

SIMULATION AND LABORATORY TESTS OF TRANSPORT TIME OF RAPE GRAIN IN THE DRILL SEED TUBE

Summary

The paper presents the results of simulation and laboratory tests aimed at clarifying the impact of such factors as air velocity, the length and configuration of pneumatic seed tube on the transportation scattering time and average speed of movement of grain. The simulative studies concerned idealized granular material, whereas the laboratory studies were conducted on rape seed. The hypothesis that at higher speeds the air transport scattering time is smaller was confirmed, that may have a beneficial effect on the uniformity of seeding.

Key words: air sowers; seed wires; air velocity; tube configuration; computer simulation

BADANIA SYMULACYJNE I LABORATORYJNE CZASU TRANSPORTU ZIARNA RZEPAKU W PRZEWODZIE NASIENNYM SIEWNIKA

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i empirycznych, zmierzających do wyjaśnienia wpływu takich czynników jak prędkość przepływu powietrza, długość i konfiguracja przewodu nasiennego siewnika pneumatycznego na rozrzut czasu transportu i średnią prędkość ruchu ziarna. Badania symulacyjne dotyczyły wyidealizowanego materiału ziarnistego, natomiast badania laboratoryjne przeprowadzono na ziarnie rzepaku. Potwierdzono hipotezę, że przy wyższych prędkościach powietrza rozrzut czasów transportu jest mniejszy, co może mieć korzystny wpływ na równomierność wysiewu.

Słowa kluczowe: siewniki pneumatyczne; przewody nasienne; prędkość powietrza; konfiguracja przewodu; symulacja komputerowa

1. Wprowadzenie

Precyzyjnie wykonany siew jest jednym z czynników gwarantujących dobrą jakość i wysokie plonowanie roślin. Do najwydajniejszych maszyn do siewu zbóż należą obecnie siewniki pneumatyczne z centralnymi zespołami dozującymi oraz pneumatycznym transportem ziarna do redlic.

Proces wysiewu nasion praktycznie we wszystkich siewnikach odbywa się według następującego schematu: nasiona zgromadzone w skrzyni nasiennej wygarniane są poprzez zespół dozujący (wysiewający) i transportowane poprzez system przewodów nasiennych do redlic wykonujących na powierzchni gleby rowek technologiczny, do którego zostają wprowadzone. Następnie rowek zostaje zasypywany zapewniając ziarnom optymalne warunki do kiełkowania i wzrostu [4, 11]. Siew idealny polega na rozmieszczeniu nasion w rzędach w ściśle jednakowych odstępach, optymalnych ze względu na warunki wegetacji roślin. Odstępy te są wyznaczane na podstawie stosownych doświadczeń rolniczych. W siewie rzeczywistym zazwyczaj zachowana zostaje przeciętna wartość tych odstępów, podczas gdy ich poszczególne wartości są zmiennymi losowymi, określonymi kilkoma parametrami statystycznymi, najczęściej poprzez średnie odchylenie kwadratowe, lub dokładniej, poprzez krzywą gęstości rozkładu. Podstawowym źródłem nierównomiernego wysiewu jest zespół wysiewający (dozujący nasiona), natomiast jeśli chodzi o dozowanie jednoziarnkowe, znaczny wpływ na równomierność wysiewu może mieć sam proces transportu ziarna do redlic. Podczas tego transportu równomierne dozowanie może zostać całkowicie zniweczone. Z kolei, w siewnikach, w których dozowanie ziarna jest niedokładne, można się też spodziewać działania od-

wrotnego.

Niedawno pojawiły się konstrukcje siewników punktowych (AMAZONE EDX), w których zespoły dozujące są umieszczone pod centralną skrzynią nasienną a nasiona transportowane do redlic za pomocą długich przewodów pneumatycznych, tak jak w siewnikach rzędowych. Pojawia się zatem problem, wpływu długości i konfiguracji pneumatycznego przewodu nasiennego oraz prędkości powietrza transportującego na podłużną równomierność wysiewu takiego siewnika.

Zależy to 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 średnią prędkością ziarna w przewodzie nasiennym a jego długością i konfiguracją oraz prędkością powietrza transportującego jest ważne także w przypadku siewników rzędowych, gdyż np. umożliwi określenie czasu wyprzedzenia włączenia wałka wysiewającego przed rozpoczęciem jazdy siewnika. Przy długich przewodach nasiennych, równoczesne z rozpoczęciem jazdy uruchomienie tego wałka powoduje opóźnienie początku wysiewu i powstanie nie obsianego pasa na początku przejazdu, zaś na jego końcu powstanie pasa nadmiernie obsianego.

Uzyskane z eksperymentów numerycznych i empirycznych dane posłużą do weryfikacji modeli matematycznych wykorzystanych w programie symulacyjnym i sprawdzenia poprawności przyjętych współczynników.

2. Prace dotychczasowe

Napotkane podczas przeglądu literatury fachowej i naukowej formułowane modele matematyczne ograniczały się zazwyczaj do prostych zależności natężenia strumienia

ziarna od parametrów geometrycznych zespołu wysiewającego [13], natomiast brak prób stworzenia modeli matematycznych, wyjaśniających wpływ przewodu nasiennego na równomierność wysiewu. Pewne elementy matematycznego modelowania ruchu ziarna w siewniku pneumatycznym zawiera praca [7]. W pracy tej starano się wymodelować, metodą elementów skończonych, przepływ powietrza w głowicy rozdzielczej siewnika pneumatycznego. Model ten nie uwzględnia jednak ruchu samego strumienia ziaren, który jest inny niż ruch powietrza.

Nie natrafiono również na prace związane z badaniami wpływu różnych czynników na czas transportu ziarna lub też rozrzut czasu transportu w przewodzie pneumatycznym siewnika, czy innego urządzenia używanego do transportu pneumatycznego.

Badania laboratoryjne ruchu ziarna w siewnikach pneumatycznych prowadzono w latach 80. ubiegłego wieku w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych w Poznaniu. Znaczna większość prac dotyczyła optymalizacji układu pneumatycznego siewników zbożowych mechaniczno-pneumatycznych [5, 6, 9]. W pracach tych nie zajmowano się jednak pomiarami czasu transportu ziaren w przewodzie nasiennym, a jedynie równomiernością rozdziału ziarna o doborze parametrów konstrukcyjnych układu pneumatycznego gwarantujących płynny przepływ strumienia ziarna.

Badaniami laboratoryjnymi nierównomierności wysiewu zajmowali się również m.in. Kogut, Lipiński, Markowski, Rawa i in. Uzyskane przez nich rezultaty dotyczące wpływu różnych czynników, w tym przewodów nasiennych na podłużną nierównomierność wysiewu ziarna nie są jednoznaczne. Autorzy ci nie mierzyli bezpośrednio czasu przelotu ziarna przez przewody nasienne [1, 8, 10].

Przewód nasienne może jednak wywierać znaczny wpływ na podłużną nierównomierność wysiewu głównie poprzez zróżnicowanie czasu transportu poszczególnych ziaren o zespołu dozującego do redlicy. W przypadku siewnika punktowego, w którym zespół wysiewający dozuje pojedyncze nasiona w równych odstępach czasu, zróżnicowanie czasu transportu zawsze znacznie pogarsza równomierność rozmieszczenia nasion w rzędach. Wykazano to teoretycznie w pracy [3]. W siewnikach rzędowych, gdzie nasiona są dozowane w odstępach losowych, czynnik ten wywiera mniej istotny wpływ, i też może pogarszać równomierność wysiewu, ale w przypadku pulsacyjnego podawania strugi nasion, może też ją poprawiać. Wykazali to empirycznie Markowski, Rawa, Warych [10].

W związku z losowym charakterem procesu, prędkość ta i wynikający z niej czas transportu ziarna przez przewód nasienne ma również losowy rozkład. Parametry tego rozkładu, tj. wartość średnia, wariancja, a także postać rozkładu zależą od bardzo wielu czynników, takich jak: współczynniki tarcia ziarna o ściany przewodu, kształt trasy przewodu i jej nachylenie do poziomu, kształt i wymiary ziaren, itp.

3. Cel badań i problem badawczy

Zasadniczym celem badań było sprawdzenie poprawności hipotezy, że: mniejszy absolutny rozrzut czasów transportu ziarna w przewodzie pneumatycznym uzyskuje się przy wyższych prędkościach przepływu powietrza. Dodatkowo, sprawdzono też wpływ kilku innych czynników, takich jak: długość przewodu czy jego zakrzywienie.

Praca zawiera wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych dotyczących wpływu takich czynników, jak:

- prędkość powietrza,
- długości przewodu nasiennego,
- zakrzywienie i nachylenie trasy przewodu,

na średnią prędkość transportu ziarna i rozrzut czasów transportu pojedynczego ziarna w pneumatycznym przewodzie nasiennych. Zasadniczym celem badań empirycznych była weryfikacja modelu matematycznego, który pozwala na obliczenie czasu i prędkości transportu ziarna w dowolnie ukształtowanym przewodzie pneumatycznym.

4. Materiał i metody

4.1. Eksperymenty numeryczne

Do badań symulacyjnych wykorzystano program komputerowy o nazwie *rwpn*, napisany przez autorów na potrzeby tej pracy w środowisku Rad Delphi Embarcadero 2010. Program ten oparty jest o tzw. metodę elementów dyskretnych (DEM). Gruntowny opis tej metody można znaleźć w pracach A. Munjiza [2]. Istota tej metody polega na numerycznym całkowaniu układu równań różniczkowych zwyczajnych, opisujących ruch swobodnego układu brył materialnych (najczęściej kul) reprezentujących wysiewane nasiona w przestrzeni kartezjańskiej, na które działają siły wzajemnych kontaktów i kontaktów z powierzchniami ograniczającymi ich ruch (przewody nasienne), oraz siły grawitacyjne, aerodynamiczne i elektrostatyczne. W szczególności, zastosowany do badań procesu transportu model ruchu ziarna opiera się na następujących założeniach.

Dana jest przestrzeń robocza przewodu pneumatycznego ograniczona powierzchnią aproksymowaną siatką trójkątnych elementów płaskich. Siatka ta jest zapamiętana w postaci dwóch tablic: węzłów i elementów. Tablica węzłów jest listą wektorów w przestrzeni 3D reprezentujących współrzędne węzłów siatki w kartezjańskim układzie współrzędnych. W przestrzeń tą wpuszczane zostaje ziarno, na które działają następujące siły zewnętrzne:

- siła kontaktowa powstająca przy kolizji ziaren;
- siła aerodynamiczna proporcjonalna do kwadratu do kwadratu prędkości ziarna względem strumienia powietrza;
- siła grawitacji;
- dodatkowa siła losowa wynikająca z turbulencji strumienia powietrza.

Wszystkie wyżej wymienione siły równoważone są siłą bezwładności:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \sum F_i(x, t),$$

gdzie:

F – siły działające na i -te ziarno,

m – masa ziarna,

x – położenie ziarna,

t – czas.

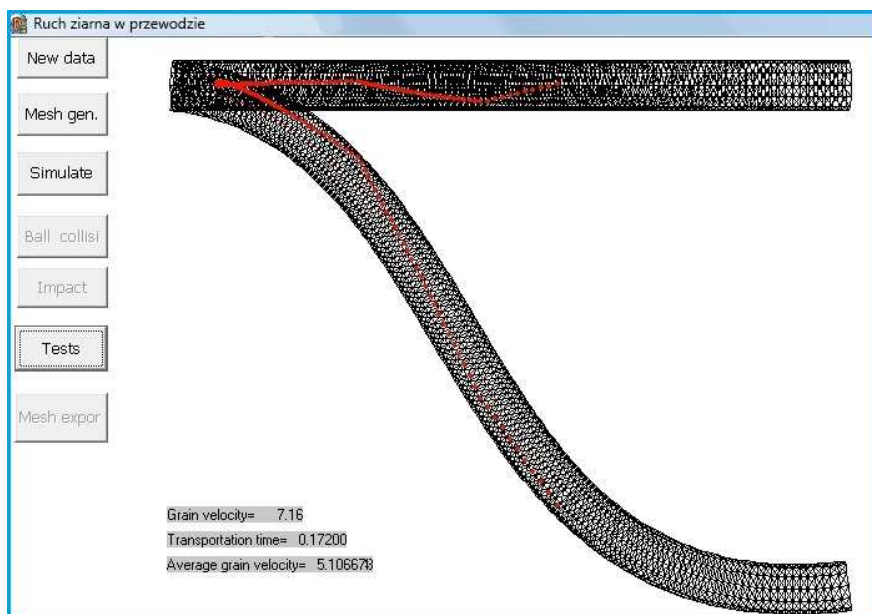
Program symulacyjny *rwpn* zawiera procedurę generacji siatki dowolnie ukształtowanego przewodu nasiennego, w którym porusza się ziarno podane z zespołu dozującego. Na początku badań symulacyjnych wprowadzamy dane dotyczące parametrów przewodu nasiennego w formie krzywej Beziera za pośrednictwem czterech punktów, następnie prędkość powietrza i parametry ziarna (średnicę, gęstość właści-

wą). Widok Interface-u programu z przewodem wygenerowanym za pomocą krzywej Bezierya o długości 1,0 cm oraz wyliczoną trajektorią ruchu ziarna o średnicy od 2 do 3 mm dla prędkości powietrza 25 cm/s ukazano na rys. 1.

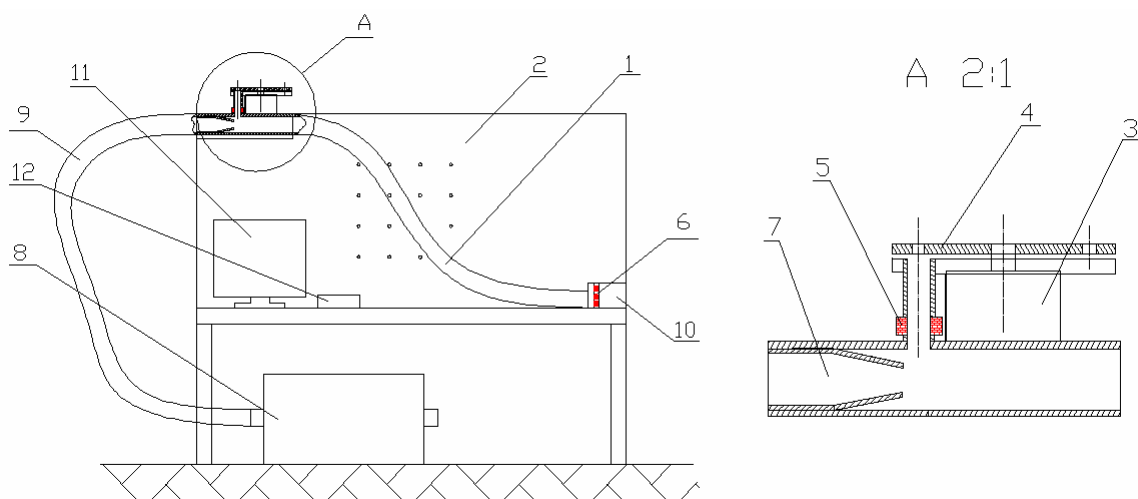
4.2. Badania laboratoryjne

Przeprowadzono je na specjalnie zbudowanym do tego celu stanowisku, którego schemat ukazano na rys. 2. W skład stanowiska wchodzi dmuchawa zasilająca (8) wytwarzająca w przewodzie nasiennym strumień powietrza o prędkości regulowanej w zakresie od 0 do 25m/s, połączona za pośrednictwem przewodu elastycznego (9) z zespołem dozującym (A). W skład zespołu dozującego (A) wchodzi: silnik kro-

kowy (3), tarcza z przelotowymi otworami o osi pionowej, dozująca nasiona (4) mogąca pomieścić 18 ziaren, początkowy czujnik przepływu ziarna (5) oraz eżektor (7). Do zespołu dozującego (A) przymocowany jest wymienny, elastyczny przewód nasienny o zmiennej długości i konfiguracji, na którego końcu znajduje się drugi czujnik przepływu ziarna (6). Ziarna po procesie pomiarowym gromadzone są w specjalnym ażurowym pojemniku zbiorczym (10). Prędkość powietrza w przewodzie była regulowana przez zmianę prędkości obrotowej silnika dmuchawy, na podstawie pomiarów wykonywanych za pomocą anemometru turbinowego Voltcraft BL-30 AN z dokładnością pomiaru 0,2 m/s, ustawionego na wylocie przewodu nasiennego.



Rys. 1. Widok Interface-u programu *ruch ziarna w przewodzie* podczas obliczeń numerycznych
Fig. 1. View interface *ruch ziarna w przewodzie* during the numerical calculations



Rys. 2. Schemat stanowiska laboratoryjnego 1- przewód nasienny, 2- płyta nośna 3- silnik krokowy, 4- płytka dozująca nasiona, 5- początkowy czujnik przepływu ziarna, 6- czujnik przepływu ziarna końcowy, 7- eżektor, 8- dmuchawa, 9- przewód powietrzny, 10- ażurowy pojemnik, 11- komputer, 12- układ elektroniczny
Fig. 2. Scheme of the test bench 1- seed tube, 2- plate bearing 3- stepper motor, 4- seed metering plate, 5- initial grain flow sensor, 6- final grain flow sensor, 7- ejector, 8- blower, 9- air tube, 10- openwork container, 11- computer, 12- electronics

Czas transportu ziarna w przewodzie nasiennym mierzone za pomocą zaprojektowanego i wykonanego do tego celu układu elektronicznego (12). Układ ten oparty na mikrosterownikowi 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 z dokładnością do 1 mikrosekundy 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 nasionami możliwe jest wykonanie kolejno 18 pomiarów.

Badania, ze względu na kształt ziarna zbliżony do kuliste-go, przeprowadzono na ziarnach rzepaku zakupionych w poznańskiej Centrali Nasienniej. Przed rozpoczęciem badań wykonano pomiary ważniejszych parametrów tego materiału, w szczególności masę, rozmiary i wilgotność nasion, które mogłyby mieć wpływ na przebieg wykonywanych pomiarów.

Pomiar masy każdej próbki 10 ziaren wykonano na wadze elektronicznej firmy RADWAG PS 1000/Y. W tym celu odliczono 25 próbek po 10 nasion pobranych losowo i zważono je. Pomiar wilgotności ziarna został przeprowadzony na wago-suszarce RADWAG WPE/WS 30. W tym celu wykonano bezpośrednio przed pomiarem po 3 próbki rozdrobionych w młynku nasion o masie ok 30 g. Cały cykl pomiaru wilgotności tym urządzeniem przebiega automatycznie. Suszenie odbywało się w temperaturze 130°C. Wymiary gabarytowe ziaren zmierzono metodą fotogrametryczną za pomocą programu o nazwie *gabar*, napisanego w środowisku Delhi. Fotografie ziarna wykonano za pomocą kamery cyfrowej, o rozdzielczości 5 megapikseli, w oświetleniu tylnym na specjalnym szklanym stoliku podświetlonym żarówkami halogenowymi. Jako wzorzec długości użyto metalowy krążek o średnicy 11 mm, umieszczony na fotografowanych płytkach z nasionami, który mierzony jako pierwszy, pozwa-

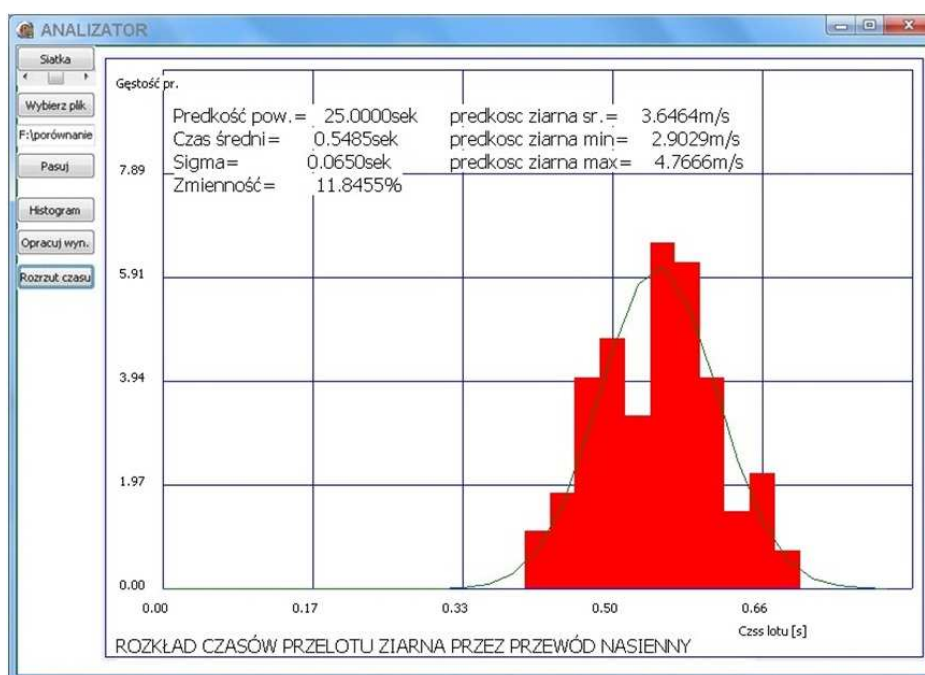
ła to na automatyczne wyskalowanie obrazów nasion według znanego wymiaru tegoż wzorca. Wyniki obliczeń zostają zapisane w pliku dyskowym i podane obróbce statystycznej, polegającej na obliczeniu wartości średniej i średniego odchylenia kwadratowego wymiarów nasion. W wyniku przeprowadzonych pomiarów ustalono następującą charakterystykę ziaren rzepaku:

- średnia masa 10 ziaren - 0,085±0,003 g,
- wilgotność - 6,5%,
- długość ziaren - 2,65±0,3 mm,
- szerokość ziaren - 2,24±0,3 mm.

Każdą próbę zarówno w badaniach symulacyjnych i laboratoryjnych powtarzano 100-krotnie w celu ograniczenia błędów pomiarowych. Jako zmienne niezależne w eksperymentach przyjęto:

- prędkość przepływu powietrza,
- długość i konfigurację przewodu nasiennego.

Prędkość powietrza w przewodzie nasiennym wybrano na podstawie wstępnych doświadczeń i ustalono na poziomie 10, 15, 20, 25 m/s. Natomiast długość przewodu nasiennego wzorowano na dostępnych siewnikach pneumatycznych i ustalono 3 długości (1,0; 1,5; 2,0 m). Do analizy uzyskanych danych, które zostały zapisane w plikach tekstowych użyto programu *ANALIZATOR*, napisanego w Zakładzie Maszyn Roboczych Instytutu Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych w środowisku RAD Delphi Embarcadero 2010, dla potrzeb opracowywania wyników badań doświadczalnych. Program ten przystosowano do badań związanych z tematem tej pracy. Program 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 i zapisywane do plików tekstowych. Przykładowy widok interfejsu programu *ANALIZATOR* podczas statystycznej obróbki danych pomiarowych ukazano na rys. 3.



Rys. 3. Widok Inter-face programu *ANALIZATOR* podczas statystycznej obróbki danych
 Fig. 3. Interface view of the *ANALIZATOR* during the statistical processing of data

5. Wyniki badań

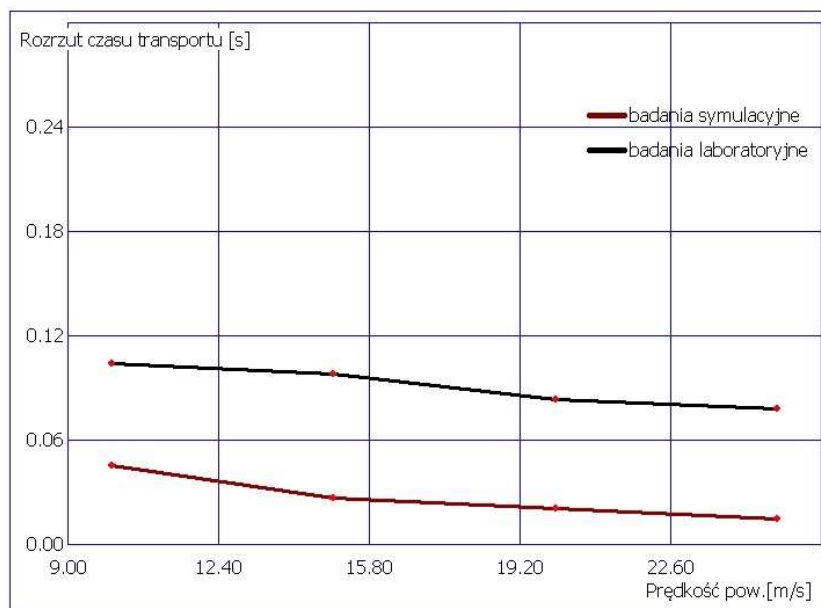
W wyniku realizacji programu zarówno eksperymentów numerycznych jak i laboratoryjnych, uzyskano obszerny zbiór danych, na podstawie których można było łatwo wyznaczyć zależność rozrzutu czasu transportu ziarna od prędkości powietrza transportującego. Miarą rozrzutu jest odchylenie standardowe czasu transportu ziarna rzepaku.

Wyniki pomiarów, uzyskane w toku każdej serii badań symulacyjnych i laboratoryjnych przeprowadzanej przy ustalonych wartościach zmiennych, były poddawane obróbce statystycznej za pomocą programu *ANALIZATOR*.

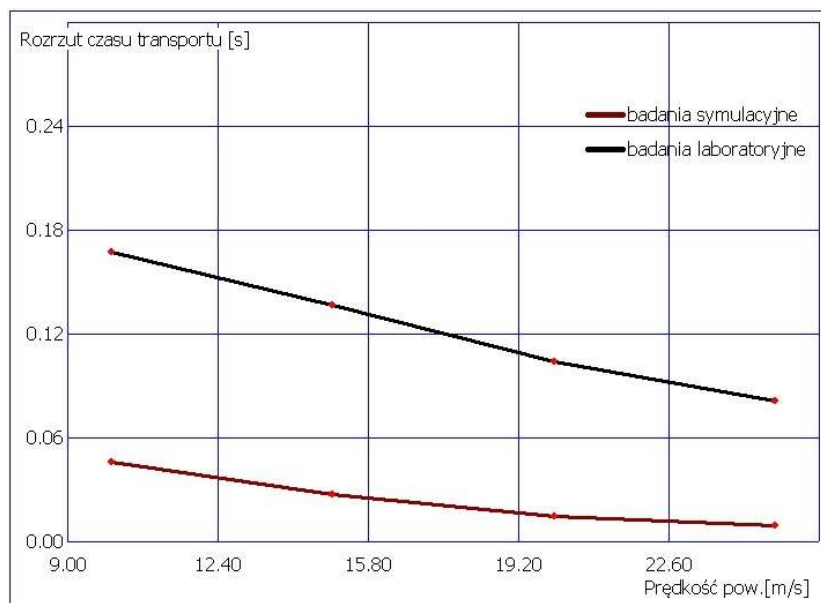
Na rys. 4, 5 i 6 przedstawiono zależność rozrzutu czasu

transportu ziarna rzepaku od prędkości powietrza przy założonych trzech długościach przewodu nasiennego. Z analizy wszystkich poniższych rysunków, zarówno w badaniach symulacyjnych, jak i laboratoryjnych wynika jednoznacznie, że wyższe prędkości przepływu powietrza w przewodzie transportującym przyczyniają się do zmniejszenia rozrzutu czasu transportu ziarna.

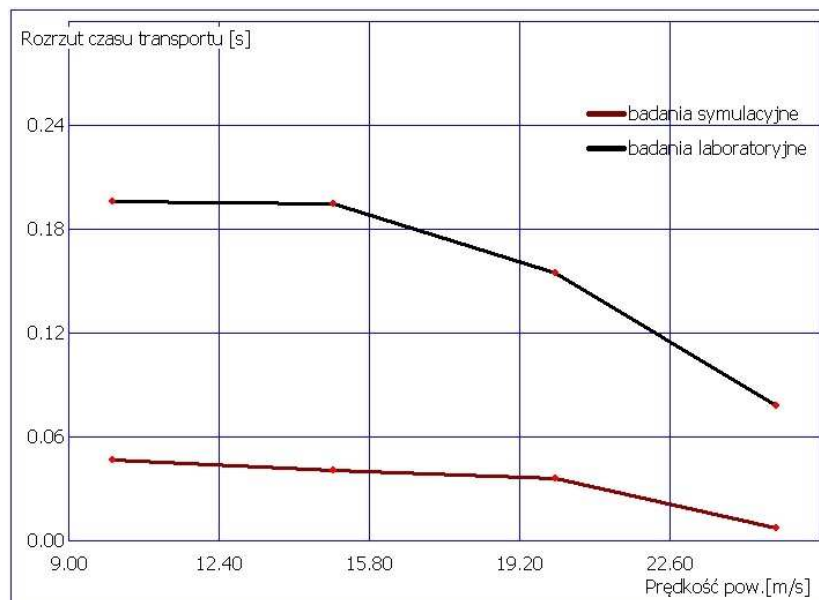
Jakkolwiek badania symulacyjne potwierdziły poprawność założonej hipotezy, to dopiero badania laboratoryjne prowadzone na stanowisku laboratoryjnym odwzorowującym rzeczywiste warunki transportu ziarna w przewodach dały rozstrzygającą odpowiedź w zakresie postawionego problemu badawczego.



Rys. 4. Zależność rozrzutu czasu transportu ziarna rzepaku od prędkości powietrza w przewodzie nasiennym o długości 1,0 m
Fig. 4. The dependence of the rape grain transport scattering time on air velocity for a seed tube of length 1,0 m



Rys. 5. Zależność rozrzutu czasu transportu ziarna rzepaku od prędkości powietrza w przewodzie nasiennym o długości 1,5 m
Fig. 5. The dependence of the rape grain transport scattering time on air velocity for a seed tube of length 1,5 m



Rys. 6. Zależność rozrzutu czasu transportu ziarna rzepaku od prędkości powietrza w przewodzie nasiennym o długości 2,0 m
 Fig. 6. The dependence of the rape grain transport scattering time on air velocity for a seed tube of length 2,0 m

6. Wnioski

Przeprowadzone badania symulacyjne i empiryczne pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Potwierdzono empirycznie hipotezę, że wraz ze zwiększeniem prędkości powietrza w przewodzie nasiennym rozrzut czasów transportu ziaren maleje.
2. Większy w stosunku do obliczonego rozrzut czasu transportu ziarna zaobserwowany w badaniach laboratoryjnych, może być spowodowany nie idealnie kulistym kształtem ziaren rzepaku, nierównościami przewodu i większym wpływem różnych innych czynników losowych wpływających na prędkość ruchu ziarna.
3. W pneumatycznych siewnikach precyzyjnych, w których nasiona są podawane do redlic przez przewody nasienne, należy, celem podwyższenia równomierności siewu, stosować wysokie prędkości powietrza w przewodach nasiennych. Jest to szczególnie istotne w przypadku, gdy przewody te są dłuższe.
4. Opracowany model matematyczny transportu materiału ziarnistego zapewnia stosunkowo dobrą zgodność wyników symulacji z danymi empirycznymi w zakresie predykcji czasu transportu ziarna przez przewód nasienny i może zostać wykorzystany do dalszych prac nad rozwojem czy to nowoczesnych maszyn precyzyjnych czy to przenośników pneumatycznych.
5. Należy dalej doskonalić wymieniony model, aby uzyskać lepszą zgodność w zakresie obliczania rozrzutu czasu transportu, determinującego podłużną równomierność wysiewu.

7. Bibliografia

- [1] Kogut Z.: Wskaźniki jakości wysiewu w ocenie pracy siewników rzędowych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 1998, nr 3: p. 29-41.
- [2] Munjiza A.: A combined discrete finite element method. Wiley & Sons, 2004.
- [3] Kęska W., Gierz Ł.: Mathematical Modeling and Komputer Simulation of Sowing. Proceedings of the 69. International Conference on Agricultural Engineering LandTECHNIK AgEng, 2011.
- [4] Kęska W., Kośmicki Z., Michalak D.: Przegląd konstrukcji siewników zbożowych z pneumatycznym rozdziałem i transportem ziarna, PIMR, Poznań, 1991.
- [5] Kęska W., Kośmicki Z.: Problem optymalizacji konstrukcji układu pneumatycznego siewników rzędowych. PIMR, Poznań, 1994.
- [6] Kęska W.: Badanie i optymalizacja układu pneumatycznego siewników zbożowych mechaniczno-pneumatycznych, PIMR, Poznań, 1993.
- [7] Kumar V. J., Divaker C., Durairaj C.: Influence of Head Geometry on the Distributive Performance of Airassisted Seed Drills. J. agric. Engng Res., 2000, v. 75, p. 81-95.
- [8] Lipiński A.: Ocena równomierności podłużnej rzędowego siewu nasion pszenicy. Inżynieria Rolnicza, 2004, nr 4 (59), tom II: p.61-67.
- [9] Maciaszek H., Piechocki K.: Badanie i optymalizacja układu pneumatycznego siewników zbożowych mechaniczno-pneumatycznych, PIMR, Poznań, 1993.
- [10] Markowski P., Rawa T., Warych G.: Próba określenia wpływu przewodu nasiennego i redlicy siewnika na równomierność wysiewu nasion pszenicy. Inżynieria Rolnicza, 2007, 7(95), s. 137-143.
- [11] Soucek R., Pippig G.: Maschinen und Gerate für Bodenbearbeitung, Düngung und Aussaat. p.305, Verlag Technik Berlin, 1990.