

METODYCZNE ASPEKTY OCENY RZETELNOŚCI WYNIKÓW BADAŃ
NA PRZYKŁADZIE POMIARÓW CECH GEOMETRYCZNYCH
NASION FASOLI

Stanisław Konopka, Piotr Markowski

Katedra Maszyn Roboczych i Metodologii Badań, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. M. Oczapowskiego 11, 10-957 Olsztyn
e-mail: stanislaw.konopka@uwm.edu.pl

Streszczenie. Przedstawiono przykładowe podejście do oceny rzetelności wyników badań, przy wykorzystaniu statystycznych metod obliczeniowych. Procedurę oceny rzetelności wyników pomiarów wykonano modelowo dla cech geometrycznych nasion fasoli mierzonych, przy wykorzystaniu różnych przyrządów pomiarowych (suwmiarek: analogowej i cyfrowej oraz mikroskopu warsztatowego). Stwierdzono, że z praktycznego punktu widzenia (rozdzielanie składników mieszanin nasiennych) wyniki pomiarów cech geometrycznych nasion wykonywane za pomocą suwmiarek (z właściwą dokładnością odczytu) charakteryzują się wystarczającą rzetelnością.

Słowa kluczowe: rzetelność wyników badań, nasiona fasoli, różne przyrządy pomiarowe

WSTĘP

Jedną z istotniejszych kwestii związanych z planowaniem i realizacją procesów zbioru nasion oraz dalszych procesów pozbiorowych i przetwórczych jest monitorowanie ich właściwości fizycznych, głównie cech geometrycznych. Dane te są wykorzystywane do regulacji parametrów roboczych maszyn i urządzeń służących do: zbioru (omłotu), czyszczenia, sortowania, frakcjonowania, obłuskiwania, czy też rozdrabniania tych surowców. Do pomiarów geometrii nasion, zależnie od celów aplikacyjnych, badacze stosują różne metody i przyrządy. Są to głównie: suwmiarki, mikrometry, mikroskopy oraz zestawy aparaturowe do komputerowej analizy obrazu (Anders 2007, Frączek i Wróbel 2006, Jadwisieńczyk i Kaliniewicz 2011, Kram i in. 2007, Tylek 2012).

Do podstawowych kryteriów oceny jakości wyników tego rodzaju pomiarów zalicza się: trafność (validity) oraz rzetelność (reliability).

Pojęcie trafności nie ma jednoznacznej definicji. Może ono dotyczyć np.: metody, stosowanych procedur obliczeniowych, poprawności stawianych hipotez, czy też wręcz badań jako całości. W odniesieniu do pomiarów, trafność identyfikowana jest ze stopieniem zgodności, z jakim przyrząd pomiarowy lub ocena (ilościowa) są przystosowane do mierzenia właściwych cech. Tak więc, pojęcie to jest utożsamiane z odpowiedzią na pytanie: czy udało się zmierzyć to, co było planowane? (Stanisz 2007, Hornowska 2001).

Podobna sytuacja występuje w przypadku definicji rzetelności. Termin rzetelności, w ograniczeniu jego znaczenia do pomiarów, jest synonimem zwrotu „godny zaufania” i wiąże się ze: „zgodnością”, „niesprzecznością” oraz „powtarzalnością”. Jest to pojęcie, które określa taki sam wynik pomiaru, przy założeniu, że to co mierzymy, nie zmienia się (Stanisz 2007, Silverman 2009).

Rzetelność i trafność to dwie powiązane cechy. Wielokrotnie ilustrowany w literaturze przykład dotyczący tego zagadnienia – „strzał do tarczy z pomiarowym punktem będącym jej środkiem” – świadczy o możliwości występowania różnych powiązań wymienionych cech w trakcie wykonywania pomiarów. Należy jednak zauważyć, że znacznie większą uwagę poświęca się zagadnieniu rzetelności pomiarów (badań). Autorzy licznych prac z tego zakresu podkreślają rangę tego pojęcia, odnosząc się generalnie do: dokładności, precyzyjności i poprawności wykonywanych zadań. Podkreślają również fakt, że samo dysponowanie „dobrymi metodami” (dotyczy to głównie statystycznych metod obliczeniowych), w praktyce nie pozwala na dokładne policzenie „rzetelności”, a jedynie na jej oszacowanie (Borzykowski i Domańska 2004, Hornowska 2001, Polska Norma 5725-1, 2002, Taylor 2002).

Celem pracy jest przedstawienie modelowego podejścia do oceny rzetelności pomiarów wielkości geometrycznych za pomocą trzech urządzeń pomiarowych w oparciu o statystyczne metody obliczeniowe.

METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy stanowiły nasiona fasoli wielokwiatowej (*Phaseolus coccineus* L.) odmiany „Piękny Jaś” o bardzo dużych białych nasionach, która jest zaliczana do najczęściej uprawianych w Polsce (Podbielkowski 1989). Partię nasion do badań pozyskano od firmy handlowej „Kupiec” Sp. z o.o. Była ona oznaczona numerem C005 PL i przeznaczona do sprzedaży detalicznej.

Do pomiaru podstawowych cech geometrycznych nasion, tj.: długości (wymiar największy), szerokości (wymiar pośredni) i grubości (wymiar najmniejszy) stosowano: dwie suwmiarki (analogową i cyfrową) oraz mikroskop warsztatowy typu MWM 2325 wyposażony w głowicę goniometryczną. Suwmiarka analogowa (firmy JOBI®) charakteryzowała się dokładnością odczytu wyników pomiarów wynoszącą 0,02 mm, natomiast suwmiarka cyfrowa (firmy PROFIX Sp. z o.o.)

i mikroskop warsztatowy – dokładnością odczytu do 0,01 mm. Pomiary cech nasion wykonywano w trzech wzajemnie prostopadłych płaszczyznach. Technika pomiarów za pomocą wymienionych suwmiarek jest inżynierom ogólnie znana. Natomiast w przypadku mikroskopu warsztatowego nasiona przyklejano za pomocą dwustronnej taśmy klejącej do przezroczystej płytki montowanej w kłach przyrządu. Pomiary wymiarów w dwóch wzajemnie prostopadłych płaszczyznach (długości i szerokości) wykonywano bezpośrednio, poprzez ustawienie linii podziałowej obiektywu na zarys krawędzi obrazu nasiona i określeniu różnic między wskazaniem (początkowym i końcowym) na pokrętkach śrub mikrometrycznych. Pomiar trzeciego wymiaru (grubości) dokonywano po obróceniu płytki wraz z przyklejonym nasionem o kąt 90° (Konopka 1999, Paczyński 2003).

Do badań wybrano losowo 300 nasion, które ponumerowano markerem kolejnymi liczbami. Nasiona te wykorzystano jako próbkę badawczą. Dla każdego z nasion określano ten sam wymiar, za pomocą wymienionych przyrządów pomiarowych. W ten sposób uzyskano zbiór wyników składający się z wartości poszczególnych cech geometrycznych wyznaczonych różnymi przyrządami (pomiar niezależne).

METODY OPRACOWANIA WYNIKÓW BADAŃ

Wyniki badań opracowano statystycznie, stosując następujące procedury:

1. Wyznaczenie podstawowych miar położenia i rozproszenia wyników pomiarów poszczególnych cech danymi przyrządami pomiarowymi;
2. Sprawdzenie, czy liczebność próbki przyjętej do pomiarów jest wystarczająca. Do obliczeń stosowano następującą zależność (Greń 1984):

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{t_{\alpha}^2 \cdot s^2}{n_o}} \quad (1)$$

gdzie:

d_{\max} – maksymalny błąd szacunku wartości poszczególnych cech,

t_{α} – wartość odczytana z rozkładu t-Studenta dla współczynnika ufności $1-\alpha = 0,95$ oraz $k = n_o - 1$ stopni swobody,

n_o – liczebność próby wstępnej ($n_o = 300$),

s^2 – wariancja oszacowana dla próby wstępnej.

W przypadku, gdy zachodziła relacja (2):

$$d_{\max} < d \quad (2)$$

przy czym (d) oznacza założony błąd pomiaru danej cechy ($d = 0,01$ mm) – liczebność próby przyjętej do badań uznawano za wystarczającą;

3. Weryfikację hipotez zakładających, że empiryczne rozkłady wartości poszczególnych cech (mierzone poszczególnymi przyrządami pomiarowym) są zgodne z rozkładem normalnym. Obliczenia przeprowadzono, stosując testy: Kołmogorowa-Smirnowa (z poprawką Lillieforsa) oraz χ^2 -Pearsona. Wyniki tych testów odgrywają kluczową rolę w wyborze dalszych procedur obliczeniowych (Rabiej 2012, Stanisław 1998);

4. Ocena jednorodności wariancji zmierzonej cechy (test Levene'a) w przypadku zgodności jej rozkładu z rozkładem normalnym;

5. Porównanie istotności różnic między średnimi wartościami poszczególnych cech zmierzonych różnymi przyrządami pomiarowymi. Jeśli rozkład zmierzonej cechy był zgodny z rozkładem normalnym i występowała jednorodność wariancji, do obliczeń stosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). W przeciwnym przypadku, korzystano z nieparametrycznego odpowiednika jednoczynnikowej analizy wariancji dla wielu prób niezależnych, tj. testu Kruskala-Wallisa. Dodatkowo, gdy wykazano występowanie statystycznie istotnych różnic między średnimi wartościami mierzonej cechy, przeprowadzono testy „post-hoc”. W sytuacji, gdy dotyczyło to analizy ANOVA, istotność różnic sprawdzano testami o różnej „czułości”, tj.: NIR Fishera, Scheffego, HSD Tukeya oraz Duncana, a jeśli odnosiło się do wyników testu Kruskala-Wallisa – korzystano z opcji wielokrotnych porównań dla średnich wartości „rang”. Celem tych analiz było wyodrębnienie tzw. grup jednorodnych (Rabiej 2012, Stanisław 1998).

Obliczenia przeprowadzono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$, posługując się programem statystycznym STATISTICA PL (Rabiej 2012, Stanisław 1998).

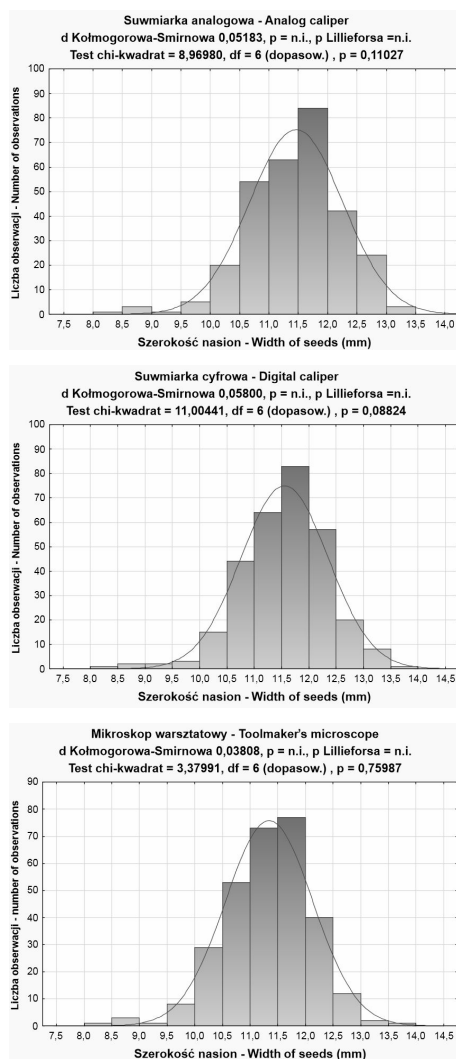
WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Na podstawie wyników badań i obliczeń ustalano, że uwzględniona w badaniach wstępna liczebność próbki ($n_o = 300$), była wystarczająca. Dla przyjętego błędu pomiaru poszczególnych cech ($d = 0,01$ mm) różnymi przyrządami pomiarowymi wyliczone minimalne liczebności próby nie przekraczały 180 nasion.

W kolejnym etapie sprawdzono zgodność rozkładu poszczególnych wymiarów nasion zmierzonych różnymi przyrządami z rozkładem normalnym.

Stwierdzono, że jedynie w przypadku wyników pomiarów szerokości nasion (rys. 1) nie było podstaw do odrzucenia hipotezy zerowej H_0 : zakładającej zgodność rozkładu mierzonej cechy z rozkładem normalnym. Świadczą o tym wartości prawdopodobieństw (p) testów stosowanych do tej analizy, które są statystycznie nieistotne ($p > 0,05$). Wyniki takie odnotowano dla wszystkich przyrządów pomiarowych. Ponadto, wartość prawdopodobieństwa testu weryfikującego jednorodność wariancji (Levene'a) pomiaru tej cechy za pomocą różnych przyrządów była bardzo wysoka ($p = 0,992$) i wskazująca na brak statystycznie istotnych

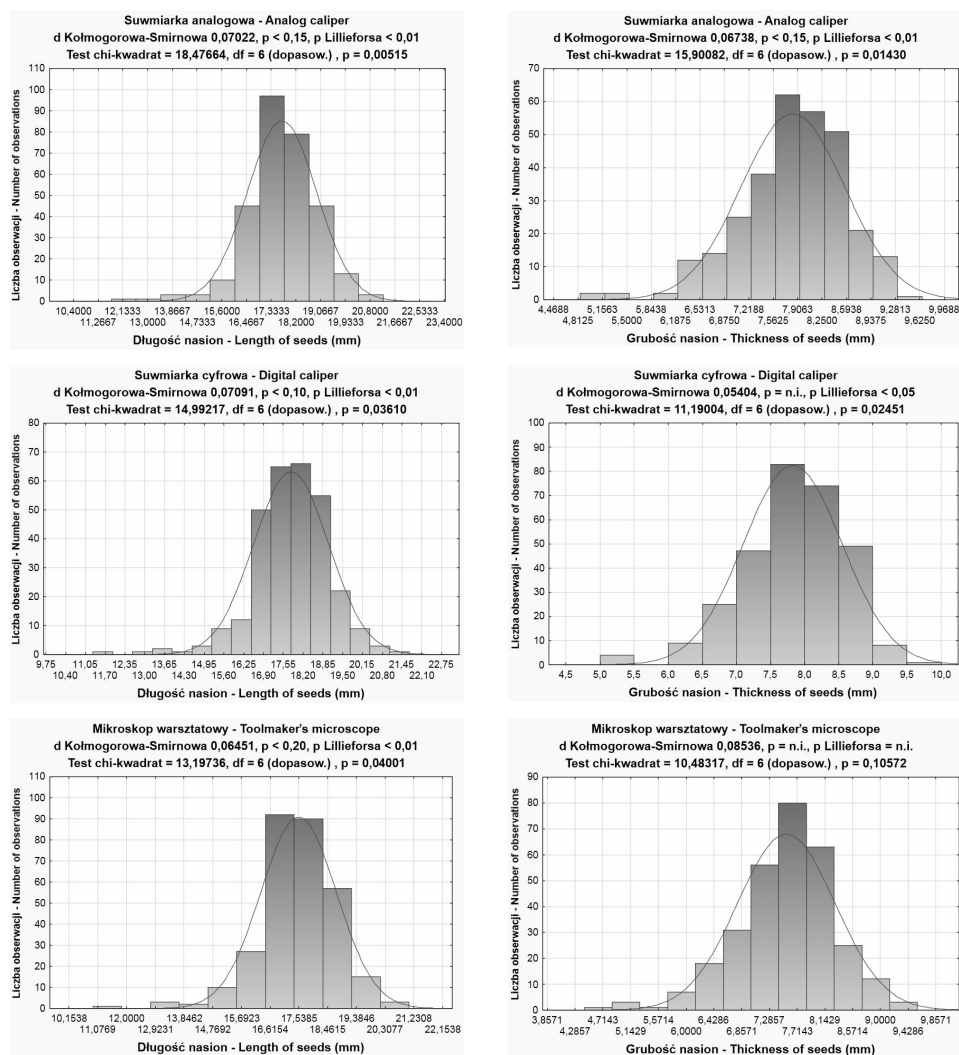
różnic w ocenie homogeniczności wariacji wyników pomiarów różnymi przyrządami. Dlatego, do kolejnych analiz związanych z określeniem istotności między średnimi wartościami tej cechy, uzyskanymi z pomiarów różnymi przyrządami pomiarowymi, wykorzystano parametryczną analizę wariacji ANOVA.



Rys. 1. Histogramy i parametry istotności rozkładu poszczególnych szerokości nasion fasoli zmierzonych różnymi przyrządami pomiarowymi

Fig. 1. Histograms and parameters of significance distribution of width of bean seeds measured using various measuring instruments

Niestety, relacji takich nie stwierdzono dla długości i grubości nasion fasoli. Wartości prawdopodobieństw (p) oceny zgodności rozkładów wymienionych cech z rozkładem normalnym, dla wszystkich przyrządów pomiarowych, były mniejsze od 0,05 (rys. 2).



Rys. 2. Histogramy i parametry istotności rozkładu poszczególnych cech geometrycznych (długość i grubość) nasion fasoli zmierzonych różnymi przyrządami pomiarowymi

Fig. 2. Histograms and parameters of significance distribution of individual geometric features (length and thickness) of bean seeds measured using various measuring instruments

W tej sytuacji hipotezę zerową (H_0) trzeba było odrzucić na korzyść hipotezy alternatywnej (H_1). Prawdopodobną przyczyną takiego stanu rzeczy mogło być sortowanie nasion fasoli (przeznaczonej na cele spożywcze) w urzędzeniu, w którym do separacji wykorzystano jeden (lub oba) z wymienionych wymiarów jako cechę rozdzielczą. W rezultacie mogło to spowodować wydzielenie frakcji nasion ograniczonych wymiarowo.

Niespełnienie podstawowego warunku parametrycznych testów statystycznych wymusiło konieczność zastosowania do określenia istotności różnic między średnimi wartościami tych cech, uzyskanymi z pomiarów różnymi przyrządami pomiarowymi, nieparametrycznego testu Kruskala-Wallisa. Należy podkreślić, że jest to test słabszy (od opisanego powyżej parametrycznego testu ANOVA), ale nie wymaga zgodności rozkładu mierzonej cechy z rozkładem normalnym oraz spełnienia warunku jednorodności wariancji.

Wyniki szczegółowych analiz porównań wyników pomiarów tych samych cech nasion fasoli, przy wykorzystaniu różnych przyrządów pomiarowych, przedstawiono w tabeli 1. W tabeli tej podano rezultaty obliczeń dla testów „głównych” – weryfikujących hipotezę (H_0) oraz wybranego testu „post-hoc” (w przypadku analizy ANOVA) i porównań wielokrotnych w sytuacji stwierdzenia istotnych różnic w testach Kruskala-Wallisa (długość i grubość nasion).

Ogólne zestawienie parametrów statystycznych dotyczących miar położenia i rozproszenia wyników pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli różnymi przyrządami pomiarowymi oraz wyników porównań średnich wartości (rang) poszczególnych wymiarów przedstawiono w tabeli 2.

Wyniki analiz (ANOVA i Kruskala-Wallisa) wykazały występowanie statystycznie istotnych różnic między średnimi wartościami dla poszczególnych wymiarów nasion określonych za pomocą różnych przyrządów pomiarowych. Potwierdziły to testy „post-hoc”, które pozwoliły wyodrębnić tzw. grupy jednorodne (grupy, których wartości średnie nie różnią się statystycznie istotnie). Należy podkreślić, że chociaż do oceny istotności różnic między średnimi wartościami (ANOVA) stosowano testy „post-hoc” o różnej „czułości”, to efekty końcowe obliczeń (rozkład grup jednorodnych) były tożsame (w tabeli 1 podano przykładowe wyniki obliczeń dla testu Duncana).

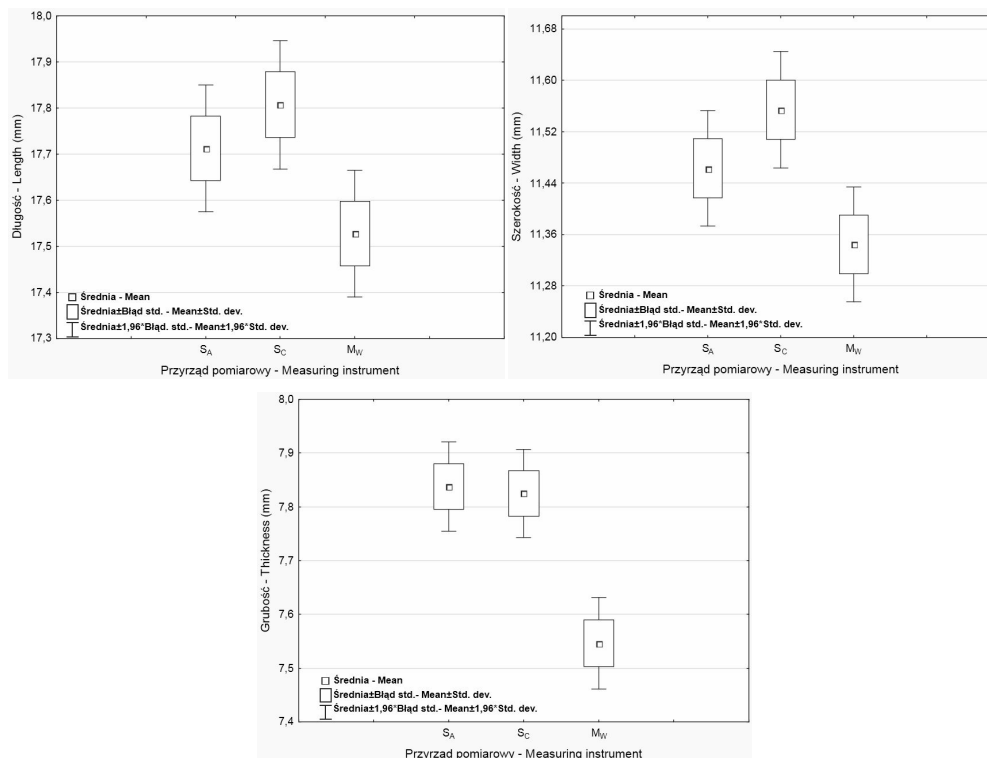
Ponieważ różnice między wartościami poszczególnych parametrów statystycznych dla danych wymiarów nasion są dyskretne, postanowiono zilustrować je w formie graficznej (rys. 3).

Tabela 1. Zestawienie wyników obliczeń weryfikujących istotność różnic między średnimi wartościami poszczególnych wymiarów nasion fasoli mierzonych różnymi przyrządami

Table 1. Summary of the calculations results that verify the significance of differences between mean values of bean seeds dimensions measured by various instruments

Szerokość nasion / Width of seeds (ANOVA test)			
Efekt: $F(2,897) = 5,2411$; $p = 0,0055$			
Prawdopodobieństwa testów „post-hoc” Duncana			
Probability Duncan's tests			
Zmienna – przyrząd pomiarowy Variable – measuring instrument	Suwmiarka analogowa Analog caliper $\bar{X} = 11,46$	Suwmiarka cyfrowa Digital caliper $\bar{X} = 11,55$	Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope $\bar{X} = 11,34$
Suwmiarka analogowa Analog caliper	–	0,3438	0,0636
Suwmiarka cyfrowa Digital caliper	0,3438	–	0,0071
Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope	0,0636	0,0071	–
Długość nasion / Length of seeds (Kruskala-Wallis test)			
H (2, N = 900) = 9,578131; $p = 0,0083$			
Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych			
Probability of multiple comparisons			
Zmienna – przyrząd pomiarowy Variable – measuring instrument	Suwmiarka analogowa Analog caliper $R = 456,88$	Suwmiarka cyfrowa Digital caliper $R = 479,69$	Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope $R = 414,94$
Suwmiarka analogowa Analog caliper	–	0,8477	0,1444
Suwmiarka cyfrowa Digital caliper	0,8477	–	0,0068
Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope	0,1444	0,0068	–
Grubość nasion / Thickness of seeds (Kruskala-Wallis test)			
H (2, N = 900) = 31,99151; $p = 0,0000$			
Prawdopodobieństwa porównań wielokrotnych			
Probability of multiple comparisons			
Zmienna – przyrząd pomiarowy Variable – measuring instrument	Suwmiarka analogowa Analog caliper $R = 488,08$	Suwmiarka cyfrowa Digital caliper $R = 482,15$	Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope $R = 381,28$
Suwmiarka analogowa Analog caliper	–	1,0000	0,0000
Suwmiarka cyfrowa Digital caliper	1,0000	–	0,0000
Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope	0,0000	0,0000	–

\bar{X} – wartość średnia / mean value (mm); R – średnia ranga / mean rank



Rys. 3. Zmienność wyników pomiarów wymiarów nasion fasoli (odpowiednio: długości, szerokości i grubości) określonych za pomocą różnych przyrządów pomiarowych: S_A – suwmiarka analogowa, S_C – suwmiarka cyfrowa, M_W – mikroskop warsztatowy

Fig 3. The variability of measurements of dimensions of bean seeds (respectively: length, width and thickness) determined by the various measuring instruments: S_A – analog caliper, S_C – digital caliper, M_W – toolmaker's microscope

Z danych przedstawionych w tabelach 1 i 2 oraz zilustrowanych na rysunku 3 wynika, że w przypadku długości i szerokości nasion można wyróżnić (pod względem różnic między średnimi wartościami) dwie grupy jednorodne, które nie są rozłączne. Do grupy pierwszej należy zaliczyć wyniki pomiarów określonych za pomocą suwmiarek: analogowej i cyfrowej, zaś do grupy drugiej – wyniki pomiarów zmierzonych za pomocą suwmiarki analogowej i mikroskopu warsztatowego. Istotnie statystycznie różnice między średnimi wartościami poszczególnych wymiarów odnotowano w przypadku pomiarów wykonanych przy użyciu suwmiarki cyfrowej i mikroskopu warsztatowego (prawdopodobieństwo porównań średnich wartości dla tej kombinacji zmiennych $p < 0,05$ we wszystkich wymienionych testach „post-hoc”).

Tabela 2. Zestawienie wartości statystyk opisowych i wyników porównań średnich wartości (rang) wymiarów nasion fasoli mierzonych różnymi przyrządami

Table 2. Summary of descriptive statistics and the results of comparisons of average values (ranks) of bean seeds dimensions measured by various instruments

Przyrząd pomiarowy Measuring instrument	Średnia* Mean (mm)	Minimum Minimum (mm)	Maksimum Maximum (mm)	Odchylenie standardowe Standard deviation (mm)	Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)
Długość nasion / Length of seeds					
Suwmiarka analogowa Analog caliper	17,71 ^{a,b}	11,82	21,24	1,217	6,87
Suwmiarka cyfrowa Digital caliper	17,81 ^a	11,89	21,35	1,232	6,92
Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope	17,53 ^b	11,75	20,95	1,216	6,94
Szerokość nasion / Width of seeds					
Suwmiarka analogowa Analog caliper	11,46 ^{a,b}	8,06	13,44	0,796	6,94
Suwmiarka cyfrowa Digital caliper	11,55 ^a	8,22	13,59	0,799	6,91
Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope	11,34 ^b	8,15	13,52	0,790	6,96
Grubość nasion / Thickness of seeds					
Suwmiarka analogowa Analog caliper	7,84 ^a	5,04	9,54	0,731	9,33
Suwmiarka cyfrowa Digital caliper	7,83 ^a	5,08	9,54	0,726	9,28
Mikroskop warsztatowy Toolmaker's microscope	7,55 ^b	4,71	9,38	0,756	10,01

* wartości średnie poszczególnych wymiarów nasion oznaczone tymi samymi literami nie różnią się statystycznie istotnie (grupy jednorodne) / values of the each seed dimension marked by the same letter do not differ statistically significantly (homogeneous groups)

Nieco odmienną sytuację stwierdzono w przypadku porównań średnich grubości nasion fasoli. Wyniki testów „post-hoc” wykazały występowanie dwóch odrębnych grup jednorodnych. Do pierwszej należy zaliczyć wyniki pomiarów wykonanych przy użyciu suwmiarek (analogowej i cyfrowej), zaś do drugiej – wyniki pomiarów wykonanych za pomocą mikroskopu warsztatowego.

PODSUMOWANIE

Reasumując wyniki badań i obliczeń, można stwierdzić, że pomimo oczekiwań związanych z uzyskaniem bardziej precyzyjnych i dokładnych wyników pomiarów cech geometrycznych nasion fasoli przy wykorzystaniu mikroskopu warsztatowego (mierzony jest powiększony obraz obiektu badań), takiej relacji nie odnotowano. Zastosowanie właściwych metod analizy wyników badań pozwoliło wykazać brak statystycznie istotnych różnic między średnimi wartościami ocenianej cechy (długości i szerokości nasion) za pomocą suwmiarki analogowej i mikroskopu warsztatowego. Istotne różnice w ocenie średnich wartości mierzonej cechy, przy wykorzystaniu wymienionych przyrządów pomiarowych, zarejestrowano jedynie w przypadku szacowania wymiaru najmniejszego (grubości nasion).

Z kolei, oszacowane różnice w statystycznej rozbieżności między średnimi wartościami poszczególnych cech nasion, przy ich pomiarze za pomocą suwmiarek (analogowej i cyfrowej), nie były statystycznie istotne – grupy jednorodne.

Można więc wysnuć wniosek ogólny, że z praktycznego punktu widzenia (rozdzielanie składników mieszanin nasiennych) wyniki pomiarów cech geometrycznych nasion wykonywane za pomocą suwmiarek (z właściwą dokładnością odczytu) charakteryzują się wystarczającą rzetelnością. Ponadto, pomiary te są łatwiejsze do wykonania i bardziej wydajne – krótszy czas pomiaru, brak konieczności przyklejania nasion oraz mniejsze „obciążenie” osoby prowadzącej badania.

LITERATURA

- Anders A., 2007. Analiza obrazu jako metoda oceny skuteczności obłuskiwania okrywy nasion gorzycy białej. *Acta Agroph.*, 10(2), 263-271.
- Borzykowski J., Domańska A. K., 2004. *Współczesna metrologia*. WNT, Warszawa.
- Frączek J., Wróbel M., 2006. Metodyczne aspekty oceny kształtu nasion. *Inżynieria Rolnicza* 12(87), 155-163.
- Greń, J., 1984. *Statystyka matematyczna. Modele i zadania*. PWN, Warszawa.
- Hornowska E., 2014. *Testy psychologiczne: teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe „Scholar”.
- Jadwisieńczyk K., Kaliniewicz Z., 2011. Analiza procesu czyszczenia nasion gorzycy. Cz. 1. Cechy fizyczne nasion. *Inżynieria Rolnicza*, 9(134), 57-64.
- Konopka S., 1999. Divisibility degree evaluation of the selected components of the buckwheat seed mix based on the geometrical features. *Techn. Sc.*, 2. Olsztyn, 27-39.
- Kram B.B., Woliński J., Wolińska J., 2007. Porównanie cech geometrycznych orzeszków z okrywą i bez u gryki formy Red Corolla. *Acta Agroph.*, 9(3), 657-664.
- Podbielkowski Z., 1989. *Słownik roślin użytkowych*. PWRiL, Warszawa.
- Paczyński P., 2003. *Metrologia techniczna. Przewodnik do wykładów, ćwiczeń i laboratoriów*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- PN-ISO 5725-1. 2002. Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych wyników pomiarów. Część 1: Ogólne zasady i definicje. Wyd. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Rabiej M., 2012. *Statystyka z programem Statistica*. Wyd. HELION, Gliwice.

- Silverman D., 2009. Interpretacja danych jakościowych. PWN, Warszawa.
- Stanisz A., 1998. Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Wyd. StatSoft Polska, Kraków.
- Stanisz A., 2007. Przystępny kurs statystyki w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 3. Analizy wielowymiarowe. Wyd. StatSoft Polska, Kraków.
- Taylor J. R., 2012. Wstęp do analizy błędu pomiarowego. PWN, Warszawa.
- Tylek P., 2012. Wielkość i kształt jako cechy rozdzielcze nasion dębu szypułkowego (*Quercus robur* L.). Acta Agroph., 19(3), 673-687.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE RESEARCH RESULTS ON THE EXAMPLE OF MEASUREMENT OF GEOMETRIC FEATURES OF SEEDS OF BEAN

Stanisław Konopka, Piotr Markowski

Department of Working Machines and Research Methodology
University of Warmia and Mazury in Olsztyn
ul. M. Oczapowskiego 11, 10-957 Olsztyn
e-mail: stanislaw.konopka@uwm.edu.pl

Abstract. This study presents an example of approach to assess the reliability of test results using statistical methods of calculation. The procedure for assessing the reliability of the results of measurements was modeled for geometrical features of bean seeds measured using various instruments (analog caliper, digital caliper and toolmaker's microscope). It was found that from a practical point of view (separating components of seed mixtures) the results of measurements of geometric features of seeds carried out using calipers (with proper accuracy) can provide sufficient reliability.

Keywords: reliability of results, seeds of bean, various measuring instruments