

PRECISE MEASUREMENT METHOD OF GRAIN TRANSPORT TIME IN PNEUMATIC PIPES

Summary

The paper presents the research station designed and built at Poznan University of Technology, used to study the grain motion in pipes of pneumatic transport. It also presents the results of verification of the accuracy of timing single grain transport in the pneumatic pipe. Analyses of accuracy were made using a digital oscilloscope and a standard pulse generator. The study showed that the relative timing error of grain transport time by pipe with length of 2 m is within 0.001%. This is much superior than required accuracy. This research station is now being used to validate the mathematical models of grain motion in pneumatic pipes of mechanical – pneumatic seed drill.

Key words: grain; pneumatic transport; seed tube; physical properties; technical characteristics; air velocity; grain velocity; laboratory experimentation; measuring equipment

METODA PRECYZYJNEGO POMIARU CZASU TRANSPORTU ZIARNA W PRZEWODACH PNEUMATYCZNYCH

Streszczenie

W pracy zaprezentowano stanowisko badawcze zaprojektowane i wykonane w Politechnice Poznańskiej, służące do badania ruchu ziarna w przewodach pneumatycznego transportu. Przedstawiono także wyniki weryfikacji dokładności pomiaru czasu transportu pojedynczego ziarna w przewodzie pneumatycznym. Analizy dokładności dokonano za pomocą oscyloskopu cyfrowego i wzorcowego generatora impulsów. W wyniku badania stwierdzono, że względny błąd pomiaru czasu transportu ziarna przez przewód o długości 2 m mieści się w granicach 0.001%. Jest to dokładność dalece przewyższająca potrzeby. Stanowisko to jest obecnie wykorzystywane do walidacji modeli matematycznych ruchu ziarna w przewodach nasiennych siewników mechaniczno - pneumatycznych.

Słowa kluczowe: ziarno; transport pneumatyczny; przewód nasienne; właściwości fizyczne; charakterystyka techniczna; prędkość powietrza; prędkość ziarna; badania laboratoryjne; aparatura pomiarowa

1. Wprowadzenie

Na europejskim i polskim rynku maszyn rolniczych coraz więcej dostępnych jest precyzyjnych pneumatyczno-mechanicznych maszyn do siewu zbóż i innych roślin uprawnych. Podstawowym kryterium oceny jakości siewu nasion tymi siewnikami jest równomierność rozmieszczenia nasion w rzędzie a ściślej mówiąc określenie wskaźnika nierównomierności podłużnej definiowanego jako stosunek średniego odchylenia kwadratowego odległości w rzędzie do średniej odległości w rzędzie. Podstawowym źródłem nierównomiernego wysiewu nasion jest zespół wysiewający (dozujący nasiona), oraz przewód nasienne transportujący nasiona do redlic.

Konstruktorzy siewników wiedzą, że aby ograniczyć wpływ przewodów nasiennych należy umieścić zespół dozujący jak najbliżej gruntu. Wymaga to specjalnych konstrukcji siewnika i ma sens jedynie w przypadku stosowania jednoziarnkowych zespołów dozujących nasiona. W ostatnich latach pojawiły się konstrukcje siewników punktowych (AMAZONE EDX), w których zespoły dozujące są umieszczone pod centralną skrzynią nasienną a nasiona transportowane do redlic za pomocą przewodów pneumatycznych, tak jak w siewnikach rządowych. Pojawia się zatem problem wpływu długości i konfiguracji pneumatycznego przewodu nasiennego oraz prędkości powietrza transportującego na podłużną równomierność wysiewu takiego siewnika.

Znacznym wpływ na równomierność wysiewu może mieć

tutaj proces transportu ziarna do redlic, w którym ze względu na losowe zróżnicowanie czasów transportu efekt dokładnego dozowania jednoziarnkowego może zostać całkowicie zniweczony. Z kolei, w siewnikach, w których dozowanie ziarna jest niedokładne, często o charakterze pulsacyjnym, można się też spodziewać działania odwrotnego. W procesie transportu może dochodzić do rozpraszania skupień i zacierania przerw wysiewu, co może skutkować poprawą wskaźnika podłużnej nierównomierności wysiewu.

Zależy to oczywiście od czasu transportu ziarna w przewodzie nasiennym a właściwie od losowego rozrzutu tych czasów, który spowoduje losowy rozrzut odległości pomiędzy kolejnymi nasionami. Poznanie zależności pomiędzy rozrzutem czasu transportu w przewodzie pneumatycznym a jego długością i konfiguracją oraz prędkością powietrza transportującego jest ważne dla producentów siewników rządowych jak i rolników, ponieważ im większa równomierność podłużna tym większy plon.

Uzyskane z eksperymentów dane mogą też posłużyć do walidacji i dostrajania modeli matematycznych, pozwalających symulować proces wysiewu i transportu ziarna w przewodach pneumatycznych

2. Problem badawczy

Prędkość ruchu materiału ziarnistego w pneumatycznych przewodach jest różna i zazwyczaj mniejsza od prędkości powietrza transportującego. W związku z losowym

charakterem procesu, prędkość ta i wynikający z niej czas transportu materiału ziarnistego przez przewód ma również losowy rozkład. Główne parametry tego rozkładu, tj. wartość średnia, wariancja a także postać rozkładu są zależne od wielu czynników, takich jak: współczynniki tarcia materiału ziarnistego o ściany przewodu, kształt trasy przewodu i jej nachylenie do poziomu, kształt i wymiary materiału ziarnistego, itp. Ruch ziarna w przewodzie nasiennym zasymulowano już za pomocą programu komputerowego, jednakże symulacja ta wymaga walidacji eksperymentalnej.

Problem losowego rozrzutu czasów transportu materiału ziarnistego w przewodzie pneumatycznym jest o tyle istotny, że rozrzut ten wpływa na podłużną nierównomierność wysiewu i może ją znacznie obniżyć w przypadku zastosowania precyzyjnych zespołów wysiewających, zaś sam czas transportu bezpośrednio determinuje opóźnienie początku i końca wysiewu, w stosunku do ruchu postępowego siewnika.

Za główny cel niniejszego opracowania postawiono zatem opracowanie, zaprojektowanie, wykonanie i sprawdzenie precyzyjnej metody pomiaru czasu transportu materiału ziarnistego w przewodzie pneumatycznym. Zebrane na wykonanym stanowisku badawczym dane mają posłużyć jako punkt odniesienia podczas walidacji modeli matematycznych opisujących ruch materiału ziarnistego w przewodach pneumatycznych. Będą zapewne pomocne dla konstruktorów maszyn do siewu i transportu pneumatycznego.

Podczas analizy literatury fachowej i naukowej, można napotkać wiele metod pomiaru prędkości materiału ziarnistego. Prędkość cząstki jest bardzo ważnym parametrem dla wielu procesów. Czas transportu jest ilorazem średniej prędkości cząstek i przebytej drogi. Stąd pomiar czasu transportu można sprowadzić do pomiaru prędkości ruchu

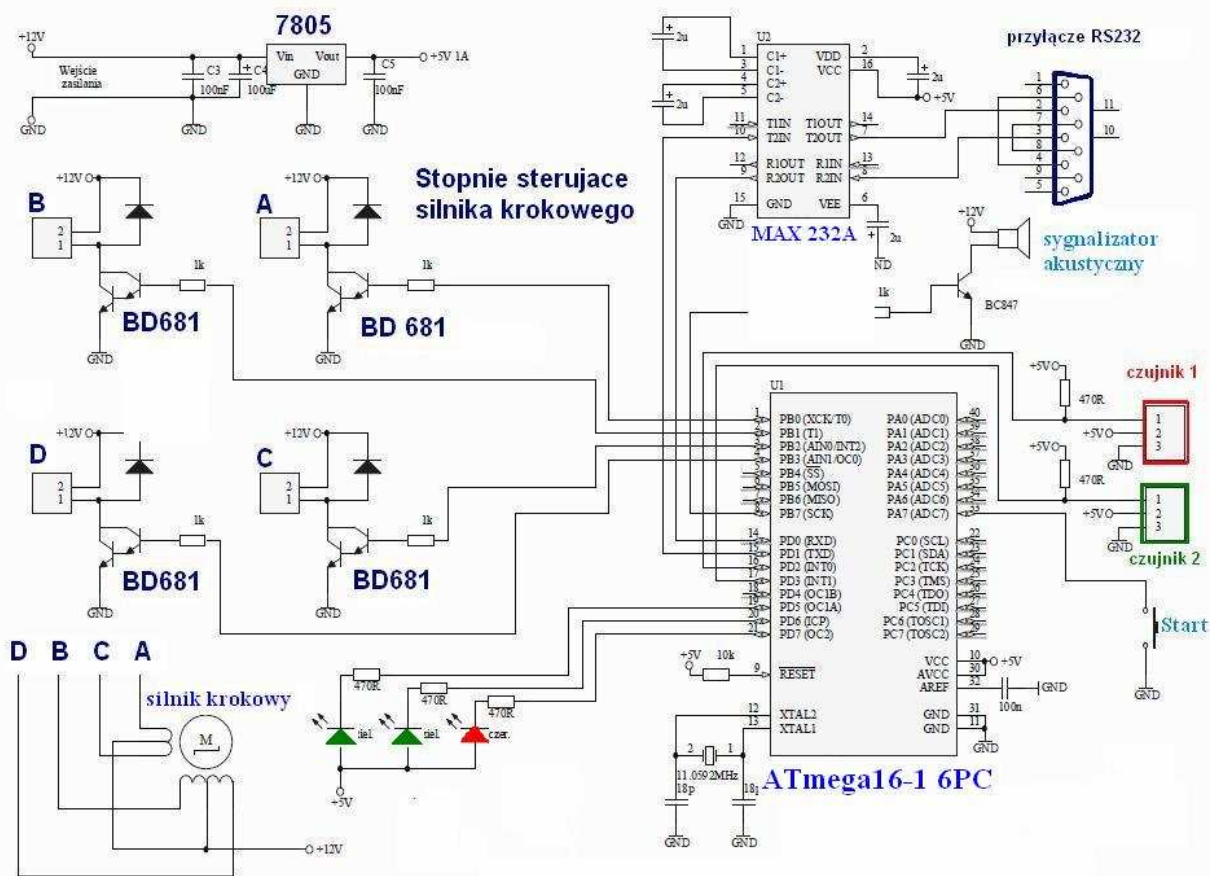
cząstek w przewodzie transportowym. Metody pomiaru prędkości ruchu cząstek stałych w strumieniu powietrza można podzielić na: ultradźwiękowe, fotoelektryczne i laserowe. Metody ultradźwiękowe polegają na pomiarach zmiennej odległości cząstki od emitera fal ultradźwiękowych poprzez pomiar czasu powrotu echa [1, 2], lub na wykorzystaniu zjawiska Dopplera. Dopplerowskie prawo przesunięcia częstości mogące powodować zmiany natężenia światła laserowego w czasie wykorzystane zostało w metodach zwanych LDA (*Laser Doppler Anemometry*) i LDV (*Laser Doppler Velocimetry*) [3, 4].

Metody optyczne polegają na wykorzystaniu analizy obrazów przelatujących w polu widzenia kamery cząstek, do których należy metoda PIV (*Particle image velocimetry*) [5, 6], jaki i metoda MOS wykorzystująca liniowy czujnik obrazu [7], albo też w prostszym przypadku na pomiarze czasu ruchu cząstki pomiędzy dwiema barierami optycznymi. Zaproponowana w niniejszej pracy metoda należy do tej właśnie klasy metod.

3. Stanowisko badawcze

Stanowisko zostało zaprojektowane i wykonane w Zakładzie Maszyn Roboczych Politechniki Poznańskiej. Jego schemat ideowy przedstawiono w literaturze [8].

Podczas wykonywanych badań rejestrowany jest czas transportu pojedynczego ziarna w przewodzie pneumatycznym mierzony za pomocą zaprojektowanego i wykonanego do tego celu układu elektronicznego, którego wykonawcą jest P. Grochowski. Szczegółowy schemat elektroniczny tego układu przedstawiono na rys. 1.

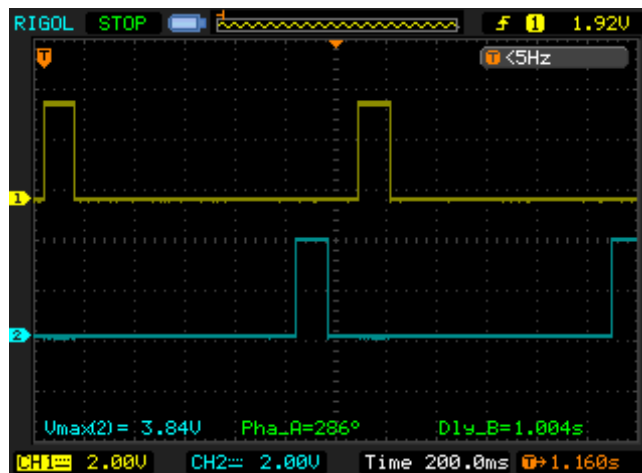


Rys. 1. Schemat sterownika elektronicznego użytego w stanowisku badawczym
Fig. 1. Scheme of the electronic control system used in the test bench

Układ elektroniczny oparty na mikrosterowniku ATMEL uruchamia silnik krokowy napędzający tarczę podającą ziarna do przewodu nasiennego, po czym rozpoczyna pomiar czasu transportu ziarna. Pierwszy czujnik ziarna umieszczony na początku przewodu nasiennego uruchamia timer wchodzący w skład systemu. Timer ten jest zatrzymywany po odebraniu sygnału z czujnika zamontowanego na wylocie przewodu. Zmierzony czas transportu jest następnie przekazywany do komputera nadrzędnego przez łącze RS232 i zapisywany do specjalnego pliku tekstowego za pomocą programu systemowego hyperterminal. Po napełnieniu płytki dozującej nasiona możliwe jest wykonanie kolejno 18 pomiarów.

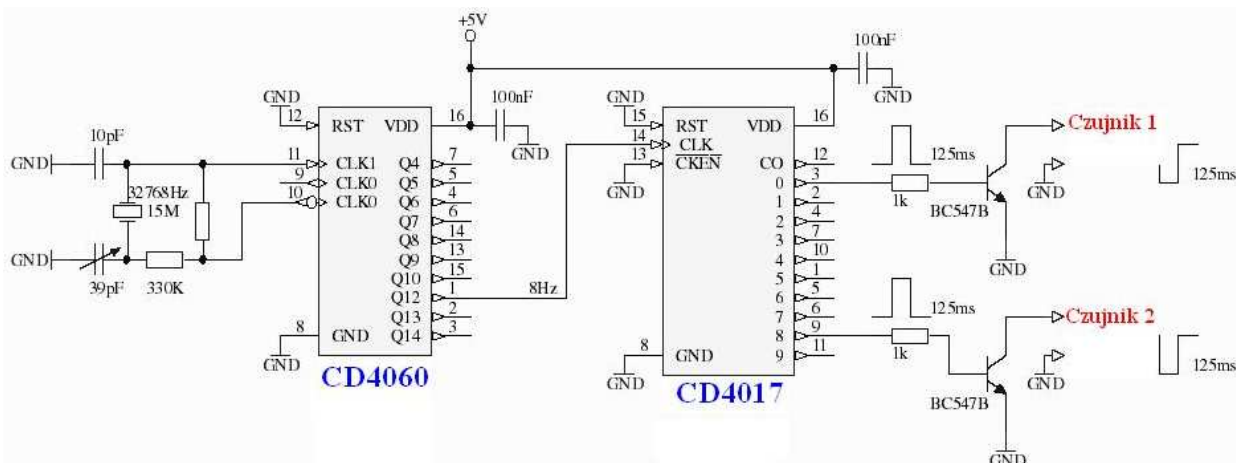
Do pomiaru prędkości przepływającego powietrza na stanowisku można używać anemometru turbinowego lub rotametu. W związku z badaniami dotyczącymi siewników wstępnie prędkość powietrza w przewodzie pneumatycznym ustalono na poziomie 10, 15, 20, 25 m/s. Natomiast długość przewodu nasiennego może mieścić się w przedziale od 0,5 do 3,0 m. Chociaż po modernizacji płytki nośnej można by przebadać wpływ dłuższych przewodów. Do analizy uzyskanych danych zapisanych podczas badań przeznaczony jest program ANALIZATOR, napisany w Zakładzie Maszyn Roboczych Instytutu Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych PP w środowisku RAD Delphi Embarcadero 2010. Program ten odczytuje pliki tekstowe z wynikami pomiarów i wykreśla histogramy empirycznego

rozkładu czasów transportu ziarna oraz oblicza wszelkie możliwe parametry tego rozkładu, takie jak: wartość średnia, wariancja, odchylenie standardowe, wartość maksymalna i minimalna. Wyniki obliczeń są prezentowane na ekranie komputera w formie graficznej (rys. 4) i zapisywane do plików tekstowych.



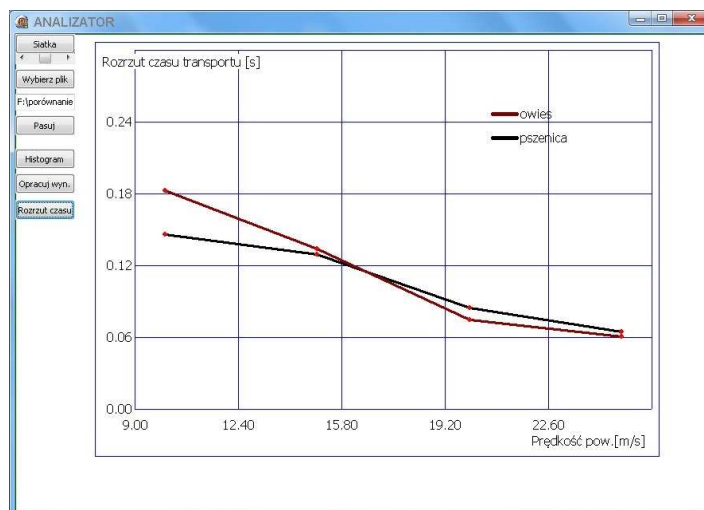
Rys. 2. Widok rzutu ekranu oscyloskopu dla wygenerowanych impulsów o odległości wzorcowej 1,0 [s]

Fig. 2. Oscilloscope screen projection view for the generated standard pulses 1.0 [s]



Rys. 3. Wzorcowy generator impulsów czasowych

Fig. 3. The model time-pulse generator



Rys. 4. Widok inter-face programu ANALIZATOR

Fig. 4. View of the ANALIZATOR interface

Tab. Wyniki badań dokładności pomiaru czasu transportu
 Table. The results of the accuracy measurement of transport time

| Lp. | 0,25 s | 0,5 s | 0,75 s | 1,0 s |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. | 0,249999933 | 0,500092564 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 2. | 0,249999933 | 0,500092564 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 3. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 4. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 5. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 6. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 7. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 8. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,750092564 | 0,999999933 |
| 9. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,750092564 | 0,999999933 |
| 10. | 0,250092564 | 0,499999933 | 0,750092564 | 1,000092505 |
| 11. | 0,250092564 | 0,500092564 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 12. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 13. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 14. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 15. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 16. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| | | | | |
| 144. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 145. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 146. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| 147. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 148. | 0,249999933 | 0,500092564 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 149. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 1,000092505 |
| 150. | 0,249999933 | 0,499999933 | 0,749999933 | 0,999999933 |
| średnia | 0,250008579 | 0,500014754 | 0,75003081 | 1,000047453 |
| odchylenie kwadratowe | 1,08915E-07 | 1,72983E-07 | 2,86017E-07 | 3,21131E-07 |

4. Weryfikacja metody

W celu wykonania analizy dokładności metody postanowiono użyć i podłączyć do układu pomiarowego oscyloskop cyfrowy RIGOL DS1052E, za pomocą którego wykonano 100 pomiarów sprawdzających. Użyty oscyloskop cyfrowy automatycznie odczytuje opóźnienie sygnału pomiędzy kanałami i wyświetla jako parametr Dly_B. Przykładowy rzut ekranu przedstawiono na rys. 2, gdzie w prawym dolnym rogu widoczny jest parametr Dly_B czyli generowany czas transportu. Dodatkowo w drugim etapie sprawdzony został zegar na karcie pomiarowej przy pomocy wzorcowego generatora impulsów czasowych, którego schemat przedstawiono na rys. 3. Generator ten podłącza się równolegle do odpowiednich czujników, może być nawet podłączony jednocześnie z czujnikami, ponieważ obydwa układy mają wyjścia typu otwarty kolektor. Układ CD4060 to oscylator kwarcowy wraz z dzielnikiem binarnym. Wykorzystano podział przez 4096 (2e12). Na wyjściu otrzymuje się sygnał 8Hz o wypełnieniu 50%. Układ CD4017 to dziesiąty licznik Johnsona. Ma on 10 wyjść i każdy impuls na wejściu przesuwa impuls na następne wyjście (jedynek logiczną). Czyli kolejno od 0 do 9 i tak wkoło. Przy podłączeniu, jak na rys. 3, uzyskuje się impulsy 125 ms w odległości 1000 ms. Analizy dokładności karty dokonano dla impulsów o odległości 0,25; 0,5; 0,75;

1,0 s, a przykładowe wyniki przedstawiono w tab.

Na podstawie analizy uzyskanych danych weryfikacji dokładności pomiaru dla czasów wzorcowych można stwierdzić, iż maksymalne odchylenie kwadratowe wynosi 0,3 ms. Tak więc wykonywane pomiary czasu transportu materiału ziarnistego na prototypowym stanowisku badawczym do pomiaru czasu transportu są satysfakcjonujące.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski:

1. Metoda pomiaru jest prawidłowa, rozrzut wyników mieści się w granicach 0.001%. Jest to dokładność dalece przewyższająca potrzeby.
2. Obecnie metoda wykorzystywana jest do walidacji modeli matematycznych ruchu ziarna w przewodach nasienych siewników mechaniczno-pneumatycznych, ale może być także wykorzystana do pomiarów czasu transportu w innych przewodach.
3. Ograniczeniem metody jest możliwość badania prędkości (czasu transportu) jedynie pojedynczego ziarna, co wystarcza do badania siewników punktowych. W przypadku siewników rzędowych należy liczyć się z oddziaływaniem wzajemnym grupy ziaren. W tym przypadku należałoby wykorzystać metodę opartą na korelacji sygnałów pomiarowych z dwóch czujników blisko siebie rozmieszczonych. Będzie to tematem dalszych badań.

Bibliografia

- [1] Lysak P.D., Jenkins D.M., Capone D. E., Brown W. L.: Analytical model of an ultrasonic cross-correlation flow meter, part 1: Stochastic modeling of turbulence, Flow Measurement and Instrumentation 19 (2008) 1-7.
- [2] Sheen S.H., Raptis A.C.: Active ultrasonic cross-correlation flow meters for mixed-phase pipe flows, ISA Transactions, 24 (1985), pp. 53–58.
- [3] Fincke J., Swank W., Jeffery C., Mancuso C.: Simultaneous measurement of particle size, velocity and temperature, Measurement Science and Technology, 4 (1993), pp. 559–565.
- [4] Ramberta A., Huberb L., Gougat P.: Laboratory study of fungal spore movement using Laser Doppler Velocimetry, Agricultural and Forest Meteorology 92 (1998) 43-53.
- [5] Zhang W., Dai C.: Experimental research of flow structure behind a circular cylinder with wave surface by PIV, Journal of Hydrodynamics, 18 (2006), pp. 97–103.
- [6] Westerweel J.: Fundamentals of digital particle image velocimetry, Measurement Science & Technology, 8 (1997), pp. 1379–1392.
- [7] Chen C., Kocher M., Jones D.: Granular particle linear flow velocity measurement using an electronic linear image sensor, Computers and Electronics in Agriculture, 11 (1994), pp. 117–129.
- [8] Gierz Ł., Kęska W., Gierz S.: Badania laboratoryjne czasu transportu ziarna pszenicy w przewodzie nasiennym siewnika. Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering, 2012, vol. 57 (1), s. 37-40.