ACTA AGROPHYSICA

ZWIĄZKI MIĘDZY AGROFIZYKĄ A GENETYKĄ I HODOWLĄ ROŚLIN ZBOŻOWYCH ORAZ STRĄCZKOWYCH

Wojciech Rybiński, Bogusław Szot

174

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

**Rozprawy i Monografie
2009 (3)**

Komitet Redakcyjny

Redaktor Naczelny – Józef Horabik
Zastępca Redaktora Naczelnego – Grzegorz Józefaciuk
Sekretarz Redakcji – Wanda Woźniak

Rada Redakcyjna
Dorota Witrowa-Rajchert – przewodniczący

Ryszard Dębicki
Bohdan Dobrzański
Danuta Drozd
Franciszek Dubert
Tadeusz Filipek
Józef Fornal
Jan Gliński, czł. rzecz. PAN
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
Jan Sielewiesiuk
Witold Stępniewski
Bogusław Szot
Zbigniew Ślipek
Jerzy Weres

Opiniowała do druku
Prof. dr hab. Krystyna Szwed-Urbaś

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Wydawnictwo
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin, tel. (0-81) 744-50-61, www.ipan.lublin.pl

Streszczenia i pełne teksty prac dostępne są na stronie internetowej czasopisma
www.acta-agrophysica.org

Czasopismo jest umieszczone w następujących bazach:
Thomson Scientific Master Journal List
Polish Scientific Journals Contents – Life Sci.
Biblioteka Główna i Centrum Informacji Naukowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu
Instytut Bibliotekoznawstwa i Informacji Naukowej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach
Lonicera – serwis botaniczny

©Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2009

ISSN 1234-4125

Acta Agrophysica są do nabycia w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie. Prenumeratę instytucjonalną można zamawiać w dziale Wydawnictw Instytutu Agrofizyki PAN w Lublinie oraz w oddziałach firmy Kolporter S.A. na terenie całego kraju. Informacje pod numerem infolinii 0801-205-555 lub na stronie internetowej http://www.kolporter-spolka-akcyjna.com.pl/prenumerata.asp

Wydanie I. Nakład 170, egz. Ark. 5,0
Skład komputerowy: Wanda Woźniak
Druk: *ALF-GRAF*, ul. Abramowicka 6, 20-391 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE 5
2. OMÓWIENIE WYNIKÓW 7
2.1. Zboża 8
2.1.1. Ocena materiałów na wczesnych etapach hodowli 8
2.1.2. Ocena parametrów fizycznych ziarniaków na przykładzie odmian komercyjnych 21
2.2. Rośliny strączkowe 26
2.2.1. Ocena materiałów na wczesnych etapach hodowli 27
2.2.2. Ocena parametrów fizycznych nasion na przykładzie odmian komercyjnych 37
3. PODSUMOWANIE 50
4. PIŚMIENNICTWO 50
5. STRESZCZENIE 53
6. SUMMARY 54

1. WPROWADZENIE

W obszarze zainteresowania agrofizyki leżą procesy fizyczne oraz właściwości materiałów istotne dla zrównoważonej produkcji rolniczej oraz nowoczesnych technologii przetwórczych, a zwłaszcza oddziaływania fizyczne i fizykochemiczne zachodzące w układzie gleba – roślina – atmosfera oraz gleba – roślina – maszyna – płody rolne, ze szczególnym uwzględnieniem stanu środowiska oraz jakości surowców i produktów żywnościowych. Obecnie, po wkroczeniu w XXI wiek obserwuje się znaczny postęp biologiczny zwłaszcza w aspekcie dynamicznego rozwoju inżynierii genetycznej i biotechnologii, a agrofizyka, jako młoda dyscyplina naukowa zajmująca się praktycznym wykorzystaniem właściwości fizycznych materiałów roślinnych skutecznie wspomaga rozwiązywanie złożonych zagadnień w naukach rolniczych i przyrodniczych. Przykładowo, znajomość cech fizycznych nasion roślin uprawnych była wykorzystywana przez człowieka już w zamierzchłej przeszłości, a obecnie aby ocenić jakość danego materiału roślinnego niezbędna jest znajomość zakresu jego cech fizycznych. Agrofizyka od swego początku intensywnie korzystała z warsztatu naukowego i dorobku nauk ścisłych – fizyki i matematyki. Nie ulega wątpliwości, że także nauki przyrodnicze z genetyką i hodowlą roślin włącznie często stają przed koniecznością poszukiwania interdyscyplinarnej interpretacji wzajemnych oddziaływań. Badania tego samego obiektu (np. określonego materiału roślinnego), ale w różnej skali wielkości są bardzo często przedmiotem zainteresowania różnych dyscyplin naukowych. Wypadkowe oddziaływania nie są zazwyczaj prostą sumą oddziaływań zachodzących w różnej skali (Walczak i in. 2003). Przykładowo strukturę ziarniaków zbóż można precyzyjnie opisać pod względem ich właściwości mechanicznych (fizyka) czy fizykochemicznych, lecz jest oczywistym, że u podstaw obserwowanej zmienności badanych parametrów fizycznych czy chemicznych leżą pierwotne zmiany natury genetycznej będące w określonej interakcji z czynnikami środowiskowymi. Stąd jednym z podstawowych wyzwań, przed którymi staje agrofizyka, jest właśnie interdyscyplinarna interpretacja badanych oddziaływań zachodzących w środowisku przyrodniczym, a zwłaszcza w materiale roślinnym.

W aspekcie interdyscyplinarnym, zarówno genetycy i hodowcy z jednej strony jak i agrofizycy z drugiej, dysponują obecnie nowoczesnym warsztatem badawczym, umożliwiającym wszechstronne opracowanie zmienności genetycznej cech oraz oddziaływań fizycznych i fizykochemicznych zachodzących w szeroko pojętym środowisku wzrostu i rozwoju roślin. Niezależnie od obu

wspomnianych dyscyplin naukowych, aspekty genetyczno-hodowlane jak i fizyczne analizowane są w ścisłej zależności od układu gleba – roślina – atmosfera. Jest to istotne spoiwo interdyscyplinarne, umożliwiające podjęcie prób powiązania wyników prac genetyczno-hodowlanych z efektami prac agrofizyki materiałów roślinnych. Jest niewątpliwie interesującym w jakim stopniu prace genetyczno-hodowlane mogą przyczynić się do wyjaśnienia zjawisk fizycznych zachodzących w materiale roślinnym i na odwrót, w jakim stopniu procesy fizyczne mogą pomóc w interpretacji szeregu zjawisk natury genetycznej i hodowlanej. Przykładowo, proces pękania strąków i osypywania nasion ma ścisły związek z procesami natury fizycznej zachodzącymi w strąku w określonych warunkach środowiskowych, ale z drugiej strony zjawisko to jest uwarunkowane genetycznie i jest specyficzne dla gatunków, odmian czy rodów. Stąd wiedza o fizycznym aspekcie pękania strąków przy kumulacji określonych czynników klimatycznych (temperatura, opady, wilgotność powietrza itp.) jest niewątpliwie istotnym czynnikiem w pracach nad udoskonalaniem genetycznym roślin uprawnych.

W pracach nad wyprowadzaniem nowych wysokoplennych odmian odpornych na stresy biotyczne i abiotyczne, zarówno genetycy jak i hodowcy koncentrują się na podstawowych cechach ilościowych i jakościowych roślin gwarantujących wysoką konkurencyjność marketingową nowych odmian. Nie dysponują natomiast precyzyjnym warsztatem umożliwiającym uzyskanie podstawowych informacji o np. właściwościach fizycznych (mechanicznych) łodyg czy źdźbeł w kontekście poprawienia odporności roślin na wyleganie czy wytrzymałości nasion na obciążenia mechaniczne, co znajduje później reperkusje w procesie zbioru materiałów roślinnych, przechowywania i obróbki technologicznej. Aby sprostać potrzebom współczesnej gospodarki, wykorzystywane w produkcji odmiany roślin uprawnych winny umożliwiać uzyskanie surowca i produktu biologicznego, który musi odpowiadać określonym wymaganiom i standardom przy jednoczesnym ograniczeniu strat. Wiąże się to ściśle z postępem biologicznym którego intensyfikację, zwłaszcza w ostatnich latach obserwuje się już w skali globalnej. Postęp biologiczny obejmuje udoskonalenie organizmów roślinnych i zwierzęcych, zwiększenie liczby gatunków roślin i zwierząt użytecznych dla człowieka, co pozwala uzyskać większą wydajność z punktu widzenia wykorzystania sił przyrody, przemysłowych środków do produkcji oraz sprostać coraz większym wymaganiom człowieka (Runowski 1997). We współczesnym rolnictwie funkcjonuje kilka pojęć stosowanych zamiennie do określenia postępu jaki wnoszą nowe odmiany – najczęściej używanymi pojęciami są: postęp genetyczny, hodowlany, odmianowy i biologiczny.

Postęp wnoszony przez odmiany stanowi część postępu biologicznego, rozumianego jako doskonalenie organizmów żywych (Prusiński 2007). Między innymi istotny jest postęp hodowlany, który można rozpatrywać jako wszelkie udoskonalenia związane z pracami hodowlanymi i może on również dotyczyć rozwoju zarówno określonych technik hodowlanych jak i efektów prac hodowlanych, tj. odmian roślin (Runowski 1997). Postęp hodowlany u roślin uprawnych można rozpatrywać w aspekcie poprawienia wskaźników jakości plonu – wyrażonych między innymi zwiększeniem zawartości białka, poprawą jego składu aminokwasowego, pozbawieniem czy istotnym obniżeniem substancji przeciwżywieniowych, a także polepszeniem elementów struktury plonu, skróceniem okresu wegetacji, zwiększoną odpornością roślin na wyleganie, suszę oraz atak szkodników czy chorób. Finalnym celem, do którego zmierza hodowla roślin jest zwiększenie plonu nasion i ulepszenie jego cech jakościowych (Święcicki 1993). Elementem dotąd niedocenianym i mniej poznanym jest stopień odporności nasion na czynniki fizyczne, wyrażone ich właściwościami mechanicznymi, co z kolei wiąże się z ograniczeniem strat związanych ze zbiorem, transportem i przechowywaniem nasion. Wychodząc naprzeciw temu zapotrzebowaniu podjęto próbę oceny właściwości fizycznych nasion w kontekście postępu hodowlanego, finalnym produktem hodowcy jakim są odmiany roślin uprawnych, a także rody, linie, mutanty czy mieszańce w pierwszych pokoleniach po krzyżowaniu uzyskiwane na wcześniejszych etapach prac hodowlanych. Praca jest próbą powiązania postępu hodowlanego wyrażonego wyżej wspomnianych materiałów z oceną ich nasion i ziarniaków pod względem właściwości fizycznych, głównie w aspekcie ich odporności na obciążenia mechaniczne. Pracę oparto na opublikowanych wynikach badań w odniesieniu do zbóż i roślin strączkowych.

2. OMÓWIENIE WYNIKÓW

Stosując klasyczne metody hodowlane od wykonania pierwszej krzyżówki do rejestracji odmiany mija co najmniej 10 lat. Na pierwszych etapach cyklu hodowlanego prowadzona jest selekcja najbardziej obiecujących genotypów, które w późniejszych pokoleniach są rozmnażane i testowane w doświadczeniach polowych. Warunkiem skuteczności selekcji jest uzyskanie możliwie szerokiego spektrum zmienności cech, które pozwalają na efektywny wybór genotypów o poszukiwanych przez hodowcę właściwościach. Stąd istotnym jest dysponowanie przez hodowcę, już na wczesnych etapach hodowli, informacjami o wartości hodowlanej selekcjonowanych obiektów pod względem najbardziej pożądanych

cech, z włączeniem do oceny selekcyjnej niedocenianej i pomijanej przez hodowców odporności nasion na obciążenia mechaniczne, której to cechy nie można pominąć w opracowaniach optymalnego modelu odmiany. Uzyskane informacje bonitacyjne pozwalają na zawężenie w pierwszych pokoleniach cyklu hodowlanego licznego materiału mieszańcowego do najbardziej wartościowych i obiecujących genotypów. Ma to między innymi wymierny aspekt finansowy, ograniczając zakres, a tym samym i koszty prowadzonych prac hodowlanych.

2.1. Zboża

2.1.1. Ocena materiałów na wczesnych etapach hodowli

Przykładem oceny odporności ziarniaków na obciążenia mechaniczne we wczesnych etapach hodowli pszenicy są badania Milczaka i in. (1977) w odniesieniu do pokolenia F_2. Mieszańce uzyskano ze skrzyżowania linii pszenicy Z-70 (P_1) z odmianą uprawną Kaukaz (P_2). Oprócz oceny materiału rodzicielskiego i mieszańców F_2 pod względem masy ziaren z kłosa, masy ziaren z rośliny, masy tysiąca nasion (MTN), szklistości ziarna i zawartości białka, elementem nowatorskim pracy było włączenie do oceny cech odporności ziarniaków na obciążenia mechaniczne. Tę ostatnią z cech analizowano na aparacie skonstruowanym w Instytucie Agrofizyki PAN (Szot 1976) pozwalającym na rejestrację siły w funkcji odkształcenia. Umożliwia to odczytywanie doraźnej siły ściskającej ziarno oraz odkształceń w zakresie sprężystości liniowej. Poziom badanych cech P_1, P_2 i F_2 oraz zakres ich zmienności obrazuje tabela 1. Porównanie średnich wartości wskazuje na duże fenotypowe podobieństwo obu form rodzicielskich. Na tle badanych cech znaczne różnice obserwowano w stosunku do odporności ziarna na obciążenia mechaniczne, co wiąże się ściśle z podatnością na uszkodzenia mechaniczne. Rozkład zmienności tej cechy zamykał się w całkiem innych przedziałach u P_1 (43,6-61,9 N) niż u P_2 (65,0-96,0) co wskazuje na odporność genotypową form rodzicielskich w odniesieniu do tej cechy. Efektem odrębności form rodzicielskich było uzyskanie w rekombinacji dużej zmienności odporności ziarna na obciążenia statyczne u roślin pokolenia F_2, największej w grupie badanych cech. Potwierdza to współczynnik zmienności wynoszący około 9% w porównaniu z 18,6% dla mieszańców F_2. Z zakresem zmienności cech wiąże się bardzo ściśle istotny do prognozowania postępu genetycznego wskaźnik jakim jest odziedziczalność (H). Największy udział zmienności genotypowej w stosunku do fenotypowej stwierdzono dla odporności ziarna na obciążenia statyczne

(H = ok. 78%). Uzyskana zmienność ziarna na obciążenia mechaniczne przy wysokim stopniu odziedziczalności tej cechy mieszańców pozwala na wybór najbardziej odpornych form pokolenia F_2 i wykorzystanie ich do krzyżowania oraz ukierunkowania hodowli.

Tabela 1. Średnie wartości i zakres zmienności badanych cech ziarna pszenicy ozimej (Milczak i in. 1977)
Table 1. Mean values and range of variability of studied traits of winter wheat (Milczak *et al.* 1977)

Cecha Trait	Pokolenie Generation	Średnia wartość Mean value	Zakres zmienności (od – do) Range of variability (from – to)	Współczynnik zmienności Coefficient of variability V (%)	Współczynnik odziedziczalności Coefficient of heritability (H)
Masa ziaren z kłosa Weight of kernels per spike (g)	P_1 P_2 F_2	2,50 2,70 2,60	1,2-3,9 1,9-3,9 1,0-4,7	28,2 17,5 30,6	0,418
Masa ziarna z rośliny Weight of kernels per plant (g)	P_1 P_2 F_2	39,20 20,30 27,60	14,2-82,2 15,0-32,2 15,0-55,4	33,0 22,0 32,5	–
Masa1000 ziaren Weight of 1000 kernels (g)	P_1 P_2 F_2	35,80 35,40 37,70	28,9-43,4 30,3-39,4 24,2-52,7	11,2 7,6 13,9	0,567
Szklistość ziarna Vitreosity of kernels (%)	P_1 P_2 F_2	16,90 15,40 16,70	7,0-23,0 8,0-26,0 7,0-30,0	22,8 32,5 35,2	0,389
Zawartość białka Protein content (%)	P_1 P_2 F_2	15,30 15,90 13,70	13,0-18,0 14,0-18,5 11,0-18,2	8,2 8,5 11,5	0,402
Odporność ziarna na obciążenia statyczne Resistance to static loads (N)	P_1 P_2 F_2	53,00 80,00 63,20	43,6-61,9 65,9-96,0 34,8-92,1	9,1 8,8 18,6	0,784
Wartość odkształceń sprężystych Elastic deformation (mm)	P_1 P_2 F_2	0,29 0,41 0,34	0,20-0,40 0,35-0,52 0,22-0,55	21,5 19,0 18,3	–

W pracach hodowlanych istotnym elementem jest poznanie zależności między ocenianymi cechami, wyrażonej współczynnikiem korelacji fenotypowej (tab. 2).

Spośród 21 badanych korelacji szczególnie praktyczny aspekt hodowlany przedstawia pozytywna zależność w populacji F_2 między odpornością ziarniaków na obciążenia statyczne a ich szklistością (r_{xv} = 0,537). Zależność ta jest dla hodowcy szczególnie cenna gdyż szklistość ziarna jest łatwą do oceny cechą i może zostać wykorzystana w selekcji jako marker morfologiczny odporności ziarna na uszkodzenia mechaniczne. Zależność wytrzymałości mechanicznej ziarna od jego szklistości, znana w praktyce młynarskiej znalazła potwierdzenie w cytowanej pracy Milczaka i in. (1977). Wyłonienie wyżej wspomnianego markera jest dobrym prognostykiem dla prac hodowlanych uwzględniających w modelowaniu odmiany cech odporności ziarna na obciążenia mechaniczne. Przedstawione wyniki w oparciu o ocenę materiałów hodowlanych na wczesnych etapach uzyskiwania odmian są o tyle cenne, że brak jest tego typu badań i nie znaleziono w literaturze adekwatnych prac.

Ekspresja cech obserwowanych i ocenianych w pracach hodowlanych ma podłoże zmian natury genetycznej z modyfikacją wywołaną wpływem środowiska włącznie. Obecnie dla wielu gatunków roślin dysponuje się mapami genetycznymi z precyzyjną lokalizacją licznych genów na chromosomach. Oprócz wpływu określonych genów na ekspresję cech, prowadzone są też badania nad wpływem dodatkowych chromosomów. Przykładem tego są addycyjne linie pszenica-żyto otrzymane przez licznych autorów (Evans i Jenkins 1960, Driscoll i Sears 1971, Miller 1973, Bernard 1976). Serie linii addycyjnych nie mają praktycznego zastosowania, a wielu autorów analizowało wpływ dodatkowych chromosomów żyta na przebieg mejozy i rozwój roślin, jak też fizjologiczne i biochemiczne właściwości linii pszenicy z dodatkowymi chromosomami żytnimi (Sears 1967, Tang i Hart 1975, Schlegel 1978, Liu 1989). Mimo licznej literatury na ten temat brak jest prac nad właściwościami fizycznymi ziarniaków linii pszenicy z dodatkowymi chromosomami żyta. Wykorzystując uzyskane serie linii pszenicy odmiany Grana z dodatkowym kompletem chromosomów żyta Dańkowskie Złote i ramionami chromosomów 1R. 2R, 3RS, 4R, 5R, 6R 6RL i 7R badano właściwości nasion wspomnianych linii, jak też formy wyjściowe: pszenica Grana, żyto Dańkowskie Złote oraz oktoploidalne pszenżyto (Grana x Dańkowskie Złote). Autorzy (Miazga i Szot 1996) oceniali między innymi uszkodzenia wewnętrzne ziarniaków wykorzystując w tym celu metodę rentgenowską. Odporność na obciążenia mechaniczne określono w oparciu o wyniki uzyskane przy pomocy aparatu INSTRON model 6022. Fizyczne właściwości ziarniaków wynikają z ich morfologii i struktury anatomicznej jak również z ich składu chemicznego, który jednocześnie ma wpływ na fizjologię ziarniaków.

Tabela 2. Współczynniki korelacji fenotypowej (r_{xy}) dla populacji F_2 (Milczak i in. 1977)
Table 2. Coefficient of phenotypic correlation (r_{xy}) for population F_2 (Milczak *et al.* 1977)

Cecha – Trait	Masa ziaren z kłosa Weight of kernels per spike (g)	Masa ziarna z rośliny Weight of kernels per plant (g)	Masa 1000 ziarn Weight of 1000 kernels (g)	Szklistość ziarna Kernel vitreosity (%)	Zawartość białka Protein content (%)	Odporność ziarna na obciążenia statyczne Resistance to static loads (N)	Wartość odkształceń sprężystych Elastic deformation (mm)
Masa ziaren z kłosa Weight of kernels per spike (g)	–						
Masa ziarna z rośliny Weight of kernels per plant (g)	0,524*	–					
Masa1000 ziarn Weight of 1000 kernels (g)	0,258*	0,375*	–				
Szklistość ziarna Kernel vitreosity (%)	0,163	0,138	0,358*	–			
Zawartość białka Protein content (%)	–0,092	–0004	–0,121	0,016	–		
Odporność ziarna na obciążenia statyczne Resistance to static loads (N)	0,283*	0,244*	0,316*	0,537*	–0,011	–	
Wartość odkształceń sprężystych Elastic deformation (mm)	0,075	0,170	0,018	0,193	0,283*	0,398*	–

Spośród głównych powodów powstawania uszkodzeń wewnętrznych w ziarniakach wymienić można gradient wilgotności występujący podczas zmiennych warunków pogodowych (rosa, opady, susza) w okresie pełnej dojrzałości ziarna i podczas nierównomiernego wypełniania (nalewania) ziarniaków, co powoduje lokalne rozrzedzenia i spękania endospermu. Stan destrukcji bielma oceniano przy zastosowaniu indeksu uszkodzeń wewnętrznych. Autorzy ci wykazali, że wszystkie linie addycyjne, włączając pszenżyto, charakteryzowały się wyraźnie wyższym indeksem uszkodzeń w porównaniu do pszenicy Grana, której indeks wynosił tylko 0,5 (tab. 3). Nie obserwowano natomiast uszkodzeń ziarniaków żyta. Wykazano zróżnicowanie uszkodzeń w liniach addycyjnych określając zakres i wielkość uszkodzeń ziarniaków. Z uwagi, że warunki środowiskowe w doświadczeniu polowym były identyczne dla wszystkich obiektów, obserwowane różnice były wynikiem genetycznego wpływu dodatkowych chromosomów żytnich w liniach addycyjnych. Chropowatość powierzchni ziarniaków, w aspekcie fizycznym, wpływa na różny stopień tarcia i ścierania, które mają miejsce w czasie ich omłotu, transportu, czyszczenia i przechowywania. Ponadto na szorstkich ziarniakach dłużej utrzymuje się woda (wilgoć) po opadach atmosferycznych czy rosie. Szorstkość (chropowatość) powierzchni ziarniaków oceniano mikroskopowo (mikroskop BK 70 x 50), a wyniki podano w mikrometrach. Wszystkie linie addycyjne charakteryzowały się mniejszą szorstkością niż formy wyjściowe. Wyniki te dotyczą tylko chropowatości, a nie pomarszczenia ziarniaka, jak to ma miejsce w przypadku pszenżyta. Wyniki odporności ziarniaków na zgniatanie przedstawiono w tabeli 4. Wartości siły maksymalnej, tj. siły powodującej zniszczenie ziarniaka wynosiły od 65,9 N dla linii 4R poprzez 83,5 dla linii 3R do 104,9 N dla linii 6R. Spośród form najbardziej odpornych na zgniatanie zaliczyć można linie: 6R, 6RL i 2R. Wyniki te sugerują, że prawdopodobnie chromosomy zawierają geny odpowiedzialne za odporność mechaniczną ziarniaków żyta. Ta cecha może być związana ze strukturą endospermu. Simonds (1972) oraz Grzesiuk i Kulka (1981) opisują różnicę w strukturze endospermu żyta, pszenicy i pszenżyta zwracając szczególną uwagę na rozkład białek i skrobi w endospermie. Wartości siły maksymalnej korespondują z maksymalną deformacją w momencie uszkodzenia ziarniaków i oscylują między liniami w granicach od 0,18 do 0,28 mm w zależności od linii. Ziarniaki żyta jako najbardziej odporne wymagają największej energii deformacji podczas zgniatania (25,0 mJ). Wszystkie linie addycyjne z wyjątkiem 3R wymagały większej energii dla zgniecenia ziarniaków niż pszenica. W konkluzji autorzy podkreślają, że z dużym prawdopodobieństwem geny determinujące mechaniczną odporność żyta (forma wyjściowa Dań-

kowskie Złote) występują na chromosomie 6R, 6RL i 2R, co stanowi istotną informację dla genetyków i hodowców w procesie selekcji i uzyskiwania na dalszym etapie prac odmian o zwiększonej odporności na uszkodzenia mechaniczne.

Tabela 3. Chropowatość powierzchni ziarniaków i wskaźnik uszkodzeń wewnętrznych ziarniaków form wyjściowych: pszenicy cv. Grana, żyta cv. Dańkowskie Złote, pszenżyta oktoploidalnego (Grana x Dańkowskie Złote) oraz ośmiu linii adycyjnych (Miazga i Szot 1996)
Table 3. Surface roughness of kernels and index of internal damages of kernels of initial forms: wheat cv. Grana, ray cv. Dańkowskie Złote, octoploid triticale (Grana x Dańkowskie Złote) and eight additions lines (Miazga and Szot 1996)

Genotyp Genotype	Chropowatość powierzchni Surface roughness			Wskaźnik uszkodzeń wewnętrznych Internal damages index, IS		
	Średnia Mean (μm)	s.d.	c.v. (%)	Średnia Mean	s.d.	c.v. (%)
Pszenica odm. Grana Wheat cv. Grana	13,74	2,84	20,7	0,5	0,14	27,6
Żyto odm. Dańkowskie Złote Rye cv. Dańkowskie Złote	15,59	4,14	26,6	0,00	–	–
Triticale (Grana x Dańkowskie Złote)	14,99	3,17	21,2	3,09	0,43	14,0
1 R"	10,81	1,72	15,9	3,79	0,22	5,7
2 R"	10,78	1,73	16,0	3,70	0,53	14,4
3 R"	10,21	1,60	15,7	2,15	0,32	15,0
3 RS"	12,10	2,90	23,9	3,69	0,86	23,4
4 R"	11,79	2,91	24,7	1,58	0,43	27,0
5 R"	11,59	1,23	10,6	2,08	0,47	22,8
6 R"	11,23	2,00	17,8	1,33	0,46	34,6
6 RL"	11,57	1,86	16,1	3,95	0,66	16,6
NIR p = 0,05 LSD p = 0.05	1,62	–	–	1,48	–	–

Tabela 4. Parametry wytrzymałościowe ziarniaków form wyjściowych: pszenicy cv. Grana, żyta cv. Dańkowskie Złote, pszenżyta oktoploidalnego (Grana x Dańkowskie Złote) oraz ośmiu linii adycyjnych (Miazga i Szot 1996)
Table 4. Kernel mechanical strength parameters of initial forms: wheat cv. Grana, ray cv. Dańkowskie Złote, octoploid triticale (Grana x Dańkowskie Złote) and eight addition lines (Miazga and Szot 1996)

Genotyp Genotype	Siła maks. Max. force (N)			Sprężystość maks. Max. Elasticity (N)			Odkształcenie maks. Max. Deformation (mm)			Odkształcenie sprężyste Elastic deformation (mm)			Energia Energy (mJ)		
	Średnia Mean	s.d*.	c.v.** (%)	Średnia Mean	s.d.	c.v. (%)	Średnia Mean	s.d.	c.v. (%)	Średnia Mean	s.d.	c.v. (%)	Średnia Mean	s.d.	c.v. (%)
Pszenica Wheat cv. Grana	82,43	16,35	19,8	69,85	18,58	26,6	0,185	0,052	28,1	0,102	0,03	29,4	7,91	5,87	61,4
Żyto – Rye cv. Dańkowskie Złote	131,33	35,45	27,0	100,29	35,06	35,0	0,338	0,104	30,	0,166	0,079	47,6	25,00	13,55	54,2
Triticale (Grana x Dańkowskie Złote)	86,72	24,17	27,9	62,73	28,13	44,8	0,338	0,103	30,5	0,160	0,079	49,4	16,56	7,91	47,8
1 R"	88,64	16,62	18,8	62,97	19,42	30,8	0,268	0,065	24,3	0,135	0,057	42,2	13,46	5,87	43,6
2 R"	102,72	18,51	18,0	79,74	17,59	22,1	0,221	0,070	31,7	0,113	0,041	36,3	13,04	6,36	48,8
3 R"	85,27	19,57	23,0	71,82	19,00	26,5	0,177	0,063	35,6	0,106	0,032	30,2	7,68	5,82	75,8
3 RS"	98,20	21,64	22,0	80,04	19,17	23,7	0,230	0,059	25,7	0,118	0,049	41,5	11,76	5,79	49,2
4 R"	65,96	18,73	28,4	46,61	20,73	44,5	0,284	0,088	31,0	0,135	0,059	43,7	10,76	5,63	52,3
5 R"	86,04	15,21	17,7	67,21	20,72	30,8	0,262	0,067	25,6	0,152	0,070	46,1	11,53	4,98	43,2
6 R"	107,93	25,02	23,2	94,77	28,51	30,1	0,236	0,067	28,4	0,157	0,065	41,4	132,41	7,07	57,0
6 RL"	107,04	26,73	25,0	90,03	32,70	36,3	0,282	0,081	28,7	0,203	0,115	56,7	14,87	7,44	50,0

* s.d. – standard deviation – odchylenie standardowe, ** c.v. – coefficient of variation – współczynnik zmienności.

Zmienność świata ożywionego jest efektem procesów rekombinacji i mutacji. O ile zagadnienie wykorzystania mieszańców powstałych w efekcie krzyżowania i następnie rekombinacji omówiono na początku pracy na przykładzie pszenicy, to wykorzystanie indukowanych mutacji dla oceny obciążeń mechanicznych ziarniaków jęczmienia nagoziarnistego prezentuje praca Rybińskiego i in. (2006). Według Campbell i in. (1994) mutacje i hodowla mutacyjna są wartościowym uzupełnieniem konwencjonalnych metod hodowlanych. Mutacje mogą być wykorzystane do tworzenia dodatkowej zmienności genetycznej cech, wykorzystywanej przez hodowców do tworzenia odmian o określonych właściwościach i o specyficznej zdolności adaptacyjnej w określonych warunkach środowiskowych. Ziarniaki nagoziarnistej linii hodowlanej 1N/86 traktowano chemomutagenem (MNU), a ziarniaki nie poddawane działaniu mutagenu stanowiły kombinację kontrolną. W pokoleniu M_2 prowadzono selekcję mutantów, a po kilkuletnim cyklu rozmnożeń ziarniaki z doświadczenia polowego z wybranymi mutantami oceniano pod względem ich właściwości geometrycznych i odporności na obciążenia mechaniczne. Dla porównań właściwości fizycznych ziarniaków autorzy prowadzili ocenę także u oplewionych form jęczmienia jarego. Wykazano, że zastosowany środek mutagenny indukował poszerzenie zakresu zmienności cech fizycznych ziarniaków mutantów w porównaniu z ich formą wyjściową 1N/86. Dotyczyło to między innymi parametrów geometrycznych wyrażonych grubością, szerokością i długością ziarniaków, a przede wszystkim ich odpornością na obciążenia mechaniczne wyrażone siłą, odkształceniem i energią. Przykładowo średnia wartość siły potrzebnej do destrukcji ziarniaka formy wyjściowej 1N/86 wynosiła 168,5 N, a dla mutantów od 125,3 N u mutanta M-14 do 227,3 N dla mutanta M-1. Uzyskana zmienność pozwoliła wyselekcjonować mutanty nagoziarniste, które od swej formy wyjściowej różniły się parametrami geometrycznymi oraz największą odpornością na obciążenia mechaniczne. Wybrane mutanty stanowić mogą wartościowy materiał wyjściowy do uzyskiwania ulepszonych odmian jęczmienia nagoziarnistego. Interesujące jest porównanie właściwości fizycznych nasion mutantów nagoziarnistych z formami oplewionymi (tab. 5). Mutanty charakteryzowały się średnio dłuższymi ziarniakami, a także wyższą niż formy oplewione odpornością na zgniatanie (141,2 N dla form oplewionych i 175,0 N dla mutantów nagoziarnistych) oraz średnio wyższą wartością potrzebnej do tego energii odpowiednio: 25,6 i 38,2 mJ. Pozbawienie ziarniaków łuski (oplewienia), stanowiącej 13% masy pojedynczego ziarniaka u form oplewionych, jest bardzo korzystne w skarmianiu zwierząt monogastrycznych, bez potrzeby przeznaczania dodatkowej energii na trawienie trudnostrawnej łuski skła-

Tabela 5. Wartości średnie i zakresy cech geometrycznych oraz odporność na ściskanie ziarniaków nieoplewionych i oplewionych form jęczmienia (Rybiński i Szot 2006)
Table 5. Means and range of geometric properties of kernels and their resistance to squashing of naked and hulled barleys forms (Rybiński and Szot 2006)

Typ ziarniaka Type of kernels	Grubość Thickness (mm)			Szerokość Width (mm)			Długość Length (mm)			Masa 1000 ziarniaków Weight of 1000 kernels (g)		
	X	X_{min}	X_{max}	X	X_{min}	X_{max}	X	X_{min}	X_{max}	X	X_{min}	X_{max}
Oplewiony Hulled	2,69	2,55	2,88	3,59	3,43	3,79	8,72	8,27	9,10	41,5	36,1	46,3
Nieoplewiony Naked	2,64	2,46	2,75	3,65	3,42	3,81	8,04	7,32	8,83	48,2	38,2	53,4

Typ ziarniaka Type of kernels	Naprężenie Stress (N)			Odkształcenie Strain (mm)			Energia Energy (mJ)		
	X	X_{min}	X_{max}	X	X_{min}	X_{max}	X	X_{min}	X_{max}
Oplewiony Hulled	141,2	107,7	184,7	0,35	0,29	0,47	25,6	20,45	43,36
Nieoplewiony Naked	175,0	125,3	227,3	0,341	0,26	0,42	38,2	21,55	56,40

dającej się głównie z błonnika i celulozy. Stąd odmiany nagoziarniste jęczmienia doskonale uzupełniają paletę powszechnych w żywieniu odmian oplewionych (Bhatty 1986). Pozbawienie jednak łuski powoduje większe odsłonięcie zarodka co powoduje, że niewłaściwe ustawienie maszyny omłotowej zwiększa możliwość uszkodzenia zarodka i w wielu przypadkach prowadzi do dyskwalifikacji nasion jako kwalifikowanego materiału siewnego (Kolasińska i Boros 2003).

Inna partia nasion mutantów nagoziarnistych oceniana była pod względem stanu uszkodzenia bielma, mierzonego liczbą pęknięć wewnętrznych (analiza obrazów rentgenowskich), a wykorzystując testy mechaniczne na wycinkach ziarniaków przy zastosowaniu jednoosiowego ściskania wyznaczono wytrzymałość ziarniaków, moduł sprężystości, odkształcenie i pracę właściwą podczas odkształcania (Woźniak i in. 2006). Według autorów ziarniaki formy wyjściowej 1N/86 charakteryzowały się niewielką podatnością na uszkodzenia wewnętrzne przy średnio trzech pęknięciach na ziarniak. Mutanty charakteryzowały się spadkiem odporności na uszkodzenia, ale wyselekcjonowano nieliczne formy o wyższej odporności. Wskazuje to, że mutagen przyczynił się do poszerzenia zakresu zmienności genetycznej tej cechy. Obserwowane spękania nie spowodowały jednak znacznego spadku wytrzymałości ziarniaków na ściskanie. Większa część mutantów charakteryzowała się ziarniakami o istotnie wyższym w porównaniu z ich formą wyjściową module sprężystości. Autorzy, podsumowując badania wskazują, że poprzez mutacje u jęczmienia można uzyskać formy o lepszych parametrach wytrzymałościowych ziarniaków.

Jednym z istotnych czynników świadczących o wartości odmiany jest jej odporność na wyleganie. Duża skłonność roślin do wylegania jest przyczyną znacznych strat plonu ziarna oraz prowadzi do istotnego obniżenie ich jakości (Jeżowski 1981). Doliński i in. (1989) badali odziedziczalność wybranych cech fizycznych źdźbła pszenicy ozimej pod kątem odporności na wyleganie, wykorzystując aparaturę i przyrządy wykonane w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie. Przeprowadzili krzyżowanie czterech odmian pszenicy ozimej. Różniły się one istotnie pod względem właściwości fizycznych źdźbła. Wybrano je na podstawie badań porównawczych przeprowadzonych na czternastu odmianach. Formy rodzicielskie oraz mieszańce F_1 i F_2 wysiano na poletkach, a oznaczanie cech fizycznych źdźbła przeprowadzono w fazie dojrzałości pełnej na 60 pędach z każdej kombinacji. Obliczono sztywność źdźbła i jego sprężystość w oparciu o zalecane wzory, zgodnie z metodyką opracowaną w Instytucie Agrofizyki. Autorzy ci omawiając uzyskane wyniki zaznaczają, że odporność na wyleganie jest uwarunkowana genetycznie i należy do złożonych cech ilościowych. Mają na nią duży

wpływ czynniki środowiska (opady, wiatr, nawożenie, zagęszczenie roślin). W cytowanych badaniach odmiany rodzicielskie różniły się istotnie szczególnie pod względem wartości siły potrzebnej do ugięcia źdźbła o 45°. Obliczona odziedziczalność tej cechy zależała od kombinacji krzyżowania (tab. 6). Kształtowała się na średnim poziomie w kombinacjach: Beta x Jana, Beta x Liwilla i Jana x Liwilla. Niska była u pozostałych mieszańców. Zmienność tej cechy wyrażona współczynnikiem zmienności zależała w F_2 od kombinacji krzyżowania i największa była dla Jana x Liwilla (30,09%), a najmniejsza dla mieszańca Beta x Modra (21,85%). Również od kombinacji eksperymentu zależała odziedziczalność sztywności źdźbła. Największa była u mieszańca Jana x Liwilla (41,9%), najmniejsza zaś w kombinacji Beta x Modra (0,2%). Największą odziedziczalność sprężystości źdźbła autorzy zanotowali dla mieszańca Modra x Liwilla (50,8%), a najniższą w kombinacji Beta x Jana (14,3%). Zmienność właściwości sprężystych tkanek źdźbła zależała w F_2 od kombinacji i wahała się w granicach od 44,3% (Liwilla x Beta) do 22,3% (Jana x Modra). Oszacowana odziedziczalność długości źdźbła była dla większości mieszańców wysoka (do 77,7%) lub kształtowała się na średnim poziomie, a zmienność tej cechy w F_2 była niska (7,5-15,5%). Odziedziczalność innych cech geometrycznych źdźbła (średnica zewnętrzna, grubość ścianki źdźbła) była bardzo zróżnicowana i zależała od kombinacji krzyżowania (tab. 6). W konkluzji wspomniani autorzy doszli do wniosku, że zaproponowana przez agrofizyków metoda oceny właściwości mechanicznych i cech geometrycznych źdźbła zbóż pod kątem charakterystyki odporności na wyleganie, daje hodowcom nowych odmian dużą szansę na dobór odpowiednich komponentów do krzyżowania.

Problematyką oceny parametrów fizycznych źdźbła mających wpływ na stopień wylegania mutantów nagoziarnistych jęczmienia jarego zajmowali się Rybiński i in. (1996). Wykonywano pomiary wysokości roślin, średnicy zewnętrznej źdźbła, grubość jego ścianki. Za pomocą ultradźwięków zmierzono wskaźnik elastyczności źdźbła – moduł Younga (Gawda i Haman 1983). Zakres zmienności cechy wysokości roślin u mutantów wynosił od 61,8 do 113,4 cm przy wysokości formy wyjściowej wynoszącej 92,5 cm. Autorzy wykazali wysokie wartości współczynnika zmienności dla cech warunkujących odporność na wyleganie – grubości ścianki źdźbła (14,8%) oraz modułu Younga (13,3%). Zależność między stopniem wylegania w (mierzonym w skali 1 do 9; 1 – brak wylegania, 9 – pełna podatność) a cechami warunkującymi odporność na wyleganie znalazła odzwierciedlenie w wysokich, istotnych wartościach współczynnika korelacji. Dla grubości ścianki źdźbła oraz modułu Younga wartości te wynosiły kolejno: $r = -0,695$

i r = –0,902. Wysoka wartość współczynnika korelacji między stopniem wylegania a elastycznością źdźbła, mierzona wartością fizycznego parametru – modułu Younga, jest istotną informacją dla hodowcy pozwalającą wykorzystać wskaźnik elastyczności źdźbła w selekcji form o poprawionej odporności na wyleganie. Uzyskano tego typu mutanty, które dzięki większej elastyczności źdźbła wykazywały mniejszą skłonność do wylegania, niż ich forma wyjściowa, podkreślając ponadto, że nie tylko wysokość roślin (długość źdźbeł) determinuje stopień wylegania, ale przede wszystkim parametry fizyczne źdźbła.

Tabela 6. Współczynniki odziedziczalności właściwości mechanicznych i cech geometrycznych źdźbła pszenicy ozimej w % (Doliński i in. 1989)
Table 6. Coefficients of heritability of mechanical properties and geometric features of stem of winter wheat in % (Doliński *et al.* 1989)

Mieszaniec Hybrid	Właściwości mechaniczne źdźbła Mechanical properties of stem			Cechy geometryczne źdźbła Geometric features of stem		
	Siła uginająca Bending force	Sztywność Rigidity	Współczynnik sprężystości Coefficient of elasticity	Długość Length	Średnica zewnętrzna Outer diameter	Grubość ścianki Wall thickness
Beta x Jana	61,6	0,9	14,2	54,6	17,6	50,6
Beta x Liwilla	51,6	5,8	50,5	26,2	0,7	31,8
Beta x Modra	11,0	0,2	20,7	77,7	16,4	55,8
Jana x Liwilla	43,6	41,9	26,3	18,4	10,6	0,6
Jana x Modra	10,4	6,5	17,7	60,9	22,5	0,5
Liwilla x Beta	3,6	36,5	62,0	55,6	39,0	35,9
Modra x Beta	7,0	30,1	42,1	52,7	49,6	62,5
Modra x Liwilla	4,1	18,2	50,8	46,1	13,1	49,5

O ile powyżej omówione mieszańce pokolenia F_2, linie addycyjne czy mutanty oceniane są przez hodowcę w trakcie wczesnego cyklu hodowlanego i selekcji o tyle ostatnim etapem prac przed zgłoszeniem wybranej formy do odmianowych badań rejestrowych jest ocena wybranych rodów hodowlanych. Przykładem oceny właściwości fizycznych ziarniaków prowadzonych na rodach hodowlanych jest praca Szota i Tarkowskiego (1977). Badaniami objęto między innymi dwa

rody pszenżyta: 46 i 51, a w ocenach porównawczych wykorzystano pszenicę ozimą Grana oraz żyto Dańkowskie Selekcyjne. Oprócz oceny właściwości geometrycznych ziarniaków autorzy oceniali również doraźną odporność pojedynczych ziarniaków na obciążenia statyczne określane z dokładnością do 1 N. Do najbardziej wartościowych należy ocena odporności rodu 45 z uwzględnieniem frakcji grubości (tab. 7).

Tabela 7. Wartości średnie chwilowej odporności *Triticale* (ród 45) na obciążenia statyczne (N) dla poszczególnych frakcji grubości ziarniaków (Szot i Tarkowski 1977)
Table 7. Mean values of temporary resistance of *Triticale* (stock 45) to static load (in N) for particular thickness fractions (Szot and Tarkowski 1977)

Grubość ziarniaków Thickness of kernels (mm)	Średnia Means	Grubość ziarniaków Thickness of kernels (mm)	Średnia Means	Grubość ziarniaków Thickness of kernels (mm)	Średnia Means
1,4	28,06	2,1	35,91	2,8	66,91
1,5	22,66	2,2	36,59	2,9	59,25
1,6	29,23	2,3	42,48	3,0	77,50
1,7	30,21	2,4	53,37	3,1	62,39
1,8	33,84	2,5	58,07	3,2	57,98
1,9	35,32	2,6	49,54	3,3	52,09
2,0	39,04	2,7	67,00	3,4	52,78

NIR – LSD = 1,85 (p = 0,05).

Unikalnym podejściem metodycznym w aspekcie praktyki hodowlanej i technologii jest próba powiązania grubości ziaren z ich odpornością na obciążenia statyczne. Autorzy wykazali, że ze wzrostem frakcji grubości wzrastały krytyczne wartości siły. Istotne różnice stwierdzono nawet między sąsiednimi frakcjami. Średnie wartości wahają się od 22,66 do 77,5 N, przy czym ziarniaki o grubości powyżej 3,0 mm wykazują niewielki spadek odporności. W podsumowaniu wyników podkreśla się, że grubość i szerokość ziarniaków pszenżyta oktoploidalnego oraz heksaploidalnych rodów 45 i 51 są pośrednie między pszenicą ozimą Grana a żytem Dańkowskim Selekcyjnym. Ponadto doraźna odporność ziarna na obciążenia statyczne wzrasta wraz z jego grubością, a uzyskane bezwzględne wartości skłaniają do stwierdzenia, że są one bardziej zbliżone do pszenicy niż do

żyta. Wskazuje to, że wspomniane cechy odporności w większym stopniu dziedziczone są ze strony pszenicy niż żyta. Negatywną cechą ziarniaków pszenżyta jest często jego pomarszczenie uwarunkowane genetycznie. Według autorów ziarniaki dobrze wypełnione były mniej podatne na uszkodzenia mechaniczne niż pomarszczone. Stąd w pracach hodowlanych winno dążyć się do eliminacji pomarszczenia endospermu do czego zmierza się również u jęczmienia w hodowli form o wysokiej zawartości lizyny (Rybiński i Patyna 1984).

2.1.2. Ocena parametrów fizycznych ziarniaków na przykładzie odmian komercyjnych

Najlepsze rody hodowlane o wysokiej plenności i najbardziej korzystnych cechach użytkowych (zwłaszcza o poprawionej odporności na stresy biotyczne i abiotyczne), rejestrowane są jako odmiany i wprowadzane do obrotu handlowego. Z uwagi, że odmiany są finalnym produktem hodowli, ich ocena pod względem parametrów geometrycznych i odporności na obciążenia mechaniczne służyć może jako dodatkowa informacja dla użytkownika odmiany, technologów przetwórstwa ziarna czy hodowcy, który może wykorzystać najlepsze odmiany w swym programie krzyżowania, traktując je jako komponenty rodzicielskie. Jakość płodów rolnych lub określając bardziej ogólnie – materiałów rolniczych (np. odmian) kojarzy się zwykle z ich wartością użytkową, bowiem istotą oceny jakości jest ich przydatność dla celów spożywczych i pozaspożywczych. Aby ocenić jakość danego materiału niezbędna jest znajomość zakresu zmienności cech fizycznych. Nowe programy badawcze obejmują już nawet zagadnienie pojedynczego ziarniaka (Singel Kernel Technology), co potwierdza celowość podejmowania badań, zmierzających do określenia cech fizycznych pojedynczych ziarniaków odmian w obrębie nie tylko surowca dla przemysłu przetwórczego, ale także materiałów wykorzystywanych w pracach hodowlanych. Kompleksowym zagadnieniem określenia zmian wartości cech fizycznych pojedynczych ziarniaków w kłosach pszenicy (*Triticum aestivum* L.) komercyjnych odmian ozimych i jarych zajmował się Grundas (2004). Zakres prac obejmował doświadczenia polowe, a 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 form ozimych autor wybrał pszenicę jakościową Zyta (typ A), a z chlebowo-paszowych odmianę Kris (typ B/C). Spośród form jarych – z takimi samymi kryteriami jak powyżej – odmianę Nawra i Broma. Wśród licznych cech fizycznych pojedynczych ziarniaków

(na długości kłosa) oceniano między innymi wskaźnik uszkodzenia bielma, który informuje o stanie jego destrukcji pod wpływem gradientu wilgotności. Rentgenogramy badanych ziarniaków nie wykazywały uszkodzeń w analizowanym materiale. Wskazuje to, że w warunkach doświadczenia polowego analizowane odmiany wykazywały znaczną odporność genetyczną na uszkodzenia wewnętrzne ziarniaków. Jednym z istotnych elementów ocenianych przez Grundasa (2004) był rozkład twardości kolejnych ziarniaków w kłoskach na długości kłosa. Twardość ziarniaka oceniano na analizatorze SKCS jako indeks twardości, który nie posiada jednoznacznej interpretacji fizycznej. W tabeli 8 przedstawiono średnie wartości twardości pierwszych, drugich, trzecich i czwartych ziarniaków w kłoskach. Autor wykazał, że jest to cecha w wysokim stopniu skorelowana z twardością rozumianą jako odporność ziarniaka na działanie mechanicznych obciążeń statycznych. Z tabeli wynika, że twardość ziarniaka jest w bardzo szerokim stopniu zdeterminowana cechami wewnętrznymi. Świadczy o tym fakt, że kolejne ziarniaki nie wykazują spadku twardości w kierunku szczytu kłosa jak pozostałe cechy. Ponadto poza pszenicą ozimą Kris typu chlebowo-paszowego, pozostałe odmiany charakteryzują się dość wyrównanym poziomem twardości. Ziarniaki pszenicy jarej są bardziej twarde i odporne na uszkodzenia mechaniczne od ziarniaków pszenicy ozimej, co jest szczególnie widoczne u odmiany Kris. Poprawienie twardości części pszenic ozimych może być jednym z kryteriów selekcyjnych w programach hodowlanych.

Tabela 8. Przeciętne wartości twardości (–) i odchylenia standardowe 1, 2, 3 i 4-ego ziarniaka niezależnie od typu kłosa badanych odmian pszenicy (Grundas 2004)
Table 8. Average values of hardness (–) with standard deviations in 1th, 2nd, 3rd and 4th kernels independent of type of ear of investigated wheat cultivars (Grundas 2004)

Odmiany Cultivars	Przeciętne wartości twardości – Average values of hardiness (–)				
	1	2	3	4	Mean Średnia
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

Oceną cech fizycznych kolejnych ziarniaków na długości kłosa form pszenżyta oraz pszenicy odmiany Grana i żyta odmiany Pancerne zajmowali się Tarkowski i in. (1978). Analizowano siłę wiążącą ziarno z osadką kłosową, a pomiarem

objęto pięć stref kłosa dla określenia rozkładu zmienności siły na całej jego długości. Wyniki średniej siły wiążącej ziarno z kłosem dla badanych form przedstawiono w tabeli 9. Wykazano, że siły wiążące w zależności od odmiany wahają się w granicach od 0,93 N do 1,94 N. Najsilniej osadzone były ziarniaki w strefach dolnych, a najsłabiej w części szczytowej kłosa. Duże różnice między ocenianymi formami wskazują, że są one w różnym stopniu podatne na osypywanie – od łatwo osypujących do trudno wymłacalnych.

Jednym z istotnych elementów oceny fizycznej ziarna z wykorzystaniem do badań odmian komercyjnych jest wytrzymałość ziarniaków na ściskanie, charakterystyka pracy właściwej oraz modułu sprężystości w zależności stopnia uszkodzenia bielma spowodowanego nawilżaniem ziarna pszenicy odmiany Henika (Woźniak 2003). Autorka wykazała obniżenie o około 50% wyżej wspomnianych parametrów w następstwie nawilżania ziarniaków. Nie dotyczyło to odkształcenia. Ponadto ziarniaki o szklistym typie bielma charakteryzowały się wyższymi wartościami parametrów mechanicznych od ziarniaków mączystych. Ocenę wpływu czasu nawilżania ziarniaków na pękanie bielma i odporność na uszkodzenia mechaniczne kontynuowano także dla ziarna jęczmienia nagoziarnistego odmiany Rastik (Woźniak 2004). Autorka wykazała tu także dużą wrażliwość nieoplewionych ziaren na pękanie bielma, a średnia liczba pęknięć w próbie kontrolnej (suche ziarniaki) wynosiła 13,6 i wzrastała z czasem ich wcześniejszego nawilżania do 15,8 (po trzech godzinach nawilżania). Nawilżanie dłuższe niż 3 godziny powodowało spadek modułu sprężystości o 15% i wytrzymałości na ściskanie o około 10%. Zmiany odkształcenia ziarna i energii właściwej wywołanej wcześniejszym nawilżaniem były podobne. Bardzo istotnym wnioskiem o znaczeniu praktycznym w hodowli i przetwórstwie jest wykazany brak korelacji parametrów mechanicznych z liczbą pęknięć wewnętrznych.

Styk i Szot (1983) badali wpływ obciążeń statycznych na zdolność kiełkowania nasion zbóż i stwierdzili, że nasiona prawie wszystkich rodzajów i odmian poddane obciążeniom do 4 MPa wykazują niższą zdolność kiełkowania niż kontrolne. Zmienność zdolności kiełkowania nasion pszenicy ozimej wskazywała na jednoznaczny, negatywny wpływ obciążeń, które spowodowały obniżenie wartości tej ważnej cechy nasion o 12%, ale w trakcie przechowywania następował systematyczny spadek do różnicy 16% w porównaniu z próba kontrolną.

Spośród pięciu odmian najmniejszą wrażliwością na obciążenia charakteryzowała się odmiana Jana (spadek zdolności kiełkowania o 8%). Nasiona pięciu odmian żyta podobnie zachowywały się jak pszenicy ozimej, a spadek zdolności kiełkowania sięgał 11-17%, przy czym najniższa wartość dotyczyła odmiany Dańkowskie Złote. Jęczmień jary również wykazywał dużą wrażliwość na zasto-

Tabela 9. Średnie wartości siły związania ziarna z kłosem (N) dla poszczególnych odmian *Triticale* (Tarkowski i in. 1978)
Table 9. Mean values of grain-to-ear binding force (N) for particular varieties of *Triticale* (Tarkowski *et al.* 1978)

Genotyp Genotypes	Części kłosa – Parts of ear					Średnie Mean values
	I	II	III	IV	V	
3	1,19	1,25	1,14	1,11	1,00	1,14
6	1,06	1,14	1,10	1,07	0,93	1,06
11	1,64	1,47	1,47	1,39	1,31	1,46
28	1,31	1,20	1,25	1,11	1,04	1,18
50	1,34	1,37	1,33	1,15	1,01	1,24
61	1,22	1,28	1,19	1,06	1,06	1,16
95	1,50	1,63	1,55	1,46	1,38	1,50
114	1,33	1,29	1,34	1,29	1,19	1,29
122	1,76	1,72	1,63	1,54	1,51	1,63
134	1,43	1,51	1,58	1,34	1,21	1,41
138	1,54	1,69	1,54	1,40	1,27	1,49
158	1,78	1,76	1,69	1,61	1,37	1,64
167	1,50	1,56	1,44	1,33	1,21	1,41
183	1,26	1,20	1,19	1,15	1,06	1,17
187	1,60	1,59	1,38	1,32	1,23	1,60
188	1,40	1,40	1,27	1,20	1,00	1,25
275	1,21	1,33	1,22	1,15	1,10	1,20
323	1,44	1,38	1,45	1,35	1,18	1,36
362	1,53	1,54	1,38	1,32	1,10	1,37
378	1,94	1,87	1,88	1,80	1,54	1,80
415	1,53	1,42	1,41	1,33	1,1	1,37
719	1,44	1,34	1,31	1,21	1,09	1,28
Pszenica Wheat cv. Grana	1,03	1,20	1,49	1,05	0,95	1,14
Żyto – Rye cv. Pancerne	0,73	0,92	0,84	0,78	0,69	0,79
Średnia Mean value		1,42	1,38	1,31	1,15	1,33

Najmniejsza istotna różnica - Least significant difference – LSD (p = 0,05)

- pomiędzy częściami kłosa - among the parts of ear – 0,05,
- pomiędzy genotypami - among the genotypes – 0,11,
- dla współzależności części kłosa – genotyp – in the interaction parts v. genotypes – 0,24.

sowane obciążenie 4 MPa, co w konfrontacji z materiałem kontrolnym doprowadziło do różnic przekraczających średnio 15%, zaś w ramach pięciu odmian od 12% (Berac) do 18% (Polon). Spośród wszystkich zbóż nasiona owsa były najbardziej podatne na zastosowane obciążenia. Zarówno bezpośrednio po zbiorze, jak i w czasie 6-miesięcznego przechowywania ziarna pięciu odmian, zdolność kiełkowania spadła od 13% dla odmiany Pegaz do 24% dla odmiany Leanda.

Znaczne zróżnicowanie zdolności kiełkowania stwierdzono miedzy zbożami ozimymi i jarymi. Wszystkie zboża jare, w początkowym okresie przechowywania, wykazywały wyraźnie obniżoną zdolność kiełkowania (w zależności od kombinacji nawet do 60-70% dla materiału kontrolnego), która w miarę upływu czasu wzrastała, przekraczając po kilku miesiącach 90%, co należy tłumaczyć biologicznym dojrzewaniem zbóż jarych. Spośród wszystkich zbóż nasiona pszenicy jarej okazały się najbardziej odporne na obciążenia, stąd też występujące różnice w porównaniu z materiałem kontrolnym były najmniejsze i nie przekraczały 7%, a dla większości wśród pięciu odmian sięgały zaledwie 3% (Alfa, Kolibri, Urbanka).

Ci sami autorzy (1988) określili wpływ obciążeń statycznych nasion pszenicy ozimej Grana na polową zdolność wschodów, rozwój roślin i plony ziarna. Dowiedli, że obciążenia mechaniczne spowodowały spadek polowej zdolności wschodów z 76 do 53%, obniżenie liczby roślin na jednostce powierzchni o 40% i wreszcie spadek plonu ziarna o 36% w porównaniu z kombinacją kontrolną.

Podobne badania, obejmujące nasiona pszenicy jarej (1999) poszerzyły informacje o wpływie obciążeń statycznych i dynamicznych na polową zdolność wschodów i plony. Badane próbki nasion odmiany Jara miały wilgotność 10, 18 i 23%, a zastosowane obciążenia statyczne wynosiły 4 i 8 MPa, zaś dynamiczne (prędkość obrotowa) 20, 25, 30 i 35 $m \cdot s^{-1}$. Stwierdzono, że zastosowane obciążenia pociągnęły za sobą obniżenie polowej zdolności wschodów (od 12 do 52%) i spadek plonów (od 10 do 36%). Zależność między obciążeniami statycznymi a ujemnymi skutkami biologicznymi uznano za liniową i udokumentowano niekorzystny wpływ wzrostu wilgotności nasion. Natomiast po zastosowaniu obciążeń dynamicznych stwierdzono, że najbardziej podatne na uszkodzenia mechaniczne były nasiona suche (10% wilgotności), zaś najmniej podatne o wilgotności 18%. Wykazano też, że przekroczenie prędkości obrotowej 20 $m \cdot s^{-1}$ powoduje większe skutki ujemne niż zastosowane w badaniach statycznych obciążenie 8 MPa.

W badaniach kontynuowanych także na jęczmieniu jarym odmian komercyjnych Berac, Gryf, Kosmos i Polon, ziarniaki po zbiorze nawilżano do 12, 18

i 22% wilgotności (Styk i Szot 1984). Autorzy wykazali, że ziarniaki wszystkich odmian reagowały ujemnie na działanie obciążeń mechanicznych, zarówno przy wilgotności kondycjonalnej jak i podwyższonej do poziomu 18 i 22%. Zwiększenie obciążeń mechanicznych z 4 MPa do 8 MPa powodowało znaczne obniżenie zdolności kiełkowania, które w zależności od odmian i wilgotności mieściło się w przedziale do 23 do 35%. Bardziej podatne na uszkodzenia okazały się ziarniaki o podwyższonej wilgotności. Okres przechowywania przyczynił się istotnie do obniżenia wartości biologicznej ziarniaków, a zjawisko to szczególnie wyraźnie wystąpiło w materiale poddanym uprzednio obciążeniom mechanicznym sięgającym 8 MPa, przy wyższej wilgotności wyjściowej. Warunki te spowodowały, że nasiona wszystkich odmian kiełkowały w granicach 52-61%. Tak duże obniżenie zdolności kiełkowania świadczy o wrażliwości materiału nasiennego na działanie sił zewnętrznych, a różnice międzyodmianowe (genetyczne), zróżnicowane nawożenie gleby i wilgotność nasion stanowią te elementy, które mogą kształtować w znacznym stopniu odporność ziarniaków na obciążenia mechaniczne powodujące różnorodne uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej, zarodka czy bielma.

2.2. Rośliny strączkowe

Problem niedoboru pasz białkowych w skali światowej dotyczy zarówno ich ilości jak i jakości. Podstawowymi paszami w tym względzie są nasiona wysokobiałkowych roślin strączkowych. W związku z chorobą BSE, efekt eliminacji wysokowartościowych pasz pochodzenia zwierzęcego oraz kontrowersje wokół genetycznie modyfikowanej soi (GMO) mogą jeszcze pogłębić istniejący deficyt białka w żywieniu zwierząt. Zapewnienie wysokiej jakości białka w żywieniu ludzi i zwierząt odgrywa dużą rolę w krajach UE. Obecnie w tych krajach 70% białka pochodzenia roślinnego jest importowane przede wszystkim w postaci śruty poekstrakcyjnej i nasion soi, głównie transgenicznej. Niestety, areał uprawy zarówno w Polsce jak i Europie (odpowiednio 1 i 3% w strukturze upraw) nie stoi w żadnym związku z niewątpliwymi zaletami wysokobiałkowych roślin strączkowych, ważnych między innymi poprzez wiązanie azotu atmosferycznego (mniejsze zapotrzebowanie na nawożenie azotem), pozytywny wpływ na strukturę gleby i następstwo roślin w płodozmianie. Spośród licznych, częściowo wspomnianych zalet wpływających na atrakcyjność uprawy roślin strączkowych, elementem mniej poznanym, niedocenianym i marginalizowanym są właściwości fizyczne nasion. Znajomość parametrów fizycznych

nasion ma szczególnie istotne znaczenie przy optymalizacji zbioru, w suszarnictwie i przechowalnictwie co wiąże się z maksymalnym ograniczeniem strat ilościowych i uszkodzeń mechanicznych.

2.2.1. Ocena materiałów na wczesnych etapach hodowli

Lędźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.), jako wysokobiałkowa roślina strączkowa charakteryzuje się wyjątkową odpornością na stresy biotyczne i abiotyczne. Dotyczy to w szczególności odporności na suszę, największą pośród gatunków roślin strączkowych, a także innych gatunków roślin uprawnych. W aspekcie globalnych zmian klimatycznych i wspomnianej odporności na suszę lędźwian siewny uznany został za modelową roślinę dla potrzeb zrównoważonego rolnictwa (Vaz Patto i in. 2006). Stąd podjęto próbę oceny zmienności genetycznej cech użytkowych, tego mniej poznanego gatunku, a zwłaszcza badań nad odpornością nasion na uszkodzenia mechaniczne, których dotąd był brak w światowej literaturze (Rybiński 2004). Obiektem badań były młode materiały hodowlane – mutanty uzyskane działaniem chemomutagenów na nasiona polskich odmian Derek i Krab. W tabeli 10 przedstawiono wybrane cechy użytkowe oceniane na podstawie doświadczenia polowego oraz po zbiorze nasion kiedy oceniono ich odporność na obciążenia statyczne (tab. 11) wyrażone: siłą (N), deformacją (mm) i energią (mJ).

Autorzy wykazali, że indukowanie mutacji jest efektywnym narzędziem poszerzenia zmienności genetycznej cech użytkowych mutantów. Oprócz selekcji mutantów lędźwianu o poprawionych w stosunku do ich odmian wyjściowych cechach użytkowych, dokonano także wyboru form o większej odporności nasion na obciążenia mechaniczne. Przy średniej wartości siły dla nasion odmiany Krab (279,2 N) zakres zmienności tej cechy u mutantów wynosił od 238,0 dla mutanta K14 do 328,4 N u mutanta K50 (tab. 11). Na wyróżnienie zasługuje mutant K 6 o wysokiej wartości siły (N), deformacji (mm), a zwłaszcza energii odkształcenia (mJ). Szeroki zakres zmienności genetycznej nasion mutantów na obciążenia mechaniczne w powiązaniu z korzystnymi wartościami cech użytkowych ocenianych w doświadczeniu polowym pozwala hodowcy na efektywną selekcję najbardziej pożądanych form, jako materiału wyjściowego do dalszych prac hodowlanych, łącząc w jednym genotypie poprawione cechy użytkowe z wyższą odpornością nasion na obciążenia mechaniczne.

Tabela 10. Średnie ogólne, zakres zmienności, współczynnik zmienności oraz średnie kwadraty z analizy wariancji dla badanych genotypów wraz z analizowanymi cechami (Rybiński i in. 2004)
Table 10. General means, variation range, coefficient of variability and mean squares from analysis of variance for tested genotypes together and analyzed traits (Rybiński *et al.* 2004)

Cecha – Traits	Stopnie swobody Degree of freedom	Średnie ogólne General means	Zakres zmienności Variation range		Średnie kwadraty Mean squares	Współczynnik zmienności Coefficient of variability (%)
			Min.	Max.		
Wysokość rośliny Plant height (cm)	21	102,7	89,9	129,4	327,4**	3,54
Wysokość 1. strąka First pod height (cm)	21	25,9	19,3	41,9	71,32**	6,97
Liczba rozgałęzień/roślina No.of branches/plant	21	12,2	8,7	19,4	21,60**	9,55
Liczba strąków/roślina No.of pods /plant	21	75,5	37,1	127,7	1070,5**	3,12
Liczba strąków z nasionami/roślina No. of pods with seeds/plant	21	66,3	36,0	124,5	1001,4**	4,99
Liczba pustych strąków/roślina No. of empty pods/plant	21	9,1	0,0	18,4	81,44	5,77
Długość strąka – Pod length (cm)	21	3,45	2,89	3,80	0,144	4,55
Szerokość strąka Pod width (cm)	21	1,23	1,14	1,32	0,009	2,85
Nasiona/strąk/łodyga Seeds/pod/main stem	21	3,15	2,32	4,14	0,629	4,05
Masa nasion/strąk/łodyga Seeds weight/pod/main stem (g)	21	0,31	0.19	0,46	0,017	11,50
Nasiona/roślina Seeds/plant	21	182,7	96,3	407,8	12002,7**	5,94
Masa nasion/roślina Seeds weight/plant (g)	21	17,1	9,2	32,0	89,14**	9,01
Dni do dojrzałości Days to maturity	21	122,1	116	130	32,74**	0,98

** istotny przy – significant at $\alpha = 0,01$.

Tabela 11. Odporność na obciążenia mechaniczne nasion mutantów lędźwianu i ich odmian wyjściowych - Krab i Derek (Rybiński i in. 2004)
Table 11. Resistance for mechanical loads of seeds in grass pea mutants and their initial cultivars – Krab and Derek (Rybiński *et al.* 2004)

Odmiany i mutanty Cultivars Mutants	Wilgortność nasion Seeds Moisture (%)	Odporność na zgniatanie – Resistance to squashing											
		Siła – Force (N)				Odkształcenie – Deformation (mm)				Energia – Energy (mJ)			
		Średnie Mean values	Min.	Max.	V (%)*	Średnie Mean values	Min.	Max.	V (%)	Średnie Mean values	Min.	Max.	V (%)
KRAB	11,6	279,2	140,4	415,5	28,0	0,53	0,20	1,50	43,2	67,0	15,3	315,4	79,9
K 3	11,3	316,0	137,6	633,6	25,8	0,72	0,36	1,37	40,9	110,9	36,2	331,3	68,8
K 6	11,0	252,2	83,5	426,9	31,7	0,49	0,28	1,28	43,4	61,8	8,2	258,3	85,3
K 7	12,7	278,7	89,0	523,0	33,1	0,73	0,28	1,50	38,6	104,7	9,4	323,7	71,4
K 10	12,3	279,1	106,7	533,5	26,6	0,51	0,32	1,12	37,0	66,8	22,9	275,8	74,1
K 11	10,6	279,4	111,5	438,4	22,5	0,52	0,26	1,44	49,2	75,9	12,9	350,2	88,6
K 12	11,1	268,0	144,0	479,5	25,7	0,47	0,29	1,27	35,2	62,6	13,6	370,3	82,9
K 13	10,8	294,1	100,7	520,5	28,9	0,51	0,25	1,29	46,1	72,3	12,3	259,4	69,6
K 14	11,4	238,0	131,3	585,6	27,1	0,51	0,31	1,33	48,5	61,1	20,2	376,2	98,1
K 25	10,9	274,5	88,1	402,9	25,1	0,48	0,26	1,16	39,2	60,9	11,7	177,3	49,7
K 29	11,0	254,5	96,1	407,9	26,8	0,47	0,24	1,24	31,5	56,0	7,9	255,1	63,5
K 37	11,0	254,7	174,4	317,0	18,0	0,49	0,43	0,53	10,6	58,3	38,5	84,9	26,1
K 46	11,1	279,7	82,6	434,0	23,6	0,46	0,21	0,83	25,5	58,5	7,1	171,1	42,1
K 50	10,8	328,4	227,0	571,5	18,5	0,53	0,34	1,48	32,8	75,8	32,4	277,0	56,0
K 56	10,2	260,1	168,5	421,5	21,2	0,58	0,37	1,18	29,5	73,1	27,5	277,3	55,7
K 59	10,8	267,5	178,2	387,0	18,2	0,49	0,31	1,41	38,7	68,9	30,2	306,1	65,7
K 63	10,8	260,5	112,4	427,5	23,8	0,64	0,31	1,20	32,1	81,4	14,9	247,9	53,5
K 64	11,4	247,3	113,9	416,0	23,8	0,75	0,37	1,46	40,8	98,3	24,4	294,1	69,6
DEREK	11,1	282,8	158,2	478,0	24,8	0,43	0,26	0,67	22,8	51,1	22,1	161,1	43,3
D 4	11,4	262,9	65,1	393,5	18,8	0,47	0,20	0,79	18,9	54,8	5,1	91,4	26,9
D 11	10,0	234,3	96,7	309,0	19,5	0,44	0,20	0,76	19,4	41,1	7,5	65,9	29,2
D 13	11,0	286,1	120,5	374,5	16,8	0,45	0,31	0,66	15,5	55,1	11,5	83,6	26,4

V* – coefficient of variability – współczynnik zmienności.

W wielu przypadkach w celu poszerzenia zmienności genetycznej cech i wprowadzeniu nowych, nie będących aktualnie w dyspozycji hodowcy, korzysta się w programach hodowlanych z unikalnych materiałów zgromadzonych w światowych Bankach Genów. Z uwagi, że materiały kolekcyjne reprezentują praktycznie wszystkie regiony geograficzne świata do dyspozycji hodowcy są unikalne materiały charakteryzujące się cechami, których nie obserwuje się w rodzimych materiałach. Często z uwagi na specyficzne zdolności adaptacyjne i egzotyczne pochodzenie, nie każdy z obiektów kolekcyjnych jest przydatny do warunków w jakich hodowca wyprowadza odmiany i które będą użytkowane przez rolników w podobnych warunkach. Przykładem wykorzystania obiektów kolekcyjnych lędźwianu siewnego pochodzących z rejonu Europy Południowej i Środkowej do oceny cech fenotypowych, struktury plonu nasion, właściwości geometrycznych nasion oraz ich odporności na obciążenia statyczne jest praca Rybińskiego i in. (2008). Oceniano zmienność 32 obiektów, z których 21 pochodziło z Włoch, 5 z Hiszpanii, po dwa z Francji i Niemiec oraz Polski. Oceniany materiał charakteryzował się szerokim zakresem zmienności fenotypowej i struktury plonu (tab. 12), oraz parametrów geometrycznych i odporności na obciążenia mechaniczne (tab. 13). Pod względem morfologicznym roślin i nasion od form z Europy Środkowej (Niemcy, Polska) najbardziej odbiegały formy z Włoch i Hiszpanii. Największej zmienności podlegała cecha liczby nasion z rośliny oraz masa 100 nasion przy wartościach współczynnika zmienności na poziomie odpowiednio: 45,6 i 35,3% (tab. 12). Szerokiemu zakresowi zmienności odporności nasion na obciążenia statyczne towarzyszył zbliżony poziom współczynnika zmienności z wyjątkiem modułu sprężystości. Zbliżone, aczkolwiek niższe wartości współczynnika zmienności uzyskano dla grubości i szerokości nasion (tab. 13). Autorzy wykazali, że obok form drobnonasiennych pochodzących z Francji, Niemiec i Polski, formy wielkonasienne pochodziły wyłącznie z Włoch i Hiszpanii. W pracach hodowlanych istotną informacją dla hodowcy jest zależność między ocenianymi cechami wyrażona wartością współczynnika korelacji. Wyniki tej oceny przedstawia tabela 14. Wykazano szereg istotnych korelacji między cechami użytkowymi dotyczącymi morfologii roślin i ich struktury plonu (nr 1-12). Dla hodowcy oceniającego te cechy we własnych doświadczeniach polowych istotnym jest pytanie, w jakim stopniu cechy te związane są z odpornością nasion na obciążenia mechaniczne. Wykazano brak istotnych zależności między nimi, co oznacza w praktyce, że na podstawie oceny cech morfologicznych i plonowania nie można wnioskować o stopniu odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne. Silną i istotną korelację obserwowano natomiast między poszczególnymi parametrami obciążeń mechanicznych (nr 13-18), z wyjątkiem nieistotnej zależności między

Tabela 12. Charakterystyki statystyczne cech morfologicznych i parametrów struktury plonów lędźwianu (Rybiński i in. 2008)
Table 12. Statistic characteristics of morphological traits and yield structure parameters of grass pea plants (Rybiński *et al.* 2008)

Cechy – Traits	Średnie Mean values	Zakres zmienności Variation range		Wariancja Variance	Współczynnik zmienności Coefficient of variability (%)
		Min.	Max.		
Czas kwitnienia (dni) – Time of flowering (days)	62,19	58,0	67,0	0,546	3,76
Wysokość rośliny – Plant height (cm)	50,79	31,4	67,4	0,574	14,93
Wysokość osadzenia najniższego strąka (cm) Height of the lowest pod (cm)	17,88	11,0	27,0	0,113	18,83
Liczba rozgałęzień/roślina – Number of branches/plant	5,13	3,0	7,4	0,731	16,66
Liczba strąków/roślina – Number of pods/plant	29,56	17,8	69,4	0,690	28,09
Długość strąka – Pod length (cm)	3,99	3,2	4,7	0,949	7,70
Szerokość strąka – Pod width (cm)	1,56	1,33	1,92	0,174	8,48
Liczba nasion/strąk – Seeds number/pod	2,31	1,08	3,74	0,332	24,93
Masa nasion/strąk – Seeds weight /pod (g)	0,60	0,31	0,91	0,125	18,59
Liczba nasion/roślina – Seeds number/plant	58,24	15,50	148,4	0,645	43,62
Masa nasion/roślina – Seeds weight/plant (g)	13,85	7,20	21,19	0,953	22,29
Masa 100 nasion – Weight of 100 seeds (g)	27,10	8,70	51,0	0,917	35,33

Tabela 13. Charakterystyki statystyczne cech geometrycznych nasion i ich odporność na obciążenia mechaniczne (Rybiński i in. 2008)
Table 13. Statistic characteristics of geometrical properties of seeds and their resistance on mechanical loads (Rybiński *et al.* 2008)

Cecha – Traits	Średnie Mean values	Zakres zmienności Variation range		Wariancja Variance	Współczynnik zmienności Coefficient of variability (%)
		Min.	Max.		
Siła maksymalna Force maximum (N)	264,8	131,2	407,6	3346	21,85
Siła sprężystości Force of elasticity (N)	216,3	92,28	382,7	3783	28,42
Odkształcenie maksymalne Deformation maximum (mm)	0,42	0,23	0,81	0,01	27,02
Odkształcenie sprężyste Elastic deformation (mm)	0,13	0,09	0,29	0,01	20,65
Energia Energy (mJ)	29,42	13,50	47,20	56,33	25,51
Moduł sprężystości Modulus (MPa)	888,2	557,6	1273	22131	16,75
Grubość ziarna Seed thickness (mm_	5,35	4,42	8,34	0,29	10,00
Szerokość ziarna Seed width (mm)	9,50	5,70	13,00	2,41	16,34
Długość ziarna Seed length (mm)	10,46	6,30	14,55	3,05	16,70

Tabela 14. Współczynniki korelacji dla cech morfologicznych roślin, struktury plonów oraz obciążeń mechanicznych nasion (Rybiński i in. 2008)
Table 14. Coefficients of correlation for morphological traits of plants, yield structure and mechanical loads of seeds (Rybiński *et al.* 2008)

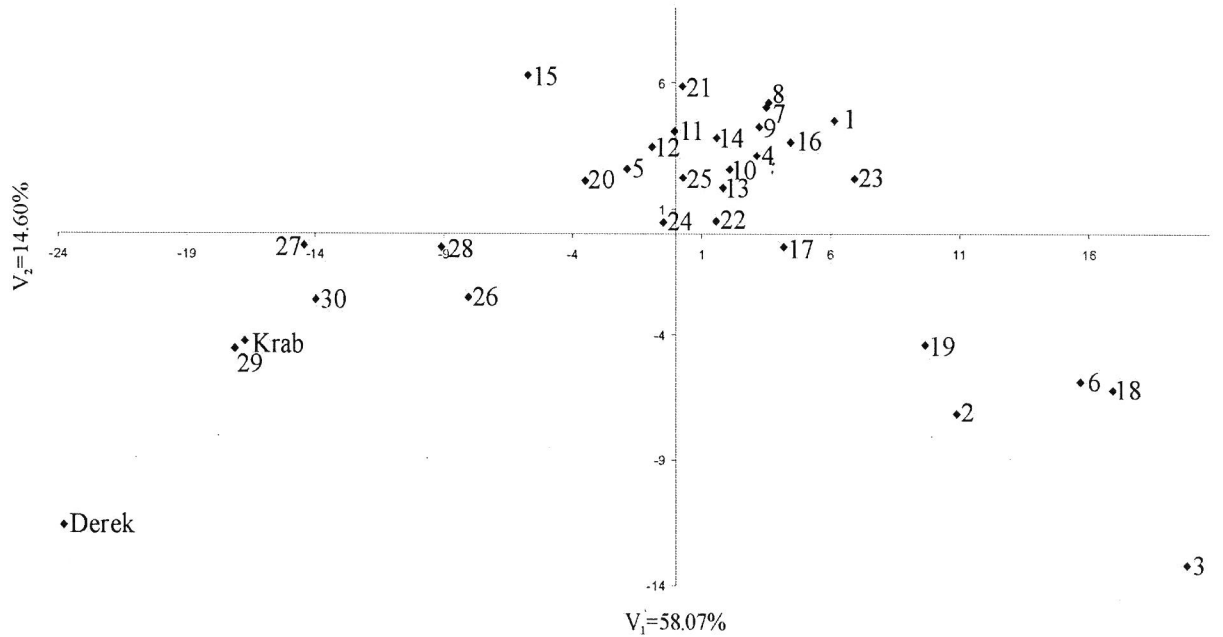
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1																			
2	0.50**	1																		
3	0.42*	0.86***	1																	
4	0.25	0.47**	0.42*	1																
5	0.26	0.43*	0.07	0.4*	1															
6	0.13	0.22	0.32	0.33	-0.29	1														
7	-0.31	-0.23	-0.01	-0.03	-0.44*	0.57***	1													
8	0.51**	0.63***	0.40*	0.43*	0.51**	0.04	-0.68***	1												
9	-0.38*	-0.08	0.12	0.04	-0.50**	0.56***	0.67***	-0.29	1											
10	0.55***	0.66***	0.39*	0.49**	0.761***	-0.07	-0.65***	0.90***	-0.46**	1										
11	0.00	0.42*	0.34	0.38*	0.19	0.25	0.17	0.21	0.55***	0.24	1									
12	-0.35*	-0.41*	-0.16	-0.28	-0.53**	0.24	0.86***	-0.86***	0.62***	-0.81***	0.15	1								
13	-0.12	-0.11	-0.10	0.02	-0.01	0.18	0.21	-0.03	0.10	0.00	0.06	0.08	1							

Tabela 14. cd. Współczynniki korelacji dla cech morfologicznych roślin, struktury plonów oraz obciążeń mechanicznych nasion (Rybiński i in. 2008)
Table 14. Cont. Coefficients of correlation for morphological traits of plants, yield structure and mechanical loads of seeds (Rybiński *et al.* 2008)

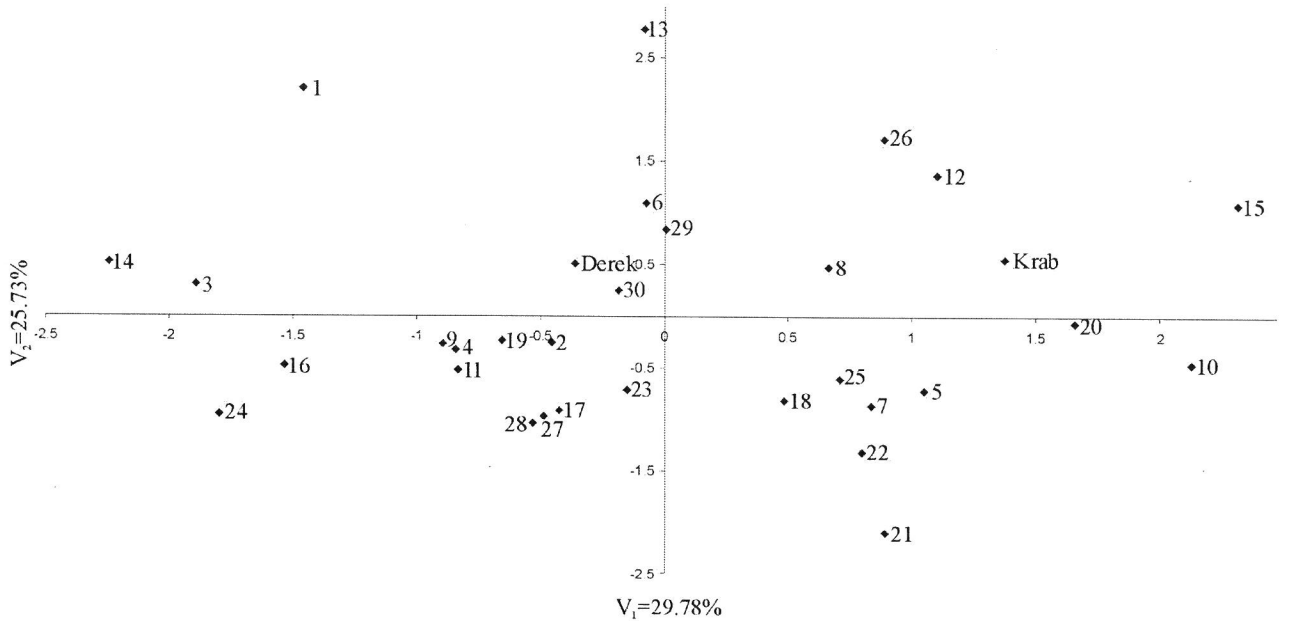
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
14	-0.13	-0.15	-0.11	-0.02	-0.03	0.20	0.27	-0.12	0.15	-0.06	0.05	0.19	0.96***	1						
15	0.08	-0.03	-0.01	-0.14	-0.02	0.15	0.01	0.15	-0.03	0.15	-0.15	-0.10	0.26	0.31	1					
16	-0.32	-0.23	-0.20	-0.11	-0.04	0.12	0.16	-0.14	0.20	-0.11	0.02	0.15	0.58***	0.71***	0.46**	1				
17	-0.27	-0.11	-0.07	-0.02	-0.01	0.18	0.24	-0.06	0.15	-0.04	0.05	0.09	0.95***	0.91***	0.32	0.62***	1			
18	0.24	0.03	0.00	0.09	0.00	0.06	-0.14	0.19	-0.27	0.18	-0.11	-0.25	0.58***	0.46**	-0.04	-0.09	0.36*	1		
19	-0.63***	-0.44*	-0.22	-0.19	-0.43*	0.01	0.45**	-0.62***	0.54**	-0.61***	0.08	0.59***	0.05	0.16	-0.01	0.52**	0.16	-0.48**	1	
20	-0.43*	-0.44*	-0.18	-0.20	-0.61***	0.40*	0.90***	-0.84***	0.61***	-0.82***	0.04	0.9***	0.20	0.27	-0.08	0.19	0.22	-0.10	0.60***	1
21	-0.39*	-0.47**	-0.23	-0.25	-0.58***	0.28	0.81***	-0.87***	0.51**	-0.81***	-0.01	0.88***	0.21	0.31	-0.12	0.21	0.19	-0.01	0.59***	0.96***
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

* istotne dla: – significant at $\alpha = 0.05$; ** significant at $\alpha = 0.01$; *** significant at $\alpha = 0.001$.

1 – Czas kwitnienia (dni); 2 – Wysokość rośliny (cm); 3 – Wysokość osadzenia najniższego strąka; 4 – Liczba rozgałęzień/roślina; 5 – Liczba strąków/roślina; 6 –Długosc strąka (cm); 7 – Szerokość strąka (cm); 8 – Liczba nasion/strąk; 9 – Masa nasion /strąk (g); 10 – Liczba nasion/roślina; 11 – Masa nasion/roślina (g), 12 – Masa 100 nasion (g); 13 – Siła maks. (N); 14 – Siła sprężystości (N), 15 – Odkształcenie maks. (mm); 16 – Odkształcenie sprężyste (mm); 17 – Energia (mJ); 18 – Moduł (MPa); 19 – Grubość nasion (mm); 20 – Szerokość nasion (mm); 21 – Długość nasion (mm).
1 – Time of flowering (days); 2 – Plant height (cm); 3 – Height of the lowest pod; 4 – Number of branches/plant; 5 – Number of pods/plant; 6 – Pod length (cm); 7 – Pod width (cm); 8 – Seeds number/pod; 9 – Seeds weight /pod (g); 10 – Seeds number/plant; 11 – Seeds weight/plant (g), 12 – Weight of 100 seeds (g); 13 – Force maximum (N); 14 – Force of elasticity (N), 15 – Deformation maximum (mm); 16 – Elastic deformation (mm); 17 – Energy (mJ); 18 – Modulus (MPa); 19 – Seed thickness (mm); 20 – Seed width (mm); 21 – Seed length (mm).



Rys. 1. Rozkład akcesji w przestrzeni dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych dla wszystkich analizowanych cech łącznie (Rybiński i in. 2008)
Fig. 1. Distribution of accessions in the space of two first canonical variables for the all analyzed traits together (Rybiński *et al.* 2008)



Rys. 2. Rozkład akcesji w przestrzeni dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych dla analizowanych cech obciążeń mechanicznych nasion (Rybiński i in. 2008)

Fig. 2. Distribution of accessions in the space of two first canonical variables for the analyzed traits of mechanical loads of seeds (Rybiński *et al.* 2008)

odkształceniem maksymalnym a energią i modułem sprężystości oraz między modułem a odkształceniem sprężystym. Wszystkie parametry geometryczne nasion były z sobą skorelowane (nr 18-21) jak również z niektórymi cechami morfologicznymi, strukturą plonowania oraz obciążeniami mechanicznymi. Na uwagę zasługuje uzyskanie dodatniej zależności między grubością nasion a odkształceniem sprężystym oraz ujemnej między grubością nasion a modułem sprężystości. Potwierdzeniem znacznej odrębności form w zależności od pochodzenia geograficznego jest położenie obiektów na płaszczyźnie w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych pod względem analizowanych cech łącznie (rys. 1). Najbardziej od wszystkich form różni się krajowa odmiana Derek, a w dalszej kolejności odmiana Krab i obiekty z Północnej Francji i Niemiec (nr 27-30). Znaczną odrębnością w grupie form z Włoch i Hiszpanii charakteryzują się obiekty włoskie: 3, 18 i 6 (LAT 4052/99; LAT 4078/00 i LAT 4055/99). Położenie obiektów pod względem cech obciążeń mechanicznych łącznie przedstawia rysunek 2.

Z wyjątkiem odmiany Krab, środkową część rysunku obejmuje między innymi skupienie form z Europy Środkowo-Wschodniej, a mianowicie odmiana Derek wraz z obiektami z Francji (nr 29 i 30) oraz z Niemiec (nr 27 i 28). Wskazuje to, na znaczne podobieństwo wyżej wymienionych form pod względem odporności na obciążenia mechaniczne oraz odrębność w tym względzie krajowej odmiany Krab, bardziej zbliżonej do części form z Włoch. Położenie pozostałych obiektów, zwłaszcza form najbardziej skrajnych (lewa i prawa strona rysunku), wskazuje na ich znaczne zróżnicowanie pod względem wartości obciążeń statycznych, umożliwiając efektywny wybór najbardziej pożądanych genotypów.

2.2.2. Ocena parametrów fizycznych nasion na przykładzie odmian komercyjnych

Soczewica należy do rodziny roślin motylkowatych (*Papilionaceus*) – (*Fabaceae* = *Papilinaceae*) obejmującej 18 000 gatunków (Szweykowska i Szweykowski 1998). Mimo, że w porównaniu z innymi popularnymi w uprawie gatunkami jak groch, wyka, soja czy łubin, soczewica podobnie jak wcześniej wspomniany lędźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.) należy do gatunków o raczej marginalnym znaczeniu w rolnictwie krajów europejskich. Zgodnie z wynikami badań Bhatty (1998), Dębskiego i Dębskiej (1980), Piróga (1995) i Lampart-Szczapy (1997), chemiczne właściwości nasion o wysokiej zawartości białka (nawet do 30%) i wysokiej wartości odżywczej powodują, że soczewica w wielu krajach jest na nowo odkrywana przez dietetyków i żywieniowców, zaliczając ją do tak zwanej „bezpiecznej żywności". Mimo unikalnych właściwości żywieniowych nasion,

soczewica charakteryzuje się właściwościami użytkowymi wymagającymi w procesie hodowli genetycznego ulepszenia. Do jednej z takich cech zaliczyć można pękanie strąków w czasie dojrzewania, kiedy dochodzi do osypywania nasion. Osypywanie nasion było oceniane przez Sosnowskiego i in. (1998) według których straty z tego tytułu mogą dochodzić do około 20% plonu nasion z hektara. Według Sosnowskiego i in. (1993) zbiór dwufazowy w porównaniu z jednofazowym ograniczał straty do 14,2%. W regionach Wschodniej Azji i Afryki straty te wynosić mogą nawet 55% ogólnego plonu nasion (Sidahamed i Jaber 2004). Niektóre dane literaturowe wskazują na próby zmierzające do ograniczenia osypywania, a nawet eliminacji tej niekorzystnej cechy (Szot i in. 1996). Dopóki zjawisko przedwczesnego pękania strąków i osypywania nasion nie będzie rozwiązane przez uzyskanie odporności genetycznej, jedną z prób ograniczenia strat jest stosowanie preparatów redukujących pękanie strąków w warunkach polowych. Interesującą próbę oceny siły potrzebnej do otwarcia (rozerwania) strąka podjął Szot i in. (2005). Dzięki odpowiedniej aparaturze pomiarowej możliwa była ocena podatności strąków soczewicy (w fazie pełnego dojrzewania) na otwarcie wyrażone maksymalną siłą i energią powodującą rozerwanie strąka. Pomiar obu parametrów przy działaniu przeciwstawnych sił na obu stronach bocznych strąka kończył się w momencie jego pełnego otwarcia. Uzyskane wyniki dla komercyjnych odmian Tina i Anita dla strąków nie poddanych działaniu preparatów desykacyjnych (kontrola) oraz po ich zastosowaniu przedstawia tabela 15. Wyniki wskazują na zróżnicowaną reakcję odmian wyrażoną siłą potrzebną do otwarcia strąka od 0,71 N dla odmiany Anita i 0,89 N dla nasion odmiany Tina. Spośród zastosowanych preparatów najlepsze rezultaty uzyskano dla Spodnamu i skrobi ziemniaczanej. Stosując Spodam wartości siły wzrastały o 0,32 N (36%) dla odmiany Tina i o 0,12 N (17%) dla odmiany Anita w porównaniu z kombinacją kontrolną. Inne preparaty okazały się mniej skuteczne zwłaszcza w odniesieniu dla skrobi, a także preparatu Reglone. Współczynnik zmienności dla zastosowanych preparatów był zbliżony i oscylował od 41 do 60%. Mimo pozytywnych wyników w odniesieniu do preparatu Spodam nie zastąpi to prób uzyskania przez hodowcę genetycznej odporności strąków na pękanie i osypywanie nasion. Informacja agrofizyków o sile potrzebnej do otwierania strąków w odniesieniu do światowych materiałów kolekcyjnych, rodów i odmian pozwoli lepiej wybrać komponenty rodzicielskie w krzyżowaniach zmierzających do uzyskania odmian o większej odporności na osypywanie.

Tabela 15. Wartości średnie siły i energii powodującej otwarcie strąka soczewicy, oraz odchylenia standardowe i współczynniki zmienności (Szot i in. 2005)
Table 15. Mean values of force and energy causing lentil pods opening, and standard deviation and coefficient of variability (Szot *et al.* 2005)

Preparaty Preparations	Odmiany Cultivars	Siła – Force (N)		Współczynnik zmienności Coefficient of variability (%)	Energia – Energy (mJ)		Współczynnik zmienności Coefficient of variability (%)
		Średnie Mean values	Odch. stand. Standard deviation		Średnie Mean values	Odch. stand. Standard deviation	
Skrobia ziemn. Potato starch	Anita	0,97	0,54	56	0,70	0,75	107
	Tina	1,11	0,53	48	0,98	0,99	101
Skrobia pszeniczna Wheat starch	Anita	0,74	0,31	42	0,51	0,44	89
	Tina	0,75	0,32	42	0,70	0,89	127
Skrobia amarant. Amaranthus starch	Anita	0,88	0,37	41	0,73	0,79	108
	Tina	0,95	0,42	45	0,59	0,39	66
Spodnam	Anita	0,83	0,42	51	0,63	0,39	62
	Tina	1,21	0,60	50	1,00	0,87	87
Reglone	Anita	0,76	0,37	49	0,57	0,46	81
	Tina	0,92	0,53	58	0,70	0,78	112
Control	Anita	0,71	0,42	59	0,61	0,46	75
	Tina	0,89	0,53	60	0,84	0,80	95

Według Szota i in. (2005) odporność nasion soczewicy na działanie sił zewnętrznych jest ściśle związana z wielkością uszkodzeń mechanicznych w procesie zbioru, transportu i różnych etapach procesów pozbiorowych. Uszkodzenia mogą być istotnym elementem obniżenia zdolności kiełkowania nasion i dyskwalifikacji partii nasion jako kwalifikowanego materiału siewnego. W tabeli 16 podano odmianowe różnice w reakcji na obciążenia mechaniczne nasion o wilgotności 9%. Pod względem siły destrukcyjnej struktury nasion, nasiona odmiany Tina wymagały stosowania średniej siły na poziomie 90 N przy zakresie zmienności od 53,7 N do 135,7 N. Nasiona odmiany Anita okazały się bardziej odporne na poziomie 125,5 N przy minimum 67,2 N i maksimum 194,0 N. Kontynując badania autorzy wykazali szybki spadek wartości siły przy wzrastającej wilgotności nasion od 9 do 15% dochodząc do siły nawet 10 N. Na podkreślenie zasługują różnice odmianowe w reakcji na obciążenia statyczne, wskazując na ich rolę w ocenie jakości nasion dla celów konsumpcyjnych i jako surowca dla przemysłu spożywczego. Badania prowadzono tylko w odniesieniu do nasion dwóch odmian, wskazując na ich genetycznie uwarunkowane predyspozycje na osypywanie i uszkodzenia mechaniczne. Można przypuszczać, że przebadanie licznej grupy form kolekcyjnych z różnych Banków Genów i odmian pozwoli wyodrębnić formy o największej odporności. Dane pochodzące z pracowni agrofizycznych winny wnieść istotne informacje, które przekazane hodowcom pozwolą na ukierunkowanie hodowli soczewicy w jej genetycznym ulepszaniu.

Ocena właściwości fizycznych nasion najbardziej popularnych gatunków roślin strączkowych pozwala nie tylko na ocenę zróżnicowania odmianowego w obrębie gatunku, ale także określić różnice międzygatunkowe. W ramach poszczególnych gatunków rolnik czy przemysł przetwórczy dysponuje szeroką paletą odmian komercyjnych reprezentujących duży zakres zmienności wewnątrzgatunkowej cech, głównie pod kątem zdolności plonowania, składu chemicznego nasion (np. białka, jego składu aminokwasowego, zawartości substancji antyżywieniowych) oraz odporności na stresy biotyczne i abiotyczne. Właściwości odmian pod względem wyżej wspomnianych cech są ogólnie dostępne głównie w formie prospektów reklamowych i zaleceń uprawowych publikowanych przez stacje hodowlano-nasienne. Użytkownik odmian nie znajdzie w nich jednak istotnych danych o odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne z tej prostej przyczyny, że autor odmiany nie dysponuje praktycznie danymi na ten temat i nie prowadzi z reguły selekcji na rzecz genetycznego poprawienia odporności. Z drugiej strony nie ma zbyt wielu publikacji z zakresu agrofizyki, w których testowano by większą liczbę materiałów hodowlanych (rodów) czy odmian komercyjnych.

Tabela 16. Wartości średnie siły powodującej zniszczenie struktury suchych nasion soczewicy (9%), (Szot i in. 2005)
Table 16. Mean values of force causing the destruction of structure of dry lentil seeds (9%), (Szot *et al.* 2005)

Parametery Parameters	Odmiany – Cultivars			
	Tina		Anita	
	Siła Force (N)	Odkształcenie Deformation (mm)	Siła Force (N)	Odkształcenie Deformation (mm)
Średnie Mean values	96,0	0,28	125,5	0,50
Maximum	135,7	0,40	194,0	0,56
Minimum	53,7	0,21	67,2	0,16
Odchylenie standardowe Standard Deviations	20,1	0,05	28,9	0,09
Współczynnik zienności Coefficient of variability (%)	20,9	18,50	23,0	23,10

Spośród danych literaturowych szeroki przegląd międzyodmianowych i międzygatunkowych różnic pod względem parametrów geometrycznych nasion i ich odporności na obciążenia statyczne prezentuje praca Rybińskiego i in. (2009). Obiektem badań były polskie odmiany komercyjne łubinu białego, żółtego, wąskolistnego, andyjskiego oraz grochu siewnego, lędźwianu siewnego, soczewicy i wyki siewnej. Łącznie oceniano 24 odmiany wyżej wspomnianych gatunków. W tabeli 17 przedstawiono charakterystykę zmienności odporności nasion na obciążenia mechaniczne i właściwości geometrycznych wszystkich analizowanych gatunków i odmian. Wyniki odporności na obciążenia statyczne wskazują na szeroki zakres zmienności ocenianych parametrów. Wyliczony współczynnik zmienności wskazuje, że największej zmienności podlegała energia, a najniższej odkształcenie sprężyste. Zbliżonymi wartościami charakteryzowały się właściwości geometryczne nasion mierzone ich grubością, szerokością i długością. Wyjątek stanowił niski współczynnik zmienności długości nasion.

Tabela 17. Charakterystyki zmienności dla analizowanych cech nasion (Rybiński in. 2009)
Table 17. Characteristics of variation for analyzed traits of seeds (Rybiński *et al.* 2009)

Cechy – Traits	Wartości średnie Mean values	Wartości minimum Values of minimum	Wartości maksimum Values of maximum	Wariancja Variance	Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)
Siła maks. – Force max.(N)	404,5	118,1	1839	175333	103,5
Siła sprężystości Force of elasticity (N)	221,7	57,19	683,5	17764	60,11
Odkształcenie maks. Deformation max. (mm)	0,54	0,26	1,50	0,08	52,82
Odkształcenie sprężyste Elastic deformation (mm)	0,16	0,07	0,33	0	33,69
Energia – Energy (mJ)	139,7	12,56	1298	105289	232,3
Moduł sprężystości Modulus (MPa)	709,8	396,1	1076	24277	21,95
Grubość – Hickness (mm)	4,38	2,38	7,38	1,61	28,92
Szerokość – Width (mm)	7,34	5,79	9,50	2,33	20,8
Długość – Length (mm)	7,31	6,47	8,21	0,76	11,93

Ocenę różnic wewnątrzgatunkowych (międzyodmianowych w obrębie gatunku) pod względem odporności nasion na obciążenia mechaniczne przedstawiają tabele 18 i 19. Na podstawie tych danych można stwierdzić, że najwyższymi wartościami siły maksymalnej charakteryzują się nasiona łubinu białego, następnie grochu, a w dalszej kolejność łubinu żółtego i wąskolistnego. Od wszystkich trzech gatunków łubinu znacznie odbiegają niskie wartości dla typowego dla Ameryki Południowej łubinu andyjskiego. Analizując pozostałe parametry obciążeń statycznych zdecydowanie najwyższym wartościami charakteryzowały się nasiona łubinu białego, wskazując na ich odmienność genetyczną od pozostałych gatunków i odmian łubinu, a także innych analizowanych gatunków i odmian roślin strączkowych. Istotnym elementem prowadzonych badań była ocena zależności między ocenianymi cechami (tab. 20). Z wyjątkiem modułu sprężystości pozostałe parametry mechaniczne były ze sobą dodatnio i statystycznie istotnie skorelowane na poziomie $\alpha = 0{,}001$. Moduł sprężystości był dodatnio skorelowany tylko z siłą sprężystości. Oprócz modułu pozostałe parametry obciążeń były dodatnio i istotnie skorelowane z szerokością nasion. Z kolei grubość była dodatnio skorelowana z siłą w granicach sprężystości oraz odkształceniem sprężystym. Długość nasion nie była skorelowana z żadną z ocenianych cech.

Ocenę podobieństwa wszystkich odmian i linii pod względem obciążeń mechanicznych nasion traktowanych łącznie w formie przestrzennej i układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych przedstawiono na rysunku 3. Najbardziej odrębnym położeniem przestrzennym (prawa strona rysunku) charakteryzują się odmiany łubinu białego: Boros i Butan. Pozostałe odmiany zajmują obszar lewej strony płaszczyzny wskazując na ich większe wzajemne podobieństwo i znaczną odrębność w stosunku do odmian łubinu białego. Mimo, że odmiany i linie są umiejscowione w pionowej linii lewej strony płaszczyzny, różnice w odległościach między nimi wskazują na ich zróżnicowany stopień podobieństwa w reakcji nasion na obciążenia mechaniczne. Najbardziej skrajnym położeniem w dolnej części płaszczyzny charakteryzują się odmiany grochu Set i Merlin, a także trzecia odmiana grochu Marych oraz odmiana lędźwianu siewnego Derek. Na przeciwległym biegunie (górna część płaszczyzny) znajdują się formy łubinu andyjskiego (SK i Epigonalny) oraz odmiana wyki jarej Alba. Pozostałe odmiany znalazły położenie w środkowej części płaszczyzny, wskazując na ich największe wzajemne podobieństwo.

Tabela 18. Średnie wartości odporności odporności na obciążenia mechaniczne nasion roślin strączkowych, wyrażone wartościami siły maksymalnej, siły sprężystości i odkształcenia maksymalnego (Rybiński i in. 2009)
Table 18. Mean values of resistance to mechanical loads of pulse crops seeds expressed by values of maximal force, force of elasticity and maximal deformation (Rybiński *et al.* 2009)

Odminay i rody Cultivars and lines	Siła maksymalna $Force_{max}$(N)		Siła sprężystości Force of elasticity (N)		Odkształcenie maksymalne $Deformation_{max}$ (mm)	
	Średnia Mean value	Odch. st. St. dev	Średnia Mean value	Odch. st. St. dev.	Średnia Mean value	Odch. st. St. dev.
Łubin żółty – Yellow lupine						
Parys	365,0	88,98	207,07	111,97	0,60	0,32
Polo	367,76	96,11	203,77	115,44	0,53	0,22
Łubin biały – White lupine						
Butan	1765,76	298,99	566,63	318,48	1,30	0,32
Boros	1692,41	203,62	508,10	315,19	1,48	0,28
Łubin wąskolistny – Narrow-leaved lupine						
Cezar	362,67	66,35	218,36	89,71	0,66	0,31
Baron	360,06	48,17	201,61	87,51	0,53	0,26
Zeus	385,01	45,64	209,26	76,5	0,55	0,11
Łubin andyjski – Andean lupine						
SK- samokończ.	129,92	29,53	85,55	27,27	0,50	0,27
Epigonalny	136,21	35,60	87,27	20,95	0,47	0,33

Groch – Pea						
Marych	406,21	112,90	256,27	119,06	0,50	0,31
Set	536,35	77,95	471,04	143,54	0,52	0,20
Merlin	525,65	115,50	365,12	157,56	0,42	0,13
Soczewica – Lentil						
Tina	160,14	17,70	123,69	47,86	0,35	0,14
Anita	179,2	30,64	143,9	45,11	0,44	0,24
Lędźwian – Grasspea						
Krab	274,28	70,35	218,97	101,99	0,44	0,20
Derek	352,37	48,72	283,10	94,82	0,51	0,29
Wyka siewna – Sowing vetch						
Jaga	221,96	38,42	165,41	56,67	0,46	0,33
Ina	201,06	26,25	119,27	48,40	0,31	0,15
Kamiko	319,85	38,83	234,39	93,21	0,38	0,07
91/a/10/25/41	163,98	21,13	119,28	37,08	0,42	0,18
Alba	137,88	19,83	85,38	39,58	0,40	0,30
LGR 51a	275,13	28,67	177,67	78,90	0,40	0,14
LGR 284/40	233,29	18,15	153,63	63,70	0,36	0,03
LGR 72/8	170,19	26,95	113,93	58,73	0,30	0,04

Tabela 19. Średnie wartości odporności na obciążenia mechaniczne nasion roślin strączkowych, wyrażone wartościami odkształcenia sprężystego, energii oraz modułu sprężystości (Rybiński i in. 2009)
Table 19. Mean values of resistance to mechanical loads of pulse crops seeds expressed by values of elastic deformation, energy and modulus (Rybiński *et al.* 2009)

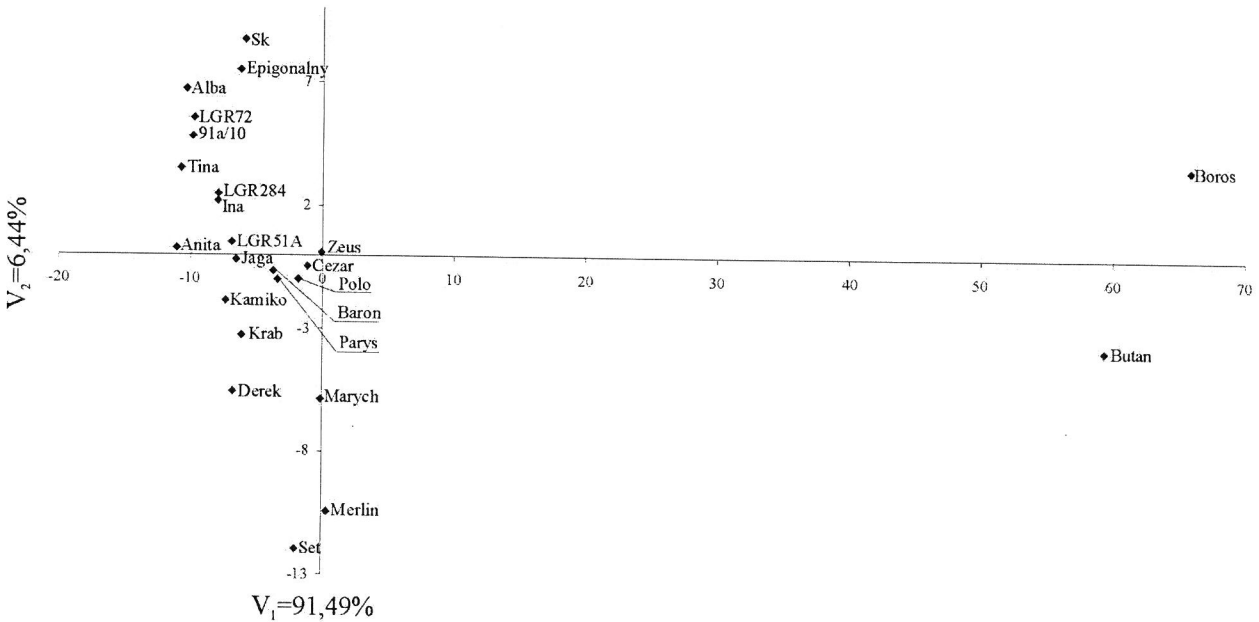
Odmiany i rody Cultivars and lines	Odkształcenie sprężyste Elastic deformation (mm)		Energia Energy (mJ)		Moduł sprężystości Modulus (MPa)	
	Średnia Mean value	Odchylenie stand. St.dev	Średnia Mean value	Odch. st. St.dev.	Średnia Mean value	Odch. st. St.dev.
Łubin żółty – Yellow lupine						
Parys	0,15	0,05	70,49	38,15	704,40	177,77
Polo	0,15	0,05	66,48	29,51	669,50	162,16
Łubin biały – White lupine						
Butan	0,26	0,14	1147,95	412,30	969,25	292,34
Boros	0,28	0,15	1255,49	462,07	724,87	225,74
Łubin wąskolistny – Narrow-leaved lupine						
Cezar	0,20	0,08	78,96	22,93	506,32	136,07
Baron	0,17	0,08	61,98	22,64	659,17	209,24
Zeus	0,19	0,09	97,61	53,66	567,15	175,84
Łubin andyjski – Andean lupine						
SK– samokończ.	0,12	0,04	41,06	62,40	433,34	121,03
Epigonalny	0,11	0,03	25,13	22,62	506,95	119,82

Groch - Pea						
Marych	0,16	0,07	48,04	27,89	873,12	260,15
Set	0,25	0,07	85,57	22,5	775,46	175,04
Merlin	0,19	0,08	74,46	33,42	953,99	253,90
Soczewica - Lentil						
Tina	0,11	0,03	13,12	3,96	714,02	230,34
Anita	0,10	0,03	15,03	3,41	868,53	258,56
Lędźwian - Grasspea						
Krab	0,14	0,05	33,33	16,86	901,10	261,42
Derek	0,17	0,05	41,93	9,33	836,48	170,27
Wyka siewna - Sowing vetch						
Jaga	0,12	0,04	21,74	7,47	804,38	185,41
Ina	0,10	0,03	17,40	5,37	811,75	191,87
Kamiko	0,17	0,07	42,35	8,53	704,85	154,31
91/a/10/25/41	0,12	0,04	17,56	3,66	581,32	140,78
Alba	0,10	0,04	14,13	4,04	573,29	183,19
LGR 51a	0,15	0,07	34,89	5,07	685,08	172,3
LGR 284/40	0,14	0,06	27,82	2,98	633,94	157,40
LGR 72/8	0,12	0,06	18,99	4,75	573,78	141,63

Tabela 20. Współczynniki korelacji dla cech nasion badanych odmian i rodów roślin strączkowych (Rybiński i in. 2009)
Table 20. Coefficients of correlation for seeds traits of investigated cultivars and lines of pulse crops (Rybiński *et al.* 2009)

Parametry Parameters	Siła maks. Force max.	Siła spręż. Force of elasticity	Odkształ- cenie maks. Deformation max	Odkszta- łcenie spręż. Elastic deformation	Energia Energy	Moduł Modulus	Grubość Thickness	Szerokość Width	Długość Length
Siła maks. Force max.	1								
Siła spręż. Force of elasticity	0,880***	1							
Odkształcenie maks. Deformation max.	0,947***	0,764***	1						
Odkształcenie spręż. Elastic deformation	0,825***	0,928***	0,772***	1					
Energia – Energy	0,947***	0,764***	0,962***	0,719***	1				
Moduł – Modulus	0,394	0,560**	0,189	0,262	0,273	1			
Grubość – Thickness	0,306	0,606**	0,223	0,627***	0,134	0,331	1		
Szerokość - Width	0,748***	0,594**	0,758***	0,616***	0,795***	0,070	0,27	1	
Długość – Length	-0,027	-0,071	-0,038	-0,096	-0,004	0,065	0,04	0,325	1

** istotne przy: significant at 0,01; *** significant at 0.001.



Rys. 3. Rozkład obiektów w przestrzeni dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych dla wszystkich parametrów obciążeń mechanicznych łącznie (Rybiński i in. 2009)

Fig. 3. Distribution of objects in the space of two first canonical variables for mechanical loads parameters together (Rybiński *et al.* 2009)

3. PODSUMOWANIE

Reasumując należy jednoznacznie stwierdzić, że wyniki badań agrofizycznych są bardzo przydatne genetykom i hodowcom roślin uprawnych. Zaprezentowane powiązania i ich pozytywne rezultaty skłaniają do rozszerzenia współpracy naukowej w tym zakresie, co jest niezbędne dla nowoczesnego i interdyscyplinarnego osiągania wspólnych celów. Jak wykazano, właściwości fizyczne roślin są odziedziczane w wysokim stopniu, a znajomość tych parametrów może odegrać bardzo ważną rolę przy kreacji nowych odmian. Każdy gatunek czy odmiana charakteryzuje się właściwym sobie potencjałem genetycznym. W praktyce rolniczej wyraża się on specyficzną ekspresją cech użytkowych, które w różnym stopniu podlegają modyfikującemu wpływowi szeroko pojętego środowiska (gleba, klimat, zabiegi uprawowe, ochrony roślin itp.). Stąd istotny jest wybór do badań odpowiedniego materiału wyjściowego (na różnych etapach cyklu hodowlanego) i jego analiza w kontekście zarówno potencjału genetycznego jak i przy uwzględnieniu wpływu na rośliny określonych, możliwie kontrolowanych warunków środowiskowych. Za niezbędne należy uznać zatem udostępnienie agrofizycznych metod badawczych genetykom i hodowcom roślin, aby mogli testować formy rodzicielskie dla doboru najbardziej korzystnych cech oraz ich odziedziczalność na możliwie wczesnych etapach hodowli. Wymaga to – przynajmniej w pierwszym etapie – ścisłej współpracy naukowej między zainteresowanymi placówkami, aby związki między agrofizyką i genetyką oraz hodowlą roślin przyniosły wymierne korzyści merytoryczne, gospodarcze i ekonomiczne.

4. PIŚMIENNICTWO

Bhatty R.S., 1986. The potential of hull-less barley – review. Cereal Chem., 63: 97-103.

Bhatty R.S., 1988. Composition and quality of lentil (*Lens culinaris* Medic.). Can. Inst. Ford Sci. Techno. J., 21(2), 144-160.

Bernard M., 1976. Etude des characteristiqes cytologiques , morphologiques et agronomiques de six lingees d'addition bleseigle. Ann. Amerior. Plant, 26, 67-91.

Campbell C.G, Mehra R.B., Agrawal S.K., Chen Y.Z., El Moneim B., Khawaja H.I.T., Yadow C.R., Tay J.U., Araya W.A., 1994. Current status and future strategy in breeding grasspea. (*Lathyrus sativus* L.). Euphytica 37, 167-175.

Dębski H., Dębska D., 1989. Warzywa w kuchni. Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa.

Doliński R., Tarkowski C., Bichta., 1989. Badania nad odziedziczalnością wybranych cech fizycznych źdźbła pszenicy ozimej. Zesz. Probl. Nauk Roln., 382, 133-142.

Driscoll C.J., Sears E.R., 1971. Individual addition of the chromosomes of Imperial rye to wheat. Agrn. Abst., 6.

Evans L.E., Jenkins B.C., 1960. Individual *Secale cereale* chromosome additions of *Triticum aestivum*.I. The addition of individual Dakold fall rye chromosomes to Kharkov winter wheat and their subsequent identification. Can. J. Genet. Cytol., 2, 205-215.

Gawda H., Haman J., 1983. An ultrasonic method of determinating Youngs modulus in cereal plants. Trans. ASAE, 26, 250-254.

Grundas S., 2004. Charakterystyka właściwości fizycznych ziarniaków w kłosach pszenicy zwyczajnej. Acta Agrophysica, 102, 5-64.

Grzesiuk S., Kulka K., 1981. Fizjologia i biochemia nasion. PWN. Warszawa, 111-115.

Jeżowski S., 1981. Analysis of relationships between lodging grade and some morphological characters of spring barley varieties. Genet. Pol., 22, 45-61.

Kolasińska K., Boros L., 2003. Wartość siewna oplewionych i nieoplewionych ziarniaków jęczmienia jarego. Hodowla Roślin i Nasiennictwo, 1, 14-15.

Lampart-Szczapa E. 1997. Lampart-Szczapa E., 1997. Nasiona roślin strączkowych w żywieniu człowieka. Wartość biologiczna i technologiczna. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., z. 446, 61-81.

Liu C.J., 1989. Ibf-1 (lodging binding factor) a highly variable marker system in the *Trticeae,I* Theor. Appl. Genet., 77, 233-240.

Miazga D., Szot B., 1996. The influence of added rye chromosomes on physical properties of kernels of addition lines *T. aestivum* Grana- *S. cereale* Dańkowskie Złote. J. Appl. Genet., 37(1), 37-47.

Milczak M., Segit Z., Szot. B., 1977. Zmienność, odziedziczalność i współzależność ważniejszych elementów struktury plonowania oraz właściwości fizyko-chemicznych ziarna pszenicy ozimej w populacji F_2 (Linia Z-70 x cv. Kaukaz). Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo, 21(5), 441-447.

Miller T.E., 1973. Alien chromosome additions and substitutions. Ann. Rep. Plant Breed. Inst., 143.

Piróg H., 1995. Soczewica jadalna (Lens culinaris Medic.) cenną rośliną strączkową. Materiały Ogólnopolskiej Konf. Naukowej „Nauka Praktyce Ogrodniczej", 653-660, AR Lublin.

Prusiński J., 2007. Postęp biologiczny w łubinie (*Lupinus* sp.) – rys historyczny i stan aktualny. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 552, 23-37.

Runowski H., 1997. Postęp biologiczny w rolnictwie. Wyd. SGGW, Warszawa, 330.

Rybiński W., Patyna H., 1984. Field structure of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) characterized by increase lysine content in grain. Genet. Pol. 25(3), 237-246.

Rybiński W., Jeżowski S., Krajewski P., 1996. Variability of field structure traits and lodging resistance in mutant of hull-less barley line. Biul. IHAR, 200, 197-201.

Rybiński W., Szot B., Pokora L., 2004. Estimation of genetic variation and physical properties of seeds for grass pea mutants (*Lathyrus sativus* L.). Int. Agrophysics, 18, 339-346.

Rybiński W., Szot B., 2006. Estimation of genetic variability of yielding traits and physical properties of seeds of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) mutants. Int. Agrophysics, 20, 219-227.

Rybiński W., Szot B., Rusinek R., 2008. Estimation of morphological and mechanical properties of grsspea seeds (*Lathyrus sativus* L.) originating from EU countries. Int. Agrophysics, 22, 261-275.

Rybiński W., Szot B.,Rusinek R., Bocianowski J., 2009.. Estimation of geometric and mechanical properties of seeds pilish cultivars and lines representing selected species of pulse crop. Int. Agrophysics, 23, 257-267.

Rybiński W., Szot B., Bocianowski J. Rusinek R. The use of multivariate analyze for estimation of variability, geometrical properties of seeds and their mechanical loads of European accessions of grasspea (*Lathyrus sativus* L.). (w druku).

Schlegel R., 1978. Konfiguratsyia chromosom w pshenichno-rzhanych dopolniennykh liniyiakh. Genetyka, XIV, 1365-1375.

Sears E., 1967. Induced transfer of hairy Neck from rye to wheat. Z. Pflanzenzüchtung, 57, 4-25.

Sidhamed K.M., Jaber N.S., 2004. The design and testing of a cutter and feeder mechanism for the mechanical harvesting of lentil. Biosystem Engineering, 88(3), 295-304.

Simonds D., 1972. Ultrastructure of nature wheat endosperm. Ceral Chem., 49, 212-220.

Sosnowski S., Jech J., Rataj V., Ponican J., 1993. Mechanized lentil collection in Slovak. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln., 399, 243-246.

Sosnowski S., Rataj V., Jech J., 1998. Możliwość ograniczenia strat w procesie mechanicznego zbioru soczewicy. „Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Lublin. Strączkowe Rośliny Białkowe. III. Soczewica i lędźwian", 37-40.

Styk B., Szot B., 1983. Wpływ obciążeń statycznych na zdolność kiełkowania nasion zbóż. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 258, 423-436.

Styk B., Szot B., 1984. Evaluation of seed biological quality of several varieties of summer barley. Biul. IHAR, 153, 57-66.

Styk B., Szot B., 1988. The influence of mechanical damage of winter wheat grains on the germination capa city, plant development and crop yields. Physical Properties of Agricultural Materials and Product, Hemisphere Publ. Co., 591-596.

Styk B., Szot B., 1991. The influence of mechanical loading on the germination capa city of spring wheat and its yield. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 389, 105-110.

Święcicki W., 1993. Wybrane zagadnienia genetyki i hodowli roślin łubinu. Mat. Konf. „Łubin w gospodarce i życiu człowieka". Poznań, 29.11. 1993, 23-39.

Szot B., 1976. Metodyczne aspekty oceny cech fizycznych ziarna pszenicy. Rocz. Nauk Roln. Seria D-Monografie, 160.

Szot B., Trakowski Cz., 1977. Preliminary investigation on some physical properties of *Triticale* grain. Rocz. Nauk Roln. T.72-C-3, 15-24.

Szot B., Szpryngiel M., Grochowicz M., Tys J., Rudko T., Stępniewski A., Żak W., 1996. Optymalna technologia pozyskiwania nasion rzepaku. Instrukcja wdrożeniowa, Lublin,1-70.

Szot B., Stępniewski A., Rudko T., 2005. Agrophysical properties of lentil. Edited by Bogusław Szot, Andrzej Stępniewski, Tadeusz Rudko. Lublin, 1-77.

Szweykowska A., Szweykowski J., 1998. Botanika. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Tnag K.S., Hart G.E., 1975. Use of izoenzymes as chromosome markers in wheat-rye addition lines and Triticale. Genet. Res. Camb., 26, 187-201.

Tarkowski Cz., Szot. B., Tys J., 1978. Variability of the grain-to-ear binding force for different forms of *Triticale*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 203, 99-105.

Vaz Patto, M.C., Skiba, B., Pang, E.C.K., Ochatt, S.J., Lambein, F. and Rubiales, D., 2006. *Lathyrus* improvement for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical breeding to marker assisted selection. Euphytica, 147, 133-147.

Walczak R.T., Gliński J., Horabik J., 2003. Agrofizyka i jej rola w rozwoju nauk rolniczych. Acta Agrophysica, 100, 9-13.

Woźniak W., 2003. Application of uniaxial compression for evaluation of basic mechanical properties of wheat grain. Acta Agrophysica, 93, 145-155.
Woźniak W., 2004. Fizyczne skutki zmian wilgotności ziarna jęczmienia. Acta Agrophysica, 4(1), 235-242.
Woźniak W., Grundas S., Rybiński W., 2006. Charakterystyki mechaniczne ziarna mutantów jęczmienia. Acta Agrophysica, 8 (4), 1041-1047.

5. STRESZCZENIE

W procesie uzyskiwania odmian roślin uprawnych hodowca prowadzi selekcję i testowanie najbardziej wartościowych genotypów ukierunkowując hodowlę pod względem cech, które powinna reprezentować nowa odmiana, uwzględniając kierunek jej użytkowania komercyjnego. W trakcie hodowli materiał jest oceniany pod kątem licznych cech (w zależności od gatunku i celu hodowli), pośród których marginalne miejsce zajmują cechy fizyczne nasion, mające jednak istotne znaczenie w procesie ich zbioru, transportu, suszenia, czyszczenia i finalnie w przemyśle przetwórczym. Z reguły hodowca nie dysponuje warsztatem pozwalającym mu ocenić laboratoryjnie na wczesnych etapach hodowli i produkcie finalnym (odmianie) właściwości fizycznych nasion jak np. ich odporność na uszkodzenia mechaniczne. Stąd w opisie nowo wyprowadzanych odmian ich użytkownik bardzo rzadko znajduje informacje na ten temat. Pomocne w tym względzie są prace z dziedziny agrofizyki gdzie naukowcy dysponując odpowiednią aparaturą pomiarową są w stanie precyzyjnie określić właściwości fizyczne nasion z uwzględnieniem ich właściwości w różnych warunkach prowokacyjnych jak np. przy różnych gradientach ich wilgotności czy przy różnych okresach przechowywania nasion. Wyniki te – jeśli są do dyspozycji hodowcy – pozwalają na ich wykorzystanie w procesie selekcji i przy kreacji nowych odmian.

Przedstawiona monografia jest próbą oceny – na podstawie danych z literatury – właściwości fizycznych nasion zbóż i roślin strączkowych z zastosowaniem podziału materiału badawczego ocenianego przed rejestracją odmiany (mieszańce, mutanty, linie addycyjne, materiały kolekcyjne, rody) jak i na podstawie produktu finalnego, jakim są odmiany komercyjne. Skoncentrowano się głównie na przeglądzie opublikowanych prac, traktujących o odporności nasion na obciążenia mechaniczne uwzględniając także właściwości geometryczne nasion, ich uszkodzenia wewnętrzne nie powodowane siłami zewnętrznymi, twardość nasion oraz pomiar sił wiązania ziarniaków z osadką kłosową oraz siły potrzebnej do otwarcia strąka w aspekcie osypywania nasion. Na podstawie ocen statystycznych przed-

stawiono współczynniki zmienności analizowanych cech oraz ocenę zależności między cechami wyrażoną wartością współczynnika korelacji, wykazując wzajemne powiązania między parametrami obciążeń mechanicznych, właściwościami geometrycznymi nasion i cechami użytkowymi roślin ocenianych w doświadczeniach polowych.

Słowa kluczowe: zboża, rośliny strączkowe, właściwości fizyczne, genetyka i hodowla roślin

6. SUMMARY

RELATIONS BETWEEN AGROPHYSICS AND GENETICS AND BREEDING OF CEREALS AND LEGUMES

In the process of creation of crop cultivars the breeder conducts selection and testing of the most valuable genotypes, orienting the breeding programs with relation to traits that should be represented by a given cultivar, taking into account the direction of its commercial utilisation. In the course of breeding, the material is evaluated with respect to various traits (depending on the species and on the purpose of the breeding work), among which of only marginal importance are the physical properties of seeds, even though they are highly significant in the process of their harvest, transport, drying, and – ultimately – in the processing industry. As a rule, the breeder does not have at his disposal means to perform, at early stages of breeding and with relation to the end product, laboratory assessment of the physical properties of seeds, such as e.g. their resistance to mechanical damage. Hence, in descriptions of newly introduced cultivars, their user will only rarely find information pertaining to that subject. Helpful in this respect are research works in the field of agrophysics, as agrophysicists – having in their disposal suitable measurement apparatus – are able to perform accurate determinations of the physical properties of seeds, including their properties under various provoking conditions, as for instance at various gradients of their moisture content and for various durations of storage. Those results, if they are made available to the breeders, can be utilised in the process of selection and taken into account in the creation of new cultivars.

This monograph is an attempt at estimation – based on literature data – of the physical properties of cereals and legumes, dividing the material studied into two groups: material evaluated prior to the registration of a cultivar (hybrids, mutants, addition lines, collection materials, lines) and material constituting the final prod-

uct i.e. commercial cultivars. The authors focused mainly on reviewing published reports concerned with seed resistance to mechanical loads, also taking into account the geometric features of the seeds, their internal damage not resulting from external forces, hardness of the seeds, and the values of forces bonding the seed to the torus and those required for pod cracking in the aspect of seed shedding. Based on statistical analyses, coefficients of variation of the analysed traits are given, as well as estimation of relations among the traits as expressed by the values of the coefficient of correlation, demonstrating mutual relations between mechanical load parameters, geometric features of seeds and utility features of crop plants, determined in field experiments.

Keywords: cereals, legumes, physical properties, genetics and breeding of plants.

Adresy Autorów:

Wojciech Rybiński
Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk
ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań
e-mail: wryb@igr.poznan.pl

Bogusław Szot
Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: b.szot@ipan.lublin.pl

Address of Authors:

Wojciech Rybiński
Institute of Plant Genetics, Polish Academy of Sciences
ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań
e-mail: wryb@igr.poznan.pl

Bogusław Szot
Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: b.szot@ipan.lublin.pl