

ACTA AGROPHYSICA



Stanisław Grundas

**CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI
FIZYCZNYCH ZIARNIAKÓW W KŁOSACH
PSZENICY ZWYCZAJNEJ *Triticum aestivum* L.**

102

**Instytut Agrofizyki
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
w Lublinie**

**Rozprawy i Monografie
2004 (2)**

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny

Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN

Zastępca Redaktora Naczelnego

Józef Horabik

Sekretarz Redakcji

Wanda Woźniak

Rada Redakcyjna

Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN - przewodniczący

Ryszard Dębicki

Bohdan Dobrzański

Danuta Drozd

Franciszek Dubert

Tadeusz Filipek

Józef Fornal

Jan Gliński, czł. rzecz. PAN

Grzegorz Józefaciuk

Eugeniusz Kamiński

Andrzej Kędziora

Tadeusz Kęsik

Krystyna Konstankiewicz

Janusz Laskowski

Jerzy Lipiec

Piotr P. Lewicki

Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN

Edward Niedźwiecki

Viliam Novák, Słowacja

Josef Pecen, Czechy

Stanisław Radwan, czł. koresp. PAU

Jan Sielewiesiuk

Witold Stępniewski

Zbigniew Ślipek

Bogusław Szot

Tadeusz Przybysz

Opiniował do druku

prof. dr hab. Bolesław Styk

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl
<http://www.ipan.lublin.pl>

Publikacja indeksowana przez
Polish Scientific Journals Contents - Life Sci. w sieci Internet
pod adresem <http://www.psjc.icm.edu.pl>

Praca wykonana w ramach projektu badawczego nr 6P06 F 004 20 finansowanego
przez Komitet Badań Naukowych w latach 2001-2003

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2004

ISSN 1234-4125

Wydanie I. Nakład 200 egz. Ark. wyd. 5,4
Skład komputerowy: Wanda Woźniak, Agata Woźniak
Druk: Drukarnia ALF-GRAF, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	5
1. WPROWADZENIE	7
2. CEL I ZAKRES BADAŃ	8
3. MATERIAŁ I METODY	8
3.1. Kryteria wyboru materiału doświadczalnego	9
3.2. Charakterystyka ogólna odmian	10
3.3. Doświadczenia polowe	12
3.3.1. Warunki glebowo-klimatyczne	13
3.3.1.1. Pszenica ozima	13
3.3.1.2. Pszenica jara	14
3.3.2. Warunki pogodowe i przebieg wegetacji	15
3.3.3. Zbiór i przygotowanie materiału do badań	16
3.4. Metodyka badań laboratoryjnych	16
3.4.1. Opracowanie kart akwizycji danych pomiarowych	19
3.4.2. Przygotowanie ziarna do badań laboratoryjnych	22
3.5. Aparatura pomiarowa	23
3.5.1. Pomiary piknometryczne	23
3.5.2. Rejestracja obrazów wizyjnych materiału badawczego	23
3.5.3. Aparatura do bezpośrednich pomiarów cech geometrycznych i masy pojedyn- cznych ziarniaków	24
3.5.4. Zestaw aparatury rentgenowskiej	25
3.5.5. Cyfrowa analiza obrazów rentgenowskich – CAOR	26
3.5.6. Analizator pojedynczych ziarniaków – SKCS	27
3.6. Metody obliczeniowe	30
4. WYNIKI BADAŃ	31
4.1. Cechy fizyczne pojedynczych ziarniaków	31
4.1.1. Pomiary bezpośrednie	31
4.1.2. Pomiary przy zastosowaniu systemu CAOR	34
4.1.3. Pomiary przy zastosowaniu analizatora SKCS	34
4.1.4. Objętość pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu połączonych systemów CAOR i SKCS	35
5. ANALIZA WYNIKÓW	36
5.1. Bezpośrednie pomiary cech fizycznych ziarniaków pszenicy z kłosów głównych i bo- cznych rośliny	36
5.2. Objętość pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu różnych metod pomiarowych	37
5.3. Masa pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu analizatora SKCS i pomiarów bezpośrednich	39

5.4. Gęstość pojedynczych ziarniaków w kłosach badanych odmian pszenicy	40
5.5. Rozkłady wybranych cech fizycznych ziarniaków na długości kłosów badanych odmian pszenicy	40
5.5.1. Długość ziarniaków – system CAOR	41
5.5.2. Szerokość ziarniaków – system CAOR	44
5.5.3. Objętość ziarniaków – system CAOR	47
5.5.4. Masa ziarniaków – analizator SKCS	49
5.5.5. Twardość ziarniaków – analizator SKCS	52
5.5.6. Gęstości ziarniaków – system CAOR i analizator SKCS	55
6. PODSUMOWANIE	58
6.1. Rzeczywiste rozkłady cech fizycznych pojedynczych ziarniaków na długości kłosów pszenicy przy zastosowaniu systemów CAOR i SKCS	59
6.2. Rozkłady hipotetyczne cech fizycznych pojedynczych ziarniaków	60
7. WNIOSKI	61
8. PIŚMIENNICTWO	62
9. STRESZCZENIE	63
10. SUMMARY	63

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

- a – długość ziarniaka (mm),
 b – szerokość ziarniaka (mm),
BO – białko ogólne (%),
 c – grubość ziarniaka (mm),
CAOR – system cyfrowej analizy obrazów rentgenowskich,
GM – zawartość glutenu mokrego (%),
GS – zawartość glutenu suchego (%),
GZ – gęstość w stanie zsypanym ziarna ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$),
IG – indeks glutenu (%),
LO – liczba opadania (s),
 m_{PB} – masa ziarniaka z pomiarów bezpośrednich (mg),
 m_{SKCS} – masa ziarniaka wyznaczona w analizatorze SKCS (mg),
PB – pomiary bezpośrednie,
PIKNO – pomiary przeprowadzone przy zastosowaniu piknometru,
SKCS – analizator pojedynczych ziarniaków (skrót od ang.: Single Kernel Characterization System – SKCS),
 V_{PB} – objętość ziarniaka obliczona na podstawie pomiarów bezpośrednich (mm^3),
 V_{CAOR} – objętość ziarniaka obliczona w oparciu o dane systemu CAOR (mm^3),
 V_{SKCS} – objętość ziarniaka obliczona w oparciu o dane analizatora SKCS (mm^3),
 γ – gęstość ziarniaka ($\text{mg}\cdot\text{mm}^{-3}$),
 Φ_{SKCS} – średnica zastępcza ziarniaka (mm).

1. WPROWADZENIE

Od blisko 10 000 lat rolnictwo, jako podstawowa dziedzina działalności człowieka, jest skierowane na zaspokajanie jego potrzeb żywnościowych. Biorąc pod uwagę zasadniczy cel rolnictwa, jakim jest zaspokajanie potrzeb żywnościowych, należy podkreślić, że swój rozwój zawdzięcza głównie postępowi biologicznemu i technologicznemu. O postępie biologicznym, w tradycyjnym pojęciu tego określenia, decydowała znajomość i praktyczne wykorzystanie zmienności osobniczej gatunków i ich form. Duża zmienność osobnicza populacji gatunkowych roślin, stanowiących podstawę tego postępu, stwarza gwarancję zabezpieczenia różnorodnych i bezpiecznych dla zdrowia człowieka artykułów spożywczych. Obecnie, po wkroczeniu w XXI wiek, obserwuje się coraz bardziej wyraźne zmiany w tradycyjnej genetyce i hodowli roślin uprawnych na rzecz postępu w zakresie inżynierii genetycznej i biotechnologii. O postępie technologicznym związanym z przetwarzaniem roślin i ich plodów decyduje duża jednorodność tych surowców. Uznaje się bowiem powszechnie, że jednorodne pod względem pożądanых lub oczekiwanych cech fizycznych surowce roślinne są bardziej cenne i dają gwarancję efektywnego ich przetwarzania w poszukiwaną przez współczesnego konsumenta, bezpieczną żywność. Obecnie do postępu zarówno biologicznego jak i technologicznego w rolnictwie w coraz większym stopniu przyczyniają się badania agrofizyczne, a ich dalszy rozwój uznaje się za niezbędny.

Agrofizyka, jako bardzo młoda dyscyplina naukowa zajmująca się praktycznym wykorzystaniem właściwości fizycznych materiałów pochodzenia roślinnego, której początki sięgają przełomu XIX i XX wieku, skutecznie wspomaga rozwiązywanie złożonych zagadnień w naukach rolniczych. Należy jednak zauważyć, że już w starożytnym Egipcie długość ziarniaka jęczmienia (*Hordeum sativum* L.) była podstawą ustanawiania pierwszej, standardowej jak na ówczesne czasy, miary długości, określanej mianem „łokcia królewskiego”. Miarę tę ustanowiono, korzystając z określonej liczby ziarniaków jęczmienia (około 70), których kształt i rozmiary są najmniej zróżnicowane w obrębie ziarniaków innych gatunków zbóż [18]. W średniowieczu, wykorzystywano na przykład „wagę” pojedynczych nasion szarańczyna strąkowego (*Ceratonia siliqua* L.) o masie około 0,18 g, która do dziś stanowi podstawę stosowanej w praktyce złotniczej miary jaką jest „karat” [2]. Tak więc, znajomość cech fizycznych nasion roślin uprawnych już w zamierzchłej przeszłości była wykorzystywana przez człowieka nie tylko w celach zaspokajania potrzeb żywieniowych.

Coraz częściej podkreśla się, że dalszy postęp w naukach rolniczych wiąże się nie tylko z pozyskiwaniem niezbędnej ilości plodów rolnych, ale i z zachowaniem trwałości równowagi środowiska przyrodniczego człowieka. Pozyskiwanie i przetwarzanie surowców pochodzenia roślinnego musi ponadto uwzględniać wymogi

jakościowe, które stanowią priorytetowe zagadnienie w programie europejskiej przestrzeni badawczej krajów Unii Europejskiej [7,9,10]. Jakość płodów rolnych lub określając bardziej ogólnie – materiałów rolniczych kojarzy się zwykle z ich wartością użytkową, bowiem istotą oceny jakości jest ich przydatności dla celów spożywczych lub pozaspożywczych. Aby ocenić jakość danego materiału rolniczego niezbędna jest znajomość zakresu zmienności jego cech fizycznych.

Jedną z najważniejszych roślin zbożowych, dostarczających surowca do wytwarzania podstawowego produktu spożywczego – chleba, jest pszenica. Badania cech użytkowych ziarna pszenicy stanowią przedmiot zainteresowań specjalistów z zakresu technologii zbóż. Nowe programy badawcze obejmują już nawet zagadnienie technologii pojedynczego ziarniaka (Single Kernel Technology), co potwierdza celowość podejmowania programów badawczych, zmierzających do określania zmienności cech fizycznych pojedynczych ziarniaków pszenicy w obrębie surowca przeznaczonego dla przetwórstwa przemysłowego lub w obrębie materiału reprodukcyjnego przeznaczonego dla prac hodowlanych.

Szczupłość doniesień piśmiennictwa na temat cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w kłosach pszenicy [1,8,14,15] z jednej strony, oraz możliwość wykorzystania unikalnej aparatury pomiarowej – znajdującej się na wyposażeniu Pracowni Fizycznych Podstaw Oceny Jakości Ziarna (PFPOJZ) Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie – z drugiej, stanowiły zachętę do podjęcia tych badań.

2. CEL I ZAKRES BADAŃ

Celem badań było określenie zakresu zmian wartości cech fizycznych i technologicznych pojedynczych ziarniaków w kłosach pszenicy zwyczajnej *Triticum aestivum* L. Cel ten realizowano poprzez szczegółowe przeanalizowanie wartości tych cech w obrębie kłosów wybranych odmian pszenicy formy ozimej i jarej.

Zakres pracy obejmował założenie ścisłych doświadczeń polowych, z dwiema odmianami pszenicy ozimej i dwiema – jarej, na terenie Stacji Oceny Odmian (SOO) w Czesławicach koło Nałęczowa. W obrębie każdej formy pszenicy do badań wybrano po jednej odmianie o korzystnych cechach ziarna konsumpcyjnego i po jednej – o cechach gorszych, zbliżonych do ziarna paszowego.

3. MATERIAŁ I METODY

Monografia obejmuje rezultaty 2,5-letnich badań przeprowadzonych w ramach realizacji projektu badawczego KBN (6P06F 004 20) pt. „Monitoring cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w kłosach wybranych odmian pszenicy”. Materiał badawczy stanowiły kłosy główne i boczne, odmian pszenicy formy ozimej Zyta i Kris oraz jarej Nawra i Broma. Każda forma była reprezentowana przez jedną odmianę o charakterze

użytkowym, „chlebowym” i „chlebowo-paszowym” lub „paszowym”. Wybrano odmiany pod względem wartości użytkowej w oparciu o ranking wartości gospodarczej, opracowany przez Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) w Słupi Wielkiej koło Poznania.

Zgodnie z programem badań zaplanowany, jednosezonowy okres wegetacyjny roślin, stanowił podstawę pozyskania materiału doświadczalnego do przeprowadzenia badań laboratoryjnych. Poniższe podrozdziały obejmują szczegółowe opisy kryteriów wyboru materiału doświadczalnego, charakterystykę odmian, opis doświadczeń poletkowych, metodykę badań laboratoryjnych oraz opis zastosowanej aparatury pomiarowej i metod obliczeniowych.

3.1. Kryteria wyboru materiału doświadczalnego

Kryterium wyboru odmian było maksymalne zróżnicowanie wskaźników wartości technologicznej zgodnie z klasyfikacją COBORU [13]. Przy wyborze odmian pszenicy kierowano się kryterium „jakościowym”, które określa graniczne wartości cech fizycznych lub technologicznych ziarna i decyduje o jego zakwalifikowaniu do odpowiedniego typu jakościowego. Z obu form pszenicy wybrano po jednej odmianie jakościowej, typu A: Zyta i Nawra, oraz po jednej odmianie pszenicy chlebowo-paszowej typu B/C: Kris i typu C: Broma. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe wskaźniki wartości użytkowej wybranych odmian pszenicy ozimej, a w tabeli 2 odpowiednie wskaźniki wybranych odmian pszenicy jarej.

Tabela 1. Podstawowe wskaźniki wartości użytkowej wybranych odmian pszenicy ozimej według COBORU

Table 1. Basic indexes of utility values of winter wheat cultivars according to COBORU

Lp. No. *	Odmiana Cultivar (wg stanu Rejestru w r. 2001 acc. to state of the register in 2001)	Grupa wartości technolo- gicznej Group of technolog. value	Plon ziarna Yield 1998-2000		Mrozo- odporność Frost- resistance (skala 9 st., scale of 9 deg)	Udział w roz- mnożeniach 2000 r. Participation in reproduction in 2000 (%)	Rok wpisu do Rejestru Year of the register
			(dt·ha ⁻¹)	(%) wzorca (%) of the pattern			
Wzorzec – średni plon odmian: The pattern – mean yield of cv.:			71,6	100	Kobra, Lena, Korweta, Wanda		
2	Zyta	A	72,7	102	2	4,1	1999
21	Kris	B/C	78,5	110	2	4,0	2000

*Lp. odpowiada kolejności odmian pszenicy ozimej, wg malejącej wartości technologicznej, które znajdują się na liście COBORU – No. corresponds to order of winter wheat cultivars, acc. to decreasing technological value from COBORU list.

Tabela 2. Podstawowe wskaźniki wartości użytkowej wybranych odmian pszenicy jarej według COBORU

Table 2. Basic indexes of utility values of spring wheat cultivars according to COBORU

Lp. No.*	Odmiana Cultivar (wg stanu Rejestru w r. 2001, acc. to state of register in 2001)	Grupa wartości technolo- gicznej Group of technological value	Plon ziarna Yield 1998-2000		Udział w roz- mnożeniach w 2000 r. Participation in reproduction in 2000 (%)	Rok wpisu do Rejestru Year of the register
			(dt·ha ⁻¹)	(%) wzorca (%) of the pattern		
Wzorzec – średni plon odmian: The pattern – mean yield of cultivars:			57,4	100	Etna, Jasna, Torka, Helia	
5	Nawra	A	56,8	99	6,8	1999
20	Broma	C	58,3	102	0,3	1989

* Lp.odpowiada kolejności odmian pszenicy jarej, wg malejącej wartości technologicznej, które znajdują się na liście COBORU – No. corresponds to order of winter wheat cultivars, acc. to decreasing technological value from COBORU list.

3.2. Charakterystyka ogólna odmian

Według oceny COBORU, pszenica ozima Zyta jest typowo jakościową odmianą. Z grupy cech technologicznych tej odmiany na podkreślenie zasługuje duża masa 1000 ziaren, i bardzo dobre ich wyrównanie, gęstość w stanie zsypanym dość duża. Zawartość białka duża, glutenu – średnia. Szklistość ziarna duża. Wydajność mąki – średnia. Plenność przeciętna, zaś w porównaniu z odmianami odpowiednimi dla celów młynarsko-piekarskich – dużo lepsza [13]. Odmiana ta charakteryzuje się dużą odpornością na większość chorób, zwłaszcza na chorobę podstawy źdźbła, rdzę brunatną i septoriozę liści. Rośliny dość wysokie, o dużej odporności na wyleganie i porastanie ziarna w kłosie.

Kris jest odmianą nowoczesną, intensywną, chlebową (często też kwalifikowaną na pograniczu jako chlebowo-paszowa typu B/C) o najwyższym potencjale plonowania. W doświadczeniach COBORU plon w 1999 r. wyniósł 110% wzorca. Wysokość roślin Kris (79 cm), według wyników doświadczeń rejestracyjnych COBORU, w 1999 była niższa od wzorca (99 cm).

Nawra jest odmianą pszenicy jarej typu jakościowego (A). Charakteryzuje się dużą odpornością na rdze i mączniaka, lecz większą podatnością na septoriozę liści i fuzariozę kłosów. Rośliny dość niskie, o dużej odporności na wyleganie. Termin kłoszenia i dojrzewania średnio wczesny. Odporność na porastanie w kłosach przeciętna. Masa 1000 ziaren, największa wśród wszystkich zarejestrowanych odmian,

wyrównanie ziarna i gęstość w stanie zsylnym – średnia. Liczba opadania przeciętna; zawartość białka w ziarnie średnia; zawartość glutenu dość mała. Szklistość ziarna dość duża. Wydajność ogólna mąki dobra. Plenność w skali kraju poniżej przeciętnej; korzystniejsze oceny w rejonie śląskim i środkowo-zachodnim. Wymagania glebowe dość duże. Tolerancja na zakwaszenie gleby przeciętna.

Broma jest paszową odmianą pszenicy jarej o ościstym kłosie. Plonowanie przeciętne do dobrego. Charakteryzuje się odpornością na wyleganie i dobrą zdrowotnością (szczególnie odporna na rdzę brunatną i septoriozę) z wyjątkiem większej wrażliwości na rdzę żółtą. Odporność na porastanie w kłosie – średnia. Masa 1000 ziaren dość mała, słabsze wyrównanie ziarna i mniejsza zawartość białka. Odmiana wykazuje mniejsze wymagania glebowe, dużą tolerancję na zakwaszenie gleby, lecz jest wrażliwa na opóźniony siew. Ze względu na ościstość kłosów odmiana ta nadaje się do uprawy na terenach podleśnych.

Na materiale pobranym w czasie zbioru kombajnowego, w stadium dojrzałości technologicznej ziarna, w laboratorium PFPOJZ przeprowadzone zostały uzupełniające pomiary cech technologicznych pszenicy, stanowiących uzupełnienie charakterystyki ogólnej badanych odmian. W tabeli 3 przedstawiono wartości średnie i odchylenia standardowe oznaczonych cech technologicznych ziarna odmian pszenicy ozimej, a w tabeli 4 odmian pszenicy jarej.

Tabela 3. Wartości średnie i odchylenia standardowe cech technologicznych ziarna badanych odmian pszenicy ozimej

Table 3. Mean values and standard deviations of grain technological properties of tested winter wheat cultivars

Odmiany Cultivars	Cechy technologiczne ziarna – Technological properties of grain					
	Gęstość Bulk density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Białko ogólne Protein content (%)	Gluten mokry Wet gluten (%)	Gluten suchy Dry gluten (%)	Indeks glutenu Gluten index (%)	Liczba opadania Falling number (s)
Zyta	736 ± 64	$12,8 \pm 0,4$	$26,9 \pm 0,6$	$9,5 \pm 0,4$	$88,3 \pm 2,9$	189 ± 10
Kris	701 ± 15	$13,2 \pm 0,5$	$23,9 \pm 1,2$	$7,7 \pm 0,4$	$93,7 \pm 2,4$	249 ± 30

W obrębie dwóch odmian pszenicy ozimej, zarówno gęstość ziarna w stanie zsylnym (GZ) jak i zawartość glutenu mokrego (GM) były u odmiany Zyta zdecydowanie wyższe od wartości tych samych parametrów odmiany Kris, co sugerować może wyższą wartość technologiczną pierwszej odmiany. Jednakże biorąc pod uwagę wartości indeksów glutenu (IG) obu odmian należy stwierdzić, że odmiana Kris nie różni się istotnie w porównaniu z odmianą Zyta, natomiast LO u odmiany Zyta wynosząca

189 s, znajduje się poniżej dopuszczalnego poziomu ($LO = 250$ s), co wskazuje na niedostateczny poziom tej cechy i świadczy o gorszych walorach wypiekowych ciasta tej odmiany i jednocześnie potwierdza ocenę COBORU w tym względzie.

W praktyce, dość często można się spotkać z niejednoznacznością w ocenie wartości użytkowej ziarna pszenicy jeśli bierze się pod uwagę jedynie zawartość glutenu mokrego. Ocena jakości ziarna wyrażona wartością indeksu glutenu (IG) jest zazwyczaj przeciwstawna do zawartości GM lub GS. Łatwo zauważyć tę przeciwstawność w ocenie na przykładzie wyników pomiarów tych cech, zarówno dla pszenicy ozimej jak i jarej. W tym drugim przypadku (tab. 4), odmiana Nawra pomimo stosunkowo niskiej zawartości GM (24,5%) charakteryzowała się bardzo wysoką wartością IG (95,3%) w porównaniu z odmianą Broma, u której zawartość GM była stosunkowo wysoka (28%), zaś wartość IG była zdecydowanie niższa i wynosiła około 40%.

Tabela 4. Wartości średnie i odchylenia standardowe cech technologicznych ziarna badanych odmian pszenicy jarej

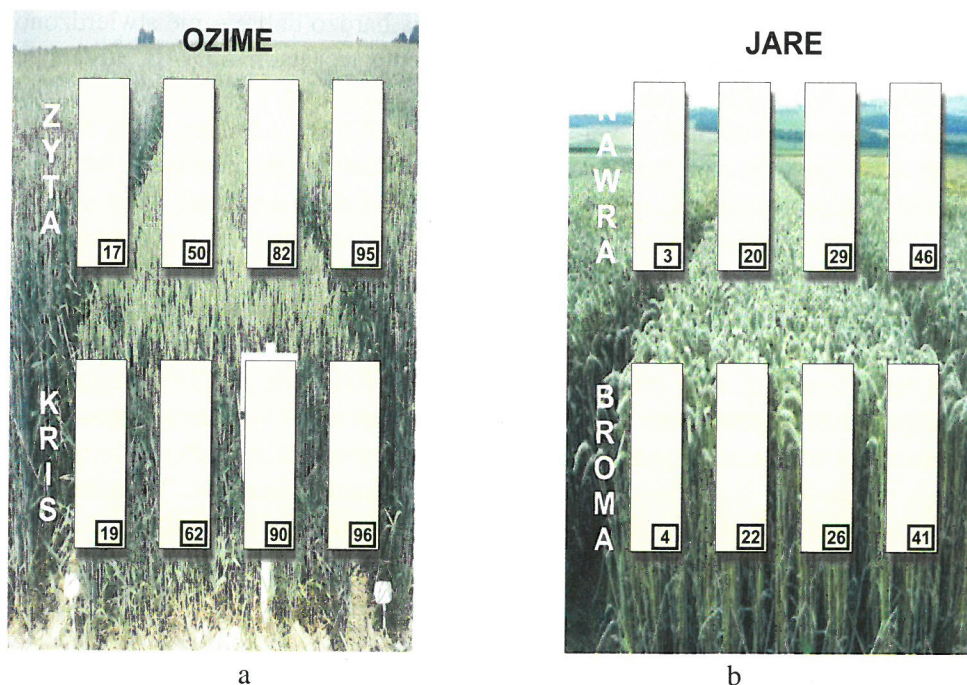
Table 4. Mean values and standard deviations of grain technological properties of tested spring wheat cultivars

Cechy technologiczne ziarna – Technological properties of grain						
Odmiany Cultivars	Gęstość Bulk density ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	Białko ogólne Protein content (%)	Gluten mokry Wet gluten (%)	Gluten suchy Dry gluten (%)	Indeks glutenu Gluten index (%)	Liczba opadania Falling number (s)
Nawra	729 ± 76	$12,4 \pm 0,3$	$24,5 \pm 0,7$	$8,1 \pm 0,2$	$95,3 \pm 1,1$	303 ± 16
Broma	707 ± 58	$12,4 \pm 0,5$	$28,0 \pm 3,2$	$9,0 \pm 1,2$	$39,8 \pm 4,6$	360 ± 25

3.3. Doświadczenia polowe

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy doświadczeń polowych założonych na terenie Stacji Oceny Odmian w Czesławicach, w sezonie wegetacyjnym 2000/2001.

Doświadczenia polowe obejmowały dwa oddzielne bloki poletek. Blok z poletkami odmian pszenicy ozimej Zyta i Kris i blok z poletkami odmian pszenicy jarej Nawra i Broma. Poletka z odmianami pszenicy ozimej i jarej były rozlosowane w czterech powtórzeniach, a ich numery podane są na schemacie blokowym. Wymiary poletek wynosiły $1,5 \times 10$ m. Wszystkie pozostałe elementy doświadczenia były zgodne z zasadami opracowanymi przez COBORU w Słupi Wielkiej [13].



Rys. 1. Schemat blokowy doświadczeń poletkowych z odmianami pszenicy ozimej (a) i jarej (b)
 Fig. 1. Block scheme of plots experiments with winter wheat cultivars (a) and spring ones (b)

3.3.1. Warunki glebowo-klimatyczne

Doświadczenie było zlokalizowane na glebie brunatnej, wylugowanej, pochodzenia lessowego, kompleksu psennego bardzo dobrego. Średnie pH gleby pod pszenicą ozimą wynosiło 5,7, a pszenicą jarą – 6,0.

3.3.1.1. Pszenica ozima

Zasobność gleby pod pszenicą ozimą była następująca: P_2O_5 – $21 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, K_2O – $30 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, magnez – $6,3 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Zastosowano następujące nawożenie mineralne: wapno tlenkowe (IX, 1999) – $3,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, azot w czystym składniku – $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, w tym: 15 kg przedsiewnie i 65 kg pogłównie. Nawożenie pogłównie azotem zastosowano w dwóch fazach: po ruszeniu wegetacji roślin – 45 kg i w fazie kłoszenia – 20 kg. Fosfor (P_2O_5) i potas (K_2O) zastosowano przedsiewnie w ilościach: 68 i $72 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Przedplonem w roku 1999 był jęczmień jary, a w roku 2000 – groch siewny.

Przebieg faz fenologicznych przedstawiał się następująco: siew – 27 IX, wschody – 07 X, krzewienie – 19 XI, zahamowanie wegetacji – 22 XII, przezimo-

wanie (w skali od 1 do 9 stopni) oszacowano na bardzo dobre – nie stwierdzono obecności roślin martwych i wyprzałych, ruszenie wegetacji – 09 III, strzelanie w źdźbło – 22 IV, kłoszenie – 03 VI u odmiany Zyta i 05 VI – Kris. Dojrzałość woskową ziarna u odmiany Zyta stwierdzono 23 VII, a u odmiany Kris 25 VII. Zbiór kombajnem przeprowadzono w dniu 08 VIII 2001r. Oszacowane (w skali od 1 do 9) wyleganie roślin dla odmiany Zyta wynosiło 6,5, a u odmiany Kris – 8,0.

W wyniku przeprowadzonych obserwacji fitopatologicznych stwierdzono, że porażenie chorobami (w skali od 1 do 9 rozumianej jako stopień odporności na porażenie według [19]) u poszczególnych odmian przedstawiało się następująco. Odmiana Zyta była porażona septoriozą w stopniu 6,5; mączniakiem w stopniu 5; rdzą źdźbłową – 6; rdzą brunatną – 5. Odmiana Kris była porażona septoriozą w stopniu 7,5; mączniakiem w stopniu 5, rdzą źdźbłową – 7 i rdzą brunatną – 8. Wirus żółtej karłowatości jęczmienia, aczkolwiek w niewielkim nasileniu, zaznaczył swoją obecność u obu odmian już w marcu czyli bardzo wcześnie. Wirusem tym zaatakowanych było 0,2% roślin odmiany Zyta i 0,5% roślin odmiany Kris.

3.3.1.2. Pszenica jara

Zasobność gleby na poletkach z pszenicą jarą była następująca: P_2O_5 – 20 $mg \cdot dm^{-3}$; K_2O – 25 $mg \cdot dm^{-3}$; magnez – 10,6 $mg \cdot dm^{-3}$. W doświadczeniu zastosowano następujące nawożenie mineralne i organiczne: wapno tlenkowe (IX, 2000) – 3,0 $t \cdot ha^{-1}$; obornik mieszany, zwięzły (X, 1999) – 20 $t \cdot ha^{-1}$; azot w czystym składniku – 95 $kg \cdot ha^{-1}$; w tym: 15 kg N – przedsiewnie i 80 kg N – pogłównie. Nawożenie pogłowne azotem zastosowano w dwóch fazach: po ruszeniu wegetacji roślin – 35 kg N i w fazie strzelania w źdźbło – 45 kg N. Fosfor (P_2O_5) i potas (K_2O) zastosowano przedsiewnie, odpowiednio w następujących ilościach: 30 i 60 $kg \cdot ha^{-1}$.

Przedplonem w roku 1998 był groch siewny, w 1999 – pszenica ozima, a w roku 2000 – burak cukrowy.

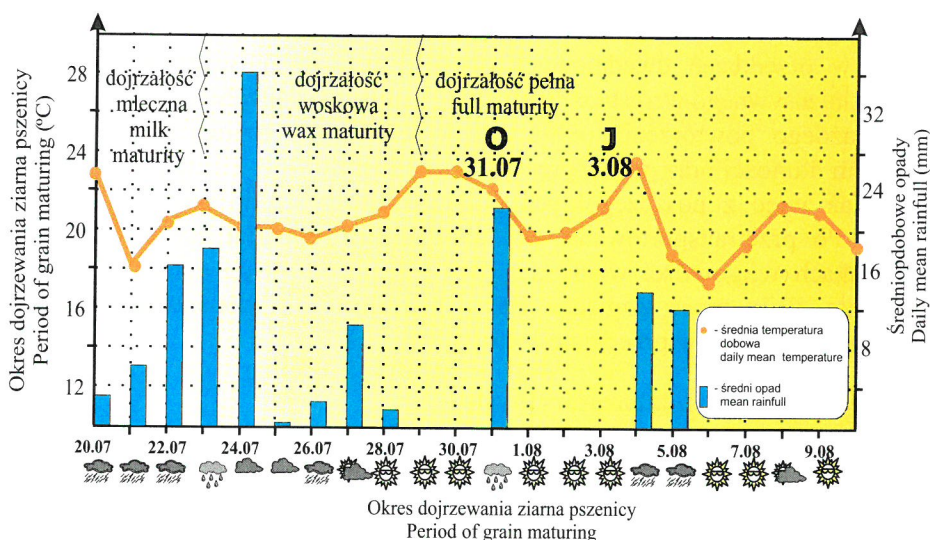
Przebieg faz fenologicznych przedstawiał się następująco: siew – 05 VI, wschody – 27 VI, krzewienie – 07 V, strzelanie w źdźbło – 23 V, kłoszenie – 14 VI dla odmiany Nawra i 15 VI – Broma. Dojrzałość woskową ziarna odmiany Nawra stwierdzono 25 VII, a odmiany Broma 27 VII. Zbiór kombajnem prowadzono w dniu 12 VIII. 2001r.

W wyniku przeprowadzonych obserwacji fitopatologicznych stwierdzono, że porażenie chorobami (w analogicznej skali jak przy obserwacjach fenologicznych pszenicy ozimej) u poszczególnych odmian było podobne i przedstawiało się następująco. Porażenie fusariozą – 7, septoriozą – 5, mączniakiem – 7, rdzą źdźbłową – 7, rdzą brunatną – 5. Odmiana Kris była porażona septoriozą w stopniu 7,5, mączniakiem w stopniu 5, rdzą źdźbłową – 7 i rdzą brunatną – 6.

3.3.2. Warunki pogodowe i przebieg wegetacji

Na rysunku 2 przedstawiono średnie dobowe temperatury i opady w okresie dojrzwania ziarna z uwzględnieniem faz dojrzałości, obejmujących przedział od fazy wczesno-woskowej do fazy dojrzałości pełnej.

Przebieg pogody w omawianym okresie był typowy dla przełomu lipca i sierpnia 2001 roku ze średnią dobową temperaturą w przedziale 18-23°C i stosunkowo częstymi deszczami – 14 i 22 dni, odpowiednio w lipcu i sierpniu.



Rys. 2. Przebieg średniopodobowych temperatur i opadów w okresie dojrzwania ziarna pszenicy w SOO Czesławice. Objaśnienie: O – termin pobierania materiału doświadczalnego pszenicy ozimej; J – termin pobierania materiału doświadczalnego pszenicy jarej

Fig.2. Distribution of mean daily temperature and level of rain fall during wheat grain maturing at the Field Experimental Station in Czesławice. Explanation: O – the term of gathering material of winter wheat; J – the term of gathering material of spring wheat

Pszenica ozima odmiany Zyta – jako pierwsza – osiągnęła dojrzałość woskową w dniu 23 VII, następnie – w dwa dni później (25 VII) – pszenica ozima Kris i jara Nawra. Jako ostatnia, dojrzałość woskową osiągnęła pszenica jara odmiany Broma (27 VII). Przejście z fazy dojrzałości młecznej do woskowej u odmiany Zyta nastąpiło w trakcie pięciodniowego okresu opadów deszczu (79,2 mm w ciągu 5 dni) – z kulminacją w dniu 24 VII (36,2 mm), natomiast u odmian Kris i Nawra dojrzałość woskową zarejestrowano w dniu następnym, po zakończeniu opadów. Należy podkreślić, że mimo intensywnych opadów ziarniaki pszenicy sukcesywnie obniżały zawartość wody i proces dojrzwania nie został zahamowany.

3.3.3. Zbiór i przygotowanie materiału do badań

Do szczegółowych badań laboratoryjnych pobierano kłosa z krótkimi odcinkami dokłosa i całe rośliny. Materiał doświadczalny odmian pszenicy ozimej pobrano 31 VII, w godzinach przedpołudniowych. W tym samym dniu, w godzinach popołudniowych wystąpił intensywny opad deszczu (22,6 mm). Pobranie materiału w tym dniu, przed opadami, pozwoliło uniknąć destrukcyjnego wpływu wysokiego gradientu wilgotności podczas intensywnego nawilżania suchego, dojrzałego już ziarna, co mogło skutkować niewątpliwie pojawieniem się pęknięć poprzecznych bielma [11,12]. Materiał doświadczalny odmian pszenicy jarej pobrano 03 VIII w przeddzień dwudniowych opadów, unikając również destrukcyjnych skutków intensywnego wzrostu wilgotności w ziarnie już dojrzałym.

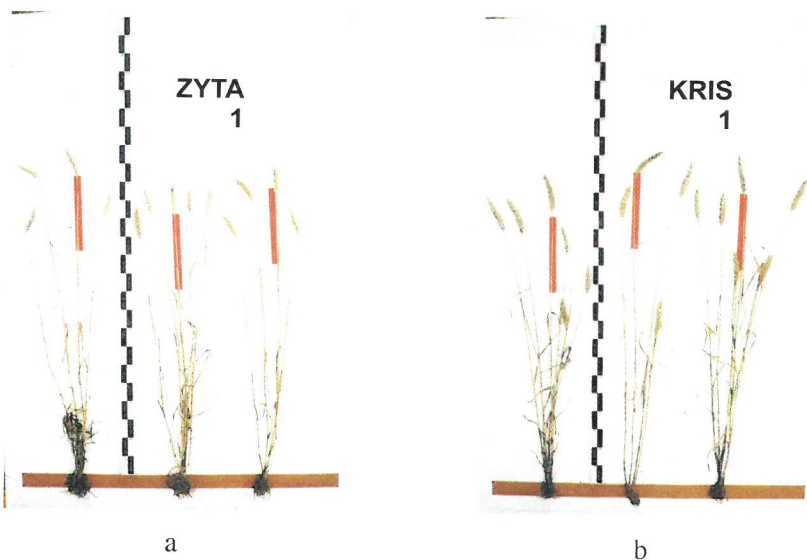
Z każdego powtórzenia pobierano po 10 kłosów reprezentatywnych pod względem długości oraz po 3 reprezentatywne rośliny wraz z systemem korzeniowym. Tak więc z poszczególnych odmian zabezpieczono po 12 roślin i 40 kłosów. Po przetransportowaniu do laboratorium, materiał był stabilizowany, w warunkach wilgotności względnej 85% i temperatury powietrza 18%, przez 2 tygodnie. Wilgotność względna ziarna pozyskanego z dodatkowo pobranych kłosów zawierała się w przedziale 14,5-15,3%.

3.4. Metodyka badań laboratoryjnych

Badaniami laboratoryjnymi objęto pomiary cech morfologicznych roślin, których widok ogólny przedstawiono na rysunkach 3 i 4.

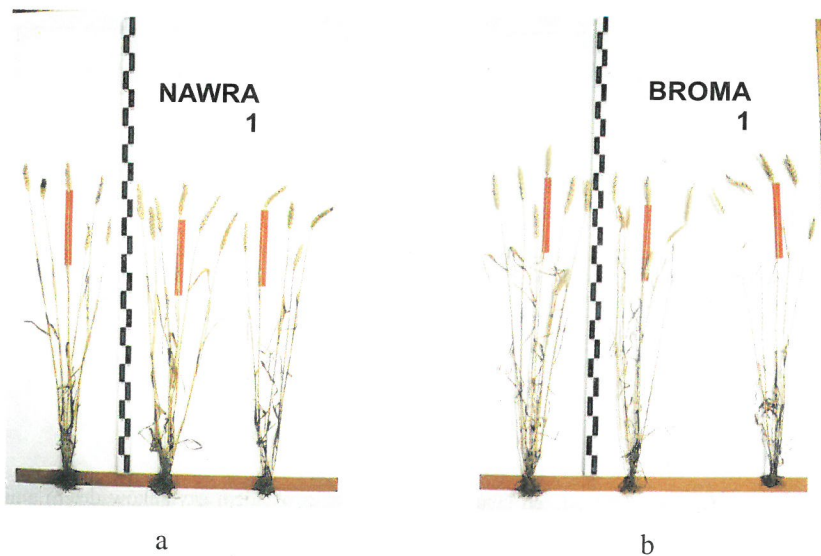
Rośliny pszenicy danej odmiany pochodziły z poletek pierwszego powtórzenia. Po przewiezieniu roślin do laboratorium układano je na białym ekranie prostopadle do linii poziomej wraz z listwą mierniczą o jednocentymetrowej skali podziału. Pod dokłosem źdźbła głównego każdej rośliny podklejano czerwony pasek, a odcinek dokłosa zabarwiano flamastrem w tym samym kolorze. Oznaczenia te miały na celu uniknięcie pomyłek przy pobieraniu do analiz kłosów źdźbeł bocznych.

Długość źdźbeł mierzono z dokładnością do 0,5 cm licząc od podstawy węzła krzewienia do nasady kłosa. Kłos z pędu bocznego danej rośliny, przeznaczony do badań porównawczych z kłosem głównym, wybierano w oparciu o kryterium najdłuższego kłosa bocznego w danej roślinie.



Rys. 3. Fotografie trzech roślin odmiany Zyta, pobranych z poletka nr 17 (a) i trzech roślin odmiany Kris, pobranych z poletka nr 19 (b)

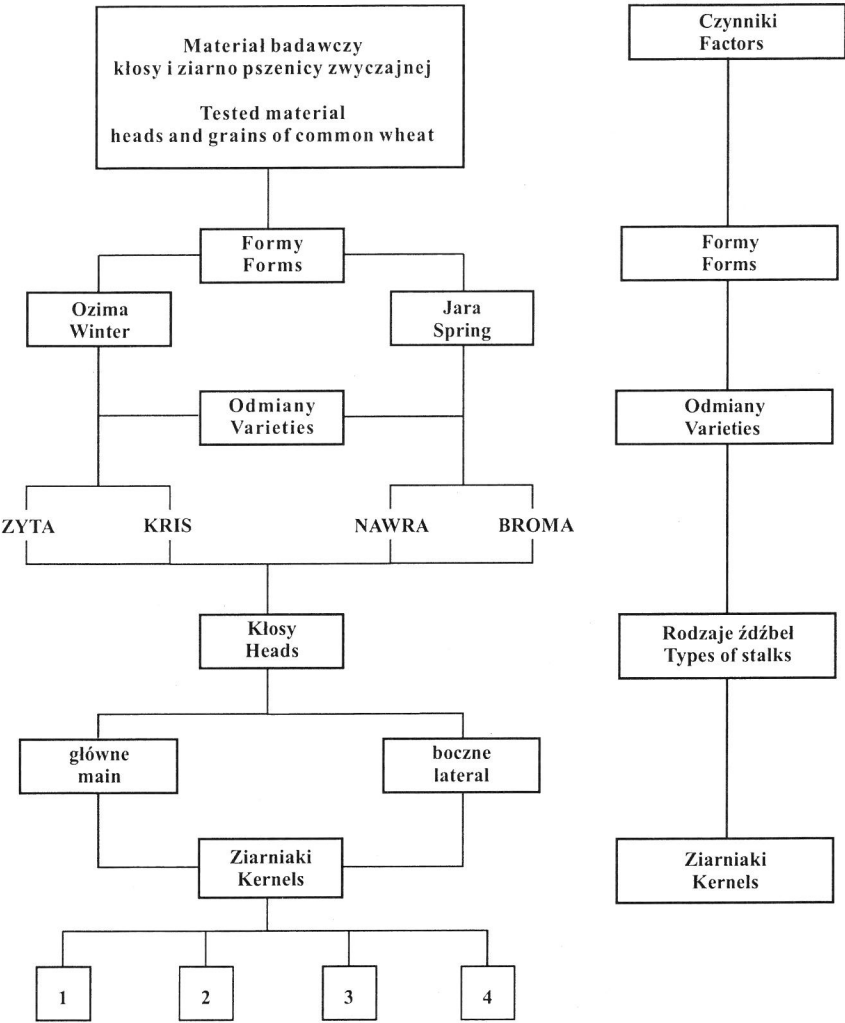
Fig. 3. Pictures of three plants of cv. Zyta, gathered from the plot no. 17 (a) and three plants of cv. Kris, gathered from the plot of no. 19 (b)



Rys. 4. Fotografie trzech roślin odmiany Nawra, pobranych z poletka nr 3 (a) i trzech roślin odmiany Broma, pobranych z poletka nr 4 (b)

Fig. 4. Pictures of three plants of cv. Nawra, gathered from the plot no. 3 (a) and three plants of cv. Broma, gathered from the plot of no. 4 (b)

Na rysunku 5 przedstawiono schemat blokowy doświadczeń laboratoryjnych wraz z układem czynników determinujących zmienność badanych cech.



Rys. 5. Schemat blokowy doświadczeń laboratoryjnych wraz z układem czynników determinujących zmienność mierzonych cech

Fig. 5. Block scheme of laboratory experiments with layout of determining factors of measured properties

Do badań szczegółowych w laboratorium pobierano po 10 kłosów ze źdźbeł głównych i bocznych każdej odmiany. Przy czym pobrane kłosy ze źdźbeł głównych i źdźbeł bocznych w liczbie 12 sztuk (po trzy rośliny z każdego powtórzenia) były układane równolegle pod względem długości, a dwa najkrótsze kłosy odrzucano. Zróżnicowanie kłosów ze źdźbeł głównych i bocznych pod względem długości było nieznaczne, a różnica pomiędzy najdłuższym i najkrótszym kłosem nie przekraczała 1,0 cm wśród kłosów źdźbeł głównych i 1,5 cm – bocznych.

3.4.1. Opracowanie kart akwizycji danych pomiarowych

Przed przystąpieniem do preparowania kłosów opracowano specjalne karty akwizycji danych (rys. 6 i 7). Karty zawierały zestawy wszystkich wartości mierzonych cech fizycznych ziarniaków, określone przy zastosowaniu pomiarów bezpośrednich z wykorzystaniem:

- miernika cyfrowego do oznaczania cech geometrycznych pojedynczych ziarniaków,
 - wagi elektronicznej do oznaczania masy pojedynczego ziarniaka,
- oraz dwóch systemów pomiarów pośrednich z wykorzystaniem:
- techniki rentgenowskiej wraz z systemem CAOR,
 - aparatury SKCS.

Zestawy danych pomiarowych otrzymywane z systemu pośredniego jakim był SKCS, były drukowane w postaci standardowych raportów. Aparat SKCS, oprócz masy, średnicy zastępczej pojedynczych ziarniaków (umowna średnica ziarniaka) i ich indeksów twardości określa również wilgotność każdego ziarniaka (patrz wydruk przedstawiony na rys. 8). Z uwagi jednak na bardzo wyrównany poziom wilgotności wszystkich testowanych ziarniaków, zawierający się średnio na poziomie 14,2% z odchyleniem standardowym 0,3%, wielkości tej cechy nie były brane pod uwagę przy dalszej analizie danych.

Na drodze pomiarów bezpośrednich oznaczano następujące cechy:

- masę pojedynczych ziarniaków (mg),
- długość, szerokość i grubość każdego ziarniaka (mm).

Przy pomocy metod pośrednich, przy wykorzystaniu techniki rentgenograficznej wraz z systemem CAOR oznaczano:

- długość i szerokość ziarniaka (mm),

a przy wykorzystaniu aparatury SKCS:

- masę pojedynczych ziarniaków (mg),
- średnicę zastępczą ziarniaka (mm),
- indeks twardości ziarniaka w jednostkach niemianowanych (-).

TabelaWyniki pomiarów cech fizycznych pojedynczych ziarniaków z kłosów głównych i bocznych pszenicy – pomiary bezpośrednie
Table.....Results of measurements of single kernels from main and lateral heads of wheat – direct measurements
Odmiana: /nr powt. (poletka) /nr rośliny / typ kłosa
Variety: /no of replic. (plot) /no of plant / type of head

Nr kłoska/ ziarniaka No of head/ kernel	Rozmiary ziarniaka Size of kernel (mm)												Masa ziarniaka Mass of kernel (mg)			
	grubość thickness				szerokość width				długość length							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
.																
.																
23																
24																

Data pom.:/...../..... Wykonał zespół:
Date of measure/...../..... Made by:

Rys. 6. Wzór karty akwizycji danych z pomiarów bezpośrednich
Fig. 6. Sheet sample of acquisition data from direct measurements

TabelaWyniki pomiarów cech fizycznych pojedynczych ziarniaków z kłosów głównych i bocznych pszenicy – pomiary bezpośrednie
Table.....Results of measurements of single kernels from main and lateral heads of wheat – measurements from X-ray Image Analysis System (CAOR)
Odmiana: /nr powt. (poletka) /nr rośliny / typ kłosa
Variety: /no. of replic. (plot) /no of plant / type of head

Nr kłoska/ ziarniaka No of head/ kernel	Cechy geometryczne Geometrical properties				
	pole field (mm ²)	obwód circumference (mm)	kolistość roundness (-)	długość length (mm)	szerokość width (mm)
1					
2					
.					
.					
59					
60					

Data pom.:/...../..... Wykonał zespół:
Date of measure/...../..... Made by:

Rys. 7. Wzór karty akwizycji danych z pomiarów pośrednich przy zastosowaniu aparatury rentgenowskiej i systemu CAOR
Fig. 7. Sheet sample of acquisition data from indirect measurements using X-ray apparatus and X-ray Image Analysis System (CAOR)

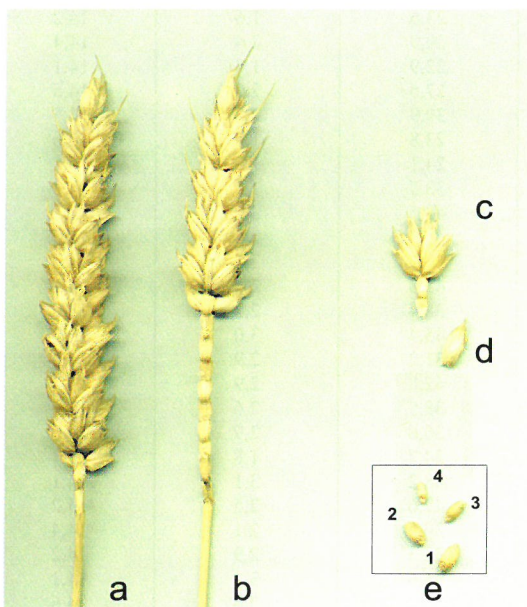
Na rysunku 8 przedstawiono typowy wydruk przykładowych danych zarejestrowanych przez analizator pojedynczych ziarniaków (SKCS).

„\broma111.SKD 090926 12:01:32 Req: 300 :001 Miss: 433 REJ: 1 Kerns: 41 Rj1: 0Rj2: 0 Rj3: 1 Rj6: 0 Rj5: 0 Rj8: 0 Rj4: 0 Rj7: 0				
“K#”	“Wt”	“Dia”	“Mois”	“Hardness”
1	23,6	1,6	14,2	65,9
2	39,9	2,4	14,4	49,8
3	22,9	1,8	14,1	61,9
4	27,6	2,0	14,5	44,9
5	39,9	2,8	14,5	57,6
6	23,8	1,5	14,0	69,4
7	24,1	1,9	14,1	76,3
8	33,2	1,9	14,3	81,5
9	43,5	3,0	14,2	51,3
10	41,3	2,4	14,5	57,7
11	23,2	2,1	14,2	84,3
12	43,8	2,6	14,1	47,0
13	38,4	2,3	13,9	89,7
14	45,4	3,0	14,3	71,9
15	31,2	2,9	14,4	83,7
16	42,8	2,9	14,5	57,8
17	38,5	2,6	13,9	83,6
18	36,6	2,9	14,0	73,6
19	24,7	1,8	13,7	36,7
20	48,2	3,1	14,1	57,4
21	42,6	2,5	14,2	57,8
22	30,5	2,1	14,4	83,3
23	38,3	2,9	14,2	72,4
24	44,6	3,1	14,1	75,5
25	38,1	2,3	14,6	53,2
26	37,3	2,7	14,2	62,0
27	47,3	3,5	14,2	86,2
28	38,2	2,8	14,5	62,6
29	42,1	2,6	14,5	54,6
30	38,9	2,5	14,2	58,7
31	31,2	1,9	14,2	53,1
32	41,1	2,5	14,3	64,9
33	35,6	2,6	14,4	75,2
34	31,7	2,0	14,7	52,8
35	39,0	2,5	14,6	80,2
36	33,8	2,8	14,1	74,6
37	26,4	1,9	14,6	48,5
38	31,1	2,6	14,0	85,1
39	37,9	2,9	14,5	63,8
40	17,0	1,4	14,4	51,6
41	30,2	1,8	14,4	79,5

Rys. 8. Typowy wydruk danych z analizatora SKCS
Fig. 8. Typical print-out of data from SKCS System

3.4.2. Przygotowanie ziarna do badań laboratoryjnych

Kłosa preparowano ręcznie z dużą ostrożnością, tak aby nie stracić żadnego ziarniaka. Najpierw oddzielano od osadki kłosowej kłosek najniżej położony w kłosie. Jeśli kłosek dolny występował na trzeciej osadce kłosa, to w karcie akwizycji danych stawiano znak kreski oznaczający jego brak (patrz rys. 6). Sposób preparowania kłosów ilustruje rysunek 9.



Rys. 9. Etapy preparowania ziarniaków z kłosów i ich przygotowania do dalszych pomiarów
Fig. 9. Stages of kernels preparation and preparing of them to further measurements

Rysunek 9 przedstawia widok całego kłosa (a), kłosa z usuniętymi kłoskami (b), kłoska (c), fragmentu kłoska w postaci oplewionego, pierwszego ziarniaka (d) oraz cztery kolejne ziarniaki z kłoska (e). Wydzielone z kłosków ziarniaki, których liczba nie przekraczała 4 sztuk były w odpowiadającej im kolejności poddawane pomiarom bezpośrednim. Następnie, każdy ziarniak w kolejności odpowiadającej jego położeniu w kłosku i kłosie układano na kasecie pomiarowej, wykonanej z papieru przylepnego, jak na rysunku 13a.

Wszystkie ziarniaki z jednego kłosa, w kolejności ich występowania w poszczególnych kłoskach, naklejano na kasetach pomiarowych w kilku rzędach i oznaczano odpowiednim kodem identyfikującym przy użyciu metalowych znaczników (rys. 13a i b – oznaczenia 8 i 1) Tak przygotowany materiał poddawano następnie badaniom rentgenograficznym.

3.5. Aparatura pomiarowa

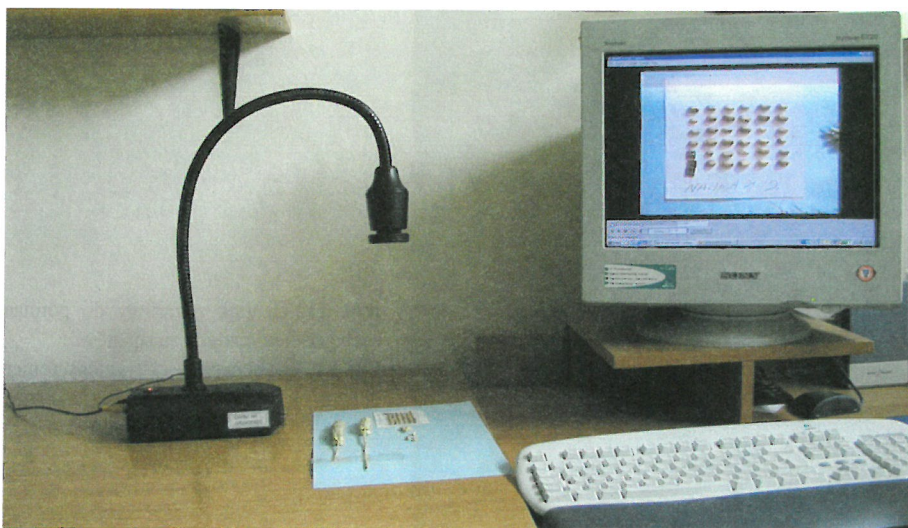
W badaniach laboratoryjnych zastosowano różnorodną aparaturę pomiarową: prototyp czujnika zegarowego wykonany w Instytucie Agrofizyki, wagę elektroniczną „Medicat” 160M, piknometr szklany o pojemności $5,243 \text{ cm}^3$ niemieckiej firmy Brand Duran, zestaw aparatury rentgenowskiej „Elektronika 25” produkcji rosyjskiej firmy „Svetlana”, analizator ziarniaków – SKCS typ 4100 produkcji USA firmy Perten Instruments i wideoskop „Video Flex” typ VF-4000, firmy Eduko przeznaczony do rejestracji obrazów wizyjnych.

3.5.1. Pomiary piknometryczne

Pomiary piknometryczne przeprowadzono w celu wstępnego oszacowania objętości losowo wybranych ziarniaków. Zestaw pomiarowy stanowił piknometr oraz waga elektroniczna mierząca z dokładnością do 1 mg. Oznaczanie gęstości metodą piknometryczną było zgodne z Polska Normą PN-G-04401-5.

3.5.2. Rejestracja obrazów wizyjnych materiału badawczego

Na rysunku 10 przedstawiono zestaw wizyjny do zapisu obrazów badanych obiektów w pamięci komputera. Zestaw rejestrował obrazy wybranych elementów obiektów badawczych, które stanowiły materiał faktograficzny, głównie kłósów, kłósków i ziarniaków (rys. 9).



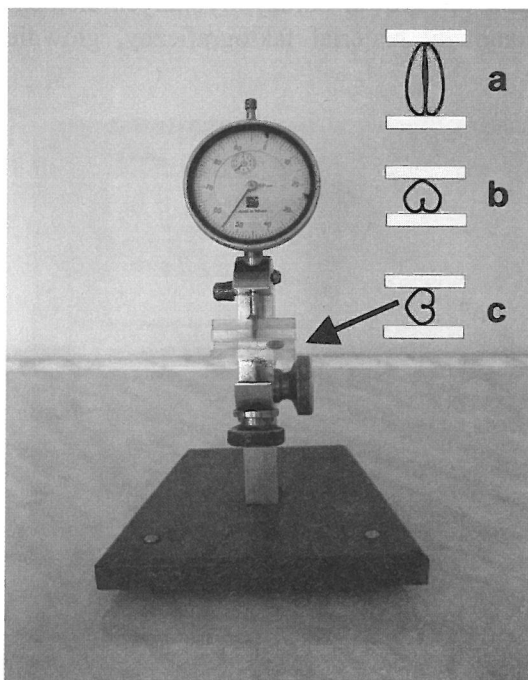
Rys. 10. Zestaw wizyjny Video Flex, typ VF-4000

Fig. 10. Vision set of Video Flex, type VF-4000

Zestaw Video Flex jest prostą w obsłudze, wielofunkcyjna kamerą umocowaną na statywie z giętkim ramieniem o długości 65cm. Urządzenie to umożliwia oglądanie, kolorowych obrazów płaskich i obiektów trójwymiarowych. Urządzenie współpracuje z komputerem. Wymienne obiektywy posiadają głębię ostrości od 6 mm do nieskończoności. Zestaw ten umożliwia 50-krotne powiększenie obrazu na monitorze.

3.5.3. Aparatura do bezpośrednich pomiarów cech geometrycznych i masy pojedynczych ziarniaków

Na rysunku 11 przedstawiono widok czujnika zegarowego do precyzyjnego określania następujących cech geometrycznych pojedynczych ziarniaków: długości (*a*), szerokości (*b*) i grubości (*c*). Pomiaru cech geometrycznych dokonywano z dokładnością do 0,01 mm. Masę pojedynczych ziarniaków oznaczano na wadze Medicat 160M z dokładnością do 1 mg.

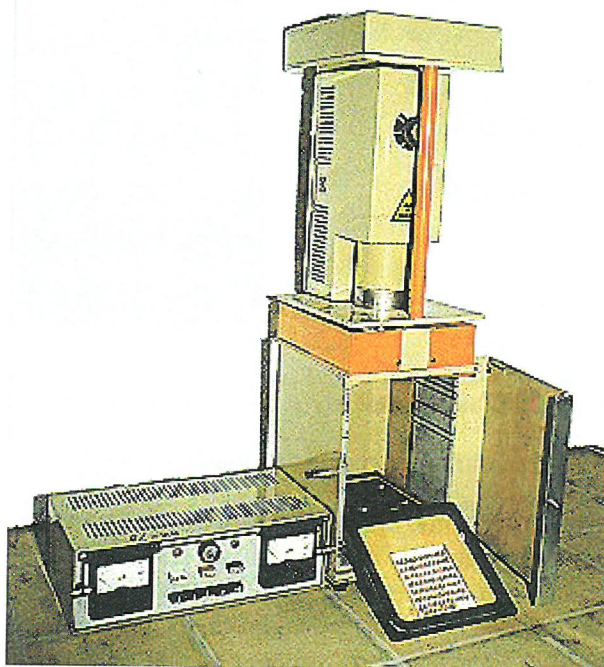


Rys. 11. Czujnik zegarowy do pomiaru cech geometrycznych ziarniaków

Fig. 11. The sensor clock to measurement of geometrical properties of single kernels

3.5.4. Zestaw aparatury rentgenowskiej

Na rysunku 12 pokazano zestaw aparatury do detekcji rentgenowskiej ziarna Elektronika 25.

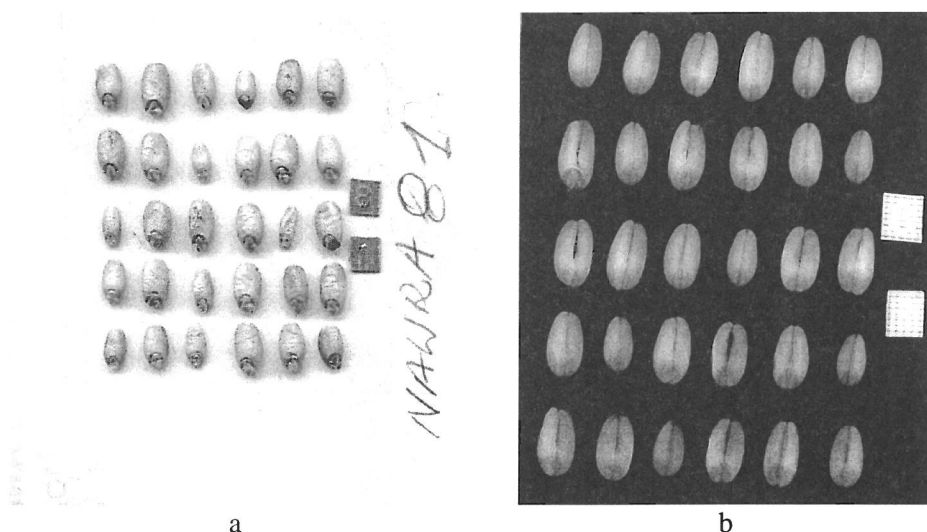


Rys. 12. Zestaw aparatury rentgenowskiej Elektronika 25

Fig. 12. X-ray measurement set of Elektronika 25

Parametry robocze aparatu Elektronika 25 stosowane w badaniach były następujące: napięcie zasilania – 220 V (50 Hz), moc zasilania aparatu – 70 W, napięcie przyśpieszenia na elektrodzie lampy rentgenowskiej – 20 kV, prąd żarzenia elektrody – 50 mA, czas ekspozycji kliszy – 2 minuty. Obrazy ziarniaków rejestrowano na kliszach rentgenowskich XS-1 firmy Kodak o rozmiarach 13x18 cm. Uzyskiwane na kliszach obrazy przedstawiały ziarniaki w trzykrotnym powiększeniu (rys. 13b).

Miękkie promieniowanie rentgenowskie emitowane w tym aparacie jest w dostatecznym stopniu absorbowane przez tkanki ziarniaka. Pozwala na wyraźne zarysowanie na kliszach rentgenowskich, na tle obrazu ziarniaka jego elementów anatomicznych takich, jak zarodek czy bruzdka. W szczególnych przypadkach, kiedy dochodzi do powstawania uszkodzeń wewnętrznych ziarna, na obrazach rentgenowskich można również obserwować charakterystyczne pęknięcia poprzeczne bielma.



Rys. 13. Kaseta pomiarowa z naklejonymi ziarniakami (a) i obrazy rentgenowskie ziarniaków (b)
Fig. 13. Measurement cassette with glued kernels (a) and X-ray images of kernels (b)

3.5.5. Cyfrowa analiza obrazów rentgenowskich – CAOR

System CAOR został opracowany w oparciu o dokumentację skomputeryzowanego stanowiska badawczego do analizy obrazów rentgenowskich ziarna pszenicy. Stanowisko to zostało zbudowane w ramach grantu KBN Nr 5 P06F 01209 pt. „Fizyczne i biologiczne skutki suszenia mikrofalowego ziarna pszenicy”. Pakiet tego programu został wykorzystany do analizy obrazów rentgenowskich ziarniaków przy realizacji niniejszego projektu. Szczegółowy opis procedury postępowania przy cyfrowej analizie obrazów rentgenowskich jest zawarty w sprawozdaniu merytorycznym tego grantu [16].

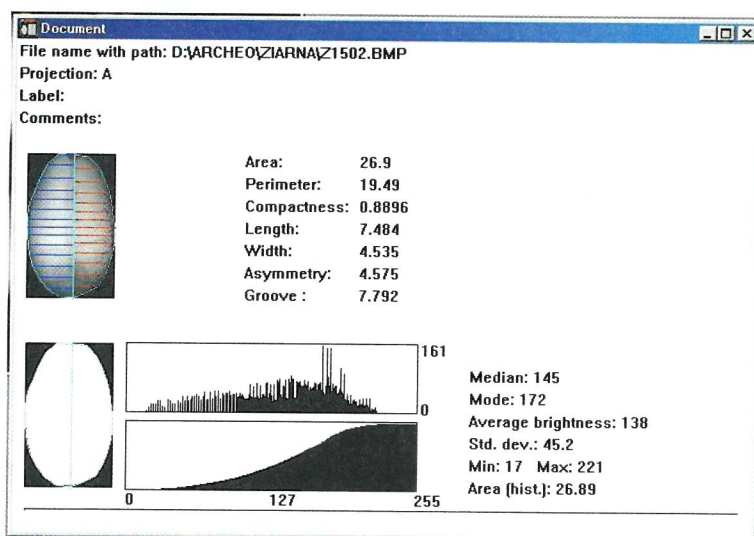
Obrazy rentgenowskie po zeskanowaniu przenoszone są do pakietu programu cyfrowej analizy obrazów rentgenowskich. System CAOR pozwala na analizę obrazu poszczególnych ziarniaków. Pakiet tego programu, według Niewczasa [16], pozwala na wyznaczenie następujących parametrów obrazów rentgenowskich pojedynczych ziarniaków:

- pole powierzchni (mm^2),
- obwód rzutu obiektu (mm),
- współczynnik kolistość rzutu ziarniaka (–),
- maksymalna długość ziarniaka (mm),
- maksymalna szerokość ziarniaka (mm),
- współczynnik asymetrii ziarna (–),
- długość bruzdki ziarniaka (mm).

Pakiet tego programu pozwala dodatkowo wyznaczyć wskaźnik uszkodzeń bielma, który informuje o stanie destrukcji bielma pod wpływem oddziaływania gradientu wilgotności. Rentgenogramy badanych ziarniaków nie wykazywały uszkodzeń tego typu w związku z tym cecha ta nie była uwzględniana w systemie CAOR. Dla potrzeb analizy cech geometrycznych z programu CAOR odczytywano jedynie wartości dwóch cech – długość i szerokość.

Ponieważ rzuty ziarniaka w strumieniu wiązki promieni rentgenowskich są obarczone podobnym błędem jak przy rzucie obrazu w świetle widzialnym i powiększają obraz obiektu, w związku z tym do szczegółowych obliczeń szerokości ziarniaka przyjęto stały współczynnik przeliczeniowy wynoszący 0,9 wartości szerokości rzutu ziarniaka. Wartość tego współczynnika pozwalała z zadowalającą dokładnością wyznaczyć wielkość parametru [17].

Na rysunku 14 przedstawiono okno wydruku obrazu ziarniaka i jego parametry z pakietu programu CAOR według Niewczasa [16].



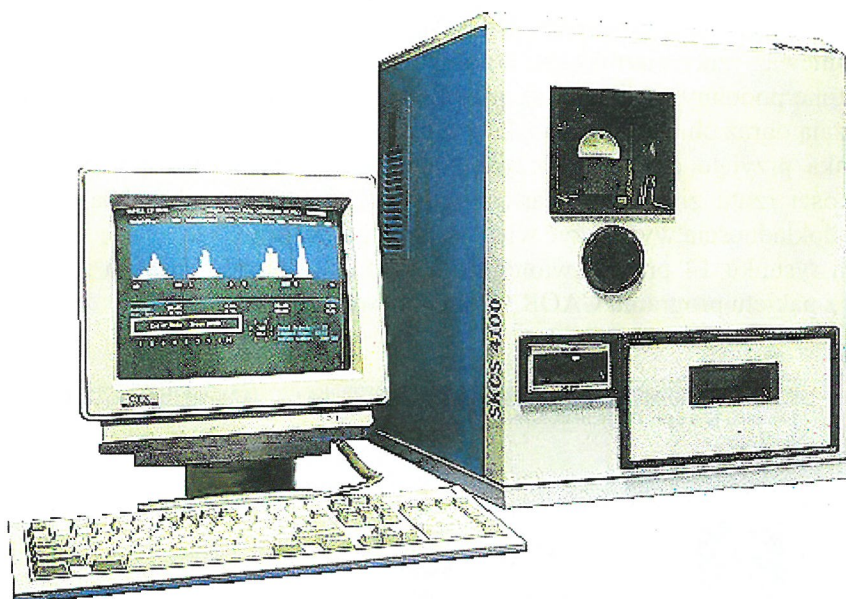
Rys. 14. Okno programu CAOR z obrazem ziarniaka i jego parametrami

Fig. 14. The window from CAOR program with X-ray image of kernel and its parameters

3.5.6. Analizator pojedynczych ziarniaków – SKCS

Analizator SKCS w swoim standardowym wyposażeniu umożliwia przeprowadzenie szybkiej i obiektywnej oceny jednorodności badanej próbki ziarna. Ocena jednorodności próbki jest oparta na analizie pojedynczych ziarniaków, pod

względem następujących cech technologicznych: masy, średnicy zastępczej, twardości i wilgotności. Widok ogólny zestawu pomiarowego SKCS przedstawiono na rysunku 15, a schemat jego działania na rysunku 16.

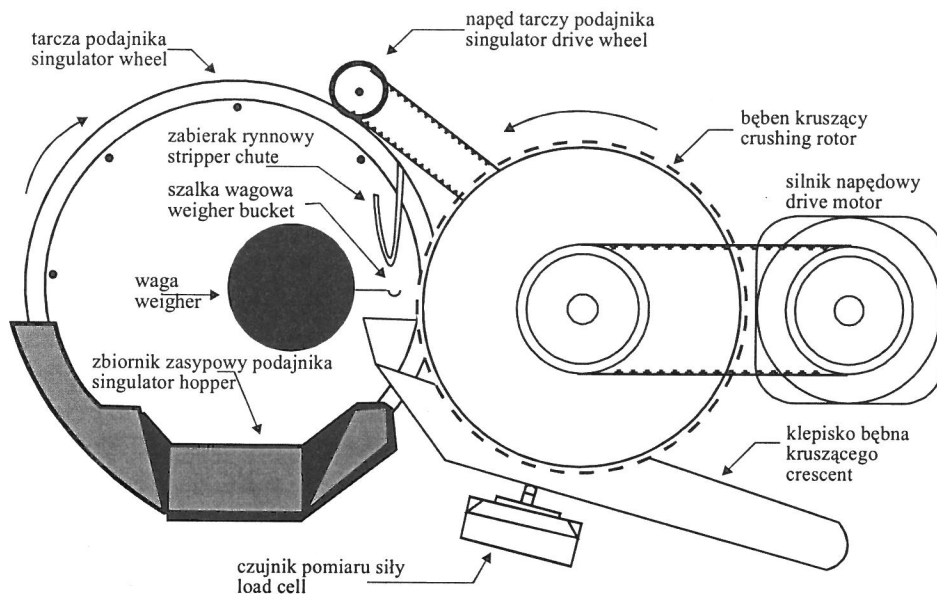


Rys. 15. Analizator pojedynczych ziarniaków – SKCS, typ 4100

Fig. 15. View of measurement set of SKCS, type 4100

Testowaną próbkę ziarna w warunkach pomiarów standardowych umieszcza się w zbiorniku zasypowym, skąd tarcza podajnika przekazuje losowo pobierane ziarniaki na szalkę wagi (rys. 16). Po zważeniu ziarniak podawany jest do szczeliny pomiarowej, gdzie określana jest jego średnica zastępcza, droga i siła kruszenia oraz wilgotność. Wszystkie te parametry zgodnie z przyjętym algorytmem obliczeniowym są analizowane w programie komputera wbudowanego w aparat. Standardowy cykl pomiarowy trwa od 4 do 5 minut i obejmuje 300 ziarniaków. W czasie cyklu pomiarowego komputer analizuje około 40 punktów pomiarowych i w oparciu o przyjęty algorytm oblicza indeks twardości każdego ziarniaka. Standardowe raporty w postaci histogramów poszczególnych parametrów są wyświetlane na monitorze i mogą być drukowane.

Ponieważ specyfika pomiarów prowadzonych w ramach projektu wymagała przestrzegania zasady podawania pojedynczych ziarniaków w ściśle określonej kolejności, jaka wynikała z ich ułożenia w poszczególnych kłoskach na długości kłosa, w związku z tym dokonano adaptacji tego urządzenia pod kątem zachowania ciągłości rejestrowania wyników pomiarów. W ramach adaptacji tego aparatu do potrzeb badań ustalono odpowiednie przedziały graniczne dla poszczególnych parametrów, które pozwalały na testowanie „prawie” każdego ziarniaka.



Rys. 16. Schemat działania aparatu SKCS-4100

Fig. 16. Draft of work principle of SKCS-4100

W programie komputerowym aparatu SKCS zakresy mierzonych parametrów: masy, średnicy zastępczej i indeksu twardości były maksymalnie poszerzone, tak aby możliwie wszystkie ziarniaki niezależnie od ich masy i wielkości były przetestowane. Należy jednak zaznaczyć, iż zdarzały się pojedyncze przypadki odrzucania nie rozwiniętych w pełni ziarniaków na pierwszym teście wagowym w tym aparacie.

Przed rozpoczęciem testu pomiarowego do pamięci komputera zestawu SKCS wprowadzano kod identyfikacyjny kasetki z naklejonymi ziarniakami (rys. 13a). Zestawienia danych drukowano z dysku pamięci komputera pomijając tak zwane raporty standardowe. Przykładowy wydruk danych uzyskanych z pamięci komputera zestawu pomiarowego SKCS przedstawiono na rysunku 8.

Każdy zestaw danych zapisanych w pamięci komputera zestawu pomiarowego SKCS obejmował wszystkie ziarniaki z pojedynczego kłosa danej kombinacji doświadczenia. Z uwagi na zapis elektroniczny dane te były bezpośrednio transformowane do kart obliczeniowych w programie Excel 2000, które stanowiły podstawę do dalszych obliczeń statystycznych. W kartach obliczeniowych przeznaczonych do programu Excel zapisywano jedynie wartości masy, średnicy zastępczej i indeksu twardości pojedynczych ziarniaków pomijając wartości wilgotności, która z uwagi na bardzo duże wyrównanie, spowodowane długotrwałym przebywaniem w warunkach laboratoryjnych, nie stanowiła przedmiotu dalszych analiz i porównań.

3.6. Metody obliczeniowe

Do opracowania wyników badań wykorzystano pakiet statystyczny w wersji polskiej Statistica 5.5. PL. Dane pomiarowe z różnych obiektów i systemów pomiarowych gromadzone były w postaci arkuszy w programie Excel 2000. Zaimportowano je do pakietu statystycznego Statistica, w którym zakodowano badane czynniki i obliczono nowe parametry i charakterystyki badanego materiału. W ustaleniu wstępnych kryteriów oceny danych pomocne były złożone, retrospektywne wykresy statystyczne ujmujące jednocześnie wszystkie dane pomiarowe w różnorodnych układach czynnikowych na przykład według numeru kłosa, kolejnych numerów kłosek i ziarniaków znajdujących się w nich. Występujące naturalne dla danego obiektu korelacje badanych cech na przykład długość/szerokość/grubość ziarniaka były dodatkowym elementem redukcji błędów przypadkowych.

Do obliczeń statystyk opisowych wykorzystano z pakietu Statistica procedurę „Przekroje: Statystyki opisowe według grup” i wyznaczano wartości średnie, odchylenia standardowe, wartości minimalne i maksymalne, macierze korelacji parametrów. Niezwykle przydatne okazały się utworzone różnorakie wykresy podsumowujące typu 2W, zwłaszcza kaskady skategoryzowanych wykresów rozrzutu dla wybranych par zmiennych – jeden wykres dla każdej pary (dla każdej korelacji) i z podziałem na kategorie według zmiennych kategoryzujących.

Badano powiązania liniowe niektórych, szczególnych parametrów (korelacje) – poszukując odpowiedzi na pytanie, czy można je aproksymować przy pomocy linii prostej. Rozkłady badanych cech na długości kłosa opisano wielomianem 5-stopnia.

Trafność proponowanego modelu badawczego weryfikowano poprzez zastosowanie go do podzbiorów danych wykorzystując technikę użycia warunków selekcji przypadków. Wszystkie wyniki zostały poddane ocenie istotności statystycznej przyjmując za graniczny poziom $p = 0,05$.

4. WYNIKI BADAŃ

Wyniki badań obejmują zestawienia tabelaryczne średnich wartości, cechy fizyczne pojedynczych ziarniaków określone na drodze pomiarów bezpośrednich i pośrednich, a ponadto graficzną ilustrację rozkładu wartości tych cech na długości kłosa z uwzględnieniem kolejnych ziarniaków w kłoskach.

4.1. Cechy fizyczne pojedynczych ziarniaków

Wyniki pomiarów cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w postaci wartości średnich i odchyłeń standardowych zestawiono w odpowiednich tabelach. Zestawione dane uwzględniają kolejne ziarniaki w kłoskach kłosów głównych i bocznych poszczególnych odmian pszenicy formy ozimej i jarej.

4.1.1. Pomiary bezpośrednie

W tabelach 5-8 podano średnie wartości i odchylenia standardowe długości, szerokości, grubości i masy poszczególnych ziarniaków w kłosach badanych odmian pszenicy zwyczajnej. Tabela 5 zawiera średnie wartości i odchylenia standardowe długości pojedynczych ziarniaków pszenicy badanych odmian z uwzględnieniem kłosów głównych i bocznych oraz pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w poszczególnych kłoskach, a tabela 6 analogiczne dane dla szerokości tych ziarniaków.

Tabela 5. Średnia długość (mm) z odchyleniem standardowym ziarniaków w kłosach głównych i bocznych u odmian pszenicy ozimej i jarej

Table 5. Average kernels length (mm) with standard deviation in the main and lateral spikes at winter and spring wheat varieties

Odmiany: Cultivars: ozime winter jare spring	Typ kłosa Type of ear	Średnia długość kolejnego ziarniaka w kłosku Average kernel's length in order to their position in the spikelet			
		1	2	3	4
Zyta	Główny – Main	6,49 ± 0,35	6,51 ± 0,36	6,01 ± 0,53	5,60 ± 0,00
	Boczny – Lateral	6,51 ± 0,36	6,50 ± 0,41	6,02 ± 0,51	–
Kris	Główny – Main	6,60 ± 0,30	6,50 ± 0,40	6,40 ± 0,50	6,00 ± 0,50
	Boczny – Lateral	6,50 ± 0,30	6,40 ± 0,40	6,30 ± 0,50	6,00 ± 0,50
Nawra	Główny – Main	6,55 ± 0,38	6,48 ± 0,46	6,23 ± 0,53	5,72 ± 0,37
	Boczny – Lateral	6,49 ± 0,36	6,43 ± 0,47	6,27 ± 0,48	5,83 ± 0,46
Broma	Główny – Main	6,57 ± 0,35	6,49 ± 0,38	6,36 ± 0,46	6,02 ± 0,50
	Boczny – Lateral	6,54 ± 0,34	6,38 ± 0,41	6,28 ± 0,48	5,97 ± 0,49

Tabela 6. Średnia szerokość (mm) z odchyleniem standardowym ziarniaków w kłosach głównych i bocznych u odmian pszenicy ozimej i jarej

Table 6. Average kernels width (mm) with standard deviation in the main and lateral spikes at winter and spring wheat varieties

Odmiany: Cultivars: ozime winter	Typ kłosa Type of ear	Średnia szerokość kolejnego ziarniaka w kłosku Average kernel's width in order to their position in the spikelet			
		1	2	3	4
jare spring					
Zyta	Główny – Main	3,65 ± 0,27	3,65 ± 0,27	3,65 ± 0,27	3,10 ± 0,00
	Boczny – Lateral	3,65 ± 0,25	3,63 ± 0,26	3,39 ± 0,32	–
Kris	Główny – Main	3,64 ± 0,30	3,57 ± 0,34	3,35 ± 0,46	3,00 ± 0,33
	Boczny – Lateral	3,56 ± 0,26	3,48 ± 0,34	3,26 ± 0,36	2,77 ± 0,46
Nawra	Główny – Main	3,32 ± 0,29	3,31 ± 0,34	3,16 ± 0,31	2,83 ± 0,27
	Boczny – Lateral	3,32 ± 0,29	3,31 ± 0,34	3,16 ± 0,31	2,83 ± 0,27
Broma	Główny – Main	3,07 ± 0,31	3,04 ± 0,33	2,85 ± 0,40	2,59 ± 0,37
	Boczny – Lateral	3,01 ± 0,34	2,98 ± 0,36	2,83 ± 0,38	2,65 ± 0,40

W tabeli 7 podano średnie wartości i odchylenia standardowe grubości (mm) pojedynczych ziarniaków pszenicy badanych odmian z uwzględnieniem kłosów głównych i bocznych oraz pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w poszczególnych kłoskach, a tabela 8 – analogiczne dane dla masy tych ziarniaków.

Tabela 7. Średnia grubość (mm) z odchyleniem standardowym ziarniaków w kłosach głównych i bocznych u odmian pszenicy ozimej i jarej

Table 7. Average kernels thickness (mm) with standard deviation in the main and lateral spikes at winter and spring wheat varieties

Odmiany: Cultivars: ozime winter	Typ kłosa Type of ear	Średnia grubość kolejnego ziarniaka w kłosku Average kernel's thickness in order to their position in the spikelet			
		1	2	3	4
jare spring					
Zyta	Główny – Main	3,08 ± 0,18	3,07 ± 0,20	2,75 ± 0,26	2,82 ± 0,00
	Boczny – Lateral	3,09 ± 0,19	3,08 ± 0,21	2,76 ± 0,21	–
Kris	Główny – Main	3,07 ± 0,21	3,00 ± 0,25	2,79 ± 0,28	2,47 ± 0,23
	Boczny – Lateral	2,92 ± 0,23	2,83 ± 0,29	2,66 ± 0,27	2,43 ± 0,25
Nawra	Główny – Main	3,01 ± 0,21	2,94 ± 0,27	2,71 ± 0,26	2,48 ± 0,24
	Boczny – Lateral	2,92 ± 0,23	2,83 ± 0,29	2,66 ± 0,27	2,43 ± 0,25
Broma	Główny – Main	2,73 ± 0,26	2,65 ± 0,26	2,50 ± 0,29	2,27 ± 0,31
	Boczny – Lateral	2,73 ± 0,27	2,61 ± 0,25	2,48 ± 0,29	2,26 ± 0,30

Tabela 8. Średnia masa (mg) odchyleniem standardowym ziarniaków w kłosach głównych i bocznych u odmian pszenicy ozimej i jarej

Table 8. Average kernels mass (mg) with standard deviation in the main and lateral spikes at winter and spring wheat cultivars

Odmiany: Cultivars:	Typ kłosa Type of ear	Średnia masa kolejnego ziarniaka w kłosku Average kernel's mass in order to their position in the spikelet			
		1	2	3	4
ozime winter					
jare spring					
Zyta	Główny – Main	54,7 ± 9,8	53,9 ± 9,7	42,3 ± 12,3	39,0 ± 0,6
	Boczny – Lateral	54,8 ± 8,8	54,1 ± 9,5	41,9 ± 11,4	–
Kris	Główny – Main	52,4 ± 9,6	49,9 ± 10,5	41,8 ± 12,2	30,1 ± 7,9
	Boczny – Lateral	52,3 ± 9,5	48,2 ± 10,4	49,8 ± 10,6	28,3 ± 9,6
Nawra	Główny – Main	52,4 ± 9,6	49,9 ± 10,5	41,8 ± 12,2	30,1 ± 7,9
	Boczny – Lateral	52,3 ± 9,5	48,2 ± 10,4	49,8 ± 10,6	28,3 ± 9,6
Broma	Główny – Main	48,9 ± 10,1	47,9 ± 11,2	40,0 ± 11,8	29,4 ± 9,3
	Boczny – Lateral	44,3 ± 10,2	42,5 ± 11,6	37,5 ± 10,1	29,3 ± 9,0

Tabela 9 zawiera wartości podstawowych parametrów statystycznych wielkości cech fizycznych 30 losowo pobranych ziarniaków pszenicy. Podano tu parametry następujących cech: geometrycznych (długość, szerokość i grubość) oraz masy pojedynczych ziarniaków, określone na drodze pomiarów bezpośrednich tych ziarniaków oraz wyniki pomiarów ich objętości wyznaczone na drodze pomiarów piknometrycznych.

Tabela 9. Podstawowe parametry statystyczne cech fizycznych 30 losowo pobranych ziarniaków pszenicy wyznaczone na drodze pomiarów bezpośrednich

Table 9. Basic statistic parameters of 30 randomly chosen physical properties of wheat kernels evaluated by direct measurements

Parametry statystyczne Statistic parameters	Długość Length (mm)	Szerokość Width (mm)	Grubość Thickness (mm)	Masa Mass (mg)	Objętość Volume (mm ³)
Najmniejszy Minimum	5,2	2,3	2,0	18,0	4,0
Największy Maximum	7,0	3,9	3,4	62,0	52,0
Średnia Average	6,3	3,2	2,8	44,2	27,5
Odchyl. stat. Standard dev.	0,5	0,4	0,4	12,6	10,9

4.1.2. Pomiary przy zastosowaniu systemu CAOR

Tabela 10 zawiera zestawienie wartości średnich i odchyłeń standardowych długości i szerokości pojedynczych ziarniaków na długości kłosów badanych odmian pszenicy. Dane pochodzą z pomiarów pośrednich przy zastosowaniu systemu CAOR przeprowadzonych na kłosach głównych danej odmiany z uwzględnieniem kolejności ziarniaków występujących w kłoskach na długości osadki kłosowej.

Tabela 10. Średnie wartości cech geometrycznych pojedynczych ziarniaków zarejestrowane przy pomocy systemu CAOR

Table 10. Average values of geometrical parameters of single kernels registered by CAOR system

Odmiany Cultivars	Długość ziarniaka Length of kernel (mm)				Szerokość ziarniaka Width of kernel (mm)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Zyta	6,3 ± 0,4	6,3 ± 0,5	5,8 ± 0,6	5,8 ± 0,0	3,5 ± 0,3	3,5 ± 0,3	3,2 ± 0,3	3,1 ± 0,0
Kris	6,3 ± 0,4	6,1 ± 0,5	6,0 ± 0,6	5,4 ± 0,6	3,4 ± 0,3	3,4 ± 0,4	3,1 ± 0,4	2,8 ± 0,4
Nawra	6,6 ± 0,4	6,5 ± 0,5	6,3 ± 0,6	5,8 ± 0,5	3,2 ± 0,3	3,2 ± 0,4	3,1 ± 0,3	2,8 ± 0,2
Broma	6,5 ± 0,4	6,4 ± 0,4	6,2 ± 0,5	5,9 ± 0,5	3,0 ± 0,4	3,0 ± 0,4	2,8 ± 0,5	2,5 ± 0,5

4.1.3. Pomiary przy zastosowaniu analizatora SKCS

W tabeli 11 zamieszczono wartości średnie i odchylenia standardowe masy, średnicy zastępczej i indeksu twardości poszczególnych ziarniaków. Dane pochodzą z pomiarów pośrednich przy zastosowaniu aparatury SKCS. Wyniki pomiarów odnoszą się również tylko do kłosów głównych badanych odmian, podobnie jak przy pomiarach z wykorzystaniem systemu CAOR.

Tabela 11. Średnie wartości cech technologicznych pojedynczych ziarniaków zarejestrowane przy pomocy analizatora SKCS

Table 11. An average values of technological parameters of single kernels registered by SKCSsystem

Odmiany Cultivars	Masa – Mass (mg)				Średnica zastępcza Diameter (mm)				Indeks twardości Hardness index (–)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Zyta	54,9	54,3	42,4	33,0	3,4	3,4	2,9	3,0	70,3	70,3	73,8	74,5
	±12,8	±12,3	±12,8	± 0,0	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,0	±12,8	±12,3	±12,8	± 0,0
Kris	53,2	50,0	42,8	31,9	3,3	3,2	2,9	2,4	58,5	58,9	54,8	54,0
	±18,8	±18,8	±17,3	±17,2	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,5	±9,4	±8,6	±7,5	±4,5
Nawra	47,3	45,8	39,4	30,1	3,1	3,0	2,7	2,4	72,8	73,1	76,3	74,8
	± 9,7	±10,9	± 9,9	± 7,5	± 0,4	± 0,5	± 0,5	± 0,4	±13,3	±13,2	±13,8	±14,9
Broma	41,1	38,4	33,7	27,0	2,8	2,7	2,4	2,2	71,9	73,8	71,5	73,0
	± 9,0	± 8,9	± 9,5	± 8,1	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,5	±13,0	±12,9	±13,3	±15,6

4.1.4. Objętość pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu połączonych systemów CAOR i SKCS

Do oszacowania objętości pojedynczego ziarniaka przy zastosowaniu pomiarów bezpośrednich przyjęto następującą formułę [17]:

$$V_{PB} = \Pi (a \cdot b \cdot c) / 6, \quad (1)$$

gdzie: a , b i c oznaczają odpowiednio: długość (mm), szerokość (mm) i grubość ziarniaka (mm).

Do oszacowania objętości pojedynczego ziarniaka przy zastosowaniu pomiarów w systemie CAOR przyjęto następującą modyfikację tej formuły:

$$V_{CAOR} = \Pi (a \cdot b'^2) / 6, \quad (2)$$

gdzie: b' oznacza szerokość obrazu rentgenowskiego ziarniaka, przyjęty do obliczeń na poziomie 0,9 jego wartości odczytanej z CAOR [11].

Do oszacowania objętości pojedynczego ziarniaka korzystając z analizatora SKCS przyjęto kolejną modyfikację tej formuły:

$$V_{SKCS} = \Pi (\Phi^3) / 6, \quad (3)$$

gdzie: Φ oznacza średnicę zastępczą ziarniaka, wyznaczoną według przyjętego w analizatorze SKCS algorytmu.

Tabela 12. Średnie wartości objętości kolejnych ziarniaków w kłoskach obliczonych według odpowiednich formuł: (1), (2), (3)

Table 12. Average values volume for ordered kernels in spikelet, evaluated according to following formulas: (1), (2), (3)

Odmiany Cultivars	Pomiary bezpośrednie PB Direct measurements DM				Pomiary z CAOR CAOR Measurements				Pomiary z SKCS SKCS Measurements			
	acc. to (1)				acc. to (2)				acc. to (3)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Zyta	38,6	38,2	29,7	25,6	40,7	39,8	31,6	29,2	21,9	21,7	13,6	14,3
	± 5,9	± 6,1	± 6,9	± 0,0	± 8,0	± 8,1	± 9,2	± 0,0	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,0
Kris	38,3	35,9	30,9	22,7	34,8	33,0	28,5	20,4	20,9	18,7	13,7	7,7
	± 5,9	± 6,8	± 7,6	± 5,2	± 6,5	± 7,3	± 8,2	± 6,0	± 0,5	± 0,5	± 0,5	± 0,5
Nawra	33,2	31,9	27,7	21,3	36,4	36,2	31,6	23,7	17,1	15,8	11,8	7,6
	± 6,6	± 7,4	± 6,8	± 5,2	± 8,9	± 9,8	± 8,7	± 5,8	± 7,3	± 7,6	± 5,8	± 4,2
Broma	28,7	27,2	24,1	19,4	31,0	29,5	25,9	20,5	12,3	11,2	8,6	6,2
	± 6,1	± 6,0	± 6,3	± 5,6	± 7,4	± 7,3	± 7,8	± 6,2	± 6,3	± 6,0	± 5,1	± 4,1
Średnie ogólne	34,6	33,3	28,1	22,2	35,7	34,6	29,4	23,5	18,1	16,9	11,9	9,0
Total average	± 6,1	± 6,6	± 6,9	± 5,3	± 7,7	± 8,1	± 8,5	± 6,0	± 3,7	± 3,7	± 3,0	± 2,9

W tabeli 12 zestawiono średnie wartości i odchylenia standardowe objętości dla pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków, obliczone w oparciu o przyjęte systemy pomiarowe stosownie do przyjętych formuł:

- dla danych z pomiarów bezpośrednich według formuły (1),
- dla danych uzyskanych z systemu CAOR według formuły (2),
- dla danych uzyskanych z analizatora SKCS według formuły (3).

Celem tych modyfikacji jest poszukiwanie optymalnej formuły na wyznaczenie objętości i ewentualnie gęstości pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu połączonych systemów CAOR i SKCS.

5. ANALIZA WYNIKÓW

Wszystkie wyniki pomiarów, zestawione w postaci arkuszy w programie Excel 2000, zostały przeanalizowane pod względem statystycznym, korzystając z pakietu Statistica 5,5 PL. Zestawione w poprzednim rozdziale wartości średnie stanowią podstawę do omówienia tych wyników. W kolejnych podrozdziałach omówiono charakter ich zmian, a korzystając z możliwości obliczenia gęstości pojedynczego ziarniaka przeanalizowano dodatkowo zmienność tej cechy w obrębie badanych czynników.

5.1. Bezpośrednie pomiary cech fizycznych ziarniaków pszenicy z kłosów głównych i bocznych rośliny

Zawarte w tabelach 5-8 wartości średnie i odchylenia standardowe cech fizycznych pojedynczych ziarniaków, uzyskane w pomiarach bezpośrednich stanowią podstawę analizy zmienności tych cech w obrębie kłosków i kłosów pochodzących ze źdźbeł głównych i bocznych badanych odmian.

Biorąc pod uwagę wartości średnie długości ziarniaków pierwszych i drugich oraz ziarniaków trzecich i czwartych (tab. 5), pochodzących ze źdźbeł głównych i bocznych poszczególnych odmian można stwierdzić, że wartości tej cechy w obrębie tych dwóch grup ziarniaków wykazują istotne zróżnicowanie tylko w obrębie badanych odmian, natomiast nie różnią się istotnie w obrębie typów źdźbeł. Przykładowo, dla odmiany Nawra najniższa wartość średnia długości drugiego ziarniaka w kłosie pochodzącym ze źdźbła głównego wynosiła 6,48 mm, natomiast najwyższa – była w ziarniaku pierwszym i wynosiła 6,55. Przy obliczonych wartościach odchyłeń standardowych dla tych ziarniaków można stwierdzić, że zróżnicowanie tej cechy jest nieistotne. Podobnie można stwierdzić w przypadku długości ziarniaków pierwszych i drugich pochodzących ze źdźbeł bocznych tej odmiany. Generalny wniosek z analizy długości ziarniaków jest następujący: nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy średnimi długościami poszczególnych ziarniaków w obrębie typów źdźbeł. Niezależnie od typu źdźbła (główne, boczne)

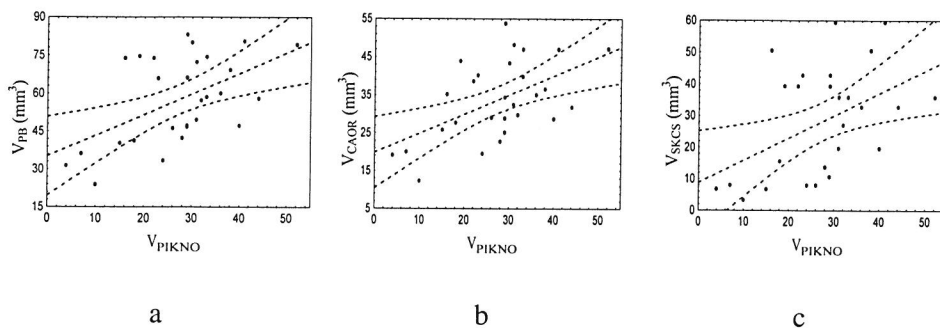
cecha ta wykazuje istotne zróżnicowanie jedynie w obrębie odmian oraz dwóch grup ziarniaków: pierwszych i drugich, które można zakwalifikować do grupy I pod względem długości oraz trzecich i czwartych, które można zakwalifikować do grupy II pod względem wartości tej cechy.

Podobne wnioskowanie znajduje swoje potwierdzenia przy analizie pozostałych cech ziarniaków określanych na drodze pomiarów bezpośrednich (tab. 6-8). Analiza wyników pomiarów tych cech pozwoliła na podwojenie liczby powtórzeń czyniąc analizę statystyczną danych, przeprowadzonych na takich zbiorach, bardziej dokładną.

5.2. Objętość pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu różnych metod pomiarowych

Dla zweryfikowania dokładności wyznaczonych objętości pojedynczych ziarniaków przy pomocy różnych metod pomiarowych, przeprowadzono analizę korelacji korzystając z formuł (1-3). W korelacji uwzględniono wyniki pomiarów przeprowadzonych na serii 30 ziarniaków. W sumie do korelacji przyjmowano po 28 wyników objętości pojedynczych ziarniaków określonych bezpośrednio przy zastosowaniu piknometru cieczowego oraz obliczonych na podstawie pomiarów bezpośrednich (PB), pomiarów z zastosowaniem systemu CAOR i pomiarów z zastosowaniem analizatora SKCS.

Na rysunku 17 przedstawiono korelacje pomiędzy średnimi wartościami objętości pojedynczych ziarniaków wyznaczonymi piknometrycznie i obliczonymi z pomiarów: bezpośrednich – rysunek 17a, uzyskanych z systemu CAOR – rysunek 17b oraz analizatora SKCS – rysunek 17c.



Rys. 17. Korelacje pomiędzy objętościami ziarniaków wyznaczonymi metodą bezpośrednią PB (a), CAOR (b) i SKCS (c) a metodą piknometryczną PIKNO

Fig. 17. Correlation of kernel's volume evaluated by direct measurement DM (a), X-ray IA System (b) and SKC System (c) versus pycnometer measurement (PIKNO)

W tabeli 13 zestawiono parametry statystyczne tych korelacji oraz dodatkowo, korelacji pomiędzy wartościami średnimi objętości pojedynczych ziarniaków pochodzącymi z pomiarów bezpośrednich (PB) ze średnimi pochodzącymi z pomiarów przeprowadzonych w systemie CAOR i z pomiarów przeprowadzonych przy zastosowaniu analizatora SKCS, a także korelacji pomiędzy tymi wartościami uzyskanymi z systemu CAOR i analizatora SKCS.

Tabela 13. Parametry statystyczne korelacji pomiędzy wartościami objętości testowanych ziarniaków przy pomocy różnych metod

Table 13. Statistical parameters of correlation between volume values of tested kernels by different methods

Parametry Parameters X Y	Średnie Means X Y	Odchylenie standardowe Standard dev. X Y	Współczynnik korelacji Coefficient of correlation r	Równanie prostej Quotation
PB PIKNO	57,63 27,46	17,13 11,07	0,527	$PIKNO = 7,8 + 0,34 \cdot PB$
CAOR PIKNO	33,70 27,46	10,36 11,07	0,538	$PIKNO = 8,1 + 0,575 \cdot CAOR$
SKCS PIKNO	28,25 27,46	17,11 11,07	0,458	$PIKNO = 19,1 + 0,297 \cdot SKCS$
PB CAOR	57,63 33,70	17,13 10,36	0,945	$CAOR = 0,7 + 0,5721 \cdot PB$
PB SKCS	57,63 28,25	17,13 17,11	0,922	$SKCS = -24,8 + 0,92 \cdot PB$
CAOR SKCS	33,70 28,25	10,36 17,11	0,821	$SKCS = -17,4 + 1,355 \cdot CAOR$

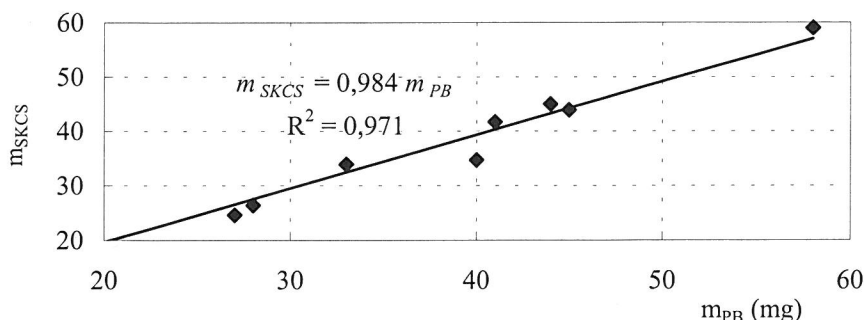
Zakładając, że pomiar bezpośredni objętości pojedynczego ziarniaka najdokładniej określić można w pomiarach piknometrycznych (PIKNO) podjęto próbę wyznaczenia siły związku tego parametru z wartościami obliczonymi w oparciu o pomiary bezpośrednie (PB) oraz pomiary z wykorzystaniem systemu analizy obrazów rentgenowskich (CAOR) i analizatora pojedynczych ziarniaków (SKCS). Trzy pierwsze wiersze w tabeli 13 wskazują, że wszystkie metody obliczania objętości ziarna istotnie korelują z pomiarami piknometrycznymi (PIKNO), a jej najsilniejszy związek wyrażający się wartością współczynnika $r = 0,538$ odnosi się do relacji pomiędzy metodą piknometryczną (PIKNO) a systemem cyfrowej analizy obrazów rentgenowskich (CAOR).

Poszukując silniejszego związku pomiędzy wartościami objętości pojedynczego ziarniaka wyznaczono współczynniki korelacji z wartościami tego parametru obliczonymi na drodze pomiarów bezpośrednich, w odniesieniu do pomiarów przeprowadzonych przy wykorzystaniu systemu CAOR i analizatora SKCS. Ponadto skorelowano wartości średnie tego parametru uzyskane z pomiarów w systemie CAOR i z analizatora SKCS.

Najsilniej skorelowane są wartości średnie objętości obliczonej w pomiarach bezpośrednich (PB) i w systemie cyfrowej analizy obrazów rentgenowskich (CAOR). Współczynnik korelacji $r = 0,945$ potwierdza więc możliwość przyjęcia systemu CAOR do automatycznego wyznaczania objętości pojedynczych ziarniaków z zadowalającą dokładnością.

5.3. Masa pojedynczych ziarniaków przy zastosowaniu analizatora SKCS i pomiarów bezpośrednich

W celu wykorzystania analizatora SKCS do automatycznego określania masy ziarniaków porównano siłę związku tych wartości z wynikami uzyskanymi w pomiarach bezpośrednich. Na rysunku 18 przedstawiono graficzną ilustrację korelacji, w oparciu o pomiary przeprowadzone na serii 30 losowo pobranych ziarniaków, a w tabeli 14 zamieszczono parametry statystyczne korelacji odnoszące się do wszystkich badanych odmian niezależnie od typu kłosa i typu ziarniaka oraz numeru kłosa.



Rys. 18. Korelacja pomiędzy wartościami masy 30 losowo pobranych ziarniaków wyznaczonymi na drodze pomiarów bezpośrednich i przy pomocy analizatora SKCS

Fig. 18. Correlation between values of mass of 30 randomly chosen kernels evaluated by direct measurements and SKCS system

W tabeli 14 zestawiono parametry statystyczne korelacji pomiędzy masą wszystkich pojedynczych ziarniaków, niezależnie od ich położenia w kłosie i kłosie dla poszczególnych odmian, wyznaczoną na drodze pomiarów bezpośrednich – X i przy zastosowaniu analizatora SKCS – Y.

Analiza danych zawartych w tabeli 14 wskazuje jednoznacznie na wysoką zgodność oznaczeń tej cechy przy pomocy obu zastosowanych metod pomiaru. Niemal identyczne wartości odchyłeń standardowych wskazują na analogiczny zakres zmienności badanej cechy zarówno przy pomiarach bezpośrednich jak i pomiarach z zastosowaniem analizatora SKCS. Z reguły nieco wyższe wartości średnie masy przy oznaczeniach bezpośrednich mogą być zawsze skorygowane przez zastosowanie odpowiedniego współczynnika przy automatycznym wyznaczaniu masy ziarna w analizatorze SKCS.

Tabela 14. Zestawienie parametrów statystycznych korelacji pomiędzy masą pojedynczych ziarniaków wyznaczoną przy zastosowaniu pomiarów bezpośrednich i analizatora SKCS

Table 14. Combination of statistical parameters of correlation between mass of single kernels evaluated by direct measurement method and SKCSsystem

Odmiany Cultivars	Średnie Means X Y	Odchylenie standard. Standard deviation X Y	Współczynnik korelacji Coefficient of correlation r	Równanie prostej Quotation
Zyta	51,57 52,24	11,10 10,71	0,95	$X = 5,09 + 0,91 \cdot Y$
Kris	47,19 48,29	11,74 11,78	0,96	$X = 2,66 + 0,97 \cdot Y$
Nawra	42,90 43,47	11,92 11,14	0,94	$X = 5,82 + 0,88 \cdot Y$
Broma	35,38 36,55	10,21 10,13	0,96	$X = 2,94 + 0,95 \cdot Y$

Z analizy tych danych wynika, że pomiary masy określone w analizatorze SKCS mogą być stosowane do automatycznego oznaczania masy testowanego ziarna, a za tym mogą być wykorzystane do określenia również gęstości pojedynczych ziarniaków.

5.4. Gęstość pojedynczych ziarniaków w kłosach badanych odmian pszenicy

Wobec dużej zgodności wyników masy wyznaczonej przy zastosowaniu analizatora SKCS z pomiarami bezpośrednimi (rys. 18), oraz wysokiego współczynnika korelacji pomiędzy wartościami objętości obliczonymi przy pomocy systemu CAOR i uzyskanymi z pomiarów bezpośrednich uznano, że dla celów praktycznych można z zadowalającą dokładnością przyjąć wyniki pomiarów z obu tych systemów do obliczania gęstości pojedynczych ziarniaków.

Gęstość ziarniaków wyznaczono jako stosunek masy określonej przy zastosowaniu analizatora SKCS (mg) do objętości ziarniaków, obliczonej według formuły (2):

$$\gamma = m_{SKCS} / V_{CAOR} \quad (4)$$

gdzie: γ – gęstość ziarniaka ($\text{mg} \cdot \text{mm}^{-3}$), m_{SKCS} – masa ziarniaka (mg) wyznaczana przy pomocy analizatora SKCS, V_{CAOR} – objętości ziarniaków (mm^3) obliczona przy zastosowaniu systemu CAOR.

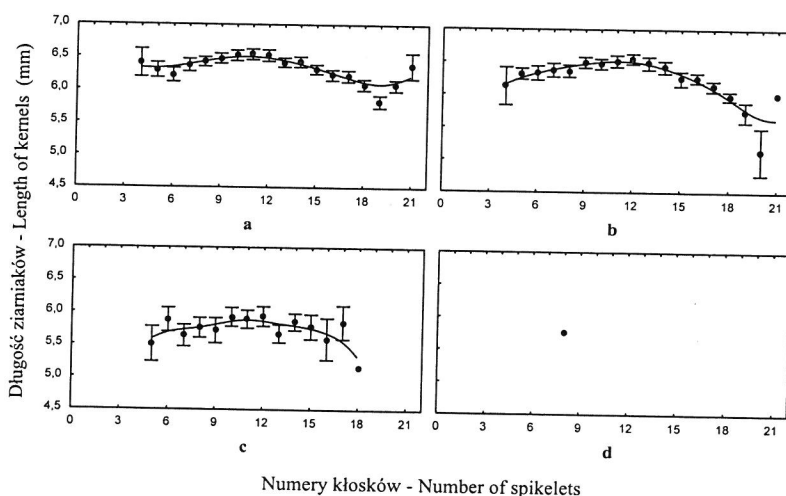
5.5. Rozkłady wybranych cech fizycznych ziarniaków na długości kłosów badanych odmian pszenicy

Wszystkie rozkłady skategoryzowanych cech, tj. uwzględniających typy kłosów (główne, boczne), typy ziarniaków (pierwsze, drugie, trzecie i czwarte) na długości kłosów badanych odmian opracowano statystycznie, a ich rozkłady

opisano wielomianem 5-stopnia. Z uwagi na bardzo dużą liczbę ilustracji w pracy przedstawiono tylko te rozkłady, które odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych przy wykorzystaniu systemu CAOR i aparatury SKCS. Te bowiem metody – jako rokujące w przyszłości podstawę do budowy systemów monitoringu cech fizycznych i technologicznych – zostały szczególnie wyeksponowane w niniejszej monografii. Posiadane zbiory danych stanowiąc będą materiał faktograficzny, który będzie wykorzystywany przy ewentualnym opracowywaniu algorytmu monitoringu cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w przyszłościowych systemach skupu i redystrybucji tego cennego surowca.

5.5.1. Długość ziarniaków – system CAOR

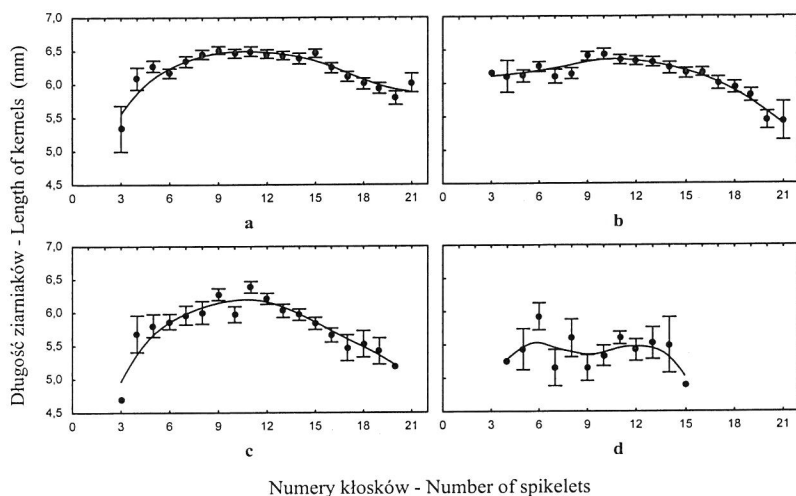
Na rysunkach 19-22 podano rozkłady długości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosów badanych odmian. Rysunek 19 dotyczy rozkładu długości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości osadki kłosowej pszenicy odmiany Zyta, a kolejne rysunki 20-22 zawierają analogiczne rozkłady tej cechy dla odpowiednich odmian: Kris, Nawra i Broma.



Rys. 19. Rozkład długości ziarniaków: pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) na długości kłosa pszenicy odmiany Zyta

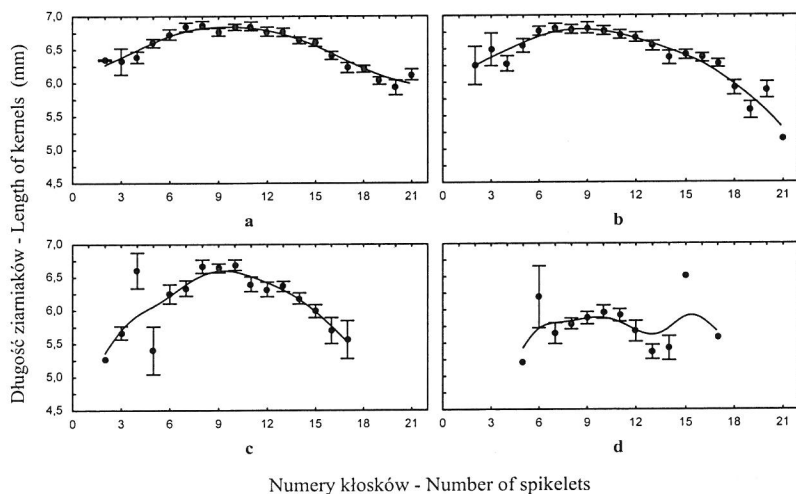
Fig. 19. Distribution of length size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels in wheat ear of cv. Zyta

Pojedyncza kropka na rysunku 19d oznacza, że tylko jeden ziarniak czwarty znalazł się w grupie badanych kłosków. Zdarzały się też przypadki braku ziarniaka czwartego w kłoskach badanych odmian, jak na rysunku 39d.



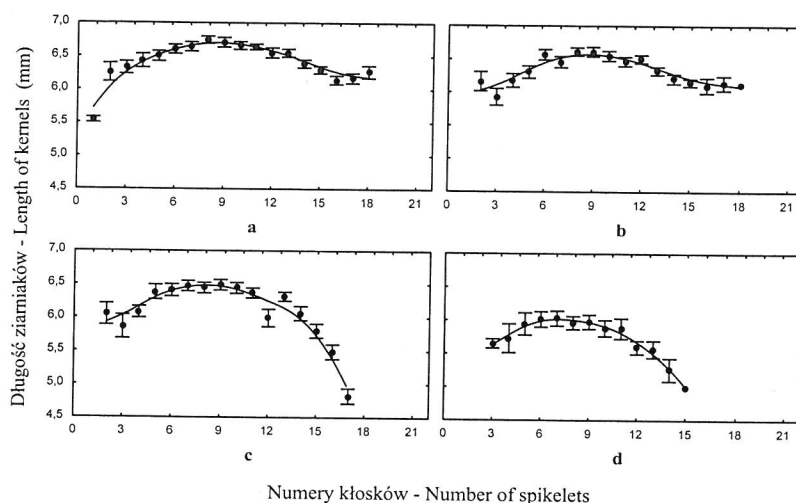
Rys. 20. Rozkład długości ziarniaków: pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) na długości kłosa pszenicy odmiany Kris

Fig. 20. Distribution of length size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels in wheat ear of cv. Kris



Rys. 21. Rozkład długości ziarniaków: pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) na długości kłosa pszenicy odmiany Nawra

Fig. 21. Distribution of length size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels in wheat ear of cv. Nawra



Rys. 22. Rozkład długości ziarniaków: pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) na długości kłosa pszenicy odmiany Broma

Fig. 22. Distribution of length size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels in wheat ear of cv. Broma

W tabeli 15 zestawiono wartości średnie i odchylenia standardowe tej cechy dla pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach i w kłosie poszczególnych odmian pszenicy niezależnie od typu źdźbła.

Tabela 15. Średnie rozmiary długości (mm) z odchyleniami standardowymi pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach, niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy

Table 15. An average sizes of length (mm) with standard deviation in 1st, 2nd, 3rd and 4th kernels independent on type of ear of investigated wheat cultivars

Odmiany	Średnie rozmiary długości – Average sizes of length (mm)				
Cultivars	1	2	3	4	Średnia –Mean
Zyta	6,31 ± 0,44	6,30 ± 0,52	5,79 ± 0,64	5,72 ± 0,00	6,20 ± 0,55
Kris	6,27 ± 0,42	6,13 ± 0,44	5,99 ± 0,53	5,43 ± 0,44	6,11 ± 0,50
Nawra	6,57 ± 0,41	6,50 ± 0,49	6,30 ± 0,59	5,78 ± 0,45	6,42 ± 0,53
Broma	6,50 ± 0,37	6,36 ± 0,41	6,23 ± 0,49	5,89 ± 0,51	6,30 ± 0,48

Biorąc pod uwagę długości średnie poszczególnych ziarniaków – określone na drodze pomiarów pośrednich przy zastosowaniu systemu CAOR – w obrębie badanych odmian stwierdzić należy, że zaznacza się wyraźna tendencja spadkowa w kierunku szczytu kłosa. W obrębie każdej odmiany najdłuższymi są ziarniaki pierwsze, zaś najkrótszymi – czwarte. Przy czym wyraźnie daje się zauważyć podział wartości tej cechy na dwie grupy, gdzie pierwsze i drugie ziarniaki pod względem długości są zbliżone do siebie tak wyraźnie jak dwa pozostałe; trzecie i czwarte.

Uwzględniając jednak najbardziej wiarygodne kryterium jakim jest odchylenie standardowe od wartości średniej dla całego kłosa, niezależnie od położenia ziarniaka w kłosku oraz kłosa w kłosie należy stwierdzić, że różnice te w zdecydowanej liczbie przypadków, a więc w obrębie poszczególnych odmian są nieistotne.

Analiza tej cechy wskazuje, że ziarniaki w obrębie badanych odmian są wyrównane i typowe dla ziarna pszenicy zwyczajnej.

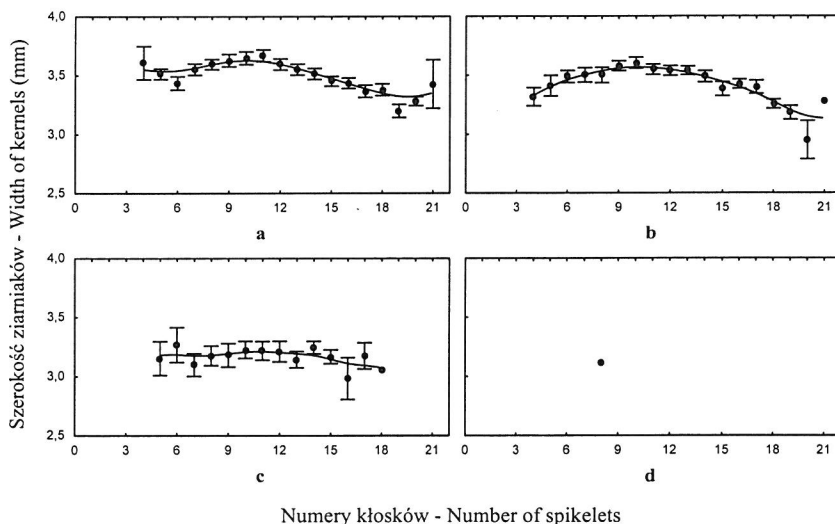
5.5.2. Szerokości ziarniaków – system CAOR

Na rysunkach 23-26 podano rozkłady szerokości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosów badanych odmian. Kolejne rysunki zawierają charakterystyczne rozkłady tej cechy dla odpowiednich odmian: Zyta, Kris, Nawra i Broma.

W tabeli 16 zestawiono wartości średnie i odchylenia standardowe tej cechy dla ziarniaków w kłoskach i w kłosie.

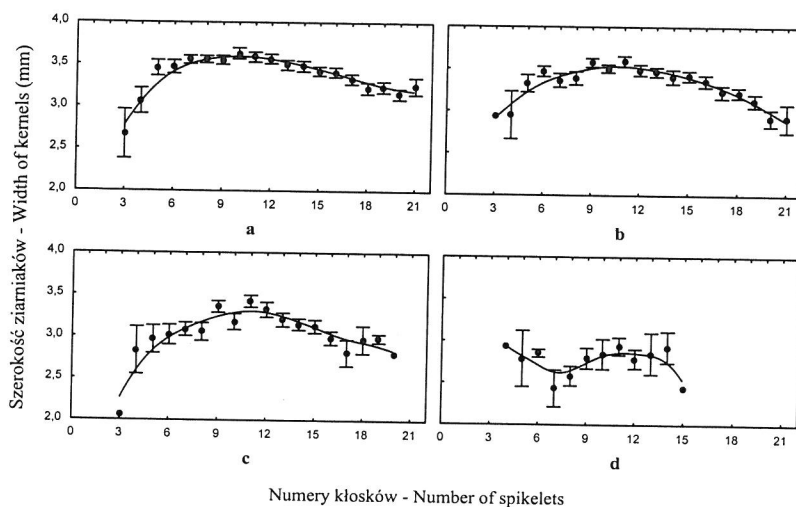
Średnie wartości szerokości kolejnych ziarniaków w kłoskach pochodzących z kłosków badanych odmian wykazują podobne jak w przypadku poprzedniej cechy – długości, tendencje do spadku w kierunku szczytu kłosa.

Daje się z łatwością zauważyć, że i w tym przypadku można wyróżnić dwa zakresy wielkości tej cechy, a mianowicie: zakres I, w którym znajdują się ziarniaki pierwsze i drugie oraz zakres II, w którym znajdują się ziarniaki trzecie i czwarte.



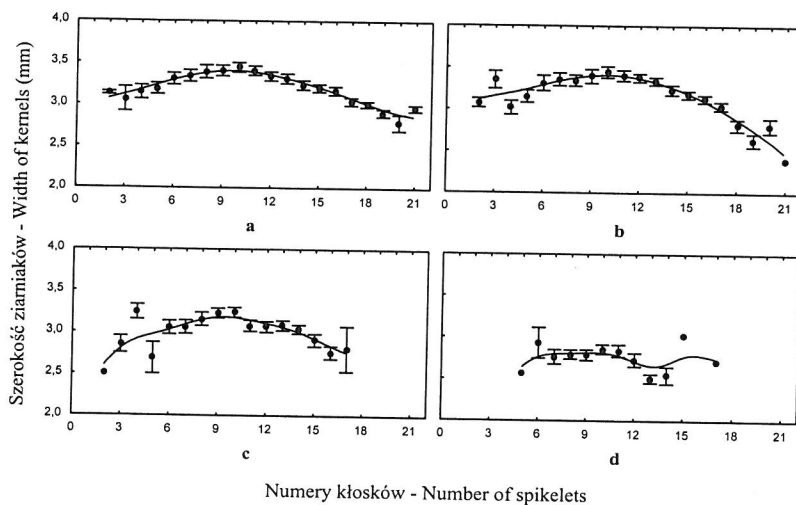
Rys. 23. Rozkład szerokości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Zyta

Fig. 23. Distribution of weight size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Zyta



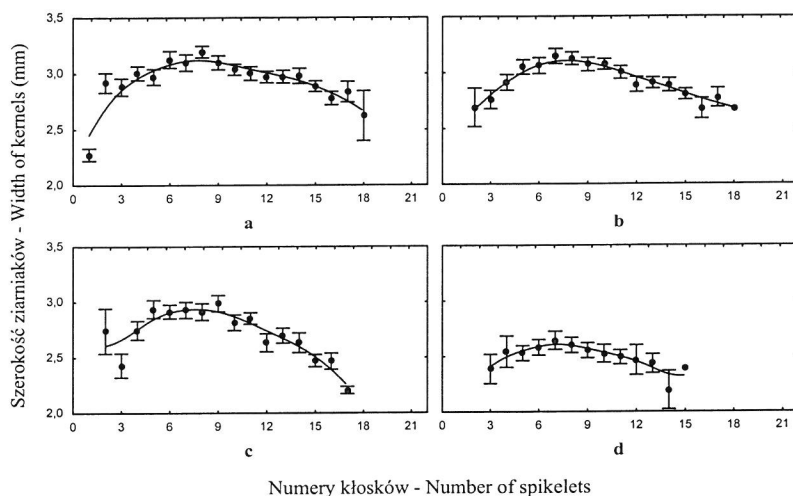
Rys. 24. Rozkład szerokości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Kris

Fig. 24. Distribution of weight size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Kris



Rys. 25. Rozkład szerokości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Nawra

Fig. 25. Distribution of weight size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Nawra



Rys. 26. Rozkład szerokości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Broma

Fig. 26. Distribution of weight size of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Broma

Tabela 16. Średnie rozmiary szerokości (mm) z odchyleniami standardowymi pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach, niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy

Table 16. An average sizes of width (mm) with standard deviation in 1st, 2nd, 3rd and 4th kernels independent on type of ear of investigated wheat cultivars

Odmiany Cultivars	Średnie rozmiary szerokości – Average sizes of width (mm)				
	1	2	3	4	Średnia – Mean
Zyta	3,49 ± 0,26	3,45 ± 0,27	3,19 ± 0,34	3,11 ± 0,00	3,42 ± 0,30
Kris	3,43 ± 0,32	3,37 ± 0,35	3,19 ± 0,37	2,81 ± 0,36	3,32 ± 0,38
Nawra	3,22 ± 0,33	3,22 ± 0,37	3,05 ± 0,34	2,77 ± 0,25	3,15 ± 0,36
Broma	2,99 ± 0,31	2,95 ± 0,32	2,78 ± 0,36	2,54 ± 0,30	2,86 ± 0,36

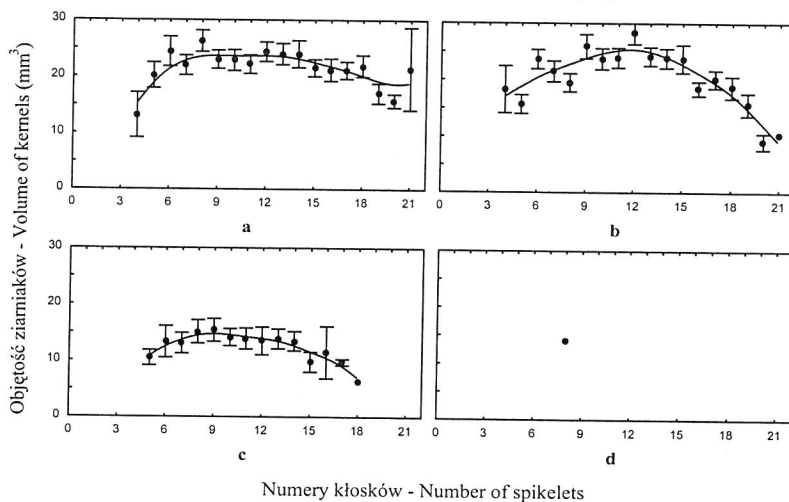
Jeśli jednak uwzględni się wartość odchylenia standardowego dla średniej szerokości wszystkich ziarniaków w kłosie danej odmiany to można stwierdzić, że różnice te są nieistotne – podobnie jak w przypadku poprzedniej cechy.

Na uwagę zasługuje ponadto fakt, że szerokość ziarniaków pomimo zastosowanego przy analizie w systemie CAOR współczynnika 0,9, świadczy o ich dorodności i nie kwalifikuje ich do kategorii tzw. poślądu, którego wartość graniczna jest szacowana na poziomie 2,0 mm.

Wszystkie odmiany z wyjątkiem BROMY, która jest zdecydowanie odmianą pa-szową charakteryzowały się dużym wyrównaniem pod względem wartości tej cechy.

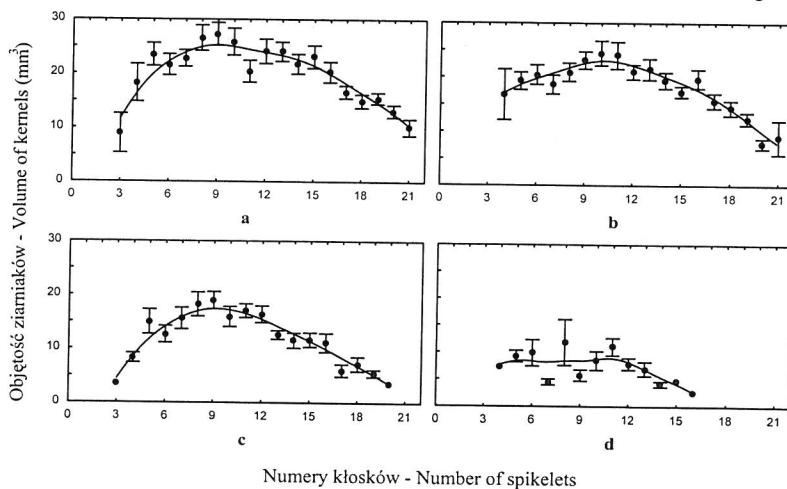
5.5.3. Objętość ziarniaków – system CAOR

Na rysunkach 27-30 podano rozkłady objętości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosów badanych odmian. Kolejne rysunki charakteryzują rozkłady tej cechy u odmian w tej samej kolejności jak poprzednio.



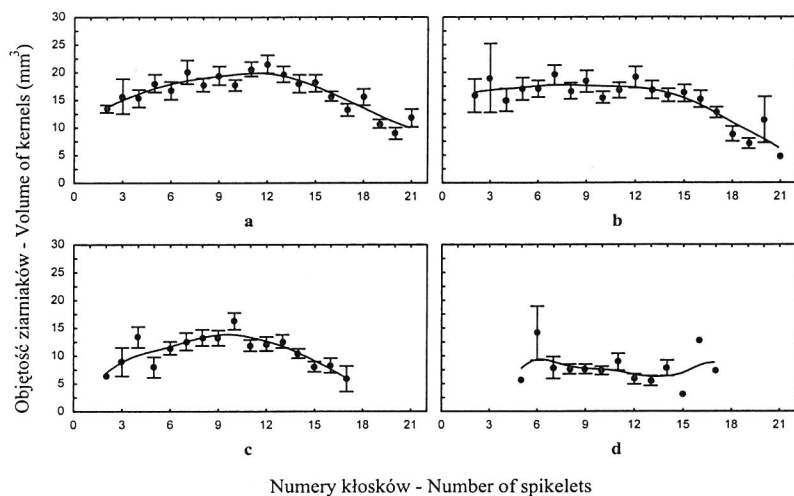
Rys. 27. Rozkład objętości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Zyta

Fig. 27. Distribution of volume of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Zyta



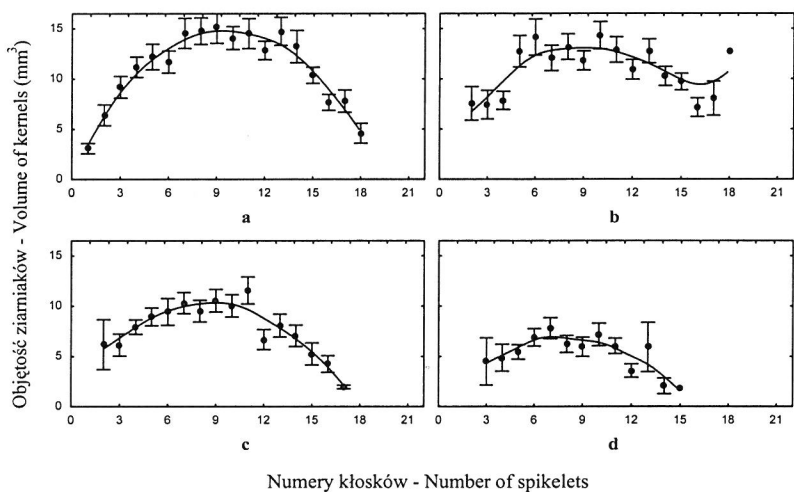
Rys. 28. Rozkład objętości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Kris

Fig. 28. Distribution of volume of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Kris



Rys. 29. Rozkład objętości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Nawra

Fig. 29. Distribution of volume of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Nawra



Rys. 30. Rozkład objętości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Broma

Fig. 30. Distribution of volume of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Broma

W tabeli 17 zestawiono wartości średnie i odchylenia standardowe tej cechy dla ziarniaków w kłoskach i w kłosie badanych odmian pszenicy.

Tabela 17. Średnie wartości objętości (mm^3) z odchyleniami standardowymi pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach, niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy
Table 17. Average values of volume (mm^3) with standard deviation in 1st, 2nd, 3rd and 4th kernels independent on type of ear of investigated wheat cultivars

Odmiany Cultivars	Średnie wartości objętości – Average values of volume (mm^3)				
	1	2	3	4	Średnia – Mean
Zyta	40,7 ± 8,0	39,8 ± 8,2	31,6 ± 9,2	29,2 ± 0,0	38,6 ± 9,0
Kris	39,2 ± 8,4	37,2 ± 8,9	32,8 ± 9,2	23,0 ± 6,6	36,0 ± 9,6
Nawra	36,4 ± 8,9	36,2 ± 9,8	31,6 ± 8,7	23,7 ± 5,9	34,2 ± 9,7
Broma	31,0 ± 7,4	29,5 ± 7,3	25,9 ± 7,8	20,5 ± 6,2	27,8 ± 8,1

Objętości ziarniaków obliczone według przyjętej formuły (2), na podstawie wyników pomiarów długości i szerokości obrazów rentgenowskich tych ziarniaków określonych w systemie CAOR jest zgodna z rankingiem wartości użytkowej odmian podanych przez COBORU.

Biorąc pod uwagę wartości średnie tej cechy dla kolejnych ziarniaków ułożonych w kłoskach badanych odmian, podobnie jak w przypadku obu poprzednich cech – długości i szerokości, można zauważyć podobną tendencję, co jest oczywiste z uwagi na fakt, że cecha ta jest pochodną tychże wymiarów.

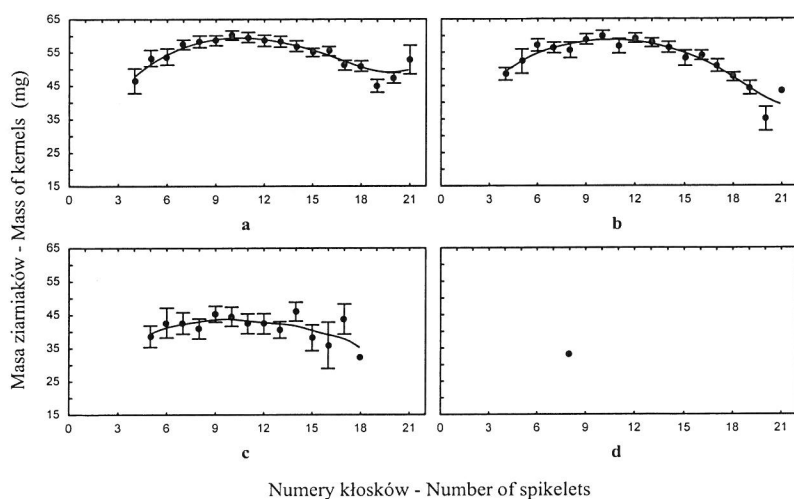
W przypadku tej cechy można z łatwością zauważyć, że odmiana Broma zdecydowanie odstaje od odmian pozostałych. Średnia objętość ziarniaków czwartych tej odmiany jest dwukrotnie mniejsza od objętości ziarniaków pierwszych odmiany Zyta. Jest to poniekąd zrozumiałe, gdyż odmiany ozime z reguły charakteryzują się większym ziarnem w porównaniu do ziarna pszenicy jarej, niemniej jednak tak duże zróżnicowanie jednoznacznie potwierdza niższą wartość użytkową odmiany Broma.

5.5.4. Masa ziarniaków – analizator SKCS

Na rysunkach 31-34 podano rozkłady masy kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosów badanych odmian pszenicy z ich analogicznym uszeregowaniem.

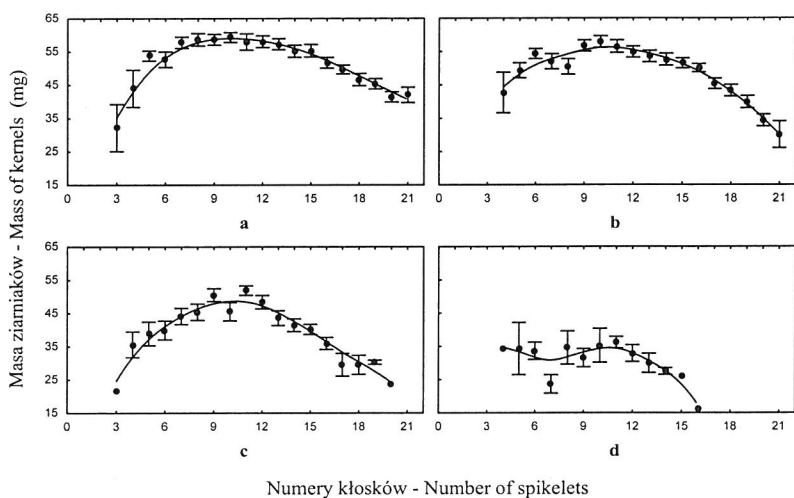
W tabeli 18 zestawiono wartości średnie i odchylenia standardowe tej cechy dla ziarniaków w kłoskach i w kłosie badanych odmian pszenicy.

Masa ziarniaków wyznaczona na drodze pomiarów pośrednich, przy pomocy aparatury SKCS jest w bardzo wysokim stopniu skorelowana z masą ziarniaków określonych na drodze pomiarów bezpośrednich i mieści się w zakresie wielkości tej cechy jaki jest podawany przez COBORU.



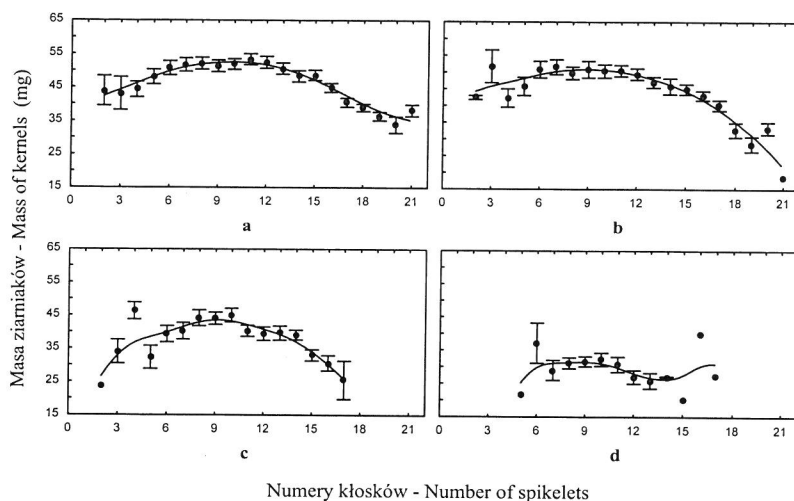
Rys. 31. Rozkład masy pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Zyta

Fig. 31. Distribution of mass of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Zyta



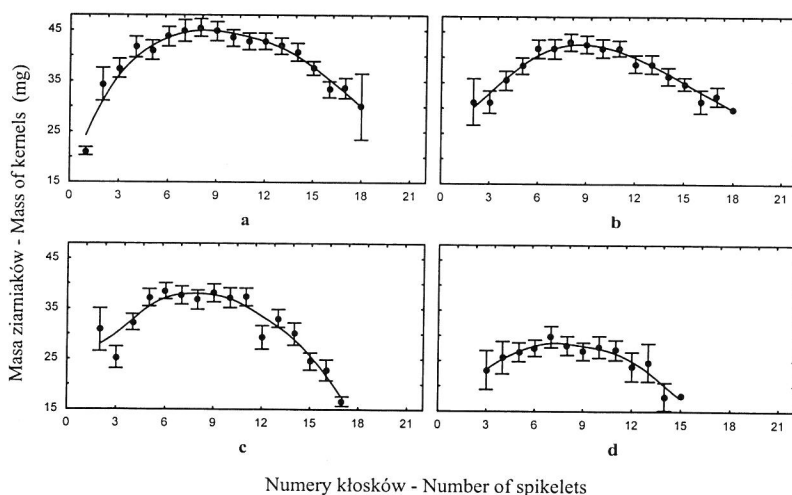
Rys. 32. Rozkład masy pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Kris

Fig. 32. Distribution of mass of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Kris



Rys. 33. Rozkład masy pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Nawra

Fig. 33. Distribution of mass of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Nawra



Rys. 34. Rozkład masy pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Broma

Fig. 34. Distribution of mass of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Broma

Tabela 18. Średnie wartości masy (mg) z odchyleniami standardowymi pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach, niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy
Table 18. An average values of mass (mg) with standard deviation in 1st, 2nd, 3rd and 4th kernels independent on type of ear of investigated wheat cultivars

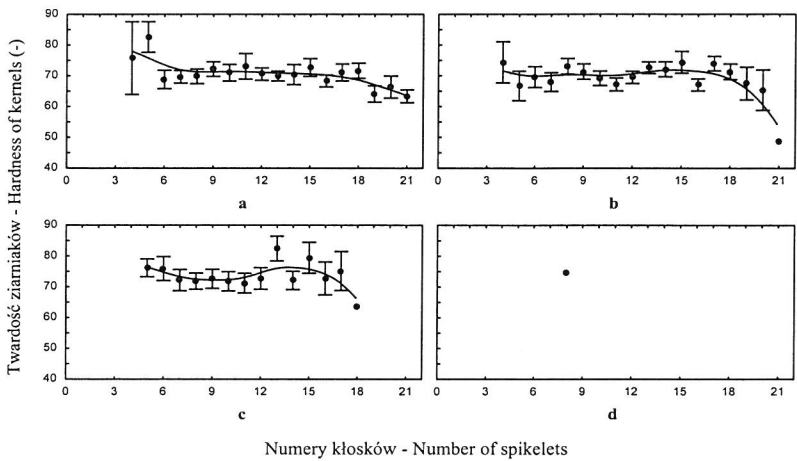
Odmiany	Średnie wartości masy – Average values of mass (mg)				
Cultivars	1	2	3	4	Średnia – Mean
Zyta	54,9 ± 8,6	54,3 ± 9,4	42,4 ± 11,4	33,0 ± 0,0	52,2 ± 10,7
Kris	53,4 ± 9,6	50,1 ± 10,2	43,2 ± 10,7	31,5 ± 7,3	48,6 ± 11,5
Nawra	47,3 ± 9,7	45,8 ± 10,9	39,4 ± 9,9	30,1 ± 7,5	43,6 ± 11,3
Broma	41,1 ± 9,0	38,4 ± 8,9	33,7 ± 9,5	27,0 ± 8,1	36,5 ± 10,1

Biorąc pod uwagę wartość średnią masy ziarniaka w kłosie odmiany Broma można stwierdzić, że cecha ta jest istotnie niższa od wartości jakie charakteryzują pozostałe odmiany.

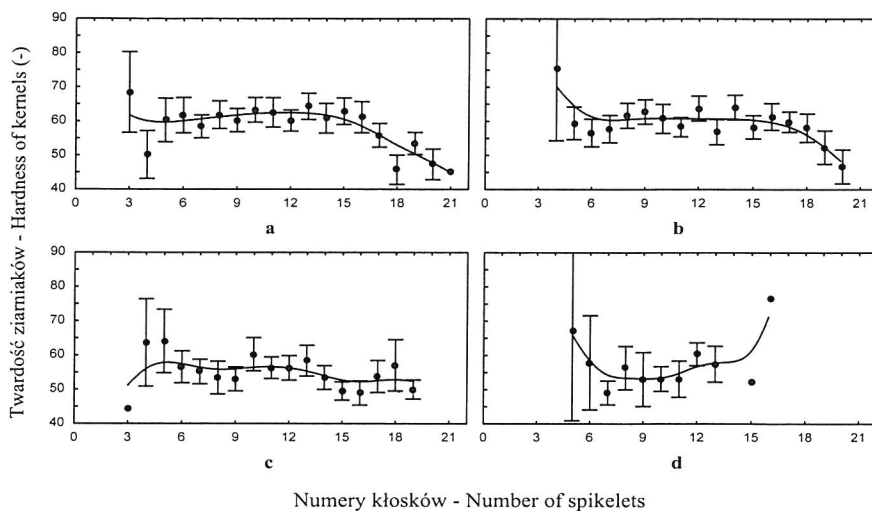
W grupie odmian ozimych, odmiana Kris jest zbliżona do odmiany Zyta, natomiast w grupie odmian jarych odmiana Broma wyraźnie odstaje od odmiany Nawra, u której średnia wartość masy ziarniaka w kłosie nie różni się istotnie od wartości tej cechy u obu odmian ozimych.

5.5.5. Twardość ziarniaków – analizator SKCS

Na rysunkach 35-38 podano rozkłady twardości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosów badanych odmian pszenicy z zachowaniem analogicznego uszeregowania jak na rysunkach poprzednich.

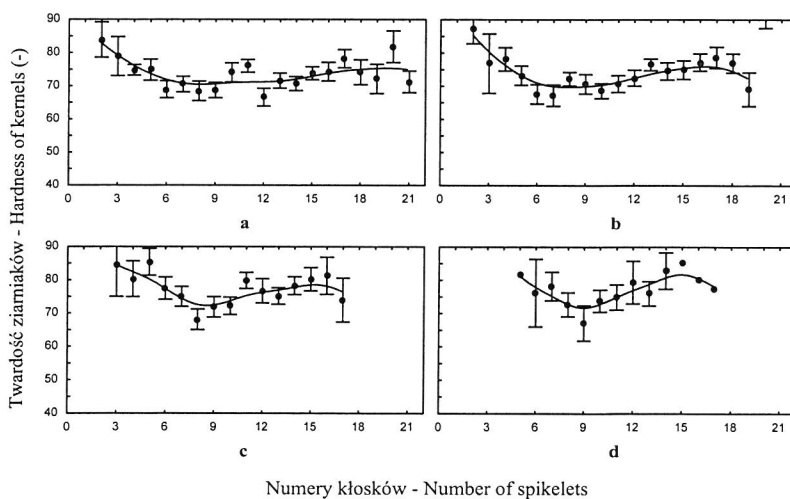


Rys. 35. Rozkład twardości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Zyta
Fig. 35. Distribution of hardness of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Zyta



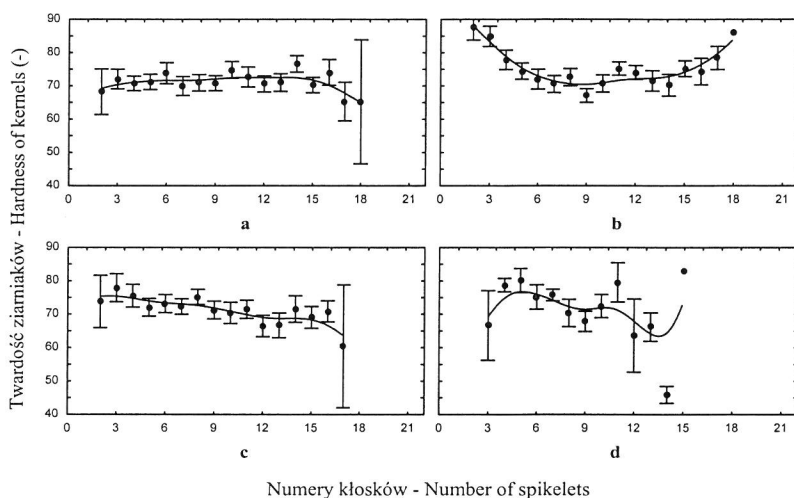
Rys. 36. Rozkład twardości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Kris

Fig. 36. Distribution of hardness of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Kris



Rys. 37. Rozkład twardości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Nawra

Fig. 37. Distribution of hardness of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Nawra



Rys. 38. Rozkład twardości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Broma

Fig. 38. Distribution of hardness of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Broma

W tabeli 19 zestawiono wartości średnie i odchylenia standardowe tej cechy dla ziarniaków w kłoskach i w kłosie badanych odmian pszenicy.

Tabela 19. Średnie wartości twardości (–) z odchyleniami standardowymi pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach, niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy

Table 19. An average values of hardness (–) with standard deviation in 1st, 2nd, 3rd and 4th kernels independent on type of ear of investigated wheat cultivars

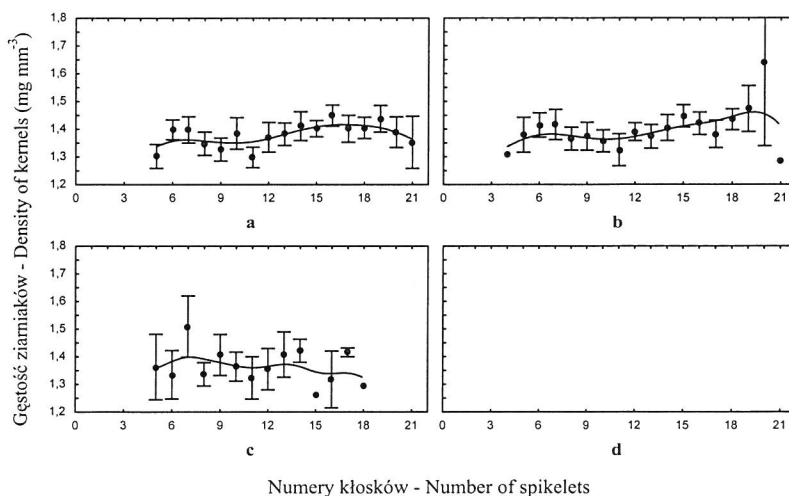
Odmiany	Średnie wartości twardości – Average values of hardness (–)				
Cultivars	1	2	3	4	Średnia –Mean
Zyta	70,3 ± 12,8	70,3 ± 12,3	73,8 ± 12,8	74,5 ± 0,0	71,0 ± 13,7
Kris	58,6 ± 18,9	58,6 ± 18,9	54,7 ± 17,4	52,0 ± 16,6	57,3 ± 18,5
Nawra	72,8 ± 13,3	73,1 ± 13,2	76,3 ± 12,0	74,8 ± 14,9	73,8 ± 13,6
Broma	71,9 ± 13,0	73,8 ± 12,9	71,5 ± 13,3	73,0 ± 15,6	72,5 ± 13,5

Twardość ziarniaka jest oznaczana w analizatorze SKCS jako indeks twardości, który jest jednostką bez miana i nie posiada jednoznacznej interpretacji fizycznej. Jednakże, jak wynika z badań porównawczych w naszym Instytucie, jest to cecha w wysokim stopniu skorelowana z twardością rozumianą jako odporność ziarniaka na działanie mechanicznych obciążeń statycznych.

Jest dość znamienym, że twardość ziarniaków jest w bardzo wysokim stopniu zdeterminowana cechami wewnętrznymi. Świadczy o tym fakt, że kolejne ziarniaki nie wykazują tak typowej tendencji spadkowej w kierunku szczytu kłoska jak pozostałe cechy, a ponadto poszczególne odmiany poza odmianą Kris charakteryzują się dość wyrównanym poziomem tej cechy. Zgodnie z regułą potwierdzoną, w szeregu innych badań ziarniaki pszenicy jarej są bardziej twarde od ziarniaków pszenicy ozimej, co szczególnie zaznacza się u odmiany Kris. Pod względem wartości tej cech, odmianę Kris zalicza się dość często do kategorii pszenicy o typie chlebowo-paszowym (B/C).

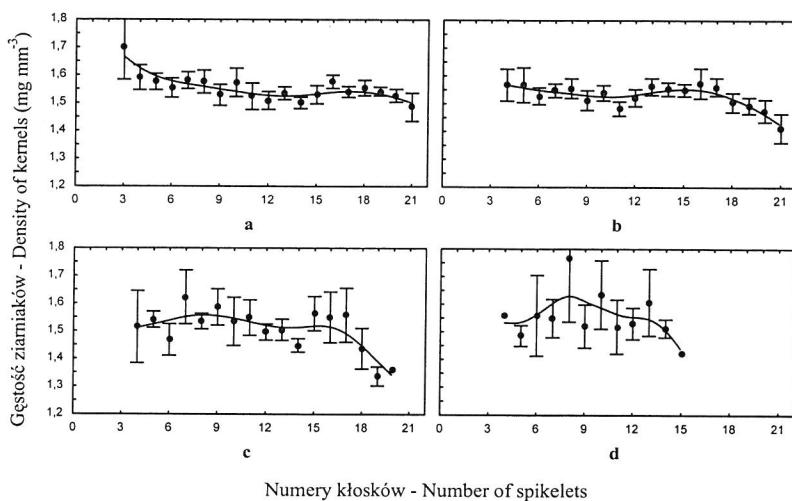
5.5.6. Gęstość ziarniaków – system CAOR i analizator SKCS

Na rysunkach 39-42 podano rozkłady gęstości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosów badanych odmian w analogicznej kolejności odmian jak poprzednio.



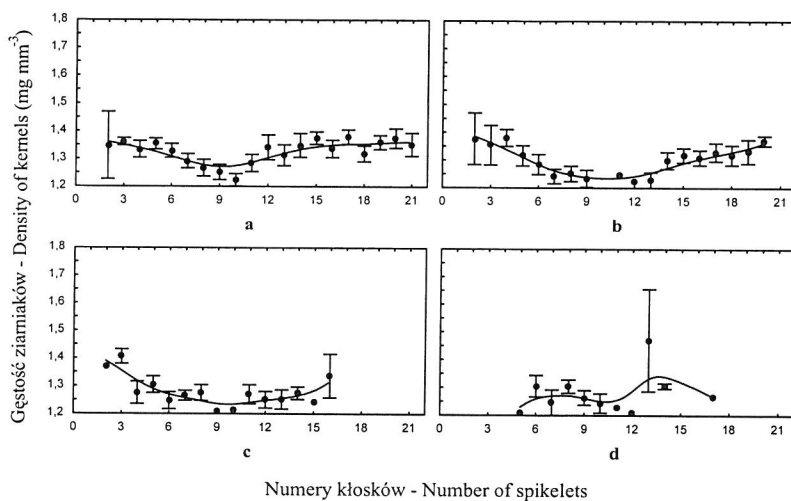
Rys. 39. Rozkład gęstości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Zyta

Fig. 39. Distribution of density of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Zyta



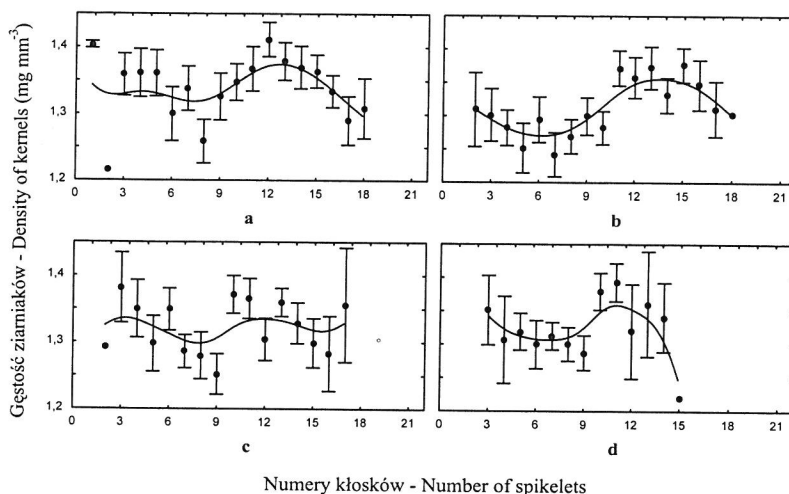
Rys. 40. Rozkład gęstości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Kris

Fig. 40. Distribution of density of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Kris



Rys. 41. Rozkład gęstości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Nawra

Fig. 41. Distribution of density of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Nawra.



Rys. 42. Rozkład gęstości pierwszych (a), drugich (b), trzecich (c) i czwartych (d) ziarniaków na długości kłosa pszenicy odmiany Broma

Fig. 42. Distribution of density of 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) and 4th (d) kernels on the wheat ear length of cv. Broma

W tabeli 20 zestawiono wartości średnie i odchylenia standardowe tej cechy dla ziarniaków w kłoskach i w kłosie badanych odmian pszenicy.

Tabela 20. Średnie wartości gęstości ($\text{mg} \cdot \text{mm}^3$) z odchyleniami standardowymi pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach, niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy

Table 20. An average values of density ($\text{mg} \cdot \text{mm}^3$) with standard deviation in 1st, 2nd, 3rd and 4th kernels independent on type of ear of investigated wheat cultivars

Odmiany	Średnie wartości gęstości – Average values of density ($\text{mg} \cdot \text{mm}^3$)				
Cultivars	1	2	3	4	Średnia – Mean
Zyta	$1,38 \pm 0,21$	$1,40 \pm 0,25$	$1,38 \pm 0,28$	$1,13 \pm 0,0$	$1,39 \pm 0,24$
Kris	$1,38 \pm 0,16$	$1,37 \pm 0,17$	$1,34 \pm 0,17$	$1,41 \pm 0,21$	$1,37 \pm 0,17$
Nawra	$1,32 \pm 0,15$	$1,28 \pm 0,16$	$1,26 \pm 0,15$	$1,27 \pm 0,22$	$1,29 \pm 0,16$
Broma	$1,34 \pm 0,15$	$1,31 \pm 0,14$	$1,32 \pm 0,15$	$1,33 \pm 0,13$	$1,33 \pm 0,15$

Gęstości ziarniaków, obliczone na bazie pomiarów z zastosowaniem systemu CAOR i analizatora SKCS mieszczą się w powszechnie uznawanym zakresie wartości tej cechy.

Jednakże biorąc pod uwagę wartości średnie tej cechy, podobnie jak w przypadku twardości ziarniaków, można stwierdzić, że jest to cecha również w wysokim stopniu zdeterminowana genetycznie.

Zróźnicowanie wartości średnich gęstości pojedynczych ziarniaków nie jest istotne i w tym przypadku jak wskazują na to rozkłady tej cechy trudno określić w sposób jednoznaczny ich charakter. Z tych też względów wydaje się, że znaczenie tego parametru z punktu widzenia praktyki nie znajduje swojego realnego uzasadnienia.

Gdyby różnice były istotne, można by wnioskować o szklistości lub mączystości takich ziarniaków, gdzie wiadomo, że ciężar właściwy skrobi jest najwyższy ze wszystkich pozostałych składników chemicznych ziarna, białka i wielocukrów i wynosi $1,48 \text{ mg} \cdot \text{mm}^{-3}$, zaś udział skrobi w ziarniakach mączystych jest najwyższy.

6. PODSUMOWANIE

Badania, przeprowadzone w ramach realizacji projektu KBN obejmują szerokie spektrum cech fizycznych i technologicznych pojedynczych ziarniaków wypełniających kłosa testowanych odmian pszenicy zwyczajnej formy ozimej i jarej. Oprócz dwóch metod pomiarów pośrednich – systemu CAOR i aparatury SKCS, zastosowano w tym projekcie metodę pomiarów bezpośrednich. Metoda ta, aczkolwiek bardzo pracochłonna i czasochłonna stanowi cenne źródło porównania i odniesienia wartości określanych cech metodami pośrednimi. Uzyskane na drodze pomiarów bezpośrednich wyniki, zawierają interesujący zbiór danych, które pozwalają przeanalizować charakterystyczne rozkłady wielkości badanych cech pojedynczych ziarniaków na długości osadki kłosowej testowanych odmian pszenicy. Na podstawie tych danych opracowane zostały charakterystyki cech wymiarowych ziarniaków oraz ich ilościowa i jakościowa charakterystyka na długości kłosów badanych odmian. Częściowe rezultaty tych analiz można znaleźć w następujących publikacjach [4-6].

Biorąc pod uwagę metody pośrednie (skrótowo oznaczane jako CAOR i SKCS), które zostały zastosowane przy realizacji programu badawczego należy stwierdzić, że ich połączenie znacznie poszerza zakres stosowanych w praktyce oznaczeń cech fizycznych i technologicznych ziarniaków. System CAOR oparty na detekcji rentgenowskiej pozwala wyznaczyć cechy geometryczne nie tylko ziarniaka ale i jego zarodka. Poza przyjętymi w naszych badaniach cechami takimi jak długość ziarniaka i jego szerokość, na szczególne podkreślenie zasługuje możliwość wyznaczania wskaźnika uszkodzeń wewnętrznych w ziarniakach. Tych oznaczeń nie prowadzono ze względu na brak tego typu uszkodzeń w testowanym materiale, aczkolwiek system CAOR stwarza taką możliwość. Ponadto, bardzo istotnym z punktu widzenia diagnostyki ziarna jest możliwość oznaczania stadiów rozwoju szkodników żerujących wewnątrz ziarna. Zagadnienie to było również przedmiotem odrębnych badań prowadzonych w ramach innego projektu badawczego KBN (Nr 3 P06T07222), gdzie diagnostyka rentgenowska i system CAOR były zastosowane.

Biorąc pod uwagę zastosowane systemy pomiarowe, w tym szczególnie system CAOR – jako nieniszczącą metodę pomiaru cech geometrycznych oraz aparaturę SKCS – jako metodę finalną, gdzie struktura ziarna ulega zniszczeniu, należy podkreślić dużą komplementarność tych metod w stosunku do wybranych cech określonych na drodze pomiarów bezpośrednich. Celem tych badań było przede wszystkim zweryfikowanie możliwości wykorzystania obu tych metod do monitoringu cech fizycznych pojedynczych ziarniaków na długości kłosów wybranych odmian pszenicy.

Znaczenie tego typu badań dla praktyki potwierdzają nieliczne z tego zakresu publikacje. I tak, według Eversa [3], oraz Nielsena i in. [15], w obrębie regionów klimatycznych uprawy pszenicy występują odmiany, które mają większe ziarna niż inne. Czasami genetyczne różnice są wyrażone przez identyfikowane cechy, jak tekstura endospermu. Generalnie można stwierdzić, że odmiany pszenicy miękkiej mają większe ziarniaki niż odmiany twarde. W innych przypadkach, powody różnic w wielkości ziarna między odmianami nie są tak łatwe do zdefiniowania, niemniej jednak wielkość ziarna wydaje się być genetycznie determinowana.

Można by założyć, że w dynamicznym procesie przemiału wielkość ziarna nie ma istotnego znaczenia. Tak jednak nie jest, bowiem jak wykazał Dr. Campbell z U.K. Satake Centre for Cereals Processing [1] frakcjonowane próbki ziarna pszenicy przy stałej szerokości szczeliny charakteryzowały się również wyższą wydajnością mąki. Te spostrzeżenia mogą być przesłanką nie tylko dla dalszego postępu hodowlanego ale i postępu technologicznego zbóż.

Uzyskane wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu KBN 6P0F 004 20 stanowią unikalny zbiór danych, które będą systematycznie wykorzystywane w dalszych badaniach zmierzających do opracowywania systemów monitoringu ziarna zarówno w systemach skupu i redystrybucji tego cennego surowca jak i w pracach hodowlanych, zmierzających do ulepszania już istniejących lub kreowania nowych odmian pszenicy o pożądanych cechach użytkowych.

Propozycja budowy takich kompletnych systemów oceny jakości ziarna znajduje swoje odbicie chociażby w powołaniu Grupy Roboczej do spraw Technologii Pojedynczego Ziarniaka (Single Kernel Technology), działającej od roku 2001, przy Amerykańskim Stowarzyszeniu Chemików Zbóż (American Association for Cereal Science and Technology – AACC).

6.1. Rzeczywiste rozkłady cech fizycznych pojedynczych ziarniaków na długości kłosów pszenicy przy zastosowaniu systemów CAOR i SKCS

Rzeczywiste rozkłady cech fizycznych pojedynczych ziarniaków na długości kłosa badanej odmiany pszenicy stanowią podstawę do tworzenia rozkładów hipotetycznych. Uwzględniając odpowiednie kategoryzacje można łączyć (uśredniać)

wszystkie ziarniaki w kolejnych kłoskach na długości kłosa, względnie można charakteryzować rozkłady każdej kategorii ziarna, tj. pierwszych i kolejnych ziarniaków w kłoskach. Zaletą tego typu rozkładów jest możliwość szczegółowego przeanalizowania zmienności badanej cechy, czego nie można dokonać podczas oceny wartości tej cechy na podstawie średniej ogólnej.

Tak jak przykładowo, ocena średniej wilgotności ziarna w próbce nie stanowi informacji o zmienności wilgotności w każdym ziarniaku znajdującym się w tej próbce, tak wartość średnia mierzonych cech dla wszystkich ziarniaków w poszczególnych kłoskach nigdy nie pozwoli na szczegółowe przeanalizowanie zmienności danej cech w obrębie kolejnych ziarniaków znajdujących się w poszczególnych kłoskach na długości osadki kłosowej. Ponadto, znajomość charakteru rozkładu wielkości badanych cech pozwala wnioskować o przyczynach zmienności tej cechy.

6.2. Rozkłady hipotetyczne cech fizycznych pojedynczych ziarniaków

Rozkład hipotetyczny dowolnej cech fizycznej lub technologicznej pojedynczych ziarniaków na długości osadki kłosowej może być wykreowany na podstawie realnych przesłanek znajdujących swoje potwierdzenie w rzeczywistym rozkładzie cech. Najprostszym sposobem budowy modelu cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w kłosie byłyby symetryczne i normalne rozkłady wybranych cech po obu stronach kłosa. Taka przesłanka znajduje swoje potwierdzenie w wynikach przeprowadzonych badań.

Z teoretycznego punktu widzenia najbardziej korzystnym modelem rozkładu byłby kształt linii prostej na całej długości kłosa. Takim przykładem może być znajdujący swoje potwierdzenie w praktyce rozkład twardości lub gęstości ziarniaków na długości kłosa, które są w wysokim stopniu zdeterminowane genetycznie. Małe zróżnicowanie w wartościach innych cech na długości kłosa, aczkolwiek pożądane z punktu widzenia praktyki wydaje się być nieosiągalne na etapie aktualnie prowadzonych prac hodowlanych z tym gatunkiem. Rzeczywiste rozkłady wartości mierzonych cech nie zawsze układają się w kształcie rozkładu normalnego, a ponadto początek obsady ziarniaków (dolna część kłosa) zaczyna się najczęściej od drugiego lub trzeciego piętka tej osadki. Nie mniej jednak taki model hipotetyczny może stanowić wzorzec, do którego zmierzać będzie jak się przypuszcza dalszy postęp biologiczny tej rośliny. Równomierna obsada ziarniaków w kłosie, gwarantująca jednorodność cech użytkowych ziarna, do której może dojść w wyniku dalszego postępu w zakresie inżynierii genetycznej, może okazać się już w nieodległej przyszłości realna.

Zebrane informacje o rozkładzie cech fizycznych i technologicznych ziarna w kłosie pszenicy mogą stanowić podstawę do opracowania modelu fizycznego kłosa, w którym uwzględnione będą rozkłady zmierzonych lub obliczonych wartości

cech fizycznych lub technologicznych pojedynczych ziarniaków na długości kłosa z uwzględnieniem ich położenia w kolejnych kłoskach. Modele takie mogą być przydatne w pracach hodowlanych zmierzających do ulepszania już istniejących lub kreowania nowych odmian o poszukiwanych walorach użytkowych ziarna.

7. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na wysnucie następujących wniosków:

1. Istnieje realna możliwość wykorzystania systemów diagnostyki rentgenowskiej (CAOR) i aparatury SKCS i połączenia ich w jeden system monitoringu zmienności cech fizycznych i technologicznych pojedynczych ziarniaków pszenicy.
2. System taki mógłby spełniać funkcję kontroli jakości surowca w systemach jego obrotu (punkty przyjęcia i redystrybucji ziarna pszenicy) i procesach przygotowania surowca do przemiału.
3. Istnieje realna możliwość wykorzystania systemu monitoringu zmienności cech fizycznych i/lub technologicznych w pracach hodowlanych.
4. Zaproponowane rozkłady cech fizycznych i/lub technologicznych mogą stanowić modele, charakteryzujące cechy użytkowe badanych odmian, a ich zmienność w latach może być podstawą oceny stabilności plonowania odmian.
5. Z uwagi na szczupłość danych literaturowych odnoszących się do zagadnienia rozkładu cech użytkowych pojedynczych ziarniaków na długości kłosów pszenicy, przeprowadzone badania dają podstawę do upowszechnienia w praktyce tego typu charakterystyk, które stanowić mogą użyteczne narzędzie w pracach związanych z monitoringiem tych cech.
6. Ogromna ilość danych faktograficznych (ponad 1000 danych dla jednej cechy), zebranych w trakcie przeprowadzonych eksperymentów może być podstawą do dalszych szczegółowych analiz i opracowań naukowych i stanowić będzie cenny materiał faktograficzny do dalszych inspiracji naukowo-badawczych w tym zakresie.
7. Dalsze badania powinny zmierzać do zbudowania prototypowego systemu monitoringu na bazie zaproponowanych systemów pomiarowych: CAOR i SKCS. System CAOR jako nieniszcząca metoda pomiarów mógłby zostać wbudowany w system aparatury SKCS. Modernizacja tego ostatniego jest aktualnie prowadzona w kierunku wykorzystania techniki NIR i analizy spektralnej w tym aparacie, co znakomicie powiększyłoby zakres możliwych do monitorowania cech użytkowych pojedynczych ziarniaków.
8. Połączenie zestawów pomiarowych CAOR i SKCS w praktyce, w postaci systemu monitoringu możliwych do wyróżnienia cech fizycznych i technologicznych mogłoby znacznie poprawić efektywność oceny jakości tego surowca.

8. PIŚMIENNICTWO

1. **Bremner P.M., Rawson H.M.:** The weight of individual grains of the wheat ear in relation to their growth potential, the supply of assimilate and interaction between grains. *Australian Journal of Plant Physiol.*, 5, 61-72, 1978.
2. **Dubbeldam J.:** Corab tree hides unknown nutritional secrets. *Feed Tech.*, Vol. 4, No 1, 20-22, 2000.
3. **Evers T.:** A matter of size – research showing that gain size affects milling performance. *World Grain*, 33-35, Sept. 2002.
4. **Geodecki M., Grundas S.:** Charakterystyka cech geometrycznych pojedynczych ziarniaków w kłosie pszenicy ozimej i jarej. *Acta Agrophysica*, 2 (3), 531-538, 2003.
5. **Geodecki M., Grundas S.:** Liczba i masa ziarniaków w kłosku i kłosie pszenicy. *Acta Agrophysica*, 2(4), 743-748, 2003.
6. **Geodecki M., Grundas S., Niewczas J.:** Charakterystyka cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w kłosie pszenicy ozimej. Materiały konferencyjne I Zjazdu Oddziału Krakowskiego PTA, „Agrofizyka w badaniach surowców i produktów rolniczych”, Kraków, 12-13.09.2002, s.43, 2002.
7. **Grundas S.:** Characteristics of single kernel in wheat head by X-ray and SKCS methods. ICC Conference 2002 on Novel Raw Materials, Technologies and Products – New Challenge for the Quality Control. Budapest/ Hungary, May 26-29, CD Rom, 220-234, 2002.
8. **Grundas S.:** Advantage of Physical Properties of Single Kernels of Wheat to Evaluation of its Utility Values. *AACC Europe News (News and informations for members from Europe)*, July, 6-7, 1997.
9. **Grundas S.:** Grain Structure of Wheat and Wheat-based Products. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, Academic Press, 6137-6146, 2002.
10. **Grundas S.:** Wheat/The Crop. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*. Academic Press, 6130-6137, 2002.
11. **Grundas S.:** Characteristics of single kernel in wheat head by X-ray and SKCS methods. *Proceedings of the ICC Conference on “Novel Raw Materials, Technologies and Products – New Challenge for the Quality Control” Budapest/Hungary*, CD Rom, pp.230-234, 2002.
12. **Grundas S., Geodecki M.:** Advantage of X-ray method to monitoring of cereal grain uniformity for industry and breeding purposes. 1st International Workshop on Applied Physics in Life Science. Ed. by J. Pecan and M. Libra. Czech University of Agriculture in Prague, Technical Faculty, Department of Physics, 21-24, Sept. 2002.
13. **Kaczyński L.:** Odmiany pszenicy odpowiednie na cele młynarsko-piekarskie. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, Rok XLV, 7'2001, 3-7, 2001.
14. **Kameni E.:** Physical parameters and sowing quality seeds. *Research papers of LIAg Eng and LU of Ag*, Vol. 33, No 1, 27-40, 2001.
15. **Nielsen J.P., Pederson D.K., Munck L.:** Development of nondestructive screening methods for single kernel characterization of wheat. *Cereal Chemistry*, Vol. 80, No. 3, 274-280, 2003.
16. **Niewczas J.:** Fizyczne i biologiczne skutki suszenia mikrofalowego ziarna pszenicy. Sprawozdanie merytoryczne z realizacji projektu badawczego KBN Nr 5 P06F 01209, 1996.
17. **Niewczas J., Woźniak W., Grundas S.:** Charakterystyka obrazów rentgenowskich ziarniaków pszenicy o różnej wilgotności. *Biuletyn Zakładu Fizycznych Podstaw Oceny i Ulepszania Materiałów Roślinnych Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie*. Dodatek do „Przeglądu Zbożowo-Młynarskiego”. Nr 2, Rok II, 27-29, 1999.
18. **Newman C.W.:** Barley as a food grain. *Cereal Food World*, 36, 800-805, 1991.
19. **Styk B.:** Reakcja pszenicy i jęczmienia na nawożenie granulatem keratynowo-korowo-mocznikowym. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, z. 370, 179-192, 1989.

9. STRESZCZENIE

Praca zawiera charakterystykę właściwości fizycznych i technologicznych ziarniaków w kłosach pszenicy zwyczajnej *Triticum aestivum* L. Opracowano rozkłady cech fizycznych ziarniaków na długości osadki kłosowej dwóch odmian pszenicy ozimej i dwóch – jarej. Materiał doświadczalny obejmował dwie odmiany pszenicy formy ozimej: Zyta i Kris oraz formy jarej: Nawra i Broma. Dla pozyskania odpowiedniego materiału badawczego w sezonie wegetacyjnym 2000/2001 założono ściśle doświadczenia polowe na terenie Stacji Oceny Odmian w Czesławicach koło Nałęczowa. Materiał w postaci kłosów ze źdźbeł głównych i bocznych zbierano w okresie pełnej dojrzałości ziarna przy zachowaniu odpowiedniej reprezentatywności odmian.

Cechy fizyczne obejmują wielkości parametrów, które były bezpośrednio lub pośrednio zarejestrowane lub obliczone w oparciu o dwa podstawowe zestawy pomiarowe: aparaturę rentgenowską wraz z systemem cyfrowej analizy obrazów rentgenowskich oraz analizator pojedynczych ziarniaków – SKCS.

Celem zasadniczym zastosowania dwóch zestawów pomiarowych była weryfikacja możliwości ich połączenia w jeden zintegrowany system kompleksowej oceny wartości użytkowej ziarniaków wypełniających kłosy badanych odmian pszenicy. Uzyskane rezultaty badań wskazują na możliwość praktycznego wykorzystania takiego połączonego systemu zarówno z punktu widzenia oceny postępu hodowlanego jak i monitoringu tych cech w przyszłościowych systemach oceny jakości surowca w punktach sprzedaży i dystrybucji tego cennego surowca.

Słowa kluczowe: pszenica, odmiany, kłosy, ziarniaki, cechy fizyczne, rozkłady

10. SUMMARY

The article contains physical and technological characteristics of single kernels in heads of common wheat *Triticum aestivum* L. Distribution of physical properties of single kernels along length of heads of two varieties of winter and spring wheat were elaborated. Experimental material consists of two varieties of winter wheat: Zyta and Kris and two spring varieties: Nawra and Broma. To obtain of suitable material in vegetative season 2000/2001 exact plots experiments were carried out at the Station of Varieties Estimation in Czeslawice near Naleczow. Heads from main and lateral stalks of each variety were gathered in period of full maturity of grain at maintenance.

Physical properties were directly recorded or indirectly determined with two measure sets: X-ray apparatus with digital analysis of x-ray images as well as measure set: Single Kernel Characterization System (SKCS).

Verification of possibility of interactions was main goal of use of these two measurement sets as one integrated system of complex estimation of single

kernels quality fulfilling heads of tested varieties of wheat. Obtained results of investigations pointed out to possibility of practical utilization of such integrated system in both breeding progress and monitoring of this features in systems of qualitative estimation of grain in points of sale and redistribution of this valuable material.

Keywords: wheat, varieties, heads, single kernels, physical properties, distribution

Stanisław Grundas
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalcza 4, 29-290 Lublin
e-mail: grundas@demeter.ipan.lublin.pl

