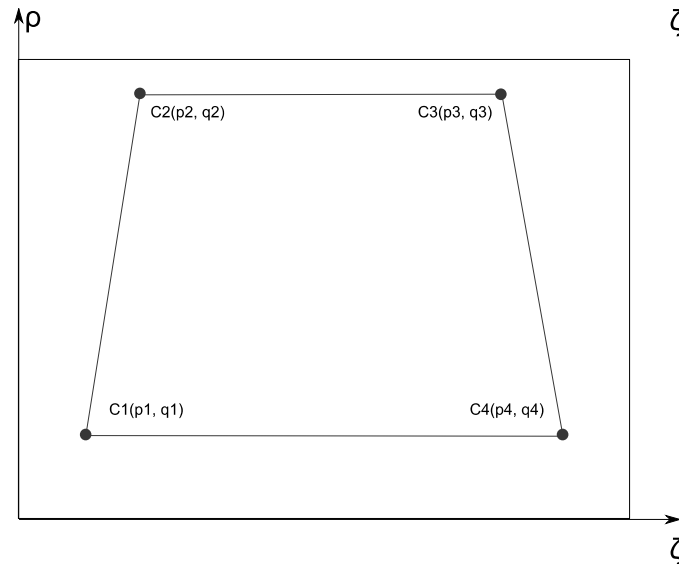
$$p(\zeta, \rho) \longrightarrow P(x, y)$$

dla każdego punktu obrazowego o nieznanymi współrzędnych rzeczywistych na podstawie czterech punktów obrazowych, dla których znamy współrzędne rzeczywiste.

Funkcja interpolująca

Niech każdy z narożników ma pewne współrzędne obrazowe $c_x(p_x, q_x)$ – rysunek 3:

- C1 – punkt na początku układu współrzędnych,
- C2 – punkt narożny przyległy na osi OY,
- C3 – punkt narożny naprzeciwległy do C1,
- C4 – punkt narożny przyległy na osi OX.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 3. Cztery współrzędne obrazowe $c_x(p_x, q_x)$ wykorzystane w konstruowaniu funkcji interpolującej

Fig. 3. Four image co-ordinates $c_x(p_x, q_x)$ used to construction of interpolating function

Wprowadźmy współczynniki liniowe takie, że:

$$\begin{aligned}
 a_{1h} &= \frac{q_3 - q_2}{p_3 - p_2} & a_{1v} &= \frac{q_2 - q_1}{p_2 - p_1} \\
 b_{1h} &= q_2 - a_{1h} * p_2 & b_{1v} &= q_1 - a_{1v} * p_1 \\
 a_{2h} &= \frac{q_4 - q_1}{p_4 - p_1} & a_{2v} &= \frac{q_3 - q_4}{p_3 - p_4} \\
 b_{2h} &= q_1 - a_{2h} * p_1 & b_{2v} &= q_4 - a_{2v} * p_4
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Aby uzyskać koordynaty rzeczywiste $P(x_0, y_0)$ dla danego punktu o znanych współrzędnych pikselowych $p(\zeta_0, \rho_0)$, wprowadźmy pomocnicze współczynniki podziału takie, że:

$$t_x = \frac{\zeta_0 - a_{1v}\rho_0 - b_{1v}}{\rho_0(a_{2v} - a_{1v}) + b_{2v} - b_{1v}}
 \tag{2}$$

$$t_y = \frac{\rho_0 - a_{1h}\zeta_0 - b_{1h}}{\zeta_0(a_{2h} - a_{1h}) + b_{2h} - b_{1h}}
 \tag{3}$$

Wtedy, zakładając długość boku ramy jako stałą wynoszącą D_0 , szukane koordynaty rzeczywiste punktu $P(x_0, y_0)$ będą wyrażone następująco:

$$P = (t_x D_0; t_y D_0) \quad (4)$$

Jeżeli boki poziome i pionowe ramy są różnej długości, to powyższy wzór przybiera automatycznie postać:

$$P = (t_x D_x; t_y D_y) \quad (5)$$

gdzie:

D_x, D_y – długości boków ramy, odpowiednio poziome i pionowe.

Łatwo sprawdzić prawidłowość wzorów: punkt $P(0, 0)$ będzie odpowiadał koordynatom obrazowym $c_1(p_1, q_1)$, natomiast punkt rzeczywisty $P(D_0, D_0)$ będzie odpowiadał koordynatom obrazowym $c_3(p_3, q_3)$. Dla każdego innego punktu o określonych koordynatach obrazowych zostaną automatycznie ustalone koordynaty rzeczywiste, co jest właśnie celem funkcji mapującej.

Powyższy schemat funkcji mapującej może być używany również do ekstrapolacji poza czworobok C1C2C3C4. Ekstrapolacja ta w bliskiej odległości od wieloboku daje akceptowalne wyniki. Nie może być jednak stosowana do tzw. dalekiej estymacji punktów, czyli do obliczania współrzędnych punktów oddalonych równie daleko od każdego z wierzchołków wieloboku interpolacyjnego.

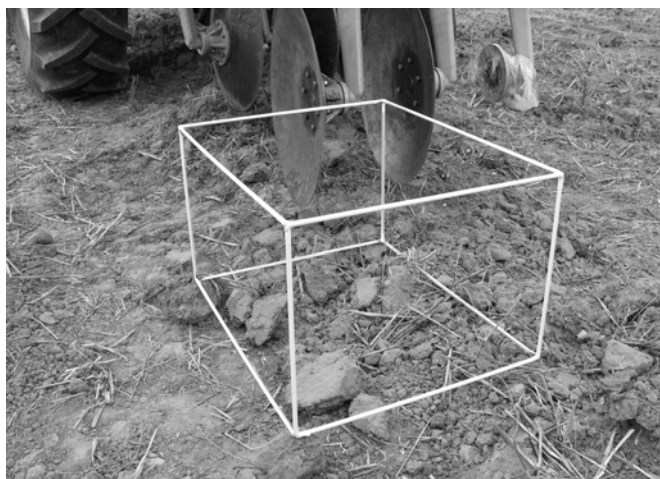
Opis metody pomiarowej w przestrzeni 3D z zastosowaniem dwóch kamer

Efektom powyższych obliczeń jest narzędzie badawcze do określania w sposób interpolacyjny współrzędnych dowolnego punktu na płaszczyźnie detektora. Taki punkt jest rzutem pewnej prostej na jego płaszczyznę. Jest to promień optyczny przechodzący przez obiektyw kamery i przecinający płaszczyznę fotoczułej matrycy w miejscu powstania obrazu danego punktu z obszaru kadru.

W kolejnym kroku opracowywania opisywanej tutaj metody postanowiono rozwiązać zadanie, w którym punktem pomiarowym mógłby być dowolny punkt obserwowany w układzie trzech współrzędnych OXYZ.

Jeżeli obserwujemy ten sam punkt pomiarowy w polu widzenia jednocześnie dwóch kamer, to możemy zdefiniować go jako przecięcie dwóch promieni optycznych. Aby opisać jednoznacznie równaniem parametry danego promienia związanego z obrazem punktu pomiarowego, należy dla każdej z kamer określić jeden rzeczywisty układ odniesienia. Do tego celu został opracowany wzorzec kalibracyjny w formie szkieletu sześcienu o precyzyjnie wymierzonych gabarytach (fot. 2).

Ten kalibrator stanowi model układu trójwymiarowego współrzędnych XYZ, gdzie każdy z narożników ma własne współrzędne (x_n, y_n, z_n) , a długość jego boków wyznacza długości bazowe w poszczególnych osiach.



Źródło: R. Łukawski. Source: R. Łukawski.

Fot. 2. Wzorzec kalibracyjny do określania jednego układu odniesienia dla dwóch kamer

Photo 2. Calibration standard to determination of one reference system for the two cameras

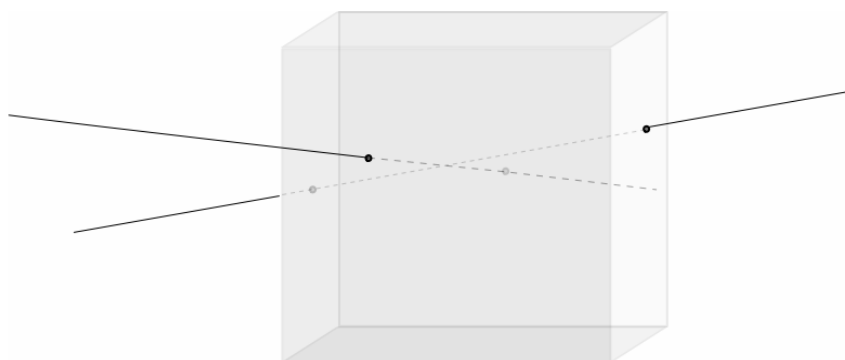
Następnie, aby nie zrobić błędu w jednoznacznym, matematycznym opisywaniu kadrów z obu kamer, należy zdefiniować najbliższą i najdalszą płaszczyznę interpolacyjną.

1. Najbliższą płaszczyznę interpolacyjną będzie określał bok kalibratora usytuowany najbardziej prostopadle do osi optycznej danej kamery i usytuowany najbliżej jej obiektywu.
2. Najdalszą płaszczyznę interpolacji będzie określał bok kalibratora usytuowany najbardziej prostopadle do osi optycznej tej samej kamery i usytuowany najdalej od jej obiektywu.

Tak określone płaszczyzny są parą naprzeciwległych boków wzorcowego prostopadłościanu. Każda z tych płaszczyzn będzie obszarem, w którym zostanie użyty wcześniej wyprowadzony wzór interpolacji 2D, tj. wzór wyznaczania współrzędnych punktu na płaszczyźnie. Również każda z płaszczyzn będzie zawierała cztery wierzchołki kalibracyjne dostępne z ośmiu możliwych, tworząc opis matematyczny, na którym bazuje metoda interpolacji w 2D.

Każdy z dwóch promieni optycznych wychodzących z punktu pomiarowego przecina najbliższą i najdalszą płaszczyznę interpolacyjną. W kadrze danej kamery widać to jako jeden punkt – rzut jednego punktu na drugi. W rzeczywistości są to dwa, oddalone od siebie punkty w przestrzeni. Ta informacja umożliwia wyznaczenie współrzędnych (x, y, z) punktów przecięcia promienia optycznego z płaszczyznami najbliższą i najdalszą. Tym samym uzyskujemy równanie opi-

sujące drogę pojedynczego promienia optycznego w układzie współrzędnych naszego kalibratora. W ten sposób dochodzimy do możliwości uzyskania matematycznego opisu (analitycznie bądź iteracyjnie) dwóch punktów, z których każdy jest położony na innej prostej, usytuowanych w ten sposób, że tworzą najkrótszy z możliwych odcinek (odległość) między tymi prostymi (rys. 4).



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 4. Widok przecięcia promieni optycznych z dwóch kamer w obszarze wzorca kalibracyjnego

Fig. 4. View of crossing the optical rays from two cameras in the area of calibration standard

Poszukiwane parametry (x, y, z) dowolnego punktu znajdującego się w polu jednoczesnej obserwacji obu kamer stanowić będzie średnia arytmetyczna z parametrów (x_{n1}, y_{n1}, z_{n1}) oraz (x_{n2}, y_{n2}, z_{n2}) tak zdefiniowanego odcinka.

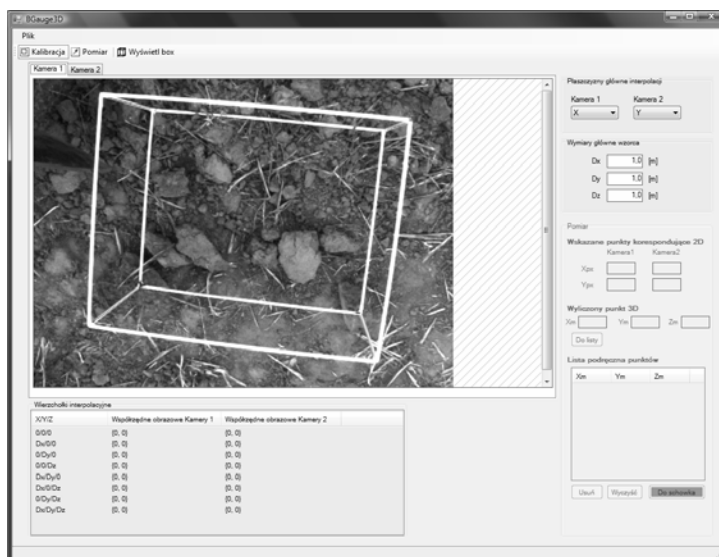
Aplikacja do obliczania współrzędnych dowolnego punktu z widoku kadrów dwóch kamer do zdjęć szybkich

Aby było możliwe użycie tego algorytmu w praktyce, należało opracować odpowiedni program komputerowy. Chodziło przy tym o to, aby opracowana aplikacja obliczeniowa była kompatybilna ze specjalistycznym programem służącym do rejestracji szybkich sekwencji obrazowych umożliwiającym zapis z płynnie regulowaną prędkością dochodzącą maksymalnie do 200 klatek na sekundę.

Prace nad projektem zakończono w 2011 r. Wtedy poddano testom gotowy program, którego interfejs wygląda w sposób przedstawiony na rysunku 5.

Praca z programem polega na niżej opisanych działaniach, przebiegających w kilku krokach.

1. Kalibracja układu współrzędnych:
 - a) załadowanie obrazów kalibracyjnych,
 - b) zdefiniowanie wierzchołków prostopadłościanu w obrazach kamer,
 - c) ustalenie parametrów dodatkowych kalibracji.



Źródło: opracowanie własne. Source: own elaboration.

Rys. 5. Interfejs programu
Fig. 5. Interface of programme

2. Pomiar punktów pomiarowych:
 - a) zaznaczanie korespondujących punktów obrazowych, odpowiadających temu samemu punktowi w przestrzeni – wielokrotnie dla poszczególnych par obrazowych,
 - b) edycja, kopiowanie i eksport gotowych list punktów w 3D.

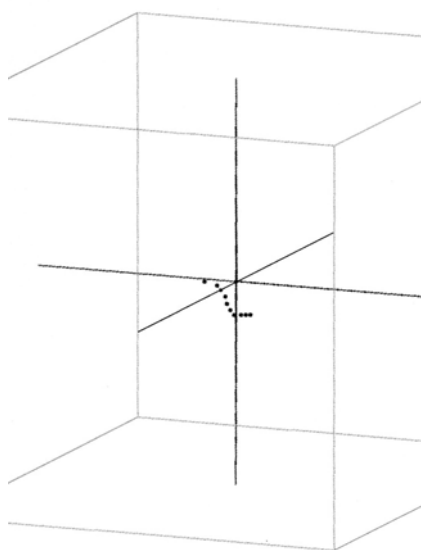
Wyniki badań

Uzyskano duży zbiór sekwencji obrazowych, będących materiałem wyjściowym do dalszej pracy nad metodą wyznaczania trajektorii mas glebowych. Sekwencje te rejestrują w sposób synchroniczny dwa widoki jednego obszaru pracy narzędzia oraz ruch mas glebowych w wyniku przyłożenia narzędzia. Aktualne oprogramowanie implementujące proste obliczanie trajektorii umożliwia ręczne przetworzenie danego obiektu (grudka, kamień, inny obiekt lub marker) w polu widzenia kamer najpierw na pary punktów obrazowych dla dwóch widoków kamer, a następnie na rzeczywiste koordynaty przestrzenne w układzie współrzędnych klatki kalibracyjnej (poruszającym się wraz z narzędziem). Przejście do układu współrzędnych związanego z podłożem (nieruchomego) odbywa się przez dodanie składowej przesunięcia od wektora prędkości związanego z jazdą ciągnika. Wektor ten estymuje się na podstawie orientacji klatki kalibracyjnej w stosunku do kierunku jazdy, wskazania prędkości roboczej oraz znacznika czasowego danej ramki obrazowej w sekwencji. Wyniki w postaci koordynaty i trajektorii wybranej grudki gleby w przestrzeni pomiarowej 3D przedstawiono w tabeli 1. oraz na rysunku 6.

Tabela 1. Koordynaty grudki gleby dla kolejnych kadrów z sekwencji pomiarowej
 Table 1. Co-ordinates of a soil clod for successive frames from measuring sequency

X [m]	Y [m]	Z [m]
0,573542	0,257689	0,839681
0,529753	0,278352	0,868597
0,505112	0,301216	0,865900
0,477936	0,327711	0,852054
0,454891	0,354417	0,826935
0,429924	0,379689	0,812604
0,408144	0,399385	0,802854
0,377912	0,402738	0,814742
0,357347	0,400057	0,825196
0,337819	0,398570	0,828034

Źródło: wyniki własne. Source: own study



Rys. 6. Trajektoria grudki gleby w układzie 3D
 Fig. 6. Trajectory of a soil clod in 3D system

Źródło: wyniki własne. Source: own study.

Wnioski

Wyniki badań wskazują, że zastosowanie opracowanej metody do identyfikacji torów cząstek gleby odkrawanej narzędziem talerzowym w zależności od kształtu talerza, kąta jego ustawienia i prędkości postępowej wydaje się właściwe. Aby móc w pełni wykorzystywać jej zalety, należy w pierwszej kolejności rozbudować program komputerowy. Nowa wersja aplikacji powinna umożliwić szybkie zliczanie parametrów obserwowanych jednocześnie wielu punktów w przestrzeni, a tym samym umożliwić dokładny pomiar wybranych kątów powierzchni i objętości. Tak dopracowana metoda powinna zdecydowanie pomóc w precyzyjnym badaniu zależności wpływających na stopień intensyfikacji mieszania gleby w celu uzyskania równomiernego rozmieszczenia ścierniska i resztek słomistych lub nawozów organicznych.

Bibliografia

FRAĆZEK J. 2003. Wykorzystanie elementów komputerowej analizy obrazu w modelowaniu kształtu nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 65–69.

FRAĆZEK J., WRÓBEL M. 2009. Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6 s. 87–94.

KAMIŃSKI S., KAMIŃSKA D., TRZCIŃSKI J. 2008. Automatyczna analiza wielkości i kształtu ziaren 3D z zastosowaniem analizatorów optyczno-elektronicznych. W: 11th Baltic Sea Geotechnical Conference 2008. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej. Gdańsk, 15–18 września 2008 r. s. 6.

KORMANEK M., WALCZYK J. 2005. Zastosowanie metod wideokomputerowych do uzyskania trójwymiarowego odwzorowania powierzchni kontaktu opony z podłożem odkształcalnym w warunkach laboratoryjnych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10 s. 199–208.

ŁUKAWSKI R., GOLKA W. 2011. Identyfikacja efektu mieszania gleby w procesie powierzchniowej uprawy z wykorzystaniem dynamicznej analizy obrazu 3D. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 2 s. 55–64.

MISZCZAK M., KUCZEWSKI J. 2001. Bezstykowa metoda pomiarów obiektów przestrzennych za pomocą fotografii cyfrowej i obróbki komputerowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej*. Nr 1 s. 83–90.

PIOTROWSKA E. 2003. Badania filmowe bryły glebowej odkształcanej przez wąskie narzędzie uprawowe. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11 s. 173–178.

PTASZYŃSKI S. 2008. Opracowanie rozwiązań technicznych i organizacyjno-ekonomicznych dla rolnictwa ekologicznego. Sprawozdanie. Maszynopis. Warszawa. IBMER ss. 19.

Robert Łukawski

THREE-DIMENSIONAL INVESTIGATION METHOD OF SOIL PARTICLE TRAJECTORIES IN THE PROCESS OF SUPERFICIAL SOIL TILLAGE

Summary

Paper presented new method to investigate the work of disc tillage implements on soil depth close to the depth of sowing. Known research methods dealing with the soil tillage do not enable precisely determinate the soil particle trajectories within the section of furrow slice, nor the trajectory of soil mass covering the surface. For such a reason a new method was elaborated to identify the particle trajectories of soil cut off by a disc implement, depending on the shape and inclination angle of disc and advance velocity. The method consists in recording and analysis of co-ordinates for individual soil particles cut off by the discs, under real conditions. Digital technique of 3D visual recording and an application enabling digitalization of spatial objects, were applied in this method. Set of two multi-speed cameras and the computer with special software, were used to image recording. The problem of measuring true position of points on the measuring plane, in view from non-perpendicular position of camera's axes, was solved. For this reason an application was elaborated, compatible with the programme, recording high-speed image sequences simultaneously

from both cameras. The measurement method was obtained, enabling the records and three-dimensional analysis of quick-changing objects. Method ensures recording the images with a fluent velocity regulation, up to 200 frames per second. Measurement results obtained in experimental soil bin and under field conditions, proved the usefulness of elaborated method to precise investigation of the relationships affecting a degree of soil mixing intensification, in order to attain an uniform distribution of the stubble and straw residues or the mineral fertilizers.

Key words: multi-speed camera, soil bin, displacement of soil particles, test stand

Adres do korespondencji:

mgr inż. Robert Łukawski
Instytut Technologiczno-Przyrodniczy
Mazowiecki Ośrodek Badawczy w Kłudzienku
Pracownia Filmu Naukowego
05-825 Kłudzienko
tel. 22 755-50-16 w. 107; e-mail: r.lukawski@itep.edu.pl