

## LABORATORY TESTS OF GRAIN FLOW SENSORS FOR SEED DRILL

### Summary

*The article presents results of seeds counting repeatability laboratory tests, prototype optical sensors design, constructed by the Poznan University of Technology. The laboratory tests were carried out for two frequency values of sowing seeds. Data obtained from measurement with the use of the grain flow sensors can be used for further optimization of the sensor design and in determining of the empirical correction factors.*

## BADANIA LABORATORYJNE CZUJNIKÓW PRZEPŁYWU ZIARNA DLA SIEWNIKA ZBOŻOWEGO

### Streszczenie

*W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych powtarzalności zliczania nasion przez zaprojektowane i wykonane w Politechnice Poznańskiej prototypowe czujniki optyczne, przeznaczone do zastosowania w układzie kontroli pneumatycznego siewnika zbożowego. Badania przeprowadzono dla dwóch wartości częstotliwości wysiewu ziaren. Dane uzyskane z pomiarów będą wykorzystane do dalszej optymalizacji konstrukcji czujnika oraz do wyznaczenia empirycznych współczynników korekcyjnych.*

### 1. Wprowadzenie

Obecnie, jednym z głównych kierunków rozwoju techniki rolniczej jest realizacja postulatów tzw. rolnictwa precyzyjnego (PA) [1, 2, 3]. System rolnictwa precyzyjnego zakłada indywidualne traktowanie każdego miejsca pola w zależności od rozkładu zmiennych właściwości gleby i lokalnych wymagań roślin. Realizacja postulatów rolnictwa precyzyjnego pozwala na lepsze wykorzystanie środków produkcji, zmniejszenie nakładów finansowych na zakup nawozów, środków ochrony roślin a także nasion. Konsekwencją tych oszczędności jest zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska naturalnego przez sektor rolniczy. Rolnictwo precyzyjne w pierwszym rzędzie polega na stosowaniu zmiennych dawek (VR) nawozów i pestycydów, dostosowanych do potrzeb roślin w danym miejscu pola. Istnieje także potrzeba różnicowania obsady nasion podczas siewu - w zależności od warunków glebowych. Wymaga to jednak stosowania specjalnych siewników o konstrukcji przystosowanej do dynamicznej zmiany normy wysiewu. Dawka wysiewu zmieniana jest automatycznie podczas jazdy siewnika na podstawie informacji o położeniu maszyny, uzyskiwanych z systemu nawigacji satelitarnej oraz map aplikacyjnych wysiewu, sporządzonych na podstawie danych o rozkładzie plonowania i właściwości fizykochemicznych gleby w poszczególnych punktach pola. Bezstopniowa zmiana dawki wysiewu możliwa jest dzięki zastosowaniu w nowoczesnych siewnikach hydraulicznych i elektrycznych napędów aparatów wysiewających, które można łatwo kontrolować za pomocą układów elektronicznych.

Zautomatyzowane sterowanie odbywa się na podstawie porównania danych wejściowych, które określają właściwe wartości danego parametru z wartościami rzeczywistymi, dlatego też jednym z głównych elementów każdego systemu automatycznego sterowania są urządzenia kontrolne i pomiarowe. Wynika stąd konieczność stosowania w maszynach przeznaczonych do pracy w systemie rolnictwa precyzyjnego różnego rodzaju odpowiednio dobranych

czujników i przetworników pomiarowych, umożliwiających uzyskanie informacji o wybranych parametrach ich pracy, niezbędnych w procesie samoczynnej regulacji. Jednym z najważniejszych pomiarów, jaki powinien być prowadzony w czasie siewu, jest pomiar liczby wysiewanych nasion - czyli uzyskiwanej w konsekwencji obsady nasion na 1 m kw. Pomiar taki, realizowany za pomocą czujników fotoelektrycznych, jest często stosowany w siewnikach punktowych. W siewnikach rzędowych zliczanie wysianych nasion jest o wiele trudniejsze i w praktyce stosuje się jak dotąd jedynie detektory wykrywające przerwanie wysiewu, nie dające jednak pełnej informacji o liczbie wysianych nasion. Jakkolwiek w literaturze patentowej [4, 5] można spotkać opisy konstrukcji czujników do zliczania wysianych nasion, to jednak w literaturze naukowej nie znaleziono żadnych informacji na temat badań tych czujników zarówno w siewnikach punktowych, jak i rzędowych. Jedyny oferowany na rynku sprzętu rolniczego czujnik fotoelektryczny, który mógłby nadawać się do zastosowania w siewnikach rzędowych, amerykańskiej firmy Dickey John [4] ma dość skomplikowaną konstrukcję, co wiąże się z wysoką jego ceną, czyniącą nieopłacalne jego stosowanie w tych siewnikach. W czujniku zastosowano paskowe fotoogniwo, obejmujące swą długością całą szerokość przewodu nasiennego, które w przypadku zasłonięcia przez przelatujące ziarno generuje zmienne napięcie. Ze zbroczy tego przebiegu napięciowego wyodrębniane są impulsy zliczane następnie przez liczniki elektroniczne. Nie są znane żadne wyniki badań tego czujnika.

### 2. Cel badań i problemy badawcze

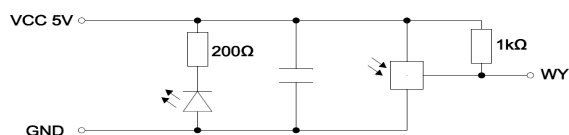
W ramach niniejszych badań opracowano koncepcję zliczania wysianych nasion za pomocą niskokosztowego czujnika optycznego o małej powierzchni fotoczułej, który w momencie zasłonięcia go przez przelatujące ziarno, od razu daje na swym wyjściu impuls binarny. Podstawowy problem przy stosowaniu tej metody polega na tym,

że czujnik taki dostrzega tylko te nasiona, które przecinają wąski promień światła, wpadający do czujnika z usytuowanego naprzeciw niego źródła. Większość ziaren przelatuje przez przewód nasienny, nie przecinając tego promienia i pozostaje nie zauważona. Pomimo tej wady zliczanie nasion może odbywać się metodami statystycznymi, o ile spełniony jest warunek, że częstości pojawiania się nasion w polu widzenia czujnika jest proporcjonalna do natężenia strumienia nasion. Teoretycznie jest to możliwe, ale pod warunkiem, że nasiona są rozproszone w świetle przewodu nasiennego równomiernie. Jednak, na skutek występowania na elastycznych przewodach nasiennych różnie skierowanych łuków, a także działania sił grawitacji, może dochodzić do koncentracji strumienia ziaren na zewnętrznych krzywiznach tych łuków, co powoduje, że założenie takie może nie być spełnione. W związku z tym w niniejszej pracy zaproponowano, by czujnik fotoelektryczny umieścić w dokładnie zdefiniowanym łuku przewodu nasiennego, którego poprzedzający odcinek jest sztywny, co ma zagwarantować taki przepływ nasion, by strumień ziarna koncentrował się zawsze w miejscu umieszczenia czujnika. Powinno to poprawić stopień zauważalności ziaren przez czujnik i zapewnić powtarzalność warunków pomiaru. Celem niniejszych badań było zweryfikowanie hipotezy, że czujnik ziaren zbudowany według powyższych założeń pozwoli na zliczanie reprezentatywnej próbki nasion w specjalnie ukształtowanym przewodzie nasiennym, zapewniając powtarzalność wyników pomiaru w granicach 5%. Ponadto, badania powinny dostarczyć materiału empirycznego do weryfikacji wcześniej opracowanych modeli komputerowych ruchu ziarna w przewodach nasiennych siewnika.

### 3. Przedmiot badań

Przedmiotem badań był czujnik przeznaczony do zliczania nasion przelatujących przez przewód nasienny siewnika zbożowego. Czujnik działający na zasadzie fotoelektrycznej składa się ze źródła światła emitującego promieniowanie podczerwone w paśmie 800 nm (IR LED) i przełącznika fotoelektrycznego S4810 firmy Hamamatsu [6], wykrywającego przerwanie wąskiej wiązki światła przez przelatujące w przewodzie nasiennym ziarna.

Obudowa czujnika w kształcie podkowy, jest wykonana metodą Rapid Prototyping z tworzywa ABS. Wiązka promieniowania podczerwonego emitowanego przez diodę LED pada na element światłoczuły. Szerokość pola aktywnego tego czujnika a tym samym szerokość odbieranej wiązki światła wynosi ok. 0,5 mm. Schemat połączeń układu elektronicznego czujnika przedstawiono na rys. 1, wygląd jego obudowy ukazano na rys. 2.

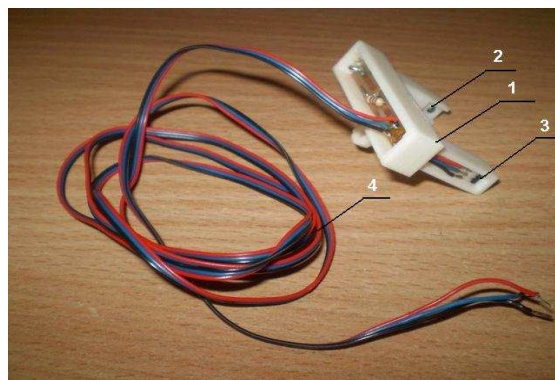


Rys. 1. Schemat układu elektronicznego czujnika fotoelektrycznego

*Fig. 1. Scheme of electronic photoelectric sensor*

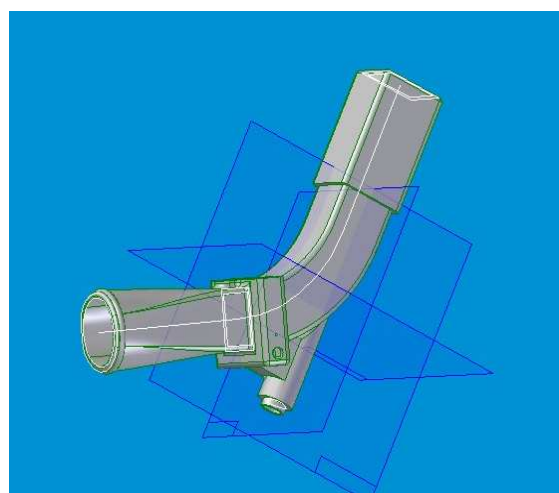
Wtyczkę czujnika zamontowano w łuku specjalnego kanału (kolano pomiarowe) o przekroju prostokątnym, do którego ziarna są doprowadzane prostym pionowym przewodem wprost z głowicy rozdzielczej siewnika pneuma-

tycznego. Promień kontrolny przechodzi zawsze w odległości 2 mm od dolnej ścianki tego kanału. Na rys. 3 przedstawiono model 3D tego kolana, na podstawie którego zostało wykonane na precyzyjnej drukarce 3D w Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych. Czujnik jest montowany w specjalnych kieszeniach na obu bokach kolana.



Rys. 2. Wygląd wtyczki z czujnikiem fotoelektrycznym: 1 – obudowa czujnika, 2 – dioda LED, 3 – element światłoczuły, 4 – przewody

*Fig. 2. Outside view of the photoelectric sensor: 1 - sensor housing, 2 - LED, 3 - photosensitive element, 4 - wires*



Rys. 3. Model kolana pomiarowego

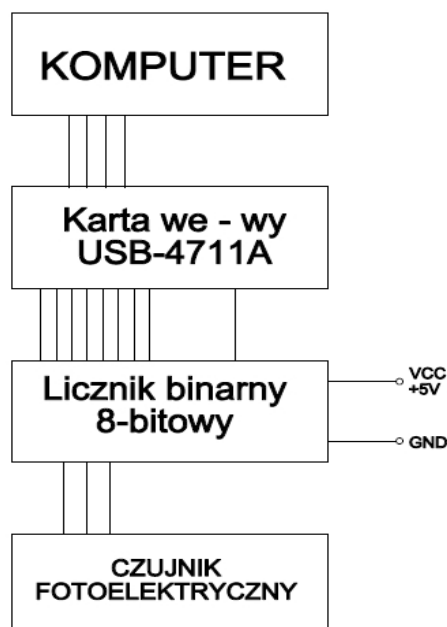
*Fig. 3. Model for measuring elbow*

### 4. Metodyka badań

Badania przeprowadzono na specjalnie zestawionym stanowisku laboratoryjnym, które składało się z następujących elementów:

- podajnik wibracyjny dozujący strumień ziaren,
- badany czujnik fotoelektryczny,
- ośmiobitowy licznik binarny, odbierający i zliczający impulsy wychodzące z czujnika fotoelektrycznego,
- uniwersalna karta wejść-wyjść typu USB-4718 firmy Advantech [7], służąca do wprowadzania do komputera za pomocą przewodu USB danych pobieranych z licznika binarnego zliczającego przekraczające barierę optyczną ziarna,
- komputer przenośny HP MINI 2133 z zainstalowanym oprogramowaniem pomiarowym.

Schemat podłączenia czujnika do komputera przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Schemat podłączenia czujnika do komputera  
Fig. 4. Connection diagram of the sensor to the computer

Na komputerze zainstalowany był program pomiarowy o nazwie *Licznik\_ziarna* napisany w środowisku Delphi 2010, specjalnie na potrzeby tej pracy. Program ten okresowo odczytuje stan licznika binarnego przez ośmiobitowy równoległy port cyfrowy i zapisuje jego stan w pamięci komputera. Przepelnienie licznika ośmiobitowego jest wykrywane software'owo, gdy jego zawartość ulegnie zmniejszeniu, gdyż licznik ten po przepelnieniu rozpoczyna ponowne zliczanie od zera. Liczba przepelnień jest zliczana w pamięci komputera, dzięki czemu zliczanie może odbywać się praktycznie do dowolnie dużej wartości, limitowanej jedynie zakresem długich liczb całkowitych.

W oknach dialogowych programu są wyświetlane informacje o czasie trwania procesu zliczania nasion, stanie licznika ziaren oraz liczbie ziaren wykrywanych w ciągu sekundy.

Wyniki zliczania są przedstawiane na bieżąco na wykresach w funkcji czasu oraz zapisywane do pliku tekstowego.

Badanie polegało na wyznaczeniu liczby wykrytych ziaren w stosunku do liczby ziaren wysianych. Wielokrotne powtarzanie prób zliczania pozwalało określić rozrzut statystyczny wyników zliczania, a przez to względny błąd oszacowania liczby wysianych nasion oraz wpływu wielkości próbki i średniej liczby ziaren wysiewanych w ciągu sekundy na rozrzut wyniku zliczania i stopień dostrzegalności ziaren.

## 5. Charakterystyka materiału badawczego

Do badań wykorzystywano ziarno pszenicy zakupione w poznańskiej Centrali Nasiennej. Przed badaniami wykonano pomiary ważniejszych parametrów tego materiału, które mogły mieć wpływ na przebieg pomiarów, a w szczególności rozmiary nasion i ich wilgotność.

Pomiar masy 1000 ziaren wykonany został na wadze elektronicznej firmy RADWAG PS 1000/Y, ważącej z dokładnością do 0,01 g. W tym celu odliczono 10 próbek po 100 nasion pobranych losowo i obliczono średnią masę 100 ziaren.

Odważanie odpowiedniej masy ziaren przygotowywanych do wysiewu podczas pomiarów wykonywane było na tym samym urządzeniu.

Pomiar wilgotności ziarna używanego podczas pomiaru został przeprowadzony na wago-suszarce RADWAG WPE/WS 30. W tym celu wykonano bezpośrednio przed pomiarem po 3 próbki rozdrobnionych w młynku nasion. Cały cykl pomiaru wilgotności tym urządzeniem przebiega automatycznie. Suszenie odbywało się w temperaturze 130 C.

Wymiary gabarytowe ziaren zmierzono metodą fotograficzną. Określenie wymiarów ziaren przeprowadzone zostało za pomocą własnego programu o nazwie *gabar*, napisanego także w środowisku Delphi. Zdjęcia ziarna wykonano za pomocą kamery cyfrowej o rozdzielczości 5 megapikseli, w oświetleniu tylnym na specjalnym szklanym stoliku, podświetlonym żarówkami halogenowymi. Jako wzorzec długości użyto krążek o średnicy 11 mm, umieszczony na fotografowanych płytkach z nasionami.

Program *gabar* wykonuje automatycznie binaryzację obrazu na podstawie przyjętego progu jasności obiektów, a następnie wyodrębnia kontury obrazów wszystkich znajdujących się w kadrze nasion, obliczając ich charakterystyki geometryczne, takie jak pole powierzchni, wymiary gabarytowe (długość, szerokość, grubość) momenty bezwładności oraz położenie środka ciężkości. Jako pierwszy mierzony obiekt jest zawsze wskazywany obraz monety, co pozwala na automatyczne wyskalowanie obrazów nasion według znanego wymiaru monety. Wyniki obliczeń są umieszczane 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 materiału:

- masa 1000 ziaren: 42 g,
- wilgotność: 6,2%,
- długość ziaren; 6,13 x 0,5 mm,
- szerokość ziaren 3,48 x 0,38 mm.

## 6. Wyniki badań

Przed przystąpieniem do każdej serii badań, na podstawie ustalonej wartości częstotliwości spadania ziaren do zakrzywionego kanału siewnika, odważano próbkę ziarna potrzebną do badań. Faktyczną liczbę nasion w próbce określano statystycznie na podstawie pomiaru masy 1000 nasion.

Wyniki pomiarów, uzyskane w toku każdej serii badań przeprowadzanej przy ustalonych wartościach zmiennych, były następnie poddawane obróbce statystycznej. Obliczono wartość średnią i odchylenie standardowe liczby zauważonych ziaren w serii 10 powtórzeń. Na ich podstawie obliczano tzw. wskaźnik zauważalności ziaren zdefiniowany jako stosunek średniej liczby zauważonych ziaren  $X$  do liczby wysianych ziaren  $Z$ :

$$P_n = \frac{\bar{X}_n}{Z} \cdot 100\% .$$

Za wskaźnik rozrzutu wyników pomiaru przyjęto współczynnik zmienności wyrażony stosunkiem średniego odchylenia kwadratowego liczby zauważonych ziaren  $S$  do średniej wartości liczby zauważonych ziaren  $X$ :

$$N = \frac{S}{\bar{X}_n} \cdot 100\% .$$

W tab. 1 zostały przedstawione liczby zauważonych ziaren z próbki 2500 ziaren poszczególne 6 czujników w 10 próbach zliczania dla częstotliwości wysiewu 5 ziaren na sekundę. W tab. 2 przedstawiono wyniki zliczania tej samej próbki nasion dla częstotliwości 10 ziaren na sekundę.

Na podstawie uzyskanych wyników dla próby 2500 ziaren pszenicy można stwierdzić, iż zwiększenie częstotliwości wysiewania nasion (gęstości siewu) nieznacznie wpływa na procent zauważonych przez czujnik ziaren.

Rozrzuty wyników zliczania dla wszystkich badanych liczników, mierzone stosunkiem odchylenia standardowego do wartości średniej, mieszczą się w granicach 2,5%. Przy

zwiększonej częstotliwości wysiewania spadła średnia ilość zauważanych ziaren, a wzrósł rozrzut wyników pomiarów wykonywanych różnymi czujnikami.

Uzyskane wyniki dla próby 115 g ziarna pszenicy świadczą o znaczącym wpływie częstotliwości wysiewu ziarna na wynik pomiaru. Większy procent zauważonych przez czujnik ziaren w przypadku mniejszej częstotliwości wysiewu spowodowany jest przez powstanie większych odstępów pomiędzy transportowanymi w przewodach ziarnami i małą liczbą przypadków wzajemnego zasłaniania się ziaren w momencie przechodzenia przez barierę optyczną generowaną przez czujnik pomiarowy.

Tab. 1. Wyniki zliczania ziaren dla próby 2500 ziaren - częstotliwość wysiewu 5 ziaren/s

Table 1. Particle counting results for the sample of 2500 grains - the frequency of seeding of 5 grains/s

Nr próby	czujnik1	czujnik 2	czujnik 3	czujnik 4	czujnik 5	czujnik 6
1	1849	1835	1820	1845	1752	1819
2	1839	1823	1788	1750	1769	1782
3	1830	1811	1756	1769	1753	1763
4	1815	1799	1785	1757	1754	1785
5	1822	1803	1786	1733	1721	1789
6	1805	1805	1777	1754	1763	1776
7	1913	1902	1754	1861	1848	1752
8	1863	1841	1774	1740	1835	1765
9	1845	1828	1742	1794	1796	1731
10	1826	1789	1741	1729	1789	1769
średnia	1840,7	1823,6	1772,3	1773,2	1778	1773,1
maks.	1913	1902	1820	1861	1848	1819
min	1805	1789	1741	1729	1721	1731
Odchylenie standardowe	30,605192	32,1979986	24,4815123	46,134586	39,4771383	23,54876737
Zmienność [%]	1,66269311	1,76562835	1,38134132	2,60177	2,22031149	1,328112761
Procent zauważonych ziaren [%]	73,628	72,944	70,892	70,928	71,12	70,924

Tab. 2. Wyniki zliczania ziaren dla próby 2500 ziaren - częstotliwość wysiewu 10 ziaren/s

Table 2. Particle counting results for the sample of 2500 grains - the frequency of seeding of 10 grains/s

Nr próby	czujnik 1	czujnik 2	czujnik 3	czujnik 4	czujnik 5	czujnik 6
1	1768	1659	1622	1645	1769	1728
2	1688	1680	1588	1624	1701	1694
3	1687	1695	1667	1652	1695	1678
4	1684	1678	1702	1588	1685	1715
5	1729	1709	1648	1620	1731	1695
6	1698	1737	1643	1638	1696	1735
7	1732	1760	1719	1626	1732	1641
8	1735	1721	1685	1668	1740	1695
9	1713	1685	1598	1674	1715	1668
10	1687	1744	1705	1659	1690	1698
średnia	1712,1	1706,8	1657,7	1639,4	1715,4	1694,7
maks.	1768	1760	1719	1674	1769	1735
min	1684	1659	1588	1588	1685	1641
Odchylenie standardowe	28,207367	32,9639534	45,6996231	25,87663	27,0111088	27,95253914
Zmienność [%]	1,64753035	1,93133076	2,75680902	1,5784208	1,57462451	1,649409284
Procent zauważonych ziaren [%]	68,484	68,272	66,308	65,576	68,616	67,788

## 7. Wnioski

1. Potwierdzono empirycznie, że umieszczenie jednopunktowej bariery optycznej przy zewnętrznej ścianie łuku zakrzywionego kanału nasiennego zwiększa dostrzeżalność ziaren przez tę barierę do poziomu ok. 73%.
2. Jednopunktowy pomiar nie pozwala na dostrzeżenie i zliczenie wszystkich wysianych nasion.
3. Niewielki zaobserwowany rozrzut wyników zliczania ziaren pozwala postawić hipotezę, że dostatecznie dokładne określenie chwilowej liczby wysiewanych przez siewnik nasion badaną metodą jest możliwe po zastosowaniu empirycznie wyznaczonych współczynników poprawkowych. Współczynniki takie mogą być wyznaczone w czasie eksploatacji siewnika, na podstawie równoczesnej kontroli masy zbiornika nasion (system samoregulujący się).

## 8. Literatura

- [1] Kęska W.: O istocie, perspektywach i potrzebach badawczych rolnictwa precyzyjnego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2002, Vol. 47(2), s. 4-7.
- [2] Mielec K., Kobylarz J.: Rolnictwo precyzyjne najnowszą techniką mechanizacji polowej produkcji roślinnej. *Prace PIMR*, 1998, nr 3.
- [3] Zbytek Z.: Rolnictwo precyzyjne w Polsce. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2002, Vol. 47(2), s. 42-46.
- [4] United States Patent 4.555.624. 1983 r.
- [5] United States Patent 8.441.247. 1995 r.
- [6] Strona internetowa [www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com).
- [7] Strona internetowa [www.advantech.com](http://www.advantech.com).

*Praca zrealizowana w ramach projektu rozwojowego numer: N R03 0021 06*