

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

ACTA AGROPHYSICA

2

Jerzy Niewczas

**OCENA USZKODZEŃ MECHANICZNYCH
ZIARNA PSZENICY
WYKRYWANYCH TECHNIKĄ RENTGENOGRAFICZNĄ**

Praca doktorska

Lublin 1994

Komitet redakcyjny

prof. dr hab. Jan Gliński
doc. dr hab. Krystyna Konstankiewicz
doc. dr hab. Ryszard Dębicki

**Wydawnictwo sponsorowane przez
Fundację Rozwoju Nauk Agrofizycznych**

Adres redakcji

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
ul. Doświadczalna 4, 20-236 Lublin
tel. (0-81) 450-61

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN
Lublin 1994

ISBN 83-85491-34-1

Wydanie I. Nakład 150 egz.
Ark. wyd. 4.2, Ark. druk. 3.5
Skład: "Morpol", Pl. Litewski 2, 20-080 Lublin
Druk: "Tekst", ul. 1 Maja 51, 20-410 Lublin

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	3
2. PRZEGLĄD LITERATURY	6
2.1. Charakterystyka ziarniaka pszenicy	6
2.2. Przyczyny i skutki uszkodzeń mechanicznych ziarna	10
2.3. Metody badania uszkodzeń mechanicznych ziarna	13
2.3.1. Niektóre właściwości metod badania uszkodzeń	13
2.3.2. Metoda kolorymetryczna	14
2.3.3. Metoda rentgenograficzna	15
3. CEL BADAŃ	19
4. MATERIAŁ I METODY	20
4.1. Materiał eksperymentalny	20
4.2. Symulowanie obciążeń statycznych i dynamicznych ziarna	20
4.3. Proponowana metoda ilościowej oceny stanu uszkodzeń ziarna	22
4.3.1. Zarys idei	22
4.3.2. Sposób określania wskaźników uszkodzeń	23
4.3.3. Wskaźniki sumaryczne	25
4.3.4. Inne rodzaje wskaźników uszkodzeń	27
4.4. Sposób przeprowadzenia badań	28
5. WYNIKI BADAŃ	32
5.1. Wstępna analiza wyników badań	32
5.2. Wpływ niższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych	36
5.3. Wpływ wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych	42
5.4. Porównanie wpływu obu poziomów obciążeń mechanicznych ziarna	46
6. DYSKUSJA	48
6.1. Skutki oddziaływania obciążeń statycznych i dynamicznych	48
6.2. Ocena opracowanej metody wyznaczania wskaźników uszkodzeń	51
7. WNIOSKI	53
8. LITERATURA	54
SUMMARY	56

1. WSTĘP

W gospodarce żywnościowej człowieka ziarno pszenicy jest jednym z najbardziej cenionych surowców roślinnych. Z tego względu uprawa pszenicy, jej zbiór, przechowywanie oraz przetwórstwo ziarna są w kręgu zainteresowań i badań bardzo wielu ośrodków naukowych. Jednym z problemów niezwykle ważnym z punktu widzenia możliwych skutków, głównie strat ilościowych i jakościowych, są uszkodzenia ziarna. Zajmuje się nim wiele ośrodków w kraju i na świecie. Przedmiotem badań jednego z zespołów Zakładu Fizyki Materiałów Roślinnych Instytutu Agrofizyki w Lublinie są uszkodzenia mechaniczne ziarna pszenicy. Uszkodzenia te rozumiane są jako naruszenie naturalnej ciągłości tkanek ziarniaka w wyniku działania zewnętrznych czynników fizycznych. Obecność uszkodzeń mechanicznych może mieć wpływ na inicjację niekorzystnych przemian chemicznych i biologicznych w ziarnie, a w konsekwencji może spowodować obniżenie jego wartości technologicznej i reprodukcyjnej [33].

Znaczna część uszkodzeń mechanicznych powstaje wskutek działania sił zewnętrznych, pochodzących od elementów roboczych maszyn i urządzeń biorących udział w procesach technologicznych zbioru, omlotu i transportu ziarna. Chodzi więc o to, by w praktyce stosować takie technologie, które minimalizowałyby następce skutki uszkodzeń mechanicznych, a z drugiej strony – wprowadzać takie odmiany i stosować takie zabiegi agrotechniczne, które zapewniałyby maksymalną odporność ziarna na uszkodzenia. Konieczne są zatem badania podstawowe nad budową ziarna w aspekcie jego wytrzymałości mechanicznej, rozumianej często jako odporność ziarna na uszkodzenia oraz nad mechanizmem powstania tych uszkodzeń.

Do prowadzenia tego rodzaju badań niezbędne są metody wykrywania, identyfikowania i oceniania stanu uszkodzeń ziarna. W literaturze znanych jest już ich wiele, lecz w praktyce stosowane są tylko nieliczne. Jedne z nich mają zastosowanie do tak zwanych uszkodzeń zewnętrznych ziarna (otwartych), a inne – do uszkodzeń wewnętrznych (zamkniętych).

Jedną z technik, która pozwala wykrywać uszkodzenia (głównie wewnętrzne) w pojedynczych ziarniakach jest rentgenografia. Jednakże, jak dotąd, nie została opracowana metoda, która umożliwiałaby w zadowalający sposób ocenę stanu uszkodzeń ziarna wykrywanych tą techniką. Dotychczasowe metody oparte były bowiem na ocenach jakościowych.

Możliwość wyrażania określonej cechy nie tylko w kategoriach jakościowych lecz także ilościowo, jest niezwykle ważna. Umożliwia bowiem stosowanie bardziej skutecznego aparatu matematycznego do porównywania wielkości tej cechy dla różnych obiektów oraz znajdowania związków pomiędzy innymi badanymi cechami w obrębie tego samego obiektu lub grupy obiektów.

2. PRZEGLĄD LITERATURY

2.1. Charakterystyka ziarniaka pszenicy

Pszenica (*Triticum*) jest jednoroczną rośliną uprawną z rodziny traw. Uprawiana jest na wszystkich kontynentach jako jedno z najważniejszych zbóż chlebowych. Obejmuje szereg gatunków i odmian o różnej budowie kłosa i ziarna. Największe znaczenie gospodarcze mają: pszenica zwyczajna (*T. aestivum*) oraz pszenica twarda (*T. durum*). Uprawiane są zarówno formy ozime jak i jare [10].

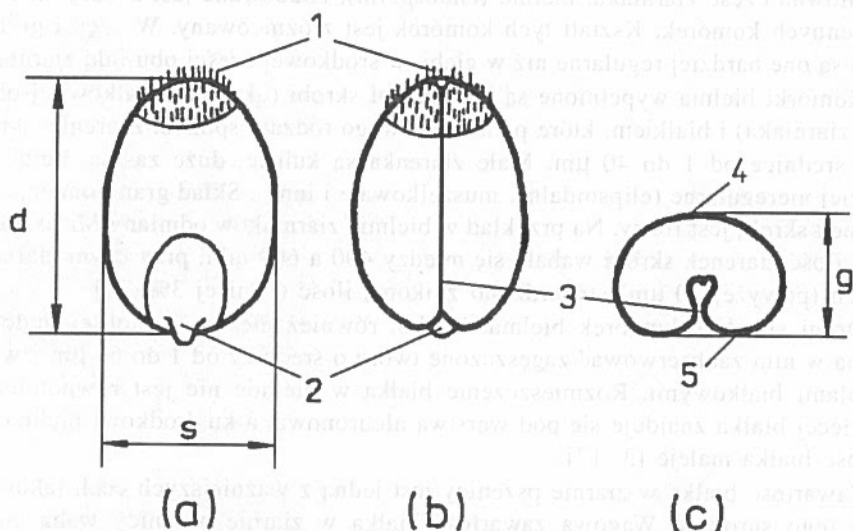
Ziarniak pszenicy jest małym, suchym, jednonasiennym owocem. Jego kształt w zależności od odmiany bywa elipsoidalny, jajowaty lub beczułkowaty. Ziarno pszenicy zwyczajnej odznacza się bardziej zaokrąglonymi konturami i wypełnionymi bokami. Pszenica twarda ma ziarna o konturach kanciastych, z wklęsłymi bokami. Przekrój poprzeczny ziarniaka pszenicy zwyczajnej przypomina wyglądem kardioideę (rys. 1). Podstawowe wymiary ziarna zawierają się w następujących przedziałach: długość: 4.2+8.6 mm, szerokość: 1.6+4.7 mm, grubość: 1.5+3.8 mm. Objętość ziarniaka pszenicy zawiera się w granicach: 11+56 mm³, natomiast masa: 15+80 mg [24].

Strona grzbietowa ziarniaka jest bardziej wypukła niż brzuszna. Po stronie brzusznej znajduje się bruzdka. Jej kształt i rozmiary są cechami odmianowymi. Strona grzbietowa suchych i dojrzałych ziarniaków jest zazwyczaj poprzecznie pofalowana. U podstawy ziarniaka pszenicy, po stronie grzbietowej, znajduje się głęboko osadzony zarodek. Po przeciwnej stronie zarodka, na wierzchołku ziarniaka mieści się bródka, złożona z krótkich, sztywnych włosków.

W budowie anatomicznej ziarniaka pszenicy można wyróżnić cztery zasadnicze części; ich procentowy udział w całkowitej masie ziarniaka podano w nawiasach: okrywa owocowo-nasienna (5+7), warstwa aleuronowa (7+9), bielmo (83+85), zarodek (2+3) [9].

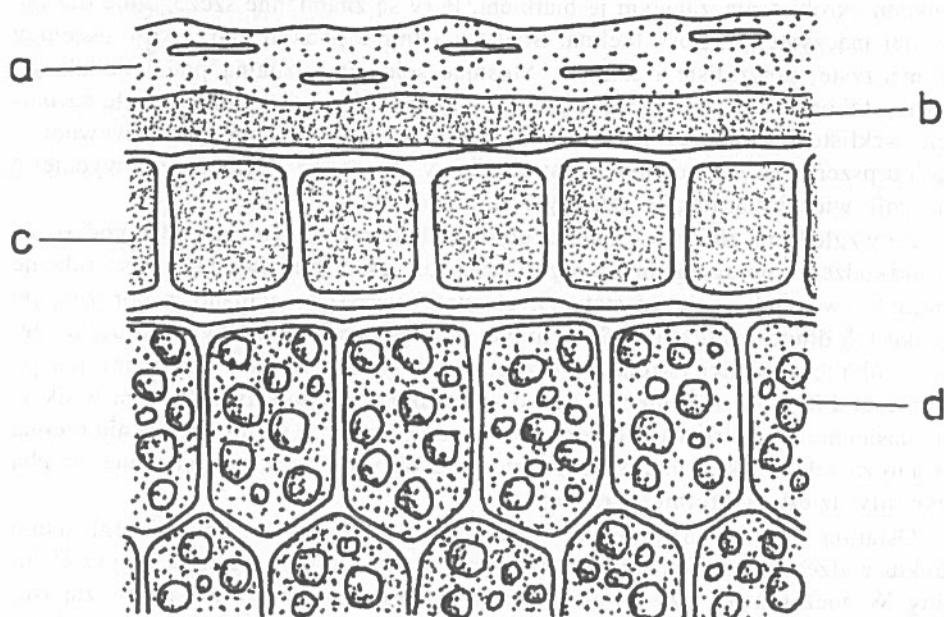
Zewnętrzną warstwę ziarniaka stanowi okrywa owocowo-nasienna. Jest ona złożona z owocni i okrywy nasiennej (rys. 2). Owocnia nie jest zrośnięta z okrywą lecz ściśle do niej przylega. Zbudowana jest z warstwy przezroczystych komórek tworzących epidermę zewnętrzną i jednej lub dwu warstw komórek subepidermalnych. Okrywę nasienną tworzą trzy warstwy komórek: komórki poprzeczne, rurkowane i pigmentowe, nadające ziarniakowi barwę. Grubość okrywy owocowo-nasiennej jest cechą odmianową. Różnice międzyodmianowe są dość znaczne. Ziarniaki słabo osadzone w kłosie mają okrywę owocowo-nasienną bardziej zdrewniałą, niż silnie osadzone [13]. Z kolei ziarniaki wcześniej dojrzewające mają okrywę cieńszą, niż później dojrzewające. Grubość okrywy i stan jej zdrewnienia mają wpływ na odporność ziarniaka na uszkodzenia mechaniczne [18].

Pod okrywą nasienną znajduje się warstwa aleuronowa. Jej komórki oglądane z góry mają kształt nieregularny, zaś w przekroju poprzecznym są czworokątne. Ściany komórkowe są grube, dobrze wykształcone, szczególnie w środkowej, grzbietowej części ziarniaka. W warstwie aleuronowej znajduje się głównie białko, zwane aleuronem, a ponadto niewielkie ilości tłuszczu, substancji mineralnych i witamin.



Rys. 1. Wygląd ziarniaka pszenicy od strony grzbietowej (a), brzusznej (b) i w przekroju poprzecznym (c), według [25];

1 – bródka, 2 – zarodek, 3 – bruzdka, 4 – strona grzbietowa, 5 – strona brzuszna;
d – długość, s – szerokość, g – grubość ziarniaka



Rys. 2. Schemat anatomicznej budowy ziarna pszenicy (przekrój poprzeczny), według [25]; a – owocnia, b – okrywa nasienna, c – warstwa aleuronowa, d – bielmo

Główna część ziarniaka, bielmo (*endosperm*), zbudowane jest z dużych, cienkościennych komórek. Kształt tych komórek jest zróżnicowany. W części grzbietowej są one bardziej regularne niż w głębi, w środkowej części obu fałd ziarniaka.

Komórki bielma wypełnione są ziarenkami skrobi (około 2/3 całkowitej objętości ziarniaka) i białkiem, które pełni rolę swego rodzaju spoiwa. Ziarenka skrobi mają średnice od 1 do 40 μm . Małe ziarenka są kuliste, duże zaś są mniej lub bardziej nieregularne (elipsoidalne, muszelkowate i inne). Skład granulometryczny ziarenek skrobi jest różny. Na przykład w bielmie ziarniaków odmiany Maris Huntsman ilość ziarenek skrobi wahała się między 400 a 600 mln, przy czym ziarenek dużych (powyżej 10 μm) stwierdzono znikomą ilość (poniżej 3%) [9].

Drugi składnik komórek bielma, białko, również nie ma jednolitej budowy. Można w nim zaobserwować zagęszczone twory o średnicy od 1 do 60 μm , zwane globulami białkowymi. Rozmieszczenie białka w bielmie nie jest równomierne. Najwięcej białka znajduje się pod warstwą aleuronową, a ku środkowi bielma zawartość białka maleje [3, 17].

Zawartość białka w ziarnie pszenicy jest jedną z ważniejszych cech jakościowych tego surowca. Wagowa zawartość białka w ziarnie pszenicy waha się w granicach 7+24%, a u odmian polskich 11+14%. Przyjmując zawartość białka w całym ziarnie za 100%, na okrywę owocowo-nasienną przypada około 5%, na warstwę aleuronową 13+20%, na bielmo 65+75%, a na zarodek 6+20%. W przeliczeniu na suchą masę poszczególnych części ziarna, w warstwie aleuronowej znajduje się 30+50% białka, w bielmie 11+12%, a w zarodku 20+35% [23].

Skrobia i białko nie wypełniają całkowicie komórek bielma. Już przy powiększeniu 5000 razy można obserwować wolne przestrzenie (pory) pomiędzy ziarenkami skrobi a otaczającym je białkiem. Pory są znamienne szczególnie dla tak zwanej mączystej tekstury bielma. Stąd też istnieje podział ziarniaków pszenicy na mączyste, półszkliste i szkliste. Stosując selekcję wizualną podziału takiego można dokonać nawet w obrębie jednej odmiany. Na ogół ziarniaki małe są bardziej szkliste i jednocześnie zawierają więcej białka. Rozkład porów wewnętrznych u pszenic jarych i ozimych jest odmienny. U odmian jarych można wydzielić znacznie więcej ziarniaków szklistych niż u ozimych.

Ze względu na złożoność i nieregularność budowy całego ziarniaka, podatność na uszkodzenia poszczególnych jego części nie jest jednakowa [11]. Uszkodzone ziarniaki (wskutek obciążeń statycznych masy ziarna) przecinano w poprzek, po środku ich długości. Już przy 20-krotnym powiększeniu widać było, że uszkodzenia w okolicy bruzdki (strona brzuszna) nie były tak szerokie i wyraźne jak po stronie grzbietowej. Również stosunkowo rzadko występowały pęknięcia w okrywie nasiennej i w warstwie aleuronowej. Według Strony [38], do zgniecenia bielma wystarcza siła 17 kG/cm^2 , a do zniszczenia okrywy owocowo-nasiennej trzeba użyć siły dziesięciokrotnie większej.

Ostatnią z części anatomicznych ziarniaka, ale najważniejszą z biologicznego punktu widzenia, jest zarodek. Mieszczą się w nim zalążki organów przyszłej rośliny. W początkowej fazie swojego rozwoju korzystają one ze związków zapasowych zgromadzonych w bielmie. Ich transmisja do zarodka odbywa się poprzez tarczkę, przylegającą bezpośrednio do bielma i stanowiącą jak gdyby jego pompę

szą. Dużą rolę w rozwoju zarodka przypisuje się również warstwie aleuronowej. Zarodek zbudowany jest głównie z tłuszczów i białek i jest zawsze bardziej uwodniony niż reszta ziarniaka. W porównaniu z bielmem, zarodek wykazuje większe właściwości plastyczne, jest więc mniej podatny na uszkodzenia mechaniczne.

Istnieje wiele cech charakterystycznych dla gatunków, form i odmian pszenicy, które mają istotny wpływ na właściwości fizyczne ziarniaków i mogą decydować o ich odmiennym zachowaniu się w wyniku działania czynników zewnętrznych, w szczególności obciążeń mechanicznych. Ta odmienna reakcja ziarna na czynniki zewnętrzne określana jest w literaturze jako podatność, wrażliwość albo odporność, wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne. Podatność ziarna na uszkodzenia kształtują cechy morfologiczne i anatomiczne: wielkość i kształt ziarna, głębokość i kształt bruzdki, umiejscowienie zarodka, grubość okrywy owocowo-nasiennej, skład chemiczny i tekstura bielma [18, 19, 44]. Niezmiernie ważną cechą fizyczną, wpływającą na podatność na uszkodzenia mechaniczne jest wilgotność ziarna. Z licznych badań wynika, że dla każdej odmiany istnieje pewne optimum wilgotności, przy którym ziarno jest najmniej podatne na uszkodzenia pod wpływem określonych obciążeń mechanicznych [1, 14, 18, 19, 21, 29, 38].

2.2. Przyczyny i skutki uszkodzeń mechanicznych ziarna

W rozdziale tym rozpatrzono zewnętrzne przyczyny powstawania uszkodzeń, to znaczy te, które nie pochodzą od ziarna. Dokładne rozpoznanie przyczyn i skutków uszkodzeń mechanicznych ziarna jest niezbędne z punktu widzenia sposobów zapobiegania im. Fakt, że materiał roślinny charakteryzuje się dużą zmiennością cech fizycznych, skłania do prowadzenia badań na dużych, reprezentatywnych próbach, zapewniających uchwycenie występujących zależności [20]. Szczególnie cenne dla praktyki są badania kompleksowe, uwzględniające współdziałanie różnorodnych czynników, jednocześnie eliminujące lub ograniczające do minimum oddziaływanie czynników niekontrolowanych. Bardzo istotne są również wyniki doświadczeń uwzględniające kolejne fazy destrukcyjnego oddziaływania na ziarno różnych czynników, jak na przykład w badaniach zbioru kombajnowego.

Decydujący wpływ na uszkodzenia mechaniczne ziarna ma człowiek. Przede wszystkim, stosując taką czy inną technologię uprawy, kształtuje przyszły poziom podatności ziarna na uszkodzenia. Na przykład na wzrost poziomu nawożenia mineralnego NPK obie formy pszenicy zwyczajnej reagują odmiennie: ozime – wzrostem, a jare – spadkiem podatności na uszkodzenia [9, 42]. Z obserwacji prowadzonych w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie wynika, że uszkodzenia mechaniczne zaczynają powstawać, gdy ziarno znajduje się jeszcze w kłosie. Spowodowane są oddziaływaniem klimatu i zmiennymi warunkami meteorologicznymi. O wielkości uszkodzeń powstałych na tym etapie decyduje termin zbioru. Nie powodują one jednak tak poważnych skutków jak te, które powstają i kumulują się z biegiem czasu, podczas następujących etapów, z udziałem technologii zbioru, omlotu, oczyszczania, sortowania, suszenia, transportu, przechowywania, a także wysiewu [18, 38]. W procesach tych na ziarno oddziałują czynniki zewnętrzne, najczęściej w postaci różnego rodzaju sił oraz temperatura i wilgotność otoczenia. Bardzo istotna jest przy tym wilgotność samego ziarna. Ważną rolę odgrywa również czas działania wymienionych czynników, tempo zmian ich wielkości, a także kierunek tych zmian. Wspomniane czynniki nie oddziałują na ziarno oddzielnie lecz współdziałając ze sobą, nawet w bliżej nieokreślony sposób, powodują kumulowanie się skutków lub ich niwelowanie.

Stopień oraz skutki uszkodzeń ziarniaków zależą od rodzaju, wielkości i kierunku działania obciążeń mechanicznych na ziarno. Mogą to być obciążenia statyczne lub quasi-statyczne – jak w przenośnikach, w silosie lub w aparacie wysiewającym, dynamiczno-udarowe lub udarowo-zmęczeniowe i wibracyjne – jak w zespole młóącym lub w zespołach czyszczących i sortujących [19]. Uszkodzenia ziarna w dużym stopniu zależą również od rodzaju i właściwości ciernych materiałów stykających się bezpośrednio z ziarnem oraz od szczegółów konstrukcyjnych elementów roboczych maszyn i urządzeń biorących udział w omawianych procesach technologicznych [37].

Zewnętrzne czynniki fizyczne, w szczególności obciążenia mechaniczne, oddziałując na ziarno, mogą spowodować powstawanie w nim naprężeń wewnętrznych. Przekroczenie granicznego progu tych naprężeń powoduje powstawanie uszkodzeń mechanicznych ziarna. Objawiają się one najczęściej w postaci wgnie-

ceń, szczelin, pęknięć i odłamań. Dzieje się to dopiero po osiągnięciu przez ziarno odpowiedniej fazy dojrzałości, której praktyczną miarą jest twardość, determinowana między innymi poziomem wilgotności. Badanie wpływu określonych czynników zewnętrznych na stan uszkodzeń ziarna poprzez badanie rozkładu naprężeń wewnętrznych jest interesujące i ważne z poznawczego i praktycznego punktu widzenia (zapobieganie uszkodzeniom) lecz niezwykle trudne. Znacznie łatwiej jest kontrolować wielkość czynników zewnętrznych i obserwować w jakich warunkach zaczyna się objawiać ich destrukcyjne działanie w formie uszkodzeń, a mając odpowiednią miarę – mierzyć lub szacować stan powstałych uszkodzeń. Znając z kolei wielkość uszkodzeń – można odnieść ją do przewidywanych skutków technologicznych lub biologicznych, określając dopuszczalne parametry robocze urządzeń dla ustalonego stanu ziarna (dojrzałości, wilgotności) [6, 14, 43].

Uszkodzenia mechaniczne ziarna są bezpośrednim skutkiem fizycznym działania czynników zewnętrznych, który może objawiać się na przykład w postaci zmiany porowatości ziarna, a ta z kolei powodować łatwość kruszenia się oraz zmiany w dynamice jego nawilżania [11]. Duże zmiany dynamiki nawilżania ziarna są spowodowane głównie uszkodzeniami otwartymi, sięgającymi w głąb bielma. Zjawisko to można obserwować na przykład przy pomocy metod jądrowego rezonansu magnetycznego [36]. Dalsze konsekwencje uszkodzeń mechanicznych, to przede wszystkim zmiany właściwości biologicznych i technologicznych ziarna. Te z kolei mają wpływ odpowiednio na obniżenie wartości reprodukcyjnej i konsumpcyjnej ziarna.

Uszkodzenia mechaniczne mogą być oceniane różnie – w zależności od skali uszkodzeń i przeznaczenia ziarna: mogą nie mieć żadnego praktycznego znaczenia, mogą być korzystne lub wręcz niepożądane. Za pozytywny skutek uszkodzeń można uznać łatwe oddzielanie się okrywy owocowo-nasiennej w wyniku kondycjonowania ziarna. Proces ten stosuje się przed mieleniem ziarna na mąkę. Powstające przy tym pęknięcia wewnętrzne bielma mogą ułatwiać proces przemiału ziarna [26].

Z wielu badań wynika, że nieliczne pęknięcia bielma oraz uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej powstałe w wyniku nawilżania i (lub) niezbyt intensywnego suszenia ziarna mogą stymulować proces kiełkowania, zwłaszcza w początkowym okresie [9, 14]. Jednakże kwalifikacja tego zjawiska jako pozytywnego skutku uszkodzeń jest problematyczna. Przede wszystkim podwyższoną zdolność kiełkowania obserwuje się głównie w warunkach laboratoryjnych. Po wtóre, w późniejszym okresie następuje słabszy rozwój roślin wyrosłych z uszkodzonych nasion, a nawet ich obumieranie. Najczęściej jednak uszkodzenia mechaniczne ziarna rozpatrywane i oceniane są w aspekcie strat jakościowych. Szacowane są również straty wynikające z uszkodzeń mechanicznych w poszczególnych etapach lub w całym procesie obróbki mechanicznej pszenicy, a wyrażane udziałem ziarna z określonymi uszkodzeniami. Niekiedy podawana jest wielkość utraconego plonu wskutek wysiewu uszkodzonych mechanicznie nasion [14, 18, 38]. Stosowanie różnych miar i metod badania uszkodzeń utrudnia porównywanie wyników badań nad przyczynami i skutkami uszkodzeń mechanicznych ziarna.

Wiele uwagi poświęcono w literaturze takim eksperymentom, w których badano relacje typu "przyczyna → skutek". Jako przyczyny rozpatrywano między

innymi zróżnicowane co do wielkości obciążenia statyczne i dynamiczne, różne kierunki i miejsca działania siły na ziarno, bardzo często w powiązaniu działania tych czynników na ziarno o zróżnicowanej wilgotności. Skutki uszkodzeń wiązano najczęściej ze zdolnością kiełkowania badanych nasion [2, 8, 9, 20, 22, 32, 39].

Wielu autorów przeprowadziło szereg żmudnych i drobiazgowych badań laboratoryjnych nad skutkami biologicznymi uszkodzeń mechanicznych nasion z uwzględnieniem usytuowania i wielkości tych uszkodzeń w ziarniakach [14, 21, 31, 38]. Wśród biologicznych skutków uszkodzeń wymieniane są: częściowa utrata zapasowych składników pokarmowych nasion albo niemożliwość ich wykorzystania, przyspieszone ustąpienie spoczynku nasion, zwiększona intensywność oddychania, szybsze pęcznienie i kiełkowanie nasion, opóźnione kiełkowanie, mniejsza zdolność kiełkowania, gorsza jakość kiełków, obumieranie kiełków po 3-4 dniach, podatność kiełków na pleśnienie, osłabienie siły wzrostu siewek oraz nienormalny ich rozwój.

Niekorzystne skutki po wysiewie uszkodzonego materiału stwierdzono również w badaniach polowych [38, 39, 40]. Zaobserwowano obniżenie i opóźnienie wschodów oraz ich nierównomierność, mniejszą odporność roślin na choroby bakteryjne i grzybowe, mniejszą krzewistość oraz opóźnione kłoszenie, nierówność łanu, zróżnicowane dojrzewanie i wreszcie – mniejszą produktywność kłosów, a co za tym idzie – zmniejszenie i pogorszenie plonów.

Różnorodne skutki uszkodzeń mechanicznych ujawniają się i potęgują dopiero z upływem czasu przechowywania uszkodzonego ziarna [11, 14, 18, 21]. Przynoszą one straty ilościowe i jakościowe zarówno w sferze konsumpcyjnej jak i reprodukcyjnej. Oprócz wymienionych skutków dochodzą jeszcze: zwiększone straty masy ziarna, zwiększona skłonność do porażenia przez mikroorganizmy (grzyby, bakterie), które zasiedlają miejsca uszkodzone, a przede wszystkim zarodek. W następstwie dochodzi do zanieczyszczenia i zatrucia ziarna produktami ich życiowej działalności.

Poszukiwanie sposobów zapobiegania uszkodzeniom mechanicznym stało się więc ważnym zagadnieniem współczesnego rolnictwa [18]. Zapobieganie powstawaniu uszkodzeń jest możliwe dzięki dokładnemu rozpoznaniu przyczyn i skutków tych uszkodzeń. Trzeba się jednak pogodzić z tym, że całkowite wyeliminowanie uszkodzeń jest niemożliwe, a powstawanie pewnych strat jest nieuchronne, chociażby ze względu na stosowanie w coraz większym zakresie maszyn i urządzeń biorących udział w całym łańcuchu technologicznym zbioru i obróbki pozbiorowej ziarna.

Istnieje jednakże możliwość ograniczania strat poprzez:

- konstruowanie maszyn i urządzeń o parametrach pracy najlepiej dostosowanych do właściwości materiału roślinnego [14],
- poprawne wykonywanie wszelkich prac związanych z zabiegami agrotechnicznymi oraz zachowanie optymalnych regulacji maszyn i urządzeń biorących udział we wszystkich procesach obróbki ziarna [6, 7, 14, 37],
- hodowla i uprawa odmian pszenicy najbardziej odpornych na uszkodzenia mechaniczne [1, 37].

2.3. Metody badania uszkodzeń mechanicznych ziarna

2.3.1. Niektóre właściwości metod badania uszkodzeń

Współcześnie istnieje bardzo wiele różnych metod badania uszkodzeń ziarna. W licznych pracach można znaleźć ich charakterystykę lub klasyfikacje dokonywane na podstawie różnych kryteriów użytkowych [4, 9, 36, 38]. Okazuje się, że nie ma metod idealnych – wszystkie, oprócz zalet, mają również pewne wady. Analizując charakterystyki metod można sformułować szereg wniosków w odniesieniu do niektórych, najczęściej wyróżnianych właściwości.

Zasadnicza różnica między wyróżnianymi grupami metod polega na stosowaniu odmiennych technik lub sposobów wykrywania uszkodzeń. W związku z tym różnią się one także klasą wykrywanych uszkodzeń, rozumianą jako zespół określonych kategorii uszkodzeń. Z kolei klasa wykrywanych uszkodzeń ziarna ma wpływ na rodzaj wniosków, które można wysnuć na podstawie przeprowadzanych badań. Najbardziej wartościowe są więc te metody, które umożliwiają wykrywanie jak najszerszej klasy uszkodzeń.

W licznych metodach do wykrywania uszkodzeń stosowane są różnego rodzaju roztwory barwiące ziarno [9]. Wadą tego typu technik detekcji jest różna dostępność stosowanych cieczy do ziarna o odmiennych właściwościach chemicznych lub fizycznych (tekstura bielma, zawartość białka, wilgotność, temperatura). Powstające z tego powodu zakłócenia wyników wpływają niekorzystnie na dokładność, czułość i powtarzalność metody. Należałoby zatem wybierać takie techniki wykrywania uszkodzeń, które w jak najmniejszym stopniu powodują zakłócenia wyników (w obrębie wykrywanej klasy uszkodzeń), będące skutkiem innych właściwości ziarna.

Istnieją metody, w których obserwator ustala wyniki na podstawie własnej, arbitralnej oceny badanego ziarna lub jego obrazu, wykonanego przy użyciu techniki umożliwiającej wykrycie pewnej klasy uszkodzeń. W przypadku tej grupy metod źródłem zakłóceń wyników jest subiektywizm oceny obserwatora. Wyniki otrzymywane dla tego samego materiału przez różnych obserwatorów (lub nawet tych samych) mogą różnić się między sobą istotnie [4, 44]. Ważna jest zatem możliwość wyboru takich metod, które eliminują lub przynajmniej maksymalnie ograniczają wpływ na wyniki czynników subiektywnych.

Spośród różnych metod te są bardziej wartościowe, które pozwalają wyrażać wyniki nie tylko na skali nominalnej (jakościowej), lecz przede wszystkim na skali ilościowej. Pozwala to bowiem stosować do analiz znacznie dokładniejszy aparat matematyczny.

Bardzo rozpowszechnioną grupą metod są testy biologiczne. Mają one duże znaczenie przy ocenie ziarna jako materiału reprodukcyjnego. Należy jednak mieć na uwadze fakt, że uszkodzenia mechaniczne stanowią zaledwie jeden z czynników, który ma wpływ na wynik testu biologicznego ziarniaka. Testy te są przede wszystkim sprawdzianem żywotności zarodka, a ich wyniki nie odzwierciedlają wiernie stanu uszkodzeń mechanicznych ziarna [12].

Najbardziej zasadne wydają się te metody, które umożliwiają bezpośrednie badanie stanu uszkodzeń, a nie odnoszenie go do jakichkolwiek ich skutków, w szczególności biologicznych. Dzięki temu można traktować stan uszkodzeń na równi z innymi parametrami fizycznymi ziarna, takimi jak masa, objętość, temperatura, wilgotność.

Wielu autorów postulowało, aby w badaniu uszkodzeń mechanicznych uwzględniać nie tylko wielkość uszkodzeń ziarniaka, lecz także miejsce ich występowania. Łączne rozpatrywanie tych cech jest ważne głównie z punktu widzenia możliwych skutków biologicznych uszkodzeń mechanicznych ziarna [14, 31, 38]. Dotychczas jednak nie udało się wyrazić wspomnianych cech za pomocą jednej, wspólnej miary.

Przy ocenie metod bardzo ważne jest uwzględnianie kryteriów praktycznych, takich jak możliwość wykonywania badań nieniszczących, pracochłonność, czasochłonność, łatwość stosowania oraz koszt badań. Kryteria te określają zakres stosowalności każdej metody, przede wszystkim w aspekcie możliwości zastosowań na szeroką skalę, w praktyce rolniczej. Wiele metod, chociaż atrakcyjnych z punktu widzenia poznawczego, ze względu na uciążliwość w stosowaniu lub wysoki koszt, nadaje się wyłącznie do badań laboratoryjnych. Tylko nieliczne z nich mogą być zalecane do praktyki. Ostatecznie, o zastosowaniu konkretnej metody decyduje użytkownik. Jego wybór jest zdeterminowany zadaniami i problemami, które ma rozwiązać oraz możliwościami, które znajdują się w jego zasięgu.

W Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie do badania uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy stosowane są dwie metody – kolorymetryczna i rentgenograficzna, zaś do oceny skutków biologicznych powstałych uszkodzeń wyznaczana jest najczęściej zdolność kiełkowania nasion i długość koleoptyli.

2.3.2. Metoda kolorymetryczna

Metoda kolorymetryczna z zastosowaniem Fast Green jako barwnika ziarna została opracowana i opatentowana w USA (1976 rok) do oceny uszkodzeń mechanicznych próbek wagowych ziarna kukurydzy lub pszenicy [9]. Istota tej metody polega na określeniu poziomu absorpcji barwnika na uszkodzonych powierzchniach ziarniaków. Sposób określania wielkości uszkodzeń jest stosunkowo prosty i szybki. Wymaga jednak ścisłego przestrzegania warunków i czasu trwania poszczególnych czynności. Czas trwania ręcznie wykonywanej analizy nie przekracza 10 minut. Próbkę ziarna o masie 100 g barwi się w wodnym roztworze Fast Green o określonej koncentracji. Następnie nadmiar niezaabsorbowanego barwnika spłukuje się wodą z powierzchni badanych ziarniaków, po czym odbarwia się je w słabej zasadzie NaOH, otrzymując w ten sposób roztwór testowy. Koncentracja barwnika w tym roztworze, określona fotometrycznie, jest miarą ogólnego poziomu uszkodzeń mechanicznych badanej próbki ziarna. Im większy jest poziom tych uszkodzeń, tym wyższa jest wartość koncentracji roztworu testowego.

Na wyniki pomiarów kolorymetrycznych mają wpływ te spośród uszkodzeń mechanicznych, do których ma dostęp barwnik. Zatem klasą wykrywanych uszkodzeń są w tym przypadku uszkodzenia zewnętrzne (otwarte): pęknięcia i otarcia okrywy owocowo-nasiennej, uszkodzenia zarodka oraz szczeliny sięgające w głąb

bielma. Na wartość ekstynkcji ma również istotny wpływ zawartość białka, determinująca teksturę bielma [9].

Ważną zaletą metody kolorymetrycznej jest wyrażenie wielkości uszkodzeń na skali ilościowej. Ocena uszkodzeń odnosi się w tym przypadku do całej próbki wagowej, a nie do poszczególnych ziarniaków. Tym samym, przy pomocy metody kolorymetrycznej nie ma możliwości określenia miejsc występowania uszkodzeń.

Od 1986 roku w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie trwają prace nad udoskonaleniem metody kolorymetrycznej. Zmierzają one głównie do automatyzacji procesu przygotowywania i oznaczania roztworów testowych. Aktualnie prowadzi się badania na zmodyfikowanych zestawach pomiarowych pod nazwą Tester Uszkodzeń Mechanicznych Ziarna (TUMZ-2), które eliminują błędy subiektywne, występujące przy ręcznej procedurze oznaczania uszkodzeń mechanicznych tą metodą. Biorąc pod uwagę szereg walorów praktycznych, metoda kolorymetryczna oceny uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy ma szanse zastosowań na szerszą skalę, nie tylko w badaniach laboratoryjnych.

2.3.3. Metoda rentgenograficzna

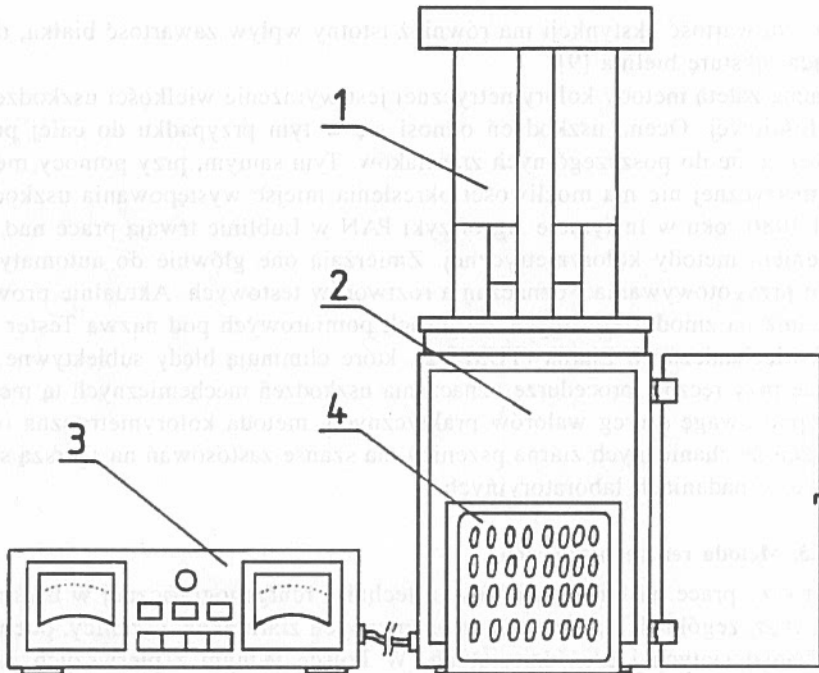
Pierwsze prace na temat zastosowań techniki rentgenograficznej w badaniach nasion, w szczególności uszkodzeń mechanicznych ziarniaków pszenicy, pochodzą z lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych. W Polsce jednym z pierwszych eksperymentatorów, który stosował technikę rentgenograficzną do wykrywania i oceny uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy był Ostromecki [32].

Wiązka promieni rentgenowskich przechodząca przez badany obiekt jest w różnym stopniu pochłaniana przez uszkodzone i nieuszkodzone części ziarna. Części nieuszkodzone silniej pochłaniają promieniowanie, co w efekcie daje jasny obraz na kliszy. Promienie rentgenowskie przechodzące przez strefy uszkodzone są w mniejszym stopniu pochłaniane i na rentgenogramach defekty te przedstawiają się w postaci zaczerwień.

W Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie do detekcji uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy stosuje się małogabarytowy, krótkoogniskowy aparat rentgenowski ELEKTRONIKA 25 produkcji rosyjskiej. Zgodnie z metodyką opisaną w pracy [34], aparat ten (rys. 3) przeznaczony jest do otrzymywania obrazów rentgenowskich ziarna zbóż i nasion innych roślin. Obrazy można rejestrować na kliszy rentgenograficznej lub fotograficznej o szerokości 60 mm, na filmach 24x36 mm albo na papierze fotograficznym. Aparat daje możliwość uzyskiwania obrazów w skali od 1:1 do 10:1, bez geometrycznej nieostrości. Pozostałe dane techniczne aparatu są następujące: napięcie zasilające 220 V (50 Hz), pobór mocy 70 W, napięcie przyspieszające 10+25 kV, czas ekspozycji 1+16 min.

Przygotowane do badań ziarniaki pszenicy naklejane są w pozycji "bruzdka do dołu" na kasety pomiarowe z bibuły filtracyjnej po 100 sztuk i poddawane ekspozycji rentgenowskiej przy napięciu lampy 15 kV w czasie 8 min. Obrazy w skali 2:1 otrzymuje się na kliszy fotograficznej.

Detekcja rentgenograficzna umożliwia rozróżnienie bruzdki, dającej na negatywie wyraźny, ciemny obraz oraz zarodka, o nieco ciemniejszym tle w porównaniu z tłem bielma. Uszkodzenia mechaniczne ziarna mogą objawiać się na rentgeno-



Rys. 3. Aparat rentgenowski ELEKTRONIKA 25; 1 - korpus z lampą rentgenowską, 2 - kamera rentgenograficzna, 3 - pulpit sterowniczy, 4 - kasetka z próbką ziarna.

gramach w różnej postaci. Pęknięcia i szczeliny wewnętrzne widoczne są w postaci ciemnych, dość ostrych cieni, usytuowanych na ogół prostopadle do bruzdki. Tego typu uszkodzenia mogą powstawać w warunkach naturalnych (w polu), podczas zbioru i omlotu lub wskutek suszenia ziarna. Zdarzają się również pęknięcia równoległe do bruzdki, powstające wskutek osiowego działania sił i pęknięcia "gwiazdziste", wskutek punktowego przyłożenia siły. Niekiedy widoczna jest na tle bielma cała sieć pęknięć przebiegających wzdłuż i w poprzek ziarniaka. Mogą one pochodzić od działania silnych stresów termicznych. Łatwo dostrzegalne są również ubytki ziarna i znaczniejsze uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej. Na rentgenogramach można niekiedy zidentyfikować ciemniejsze obszary w stosunku do tła, które dają nieuszkodzone bielmo. Mogą one być obrazem wgnieceń bielma. Wewnętrzna sieć tych drobnych lecz gęstych i licznych uszkodzeń tworzy często tego rodzaju efekt na obrazie rentgenowskim.

Stosunkowo wiele uszkodzeń można zidentyfikować przy ekspozycji ziarniaka w jego położeniu stabilnym – bruzdką ku dołowi (wtedy również pole obrazu ziarniaka jest największe ze wszystkich możliwych). Niekiedy jednak wystarczy niewielka zmiana położenia ziarniaka w stosunku do kierunku działania promieni X, żeby na przykład obrazy niektórych uszkodzeń zmieniły kształt, rozmiar i położenie, a w skrajnym przypadku nawet przestały być widoczne, zaś inne ujawniły się. Zatem, aby zidentyfikować wszystkie (a raczej prawie wszystkie) uszkodzenia badanego ziarniaka, należałoby dysponować jego "obrazem" przestrzennym albo przynajmniej mieć możliwość wykonania serii płaskich zdjęć rentgenowskich w

różnych jego położeniach, obracając go za każdym razem o pewien kąt wokół bruzdki. Zastosowanie opisanej metody pozwoliłoby na rozróżnienie pęknięć otwartych i zamkniętych oraz pełniejszą identyfikację uszkodzeń okrywy owocowo-nasiennej. Te typy uszkodzeń mogą mieć duże znaczenie z punktu widzenia ich następstw biologicznych. Badania tego rodzaju byłyby jednak niezwykle kosztowne i długotrwałe. Z tych względów wykonuje się zazwyczaj ekspozycje ziarniaków we wspomnianym położeniu, jednocześnie zdając sobie sprawę z tego, że przy liczbowej ocenie stanu uszkodzeń otrzymuje się w ten sposób oszacowanie od dołu, czyli wartość zaniżoną.

W celu porównania klas uszkodzeń wykrywanych metodą kolorymetryczną i rentgenograficzną, uszkodzenia mechaniczne można podzielić na dwie kategorie:

1. uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej i zarodka,
2. uszkodzenia bielma.

W obrębie kategorii 1 można z kolei wyróżnić uszkodzenia małe (na przykład otarcia i drobne pęknięcia) i duże (większe ubytki i odlupania, brak zarodka), zaś w kategorii 2 uszkodzenia otwarte i zamknięte.

Niżej zamieszczony schemat umożliwi porównanie wykrywalności tych czterech wyróżnionych grup uszkodzeń przy pomocy obu metod.

Uszkodzenia okrywy owocowo-nasiennej i zarodka		Uszkodzenia bielma	
małe	duże	otwarte	zamknięte
Detekcja kolorymetryczna			
		Detekcja rentgenograficzna	

Tak więc metoda kolorymetryczna i rentgenograficzna pod względem klas wykrywanych uszkodzeń wzajemnie się uzupełniają.

Do oceny uszkodzeń mechanicznych wykrywanych techniką rentgenograficzną stosowano dotychczas te same metody, które używane są przy ocenie wizualnej samych ziarniaków, to znaczy klasyfikacje jakościowe uszkodzeń. W tej dziedzinie w literaturze można natknąć się na dużą różnorodność [14, 31, 32, 34, 35, 38]. Podziały na kategorie uszkodzeń bywają tak różne, że może to utrudniać lub nawet uniemożliwiać porównywanie wyników badań. Często granic kategorii uszkodzeń nie można określić precyzyjnie, przez co niektóre ziarna trudno zakwalifikować jednoznacznie do odpowiedniej kategorii. Ponadto rozkład częstości uszkodzeń wyznaczony dla próby ziarna według ustalonej klasyfikacji jakościowej nie wskazuje jeszcze jak bardzo dana próba jest uszkodzona. Zasada zliczania uszkodzeń (najczęściej pęknięć bielma) również nie jest zadowalająca, gdyż na rentgenogramach widoczne są niekiedy sieci pęknięć wielokrotnie rozwidlających się lub wzajemnie przecinających się. Ustalanie liczby tego rodzaju pęknięć mija się z celem.

Uszkodzenia mechaniczne ziarniaków mogą zdarzać się na "ciągłej skali uszkodzeń" – począwszy od braku jakichkolwiek uszkodzeń, poprzez drobne zadraśnięcia okrywy owocowo-nasiennej, wąskie szczeliny, grube pęknięcia, ubytki, aż do całkowitej destrukcji ziarna [4]. Stąd też nasuwa się idea, aby przy ocenie stanu uszkodzeń ziarna posługiwać się określoną miarą.

Chowdhury i Buchele [5] zaproponowali pewną miarę (wskaźnik uszkodzeń) dla ziarna kukurydzy w oparciu o 5-stopniową gradację uszkodzeń. Jest to jednak miara pośrednia, odnosi się bowiem do biologicznych skutków uszkodzeń. Obliczana jest na podstawie częstości nieskiełkowanych nasion poszczególnych kategorii uszkodzeń.

Jak wynika z przeglądu dostępnej literatury, nie opracowano dotychczas metody umożliwiającej bezpośrednią, efektywną ocenę uszkodzeń mechanicznych ziarna, wykrywanych techniką rentgenograficzną. To samo dotyczy zresztą nowszych technik detekcji uszkodzeń: jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR), mikroskopii skaningowej (SEM) i techniki laserowej [15, 16, 36, 45]. Brak takiej metody jest tym bardziej dotkliwy, że detekcja rentgenograficzna, dzięki efektywnemu zobrazowaniu, pozwala na identyfikację stosunkowo szerokiej klasy uszkodzeń. Dużą zaletą techniki rentgenowskiej jest możliwość prowadzenia badań nieniszczących na pojedynczych obiektach. Z racji swoich zalet badanie uszkodzeń przy wykorzystaniu tej techniki uważane jest od dawna za bardzo skuteczną metodę w warunkach laboratoryjnych [32].

3. CEL BADAŃ

Konsekwentne stosowanie techniki rentgenograficznej do rozwiązywania coraz bardziej złożonych problemów badawczych związanych z uszkodzeniami mechanicznymi ziarna wymaga również opracowania bardziej skutecznej, ilościowej metody oceny stanu uszkodzeń. Jednym z problemów, przy rozwiązywaniu którego korzystne jest posługiwanie się ilościowymi ocenami stanu uszkodzeń ziarniaków, jest ocena skutków fizycznych obciążeń mechanicznych ziarna pszenicy. Skutki te, w postaci uszkodzeń mechanicznych ziarna, można analizować w zależności od rodzaju i wielkości obciążeń. Obciążenia mechaniczne uznawane są bowiem za główną przyczynę powstawania uszkodzeń, których znaczną część można wykrywać właśnie przy zastosowaniu techniki rentgenograficznej. Z drugiej strony, odpowiedni dobór materiału eksperymentalnego umożliwi dokonanie analizy uszkodzeń w obrębie wybranych odmian pszenicy ozimej i jarej. Analiza taka pozwala także ocenić badany materiał ziarnowy z punktu widzenia jego podatności na uszkodzenia pod wpływem określonego rodzaju lub poziomu obciążeń mechanicznych. Rozstrzygnięcia w tym zakresie problemów, poza aspektem poznawczym, mają również duże znaczenie praktyczne.

Biorąc pod uwagę przedstawione przesłanki, sformułowano następujące cele badawcze:

1. Opracowanie metody otrzymywania takich opisów liczbowych stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarniaków pszenicy, które umożliwiłyby wykonywanie analiz ilościowych stanu uszkodzeń dla próbek ziarna.
2. Ocena wpływu dwóch rodzajów obciążeń mechanicznych (statycznych i dynamicznych) ziarna pszenicy na wielkość powstających uszkodzeń.
3. Ocena reakcji ziarna pszenicy wybranych odmian obu form (ozime i jare) na zadane obciążenia mechaniczne.

4. MATERIAŁ I METODY

4.1. Materiał eksperymentalny

Materiał eksperymentalny stanowiły próbki ziarna trzech odmian pszenicy ozimej (Gama, Liwilla, Panda) i jarej (Henika, Jara, Kadett). Odmiany ozime zostały wyhodowane w Polsce. Spośród odmian jarych Henika jest odmianą polską, Jara – czeskosłowacką, a Kadett – szwedzką. Gama, Panda, Henika i Kadett są charakteryzowane jako odmiany chlebowe, zaś Liwilla i Jara – jako ogólnoużytkowe.

Próbki ziarna pochodziły z doświadczeń polowych Akademii Rolniczej w Lublinie (RZD Felin koło Lublina). Pod pszenice te stosowane było nawożenie azotowe w ilości 50 kg/ha przy zachowaniu proporcji N:P:K = 1:0.8:1.2. Pszenice jare zbierane były w 1986 r., ozime w 1987 r. Zbiór przeprowadzano w dwóch etapach:

- koszenie i dosuszanie snopów pod wiatą,
- młócenie maszynowe.

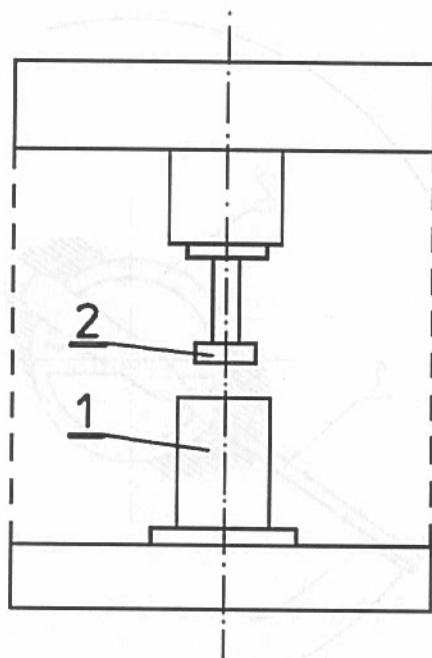
Masę tysiąca ziaren (MTZ) i zawartość białka ogólnego dla odmian badanych pszenic podano w tabeli 1.

Tabela 1. Masa tysiąca ziaren (MTZ) i zawartość białka ogólnego dla odmian badanych pszenic

Formy	Odmiany	MTZ [g]	Białko ogólne [%]
Ozime	Gama	42.3	13.1
	Liwilla	46.0	12.0
	Panda	36.7	12.3
Jare	Henika	37.8	12.8
	Jara	33.9	13.3
	Kadett	32.8	13.4

4.2. Symulowanie obciążeń statycznych i dynamicznych ziarna

Do symulowania obciążeń statycznych wykorzystano maszynę wytrzymałościową INSTRON model 1253 zgodnie z metodyką opisaną w pracy [9]. Układ pomiarowy zastosowany w tej maszynie (rys. 4) składał się z gładkiego, stalowego cylindra o pojemności 100 cm³, który wypełniano warstwą luźno nasypanego ziarna o wysokości 10 cm. W procesie obciążania płaski tłok wywierający nacisk na ziarno przesuwał się z prędkością 5 cm/min. Po osiągnięciu założonego poziomu obciążenia jednostkowego (MPa) pozycję tłoka utrzymywano jeszcze przez 1 minutę w celu zrelaksowania naprężeń wewnętrznych. W przeprowadzonych doświadczeniach masa ziarna była zgniataną w cylindrze przy obciążeniach 4 lub 8 MPa. Wybór tych dwóch poziomów obciążeń wynikał z wcześniejszych badań [9]. Okazało się bowiem, że istotne zróżnicowanie w odporności mechanicznej ziarna obu

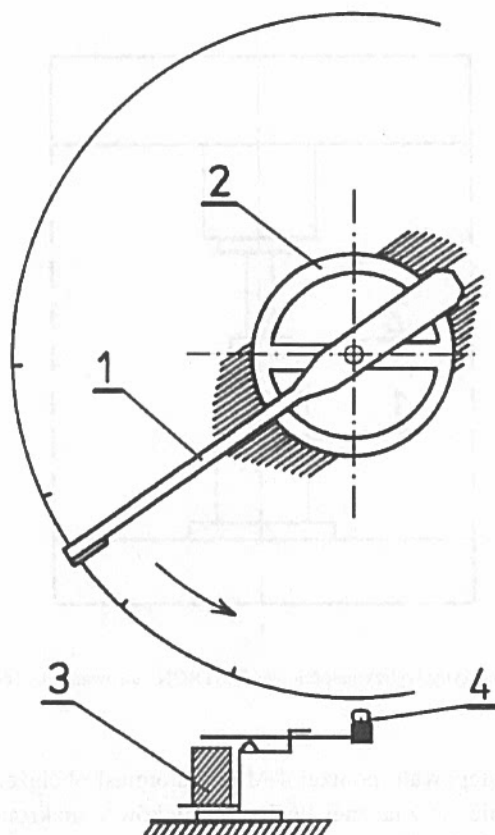


Rys. 4. Układ pomiarowy maszyny wytrzymałościowej INSTRON stosowany do obciążeń statycznych; 1 – cylinder stalowy, 2 – tłok

form pszenicy nie występowało poniżej 4 MPa, natomiast obciążenia powyżej 8 MPa powodowały pojawienie się znacznej liczby ziarniaków z makrouszkodzeniami.

Do symulowania obciążeń dynamicznych zastosowano urządzenie przedstawione schematycznie na rysunku 5. Kolejne ziarniaki wprowadzane były przy pomocy wyrzutni elektromagnetycznej w pole wirowania ramienia zakończonego płytką-bijakiem. Sposób ustawienia wyrzutni w stosunku do ramienia oraz ułożenie ziarna w wyrzutni (bruzdką w dół) zapewniały zawsze taką samą pozycję przy uderzeniu – w boczną powierzchnię ziarniaka.

Próby obciążeniowe przeprowadzono w Laboratorium Instytutu Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa Akademii Rolniczej w Krakowie. Najpierw, na podstawie wstępnych eksperymentów ustalono wielkości obciążeń. Okazało się, że przyjęcie do badań prędkości uderzenia 20 i 25 m/s było najbardziej zasadne z punktu widzenia wizualnej oceny wpływu tych prędkości na stopień uszkodzeń ziarna odmiany Jara – najbardziej podatnej na uszkodzenia spośród wszystkich badanych odmian jarych. Przy prędkości 20 m/s zaczęły pojawiać się bowiem uszkodzenia polegające na całkowitym rozbiciu ziarna, ale ich udział we wstępnych eksperymentach był jeszcze znikomy (0.25% badanych ziarniaków). Natomiast przy prędkości uderzenia 25 m/s u 22.5% wstępnie badanych ziarniaków stwierdzono makrouszkodzenia, zaś procent całkowicie rozbitych ziarniaków był jeszcze stosunkowo niski (1.75%). Zwiększenie prędkości do 30 m/s powodowało już bardzo liczne przypadki całkowitego rozbicia ziarniaków (9.25%).



Rys. 5. Układ pomiarowy do obciążeń dynamicznych; 1 – ramię wirujące, 2 – silnik z układem sterującym wyrzutnią, 3 – wyrzutnia elektromagnetyczna ziarna, 4 – ziarniak

4.3. Proponowana metoda ilościowej oceny stanu uszkodzeń ziarna

4.3.1. Zarys idei

Najprostszą klasyfikacją ziarniaków jakiej można dokonać na podstawie analizy obrazów rentgenowskich jest ich podział na ziarniaki bez uszkodzeń i z uszkodzeniami. Jeśli pierwszym zostanie przypisana wartość wskaźnika uszkodzeń 0 (zero), a drugim 1, wówczas dla każdej ilościowej próby ziarna można określić wskaźnik uszkodzeń będący średnią arytmetyczną tych wartości, czyli po prostu frakcję ziarniaków uszkodzonych. Można go również wyrazić w procentach.

Taki wskaźnik uszkodzeń dla pojedynczego ziarna, który przyjmuje tylko dwie alternatywne wartości jest zbyt prymitywną miarą uszkodzeń i dla wielu zastosowań jest niewystarczający. Ma on jednak tę zaletę, że przy ocenie stanu uszkodzeń nie wymaga żadnych rachunków, bowiem identyfikacja uszkodzeń polega jedynie na stwierdzeniu prostego faktu: braku lub istnienia uszkodzeń.

Idąc w ślad za tą ideą można podzielić obraz każdego ziarniaka na dwie części, na przykład w połowie jego długości i podobnie jak poprzednio zbadać, czy w każdej z tych części oddzielnie widoczne są, czy też nie jakiegokolwiek uszkodzenia. W zależności od tego, każdej z części można przypisać odpowiednio wartości 1 lub 0. W ten sposób każdemu ziarniakowi zostanie przypisany wskaźnik uszkodzeń I_s (sumaryczny) równy 0, 1 lub 2 odpowiednio do tego, w ilu jego częściach stwierdzono uszkodzenia. Wskaźnik I_s daje już dokładniejszą informację o stanie uszkodzenia ziarna.

Na podstawie wartości $I_s = 1$ nie można jednak rozstrzygnąć, która część ziarniaka była uszkodzona: czy ta, która obejmuje zarodek, czy też przeciwległa. Rozstrzygnięcie tego faktu może mieć znaczenie przy badaniu następstw biologicznych uszkodzeń ziarna. Niejednoznaczność opisu stanu uszkodzeń można usunąć wprowadzając dla każdej części ziarna odpowiednią wagę, na przykład 2 – dla części przyzarodkowej i 1 – dla pozostałej części ziarna. Nowo określony wskaźnik I_p (pozycyjny) może przyjmować wartości:

- 0 – gdy w żadnej części ziarna nie zostanie wykryte uszkodzenie,
- 1 – gdy uszkodzenia zostaną stwierdzone tylko w części przeciwległej zarodkowi,
- 2 – gdy uszkodzenia zostaną zlokalizowane tylko w części przyzarodkowej,
- 3 – gdy uszkodzenia zostaną zidentyfikowane w obu częściach ziarna.

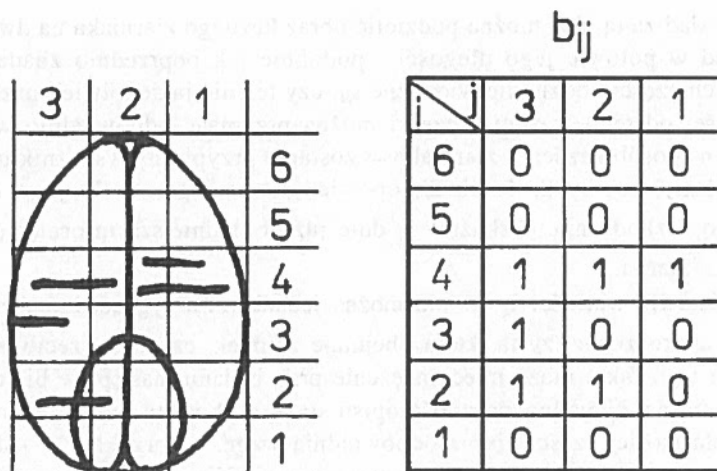
Dzieląc obraz ziarna na coraz większą liczbę części i stosując analogiczne zasady identyfikacji i oceny stanu uszkodzeń, otrzymuje się coraz dokładniejszy opis stanu uszkodzeń przy użyciu wskaźników I_s oraz I_p .

4.3.2. Sposób określania wskaźników uszkodzeń

Najogólniej, przy zachowaniu przedstawionej idei, sposób wyznaczania wskaźników uszkodzeń można opisać następująco. Etap wstępny polega na przygotowaniu obrazu rentgenograficznego ziarniaka do identyfikacji stanu uszkodzeń. W tym celu obraz ten (utworzony zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 2.3.3.), odpowiednio powiększony, z zarodkiem usytuowanym na dole, dzieli się na p równoległych pasów (prostopadłych do bruzdki), obejmujących dokładnie całą długość ziarniaka. Pasy te numeruje się kolejno od 1 do p , licząc od strony zarodka. Ponadto wprowadza się ustaloną liczbę q (lecz nie więcej niż 4) pasów pionowych (równoległych do bruzdki), obejmujących dokładnie całą szerokość ziarna. Pasy te numeruje się od 1 do q licząc od dowolnie ustalonej strony, na przykład od prawej (rys. 6).

W praktyce można posługiwać się układem optycznym złożonym z ruchomego ekranu z naniesioną siatką prostokątną o wybranej liczbie pasów poziomych i pionowych (odpowiednio ponumerowanych) oraz z rzutnika mikrofilmów. Ekran należy tak umieszczać, aby rzutowany obraz ziarniaka miał odpowiednią ostrość i mieścił się dokładnie w obramowaniu siatki.

W opisywanej metodzie jako punkt odniesienia dla numeracji pasów poziomych wybrano zarodek, gdyż jego obraz na tle bielma jest łatwy do zidentyfikowania.



Rys. 6. Obraz ziarniaka z pęknięciami pokryty prostokątną siatką (6 pasów poziomych i 3 pionowe). Obok – tablica wartości b_{ij} odpowiadających zidentyfikowanym uszkodzeniom w prostokątach

Ograniczenie liczby pasów pionowych wynika ze znacznej krzywizny obrazu ziarna na obu jego końcach. Przy większej liczbie pasów mogłyby powstać prostokąty “puste”, nie zawierające nawet części obrazu ziarniaka. Ponadto w prostokątach tylko częściowo “wypełnionych” obrazem ziarna wystąpienie uszkodzeń jest mniej prawdopodobne, niż w prostokątach całkowicie zawartych w obrazie.

Szerokość pasów poziomych może być dowolna lecz wygodniejsze jest stosowanie pasów o równych szerokościach. Przy podziale na pasy pionowe można odstąpić od zasady ich równej szerokości ze względu na zdarzającą się asymetrię obu części ziarna względem bruzdki. Przy podziale na dwa lub cztery pasy pionowe wygodnie jest uważać bruzdkę za rozgraniczenie pasów. Przy podziale na 3, a szczególnie na 4 pasy pionowe i stosunkowo gęstym podziale poziomym, stosowne jest uczynienie środkowych pasów pionowych nieco węższymi ze względu na wspomnianą krzywiznę. Dzięki temu właśnie można zapobiec powstawaniu “pustych” prostokątów.

Identyfikacja uszkodzeń połączona jest z ich wstępną oceną i polega na tym, że kolejnym prostokątom przypisuje się wartości b_{ij} równe 0, jeśli w prostokącie znajdującym się w i -tym pasie poziomym oraz j -tym pasie pionowym nie stwierdzono żadnego uszkodzenia lub wartość 1, jeśli stwierdzono w nim jakiegokolwiek uszkodzenie. Na rysunku 6 przedstawiono obraz ziarniaka z pęknięciami, pokryty siatką prostokątów powstałą w wyniku podziału na 6 pasów poziomych i 3 pionowe wraz z tablicą wartości b_{ij} odpowiadających zidentyfikowanym uszkodzeniom w poszczególnych prostokątach siatki. Wartości b_{ij} można także różnicować – w zależności od charakteru, liczby lub wielkości uszkodzeń.

Sama identyfikacja uszkodzeń, wsparta nawet ich wstępną oceną, może być niewystarczająca dla zastosowań. Tablica wartości b_{ij} stanowi dopiero podstawę do wyliczenia wskaźników uszkodzeń ziarna.

Dla opisanego sposobu identyfikacji i wstępnej oceny uszkodzeń wskaźnik uszkodzeń I można najogólniej zdefiniować jako wielkość:

$$I = \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^q b_{ij} v_j \right) w_i, \quad (1)$$

gdzie p i q oznaczają odpowiednio ilość pasów poziomych i pionowych; b_{ij} – element tablicy zero-jedynkowej, odpowiadający stanowi uszkodzeń ziarniaka w prostokącie znajdującym się w i -tym pasie poziomym oraz j -tym pasie pionowym; v_j i w_i – wagi, odpowiednio dla pasów pionowych i poziomych.

Stosując różne podziały obrazu ziarna, przyjmując odpowiednie wartości wag lub różnicując wartości b_{ij} , ze wzoru (1) można otrzymać wskaźniki o różnych własnościach i o różnych zakresach wartości – zarówno całkowite jak i rzeczywiste. Mogą to być:

– Wskaźniki sumaryczne I_s . Ich wielkość określona jest liczbą prostokątów, w których stwierdzono uszkodzenia. Wskaźniki te nie uwzględniają usytuowania uszkodzeń.

– Wskaźniki pozycyjne I_p – uwzględniające położenie uszkodzeń z dokładnością do przyjętego podziału obrazu ziarna.

– Wskaźniki mieszane (pozycyjno-sumaryczne) I_m . Uwzględniają położenie uszkodzeń z dokładnością do pewnej strefy obrazu ziarna, obejmującej określoną liczbę sąsiednich pasów lub prostokątów.

– Dowolne inne wskaźniki.

4.3.3. Wskaźniki sumaryczne

Przyjmując we wzorze (1) $v_1 = v_2 = \dots = v_q = v$, $w_1 = w_2 = \dots = w_p = w$, zaś $u = vw$, otrzymuje się wzór:

$$I_s = v w \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q b_{ij} = u \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q b_{ij}. \quad (2)$$

Jeżeli ponadto $v = w = 1$, wówczas wskaźnik sumaryczny

$$I_s = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q b_{ij} \quad (3)$$

określa po prostu liczbę wszystkich prostokątów, w których stwierdzono uszkodzenia. Przyjmuje on wartości całkowite z przedziału $\langle 0; pq \rangle$. Ziarniakowi bez uszkodzeń odpowiada wartość $I_s = 0$, zaś ziarniakowi z uszkodzeniami zidentyfikowanymi w każdym prostokącie – $I_s = pq$. Ziarniakowi z rysunku 6 odpowiada wartość $I_s = 6$, gdyż pęknięcia występują w sześciu prostokątach siatki.

Niekiedy może być celowe, aby wartości wskaźników należały do przedziału $\langle 0; 1 \rangle$. Można to osiągnąć przyjmując we wzorze (2) $u = 1/(pq)$:

$$I_{sw} = \left(\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q b_{ij} \right) / (pq). \quad (4)$$

Przy tej konwencji ziarniakowi z rysunku 6 odpowiada wartość $I_{sw} = 6/18 = 0.33$.

Stosując stosunkowo gęsty podział obrazu ziarna sensowne jest wyrażać wartości wskaźników I_{sw} w procentach. W tym celu, we wzorze (2) należy przyjąć $u = 100/(pq)$:

$$I_{sp} = \frac{100}{pq} \left(\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q b_{ij} \right). \quad (5)$$

Rezygnując z podziału na pasy pionowe, czyli przyjmując, że $q = 1$, otrzymuje się proste analogony wzorów (3, 4, 5). Można wtedy wprowadzić oznaczenia: $c_1 = b_{11}$, $c_2 = b_{21}$, ..., $c_p = b_{p1}$. Wówczas wskaźnik

$$I_s = \sum_{i=1}^p c_i \quad (3')$$

określa liczbę pasów poziomych, w których stwierdzono uszkodzenia, zaś wskaźnik

$$I_{sw} = \left(\sum_{i=1}^p c_i \right) / p \quad (4')$$

określa frakcję prostokątów z uszkodzeniami (w stosunku do liczby pasów, na które dzielono obraz ziarniaka) i wreszcie, wskaźnik

$$I_{sp} = \frac{100}{p} \sum_{i=1}^p c_i \quad (5')$$

wyrażony jest w procentach, czyli I_{sp} przyjmuje wartości z przedziału $\langle 0; 100 \rangle$.

Stosowanie wskaźników według wzorów (3', 4', 5') uzasadnione jest tym, że pęknięcia wewnętrzne bielma usytuowane są zazwyczaj prostopadle do bruzdki. Wyłącznie tego typu uszkodzenia powstają na przykład w wyniku intensywnego nawilżania ziarna. Jednakże wartości wskaźników według wzorów (3, 4, 5) uwzględniają rozległość uszkodzeń nie tylko wzdłuż dużej osi ziarna, ale również w szerz.

Szczególnym przypadkiem wskaźników zdefiniowanych wzorem (3') są wskaźniki, które rozpatrywano w rozdziale 4.3.1. Przyjmując mianowicie $p = 2$, otrzymuje się wskaźnik sumaryczny, odpowiadający podziałowi obrazu ziarna na dwie części. Rezygnując natomiast z podziału obrazu ziarna na części ($p=1$), otrzymuje się wskaźnik odpowiadający podziałowi na ziarna nieuszkodzone i uszkodzone. Zastosowanie wskaźników wynikających jedynie z podziału na pasy pionowe (czyli przyjęcie, że $p=1$ podczas, gdy $q>1$) nie ma merytorycznego uzasadnienia.

Dokładność opisu stanu uszkodzeń ziarniaków przy pomocy przedstawionych wskaźników zależy od gęstości zastosowanego podziału obrazu ziarna. Rezygnując na przykład z podziału na pasy pionowe, dla ziarniaka z rysunku 6 otrzymuje się ze wzoru (4') $I_{sw} = 3/6 = 0.5$. Wprowadzając natomiast dwukrotnie gęściejszy podział na pasy poziome ($p=12$) i utrzymując istniejący podział na pasy pionowe ($q=3$), ze wzoru (4) dostaje się $I_{sw} = 8/36 = 0.22$.

Malenie ciągu wartości wskaźników I_{sw} wraz ze wzrostem gęstości podziału obrazu ziarna jest zrozumiałe. Wprawdzie w miarę zagęszczania podziału rośnie również liczba prostokątów ze stwierdzonymi uszkodzeniami, ale jednocześnie prostokąty te w sumie stanowią coraz mniejszą część pola obrazu ziarna.

Przy pomocy opisywanej metody nie wyznacza się sensu stricte ilości uszkodzeń (w szczególności pęknięć bielma), lecz liczbę prostokątów lub pasów, w których stwierdzono ich istnienie. Jest to korzystne zważywszy, że w ziarniakach powstają niekiedy uszkodzenia w postaci przestrzennej sieci pęknięć biegnących w różnych kierunkach, a na obrazie rentgenowskim wzajemnie przecinających się. Ich zliczanie byłoby wręcz niemożliwe.

Pewne typy destrukcji ziarna powodują w bielmie wyłącznie pęknięcia prostopadłe do bruzdki, takie jak na rysunku 6. Stosując podział na dwa pasy pionowe (podział wzdłuż bruzdki), jednocześnie można tak zagęścić podział na pasy poziome, że każde z pęknięć znajdzie się w odrębnym polu. Wówczas wskaźnik wyznaczony według wzoru (3) wyraża liczbę pęknięć.

4.3.4. Inne rodzaje wskaźników uszkodzeń

Jak już wspomniano, wzór (1) stwarza możliwość definiowania różnych rodzajów wskaźników. Wskaźniki sumaryczne, zdefiniowane w poprzednim rozdziale, stanowią jedną z najprostszych grup wskaźników. Inną grupę wskaźników tworzą wskaźniki pozycyjne. Przyjmując we wzorze (1) na przykład $q=1$, $v_1=1$, $w_i=2^{p-i}$ i oznaczając $c_1 = b_{11}$, $c_2 = b_{21}$, ..., $c_p = b_{p1}$, otrzymuje się wskaźnik pozycyjny binarny:

$$I_p = \sum_{i=1}^p c_i \cdot 2^{p-i}. \quad (6)$$

Przyjęte założenia odpowiadają podziałowi obrazu ziarna na p pasów poziomych i przypisaniu kolejnym pasom, począwszy od pola zarodka, wag będących całkowitymi potęgami liczby 2, to znaczy 2^{p-1} , 2^{p-2} , ..., 1. Na przykład przy podziale na 4 pasy są to liczby: 8, 4, 2, 1. Ciąg c_i , tak jak poprzednio, jest ciągiem przyjmującym wartości 1 lub 0 w zależności od tego, czy w danym pasie wykryto lub nie jakiegokolwiek uszkodzenia.

Wskaźniki pozycyjne, w odróżnieniu od sumarycznych, określają przede wszystkim usytuowanie uszkodzeń, a ściślej – pasów, w których one wystąpiły. Przy porządkowanie stanu uszkodzeń wskaźnikom jest wzajemnie jednoznaczne. Oznacza to, że na podstawie wartości wskaźnika można również odtworzyć w sposób jednoznaczny numery pasów, w których zidentyfikowano uszkodzenia.

Szczególnym przypadkiem wskaźnika zdefiniowanego wzorem (6) jest wskaźnik pozycyjny, który rozpatrywano w rozdziale 4.3.1. Przyjmując bowiem $p = 2$, otrzymuje się wskaźnik odpowiadający podziałowi obrazu ziarna na dwie części, z wagami równymi 2 i 1.

Inny typ wskaźników, tak zwane wskaźniki pozycyjno-sumaryczne (lub mieszane) można otrzymać na wiele sposobów. Jeden z nich prowadzi do określenia wskaźnika w następujący sposób. Zakładając, że we wzorze (1) wszystkie wagi "pionowe" v_j są jedynkami (jak dla wskaźnika sumarycznego): $v_1 = v_2 = \dots = v_q = 1$, dostaje się:

$$I_m = \sum_{i=1}^p \left(\sum_{j=1}^q b_{ij} \right) w_i.$$

Oznaczając przez s_i sumę wewnętrzną, otrzymuje się:

$$I_m = \sum_{i=1}^p s_i \cdot w_i.$$

Zakres wartości s_i zależy od liczby zastosowanych pasów pionowych przy podziale obrazu ziarna; s_i wyraża bowiem dla każdego pasa poziomego liczbę prostokątów, w których zidentyfikowano uszkodzenia. Zatem s_i może przyjmować wartości 0, 1, ..., q . Chcąc zapewnić wzajemną jednoznaczność wskaźników z dokładnością do liczby prostokątów z uszkodzeniami w obrębie każdego pasa poziomego, wystarczy wybrać wagi w_i będące kolejnymi potęgami całkowitymi liczby $q + 1$, czyli zastosować do zapisu wskaźnika I_m system pozycyjny o podstawie $q + 1$. Przy podziale obrazu ziarna odpowiednio na 2, 3 lub 4 pasy pionowe wchodzi więc w grę system trójkowy, czwórkowy lub piątkowy. Ostatecznie, wzór na obliczanie wartości tak określonego wskaźnika mieszanego ma postać:

$$I_m = \sum_{i=1}^p s_i (q + 1)^{p-i}. \quad (7)$$

Wzór (7) w przypadku podziału obrazu ziarna wyłącznie na pasy poziome ($q = 1$) jest równoważny wzorowi (6), czyli określa wskaźnik pozycyjny.

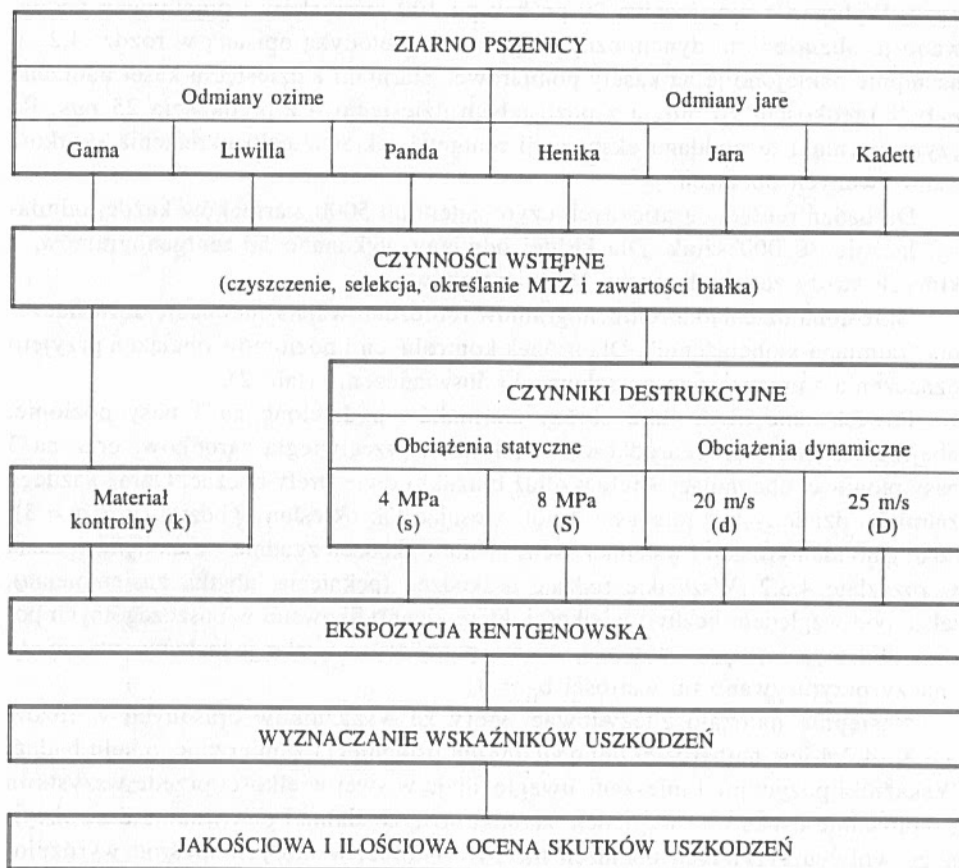
Wskaźnik pozycyjno-sumaryczny (7) opisuje dokładniej stan uszkodzeń ziarna niż wskaźnik pozycyjny (6), gdyż uwzględnia rozległość uszkodzeń wzdłuż obu osi obrazu ziarna.

Wskaźniki przedstawione w tym rozdziale opisano również w pracy [27] lecz w sposób mniej sformalizowany. Podano tam również metody odtwarzania stanu uszkodzeń na podstawie wartości wskaźników. Wskaźniki pozycyjne znalazły zastosowanie między innymi w pracach [28, 45].

4.4. Sposób przeprowadzenia badań

Eksperymenty przeprowadzono według zamieszczonego schematu (tab. 2). W fazie przygotowawczej próbki ziarna oczyszczono z zanieczyszczeń, a następnie określono MTZ i zawartość białka ogólnego. Do dalszych badań wybrano frakcje

Tabela 2. Schemat eksperymentu



ziarna o grubości od 2.9 do 3.3 mm. Wilgotność badanego materiału zawierała się w granicach 11+12%. Ziarno każdej odmiany podzielono losowo na 3 części. Jedną część oddzielono jako kontrolę, drugą przeznaczono do obciążeń statycznych, a pozostałą – do obciążeń dynamicznych.

Z próby ziarna przeznaczonej do kontroli wybrano losowo 10 próbek (trakowanych jako powtórzenia) po 100 ziarniaków. Każdą setkę ziarn naklejono na odrębną kasetę pomiarową zgodnie z metodyką opisaną w rozdz. 2.3.3. i poddano ekspozycji rentgenowskiej w celu określenia wstępnej wielkości uszkodzeń wewnętrznych.

Z ziarna przeznaczonego do obciążeń statycznych, dla obu założonych poziomów tych obciążeń (4 i 8 MPa), wykonano po 3 próby obciążeniowe zgodnie z metodyką opisaną w rozdz. 4.2. Następnie każde 3 takie próby ziarna zsypano razem i dokładnie wymieszano. Po czym z każdej połączonej próby ziarna, odpowiadającej kombinacji doświadczenia "odmiana x poziom obciążenia statycznego", wybrano losowo 10 próbek po 100 ziarniaków do badań rentgenograficznych w celu określenia stanu uszkodzeń wewnętrznych powstałych w wyniku działania tych obciążeń.

Podobnie postąpiono z próbą ziarna przeznaczonego do obciążeń dynamicznych. Wybrano z niej losowo 20 próbek po 100 ziarniaków i pojedynczo poddawano je obciążeniom dynamicznym zgodnie z metodyką opisaną w rozdz. 4.2., a następnie naklejono je na kasyty pomiarowe. Ziarniaki z dziesięciu kaset uderzane były z prędkością 20 m/s, a z pozostałych dziesięciu – z prędkością 25 m/s. Po czym ziarniaki te poddano ekspozycji rentgenowskiej w celu określenia skutków zastosowanych obciążeń.

Do badań rentgenograficznych użyto zatem po 5000 ziarniaków każdej odmiany, łącznie 30 000 sztuk. Dla każdej odmiany wykonano 50 rentgenogramów, z których każdy zawierał obrazy 100 ziarniaków.

Określona dziesiątka rentgenogramów reprezentowała kombinację doświadczenia "odmiana x obciążenie". Dla próbek kontrolnych i poziomów obciążeń przyjęto oznaczenia zamieszczone na schemacie doświadczenia (tab. 2).

Powiększone trzykrotnie obrazy ziarniaków podzielono na 3 pasy poziome, obejmujące strefę przyzarodkową, środkową i przeciwległą zarodkowi oraz na 3 pasy pionowe, obejmujące strefę wzdłuż bruzdki i dwie strefy boczne. Obraz każdego ziarniaka dzielony był zatem na 9 pól. Stosując tak określony podział ($p = q = 3$), dokonano identyfikacji i wstępnej oceny stanu uszkodzeń zgodnie z metodyką opisaną w rozdziale 4.3.2. Wszystkie rodzaje uszkodzeń (pęknięcia, ubytki, zaciemnienia), także pod względem liczby i wielkości, które zidentyfikowano w poszczególnych polach obrazu ziarna przy wstępnej ocenie potraktowano jako jednakowo ważne, to znaczy przypisywano im wartości $b_{ij} = 1$.

Następnie należało zdecydować, który ze wskaźników opisanych w rozdz. 4.3.3 i 4.3.4 jest najbardziej odpowiedni dla osiągnięcia zamierzonego celu badań. Wskaźniki pozycyjne i mieszane uwzględniają w swej wielkości przede wszystkim usytuowanie uszkodzeń względem zarodka. Dla zbadania i porównania destrukcyjnego wpływu przyjętych obciążeń nie było istotne, w których spośród wyróżnionych części ziarna pojawiały się najczęściej uszkodzenia, lecz jak wiele tych części ulegało destrukcji. Wychodząc z tych przesłanek za miarę uszkodzeń wewnętrznych ziarniaka przyjęto wskaźnik sumaryczny I_s , wyznaczony na podstawie wzoru (3), o wartościach całkowitych z przedziału $\langle 0 ; 9 \rangle$. W analizach ilościowych za miarę uszkodzeń dla próby ziarna przyjęto średnią wskaźników uszkodzeń tej próby, nazywaną dalej średnim wskaźnikiem uszkodzeń \bar{I}_s .

Analizy ilościowe, przeprowadzane na wynikach uśrednionych, zacierają szereg właściwości rozkładów wyników źródłowych. Z tego powodu uznano za celowe przeanalizowanie na wstępie pewnych charakterystycznych cech tych rozkładów. Analiza dla wszystkich dziesięciu wartości wskaźnika I_s byłaby zbyt drobiazgową. Posłużono się zatem uproszczoną, 4-stopniową kategoryzacją stanu uszkodzeń ziarna. Do kategorii 0 zaliczono ziarniaki bez uszkodzeń wewnętrznych ($I_s = 0$), do kategorii A zaliczono ziarniaki mało uszkodzone ($I_s = 1, 2, 3$), do kategorii B – ziarniaki średnio uszkodzone ($I_s = 4, 5, 6$), a do kategorii C – ziarniaki najbardziej uszkodzone ($I_s = 7, 8, 9$).

Analizy statystyczne obejmowały następujące czynniki:

- odmiany: Gama, Liwilla, Panda, Henika, Jara, Kadett,
- formy: ozime, jare,
- obciążenia: statyczne (2 poziomy: 4 MPa i 8 MPa), dynamiczne (2 poziomy: 20 m/s i 25 m/s), kontrola (bez obciążeń).

Wnioskowanie statystyczne przeprowadzono na poziomie istotności $\alpha = 0.05$. Przy porównywaniu średnich w analizach wariancji posługiwano się wielokrotnymi przedziałami ufności T Tukey'a.

W wielu pracach dotyczących badania uszkodzeń autorzy operują pojęciami podatności bądź odporności na uszkodzenia pod wpływem działania określonego czynnika destrukcyjnego ziarna. Podawane są także ściśle formuły na znajdowanie miary podatności [9]. W niniejszej pracy, w analizach ilościowych stanu uszkodzeń, jako miarę podatności próby ziarna na uszkodzenia wewnętrzne przyjęto przyrost uszkodzeń spowodowany działaniem określonego obciążenia w odniesieniu do kontroli, wyrażony wielkością $\Delta \bar{I}_s$ przyrostu średniego wskaźnika uszkodzeń:

$$\Delta \bar{I}_s = \bar{I}_s (\text{obc.}) - \bar{I}_s (\text{kontr.}),$$

gdzie \bar{I}_s (kontr.) oznacza wartość średniego wskaźnika uszkodzeń wyznaczonego dla próby kontrolnej, zaś \bar{I}_s (obc.) – wartość tegoż wskaźnika wyznaczoną dla próby ziarna po działaniu obciążenia.

Tak rozumiany przyrost uszkodzeń ze statystycznego punktu widzenia może okazać się istotnie większy od zera lub nie. Zależy to od wielkości półprzedziału ufności (NIR) dla różnicy badanych średnich. Przyjęto, że jeśli przyrost uszkodzeń okaże się istotny, to znaczy przekroczy wartość NIR, wówczas można wnioskować o istotnej podatności próby badanego ziarna. W przeciwnym przypadku można twierdzić, że ziarno to jest nieistotnie (lub mało) podatne na powstawanie uszkodzeń wewnętrznych pod wpływem zadanego obciążenia.

5. WYNIKI BADAŃ

5.1. Wstępna analiza wyników badań

Analiza statystyczna rozkładów uszkodzeń według układu kategorii {0, A, B, C} wskazuje, że rozkłady te nie są na ogół zgodne z sobą, różnią się znacznie zarówno w obrębie odmian jak i obciążeń. Można jednak dostrzec ich pewne wspólne właściwości, charakterystyczne dla form bądź typów obciążeń (tab. 3). Przedstawiono je poniżej.

Tabela 3. Częstości [%] występowania ziarniaków z kategoriami uszkodzeń 0, A, B, C wśród badanych odmian w kontroli i po założonych obciążeniach

Symbol obciążenia*	Kategorie uszkodzeń							
	0	A	B	C	0	A	B	C
	Odmiany ozime				Odmiany jare			
	Gama				Henika			
k	93.3	6.6	0.1	–	94.6	5.0	0.4	–
s	86.4	12.6	0.9	0.1	93.7	5.4	0.9	–
d	89.7	10.1	0.2	–	90.4	7.0	1.9	0.7
S	49.7	37.5	11.5	1.3	81.0	14.1	4.8	0.1
D	83.4	13.6	2.2	0.8	76.3	12.5	3.6	7.6
	Liwilla				Jara			
k	90.8	8.7	0.5	–	78.5	19.0	2.5	–
s	78.7	19.1	2.2	–	79.3	16.7	3.9	0.1
d	77.3	18.3	3.2	1.2	73.2	19.2	2.8	4.8
S	40.0	40.6	16.1	3.3	60.9	26.8	11.3	1.0
D	69.2	23.5	5.3	2.0	54.5	22.1	7.5	15.9
	Panda				Kadett			
k	89.2	10.6	0.2	–	85.4	12.8	1.7	0.1
s	87.7	11.4	0.9	–	83.9	13.6	2.4	0.1
d	87.8	11.1	1.0	0.1	83.5	11.3	2.1	3.1
S	55.3	35.0	8.8	0.9	62.2	25.0	10.3	2.1
D	78.2	16.7	3.9	1.2	64.7	15.2	9.0	11.1

* – Oznaczenia: k – kontrola, s – obciążenia statyczne 4MPa, d – obciążenia dynamiczne 20 m/s, S – obciążenia statyczne 8MPa, D – obciążenia dynamiczne 25 m/s.

Materiał kontrolny (k)

Odsetek ziaren uszkodzonych u odmian ozimych wahał się w granicach 7+11%, natomiast u odmian jarych był bardziej zróżnicowany i wynosił 5+22%. U odmian ozimych od 95 do 98.5% ziaren uszkodzonych, to ziarna mało uszkodzone (kategoria A), od 1.5 do 5%, to ziarna średnio uszkodzone (kategoria B). Ziarna mocno uszkodzone (kategoria C) nie wystąpiły. U odmian jarych natomiast ziarna mało uszkodzone stanowiły mniejszy odsetek ziaren uszkodzonych – od 88 do 93%. Więcej natomiast wystąpiło ziarniaków kategorii B. Stanowiły one od 7 do 12% ziaren uszkodzonych. Ziarna mocno uszkodzone w śladowych ilościach pojawiły się jedynie u odmiany Kadett.

Niższy poziom obciążeń statycznych i dynamicznych (s i d)

U obu form odsetek ziaren uszkodzonych był na ogół większy, niż w kontroli, lecz wyraźny jego przyrost wystąpił jedynie u odmian Liwilla i Gama – zarówno po obciążeniach statycznych jak i dynamicznych. U odmian ozimych nie stwierdzono wyraźnej dominacji skutków żadnego z obu obciążeń. U odmian jarych dominują uszkodzenia po obciążeniach dynamicznych. Objawia się to większą liczbą ziarniaków uszkodzonych po tych obciążeniach i dość znacznym udziałem ziarniaków kategorii C (do 5% u odmiany Jara).

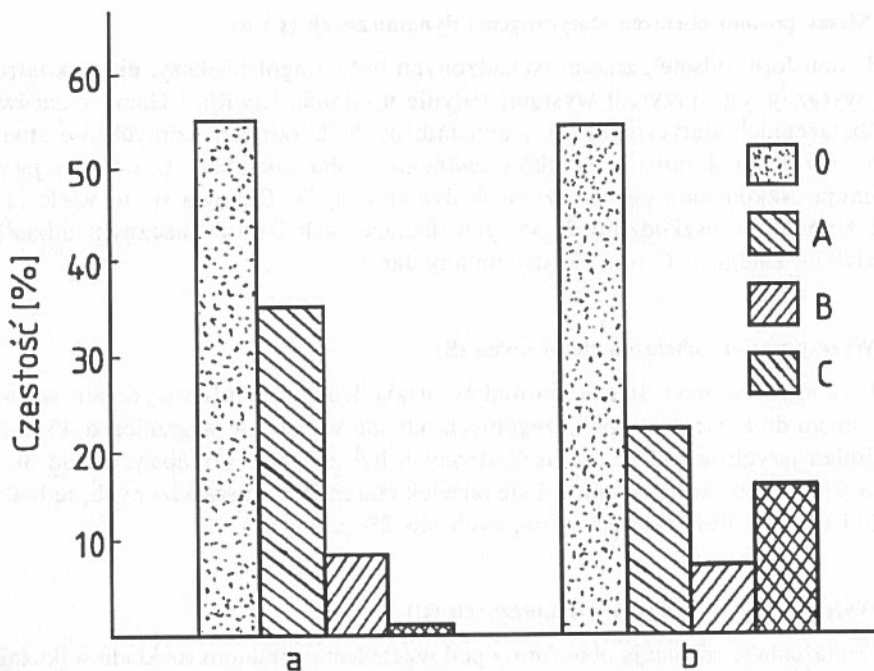
Wyższy poziom obciążeń statycznych (S)

U odmian ozimych liczba ziarniaków uszkodzonych bardzo wyraźnie wzrosła w stosunku do kontroli i u poszczególnych odmian wahała się w granicach 45+60%. U odmian jarych udział ziaren uszkodzonych był znacznie mniejszy, bo od około 20 do 40%. U obu form zaznaczył się odsetek ziaren silnie uszkodzonych, jednakże nie był on zbyt duży (do 3% u ozimych, do 2% u jarych).

Wyższy poziom obciążeń dynamicznych (D)

Obciążenia te różnicują obie formy pod względem charakteru rozkładu wskaźnika uszkodzeń, a jednocześnie skutki ich oddziaływania są odmienne, niż wcześniej opisanych obciążeń. U odmian ozimych spowodowały one wzrost liczby ziarniaków uszkodzonych znacznie mniejszy, niż po wyższym poziomie obciążeń statycznych (s) i jednocześnie wyraźnie większy, niż po niższym poziomie obciążeń (s i d). Udział ziaren uszkodzonych, w zależności od odmiany, był w granicach 15+30%. Natomiast u odmian jarych skutki wyższego poziomu obciążeń dynamicznych mierzone liczbą uszkodzonych ziarniaków są największe ze wszystkich zastosowanych obciążeń (25+45%). Wśród odmian jarych wystąpiło od 8 do 16% ziarniaków silnie uszkodzonych po działaniu wyższego poziomu obciążeń dynamicznych. Stanowiło to 30+35% ziarniaków uszkodzonych. U odmian ozimych po działaniu tych obciążeń ziarniaki kategorii C wystąpiły zaledwie w ilości od 1 do 2% ogólnej liczby ziaren, co stanowiło 5+7% ziaren uszkodzonych.

U odmian jarych oba poziomy obciążeń dynamicznych spowodowały bardzo znamienne typy rozkładów wskaźnika uszkodzeń. Typ tych rozkładów różni się zasadniczo od wszystkich innych rozkładów wskaźnika uszkodzeń dla próbek ziarna odmian ozimych, a także od rozkładów wskaźnika uszkodzeń w materiale kontrolnym i po obu poziomach obciążeń statycznych próbek ziarna odmian jarych. Na rysunku 7 przedstawiono histogramy obu typów rozkładów w oparciu o układ kategorii {0, A, B, C}. Pierwszy typ (a), znamienne dla większości próbek ziarna, charakteryzuje się regularnie malejącym ciągiem częstości. Drugi typ (b) jest znamienne dla uszkodzeń ziarna po obciążeniach dynamicznych wszystkich odmian jarych z wyjątkiem próbek ziarna odmiany Henika po niższym poziomie obciążeń dynamicznych. Rozkłady typu (b) charakteryzują się występowaniem wyraźnego minimum częstości dla kategorii B. Świadczy to o tym, że ziarno odmian Jara i Kadett bardzo łatwo ulega znacznej destrukcji pod wpływem obciążeń dynamicznych.



Rys. 7. Histogramy typowych rozkładów uszkodzeń ziarna według układu kategorii {0, A, B, C}; a – Panda, po obciążeniach statycznych 8 MPa; b – Jara, po obciążeniach dynamicznych 25 m/s.

Tabela 4. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla poszczególnych kombinacji doświadczenia z ziarnem pszenicy ozimej, obliczone na podstawie 1000 obserwacji

Symbol obciążenia*	Charakterystyki statystyczne				
	Zakres wartości Is	Mediana	Średnia	Wariancja	Odchylenie standardowe
Gama					
k	0 - 4	0	0.11	0.21	0.46
s	0 - 8	0	0.25	0.56	0.75
d	0 - 4	0	0.18	0.34	0.58
S	0 - 9	1	1.33	3.04	1.74
D	0 - 9	0	0.42	1.40	1.18
Liwilla					
k	0 - 5	0	0.16	0.33	0.58
s	0 - 5	0	0.44	0.94	0.97
d	0 - 9	0	0.61	2.02	1.42
S	0 - 9	1	1.84	4.36	2.09
D	0 - 9	0	0.96	3.18	1.78
Panda					
k	0 - 4	0	0.18	0.33	0.57
s	0 - 5	0	0.24	0.54	0.74
d	0 - 9	0	0.27	0.70	0.84
S	0 - 8	0	1.14	2.54	1.59
D	0 - 9	0	0.61	2.10	1.45

* - Oznaczenia - jak w tabeli 3.

Tabela 5. Podstawowe charakterystyki statystyczne dla poszczególnych kombinacji doświadczenia z ziarnem pszenicy jarej, obliczone na podstawie 1000 obserwacji

Symbol obciążenia*	Charakterystyki statystyczne				
	Zakres wartości I_s	Mediana	Średnia	Wariancja	Odchylenie standardowe
Henika					
k	0 - 4	0	0.11	0.25	0.50
s	0 - 5	0	0.15	0.40	0.63
d	0 - 9	0	0.30	1.22	1.11
S	0 - 7	0	1.53	1.50	1.23
D	0 - 9	0	1.11	6.24	2.50
Jara					
k	0 - 6	0	0.49	1.16	1.08
s	0 - 9	0	0.52	1.35	1.16
d	0 - 9	0	0.95	4.51	2.12
S	0 - 9	0	1.12	3.02	1.74
D	0 - 9	0	2.23	10.52	3.24
Kadett					
k	0 - 7	0	0.33	0.85	0.92
s	0 - 7	0	0.43	1.15	1.07
d	0 - 9	0	0.62	3.13	1.77
S	0 - 9	0	1.17	3.54	1.88
D	0 - 9	0	1.76	8.75	2.96

* - Oznaczenia - jak w tabeli 3.

Stan uszkodzeń ziarniaków wyrażony przy pomocy wskaźnika I_s jest zmienną losową skokową o wartościach całkowitych 0, 1, 2, ..., 9. Jej rozkład gęstości nie jest zgodny wbrew pozorom z rozkładem dwumianowym, gdyż prawdopodobieństwa występowania uszkodzeń w poszczególnych częściach obrazu ziarna nie są jednakowe. Tym bardziej nie jest on zgodny z rozkładem normalnym, gdyż jest zdecydowanie asymetryczny. We wszystkich kombinacjach doświadczenia wartość modalna jest zerem, zaś mediana jest równa 0 lub co najwyżej 1.

W tabelach 4 i 5 zamieszczono podstawowe charakterystyki statystyczne dla wszystkich kombinacji doświadczenia. Widoczne jest znaczne zróżnicowanie wartości średnich. Większym wartościom średnich towarzyszy większy rozrzut wyników, wyrażony wariancją i odchyleniem standardowym.

Ze względu na dyskretny charakter rozkładów, ich niezgodność z rozkładem normalnym i znaczne różnice wielkości wariancji, bezpośrednie stosowanie analizy wariancji w odniesieniu do wskaźników uszkodzeń byłoby niepoprawne. Z tych powodów dla każdego powtórzenia (100 obserwacji) obliczono średnie wskaźniki uszkodzeń. Uzyskano w ten sposób dla każdej kombinacji doświadczenia po 10 wartości średnich. Zabieg ten spowodował to, że otrzymane wartości miały charakter cechy ciągłej, a ich rozkłady były zbliżone do rozkładu normalnego. Jednakże wariancje średniego wskaźnika \bar{I}_s dla poszczególnych kombinacji doświadczenia, mimo pewnej poprawy, pozostały nadal w znacznej dysproporcji.

Zaproponowane w pracy [30] transformacje wyników również nie dały spodziewanego efektu wyrównania wariancji.

W związku z tym wyniki doświadczenia podzielono na dwie grupy, z których każda charakteryzowała się zbliżonymi wartościami wariancji. Do pierwszej grupy, o mniejszych wartościach wariancji, zaliczono wyniki z kontroli (k) oraz skutki niższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych (s i d) – ze wszystkich odmian. Do drugiej grupy wyników, o większych wartościach wariancji, zaliczono skutki wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych (S i D) – ze wszystkich odmian. Stan uszkodzeń ziarna obu grup wyników porównano w odrębnych analizach wariancji. Porównań pomiędzy skutkami s i S oraz d i D dokonano przy pomocy wariantu testu t-Studenta dostosowanego do porównań par średnich, gdy nie można zakładać równości wariancji.

5.2. Wpływ niższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych

Dla zbadania wpływu niższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych na stan uszkodzeń wewnętrznych ziarna poszczególnych odmian i form wykonano dwuczynnikowe analizy wariancji. Jednym czynnikiem były odmiany (Gama, Liwilla, Panda, Henika, Jara, Kadett) bądź formy (ozime, jare), a drugim – obciążenia (k, s, d).

Tabela 6 zawiera wyniki przeprowadzonej analizy wariancji dla odmian, a tabela 7 – dla form. Odpowiednie średnie znajdują się w tabelach 4, 5 i 8. W tabeli 8 podano również 95% półprzedziały ufności T_p Tukey'a (najmniejsze istotne różnice) dla porównań grup odpowiednich średnich.

Z tabeli 6 wynika, że stan uszkodzeń wewnętrznych ziarna, wyrażony przy pomocy średniego wskaźnika \bar{I}_s , jest istotnie zróżnicowany (na poziomie istotności α mniejszym niż 0.001) zarówno pomiędzy odmianami jak i typami obciążeń. Wśród odmian wystąpiło większe zróżnicowanie średnich (od 0.18 do 0.65) niż pomiędzy obciążeniami (od 0.23 do 0.49).

Badane odmiany pod względem wielkości średniego wskaźnika uszkodzeń tworzą 3 grupy homogeniczne. Do pierwszej z nich, o najniższych średnich, należy Gama (0.18), Henika (0.19) i Panda (0.23). Grupa ta charakteryzuje się średnimi

Tabela 6. Analiza wariancji stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarna sześciu badanych odmian pszenicy pod wpływem obciążeń statycznych i dynamicznych na niższym poziomie

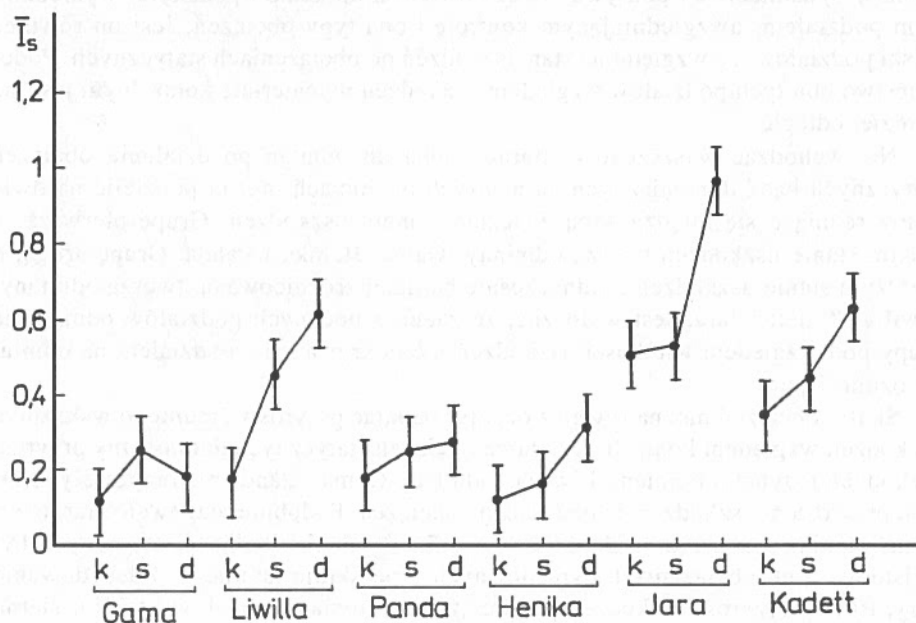
Źródła zmienności	Stopnie swobody ν	Sumy kwadratów odchyl. nS^2	Średnie kwadraty $V=nS^2/\nu$	$F_0=V/V_e$	$P(F>F_0)$	Istotność
Odmiany (A)	5	5.2581	1.0516	84.36	0.0000	***
Obciążenia (B)	2	1.9740	0.9870	79.17	0.0000	***
Interakcja (AB)	10	1.1196	0.1120	8.98	0.0000	***
Błąd	162	2.0196	0.0125			
Całość	179	10.3713				

stanami uszkodzeń poniżej średniej ogólnej (0.35). Do drugiej grupy, o wyższych średnich, należy Liwilla (0.40) i Kadett (0.46). Trzecią grupę stanowi Jara – o zdecydowanie najwyższym średnim wskaźniku uszkodzeń (0.65).

Wielkość półprzedziału ufności $L_p = 0.03$ dla średniej $\bar{I}_s = 0.23$ w materiale kontrolnym wskazuje na to, że średni stan uszkodzeń ziarna kontrolnego jest istotnie wyższy od zera. Nie można go zatem zaniedbywać przy ocenie materiału ziarnowego. Na stan uszkodzeń materiału kontrolnego składają się pęknięcia wewnętrzne bielma, które powstały w polu, przed zbiorem, wskutek działania czynników atmosferycznych oraz uszkodzenia, które powstały przy omłocie.

Średnie wskaźniki uszkodzeń dla kontroli (0.23), dla próbek ziarna po obciążeniach statycznych (0.34) i dynamicznych (0.49) różnią się wszystkie między sobą istotnie. Świadczy to o istotnym przyroście uszkodzeń ziarna w wyniku działania tych obciążeń w odniesieniu do kontroli. Generalnie, obciążenia dynamiczne spowodowały istotnie wyższy poziom uszkodzeń, niż statyczne. Ziarno po obciążeniach statycznych (0.34) ma stan uszkodzeń zbliżony do średniej ogólnej (0.35).

Z tabeli 6 analizy wariancji wynika, że istotne zróżnicowanie wartości średnich wystąpiło również pomiędzy kombinacjami odmian i rozpatrywanych obciążeń ($\alpha < 0.001$). Świadczy to o istnieniu interakcji, czyli odmiennej reakcji poszczególnych odmian na te obciążenia (rys. 8). Ziarno kontrolne wszystkich odmian ozimych oraz odmiana Henika charakteryzowało się bardzo niskim stanem uszko-



Rys. 8. Średnie \bar{I}_s i 95% przedziały ufności Tukey'a dla kombinacji odmian i obciążeń na niższym poziomie; k – kontrola, s – obciążenia statyczne 4 MPa, d – obciążenia dynamiczne 20 m/s

dzeń. Ich średnie wskaźniki uszkodzeń nie przekraczały wartości 0.20. Znacznie bardziej uszkodzone było ziarno kontrolne odmiany Kadett (0.33), a najbardziej – odmiany Jara (0.49). Jednakże wszystkie te średnie są istotnie wyższe od zera, o czym świadczy wielkość ich półprzedziału ufności: $L_p = 0.07$.

Można również dokonać odrębnych podziałów badanych odmian na grupy homogeniczne – ze względu na stan uszkodzeń ziarna po obciążeniach statycznych i ze względu na stan uszkodzeń po obciążeniach dynamicznych. W przypadku obciążeń statycznych odmiany tworzą dwie grupy różniące się między sobą istotnie stanem uszkodzeń. Średnie wskaźniki uszkodzeń ziarna odmian Henika (0.15), Panda (0.24) i Gama (0.25) nie różnią się między sobą istotnie i są stosunkowo niskie. Ich wartości plasują się poniżej średniej ogólnej (0.35) i średniej dla ziarna wszystkich odmian po obciążeniach statycznych (0.34). Drugą grupę, o wyższych wartościach

\bar{I}_s tworzą odmiany: Kadett (0.43), Liwilla (0.44) i Jara (0.52).

W przypadku obciążeń dynamicznych można wyróżnić 3 grupy homogeniczne. Pierwsza grupa, o najniższych średnich wskaźnikach uszkodzeń, obejmuje odmiany Gama (0.18), Panda (0.27) i Henika (0.30). Średnie tych odmian również plasują się poniżej średniej ogólnej i średniej dla ziarna wszystkich odmian po obciążeniach dynamicznych (0.49). Druga grupa, o wyższych średnich, obejmuje odmiany: Liwilla (0.61) i Kadett (0.62). Natomiast trzecią grupę tworzy odmiana Jara – o najwyższym średnim wskaźniku uszkodzeń (0.95).

Podział odmian na grupy homogeniczne ze względu na stan uszkodzeń po obciążeniach dynamicznych pokrywa się całkowicie z uprzednio podanym, wyśrednionym podziałem, uwzględniającym kontrolę i oba typy obciążeń. Jest on również bliski podziałowi ze względu na stan uszkodzeń po obciążeniach statycznych. Podobieństwo obu tych podziałów względem uszkodzeń w materiale kontrolnym jest już bardziej odległe.

Nie wchodząc w szczegóły, ziarno badanych odmian po działaniu obciążeń statycznych bądź dynamicznych na niższych poziomach można podzielić na dwie grupy różniące się między sobą znacznie stanem uszkodzeń. Grupę pierwszą, o niskim stanie uszkodzeń tworzą odmiany: Gama, Henika i Panda. Grupę drugą, o wyższym stanie uszkodzeń i jednocześnie bardziej zróżnicowaną, tworzą odmiany: Liwilla, Kadett i Jara. Jest widoczne, że żaden z podanych podziałów odmian na grupy pod względem wielkości uszkodzeń nie pokrywa się z podziałem na odmiany ozime i jare.

Skutki obciążeń można również oceniać badając przyrosty średniego wskaźnika uszkodzeń względem kontroli. Działanie obciążeń statycznych dało istotny przyrost uszkodzeń jedynie u odmiany Liwilla. Odmiany Gama i Panda nie reagowały istotnym przyrostem uszkodzeń na oba rodzaje obciążeń. Podobnie reagowało ziarno odmiany Henika – przyrost uszkodzeń w wyniku działania obciążeń statycznych był nieistotny, a po obciążeniach dynamicznych – na skraju istotnego. Zdecydowanie duży, istotny przyrost uszkodzeń po obciążeniach dynamicznych wystąpił u ziarna odmian Liwilla, Jara i Kadett.

Skutki obciążeń dynamicznych w postaci uszkodzeń dominują nad skutkami obciążeń statycznych u wszystkich odmian z wyjątkiem odmiany Gama. Jednakże istotnie wyższy stan uszkodzeń po obciążeniach dynamicznych w porównaniu ze

statycznymi wystąpił jedynie u odmian Jara (bardzo wyraźna dysproporcja) i Kadett (na skraju istotności).

Występują zatem wyraźne różnice międzyodmianowe w reakcji ziarna na obciążenia statyczne i dynamiczne niższego poziomu. Podział odmian ze względu na tę reakcję nie pokrywa się z podziałem na formy ozime i jare. Sensowne wydaje się przypuszczenie, że przyrost uszkodzeń w wyniku działania obciążeń jest zależny od wielkości wstępnego poziomu uszkodzeń, jakim charakteryzował się materiał kontrolny. Domniemaniu temu całkowicie przeczą wyniki odmiany Liwilla, a częściowo – odmian Jara i Kadett. Odmianę Liwilla, pomimo niskiego stanu uszkodzeń w materiale kontrolnym, cechują znaczne przyrosty uszkodzeń zarówno po obciążeniach statycznych jak i dynamicznych. Odmiany Jara i Kadett, chociaż miały znacznie wyższy poziom uszkodzeń wstępnych niż Liwilla, to jednak po obciążeniach statycznych ich poziom uszkodzeń był tylko nieznacznie wyższy, niż dla kontroli. Prawdopodobnie zagadnienie to należałoby badać w obrębie każdej odmiany oddzielnie, gdyż reakcja odmianowa (genetyczna) może być bardziej dominująca, niż sugerowana zależność.

W związku z silnym zróżnicowaniem międzyodmianowym, można podzielić odmiany na bardziej lub mniej podatne na uszkodzenia pod wpływem badanych czynników destrukcyjnych. W tabeli 9 zestawiono w kolejności rosnącej średnie przyrosty wskaźnika uszkodzeń dla próbek ziarna poszczególnych odmian w wyniku działania obu typów obciążeń. W sensie podatności określonej w rozdziale 4.4, Liwilla jest jedyną odmianą istotnie podatną na uszkodzenia pod wpływem niższego poziomu obciążeń statycznych i jednocześnie jest jedyną odmianą istotnie podatną ze względu na oba typy destrukcji. Wśród odmian istotnie podatnych na uszkodzenia pod wpływem małych obciążeń dynamicznych, oprócz odmiany Liwilla, znalazły się wszystkie odmiany jare. Z tabeli 9 wynika, że ranking odmian względem tak rozumianej podatności na uszkodzenia pod wpływem obu typów obciążeń nie jest zgodny.

Pomimo znacznego zróżnicowania międzyodmianowego można przedstawić również szereg wniosków dotyczących reakcji obu form na omawiane obciążenia. W tabeli 7 analizy wariancji dla form i obciążeń zwraca uwagę duża wartość sumy kwadratów dla błędu ($nS_e^2 = 6.89$) w stosunku do całkowitej zmienności ($nS_y^2 = 10.37$). W tabeli 6 analizy wariancji dla odmian i obciążeń stosunek tych wielkości jest znacznie korzystniejszy – suma kwadratów dla błędu $nS_e^2 = 2.02$. Przyczyną tego faktu jest to, że część zmienności międzyodmianowej (i to znaczna), która nie pokrywa się z podziałem na formy, w analizie wariancji dla form i obciążeń została przypisana błędowi eksperymentalnemu. W związku z tym trudniej jest wykazać istotność różnic pomiędzy

Tabela 7. Analiza wariancji stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarna obu form pszenicy pod wpływem obciążeń statycznych i dynamicznych na niższym poziomie

Źródła zmienności	Stopnie swobody v	Sumy kwadratów odchyl. nS^2	Średnie kwadraty $V = nS^2/v$	$F_o = V/V_e$	$P(F > F_o)$	Istotność
Formy (A)	1	1.1552	1.1552	29.18	0.0000	***
Obciążenia (B)	2	1.9740	0.9870	24.93	0.0000	***
Interakcja (AB)	2	0.3532	0.1766	4.46	0.0129	***
Błąd	174	6.8889	0.0396			
Całość	179	10.3713				

Tabela 8. Średnie wskaźniki uszkodzeń \bar{I}_s oraz półprzedziały ufności T_p Tukey'a dla oceny skutków obciążeń statycznych i dynamicznych na niższym poziomie w obrębie odmian i formA. Średnie \bar{I}_s dla odmian i form

Odmiany	Ozime				Jare				Średnia ogólna
	Gama	Liwilla	Panda	Średnia	Henika	Jara	Kadett	Średnia	
\bar{I}_s	0.18	0.40	0.23	0.27	0.19	0.65	0.46	0.43	0.35

B. Średnie \bar{I}_s dla kombinacji form i obciążeń

Formy	Obciążenia			Średnie dla form
	k	s	d	
Ozime	0.15	0.31	0.35	0.27
Jare	0.31	0.36	0.62	0.43
Średnie dla obciążeń	0.23	0.34	0.49	0.35

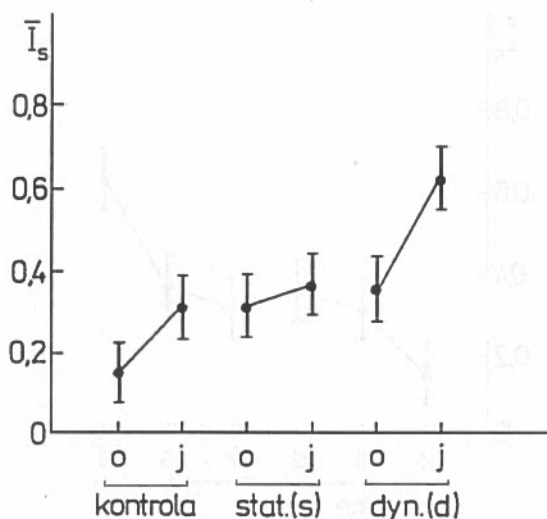
C. Półprzedziały ufności T_p Tukey'a

Dla porównań w obrębie			
Odmian	T_p	Form	T_p
Między odmianami	0.08	Między formami	0.06
Między obciążeniami	0.05	Między obciążeniami	0.09
Dla kombinacji odmiany x obciążenia	0.17	Dla kombinacji formy x obciążenia	0.15

badanymi średnimi. Pomimo tego, omawiana analiza wariancji wskazuje na wysoce istotne zróżnicowanie średnich zarówno w obrębie form jak i obciążeń (poziom istotności $\alpha < 0.001$), a także na istnienie interakcji tych czynników ($\alpha < 0.02$).

Analiza przy pomocy przedziałów ufności potwierdza fakt, że średni stan uszkodzeń ziarna odmian jarych (0.43) w porównaniu z ozimymi (0.27) jest istotnie wyższy. W poszczególnych kombinacjach obciążeń i form (rys. 9) odmiany jare rzeczywiście przewyższają stanem uszkodzeń ozime ale istotną, bardzo wyraźną różnicę można stwierdzić jedynie u ziarna po obciążeniach dynamicznych (0.35 – ozime, 0.62 – jare). Ziarno kontrolne również istotnie różni się pod względem uszkodzeń u obu form, ale różnica ta jest na skraju istotności (0.15 – ozime, 0.31 – jare). Natomiast ziarno obu form po obciążeniach statycznych (s) nie wykazuje istotnego zróżnicowania pod względem uszkodzeń (0.31 – ozime, 0.36 – jare).

Odmiany ozime charakteryzują się generalnie istotnym przyrostem uszkodzeń w odniesieniu do kontroli – zarówno po obciążeniach statycznych (s) jak i dynamicznych (d) z tym, że przyrost uszkodzeń po obciążeniach statycznych zaledwie przekracza próg istotności (tab. 9). Stan uszkodzeń po obciążeniach dynamicznych u ozimych jest niewiele wyższy, niż po obciążeniach statycznych (rys. 10).



Rys. 9. Średnie \bar{I}_s i 95% przedziały ufności Tukey'a dla kombinacji niższego poziomu obciążeń i form; o – ozime, j – jare

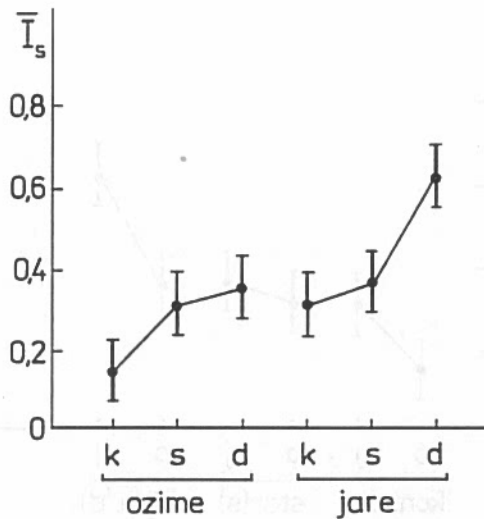
Tabela 9. Średnie przyrosty $\Delta \bar{I}_s$ wskaźnika uszkodzeń u sześciu badanych odmian pszenicy i u obu form w wyniku działania niższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych

		Obciążenia				
		Statyczne (s)		Dynamiczne (d)		
Odmiany		$\Delta \bar{I}_s$		Odmiany	$\Delta \bar{I}_s$	
1.	Jara	0.03		1.	Gama	0.07
2.	Henika	0.04		2.	Panda	0.09
3.	Panda	0.06		3.	Henika	0.19*
4.	Kadett	0.10		4.	Kadett	0.29*
5.	Gama	0.14		5.	Liwilla	0.45*
6.	Liwilla	0.28*		6.	Jara	0.46*
Formy		$\Delta \bar{I}_s$		Formy	$\Delta \bar{I}_s$	
1.	Jare	0.05		1.	Ozime	0.20*
2.	Ozime	0.16*		2.	Jare	0.31*

* – Przyrosty istotnie większe od zera

Reakcja na obciążenia odmian jarych jest nieco odmienna. Przyrost uszkodzeń w wyniku działania obciążeń statycznych (s) jest nieistotny, zaś w wyniku działania obciążeń dynamicznych (d) jest istotny i bardzo znaczący. Stan uszkodzeń ziarna po obciążeniach dynamicznych u jarych jest istotnie wyższy, niż po obciążeniach statycznych.

Obciążenia dynamiczne ziarna (d) w obrębie obu form pszenicy powodują na ogół większy przyrost uszkodzeń niż obciążenia statyczne (s). Jak wykazała poprzednia analiza, przyrosty te u niektórych odmian są nawet istotne, aczkolwiek w skali bezwzględnej – niewielkie.



Rys. 10. Średnie \bar{I}_s i 95% przedziały ufności Tukey'a dla kombinacji form i niższego poziomu obciążeń; oznaczenia – jak na rys. 8

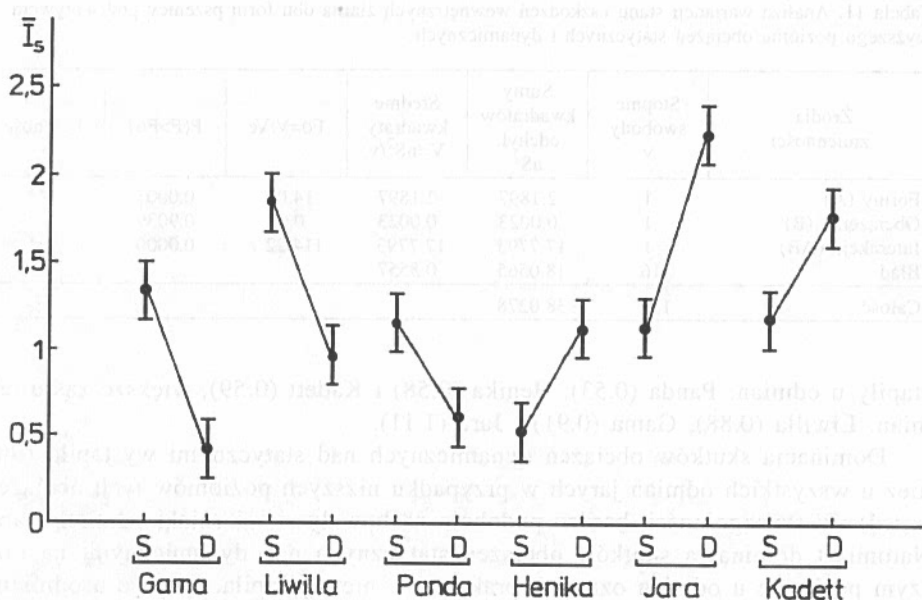
Przyrosty uszkodzeń w przypadku form można również analizować w kategoriach podatności ziarna na uszkodzenia pod wpływem omawianych obciążeń. I tak na przykład okazuje się, że małą, nieistotną podatnością charakteryzuje się jedynie ziarno formy jarej i to tylko w reakcji na niższy poziom obciążeń statycznych (tab. 9).

5.3. Wpływ wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych

Dla zbadania wpływu wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych na stan uszkodzeń wewnętrznych ziarna poszczególnych odmian i form wykonano również dwie analizy dwuczynnikowe. Podobnie jak poprzednio, jednym czynnikiem były odmiany (bądź formy), a drugim – obciążenia (S, D). Tabela 10 zawiera wyniki przeprowadzonej analizy wariancji dla odmian, a tabela 11 – dla form. Odpowiednie średnie znajdują się w tabelach 4, 5 i 12. W tabeli 12 podano również 95% półprzedziały ufności T_p Tukey'a dla porównań grup odpowiednich średnich.

Tabela 10. Analiza wariancji stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarna sześciu badanych odmian pszenicy pod wpływem wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych

Źródła zmienności	Stopnie swobody v	Sumy kwadratów odchył. nS^2	Średnie kwadraty $V=nS^2/v$	$F_0=V/V_e$	$P(F>F_0)$	Istotność
Odmiany (A)	5	13.7496	2.7499	58.02	0.0000	***
Obciążenia (B)	1	0.0023	0.0023	0.05	0.8269	
Interakcja (AB)	5	19.1571	3.8314	80.84	0.0000	***
Błąd	108	5.1188	0.0474			
Całość	119	38.0278				



Rys. 11. Średnie \bar{I}_s i 95% przedziały ufności Tukey'ego dla kombinacji odmian na wyższym poziomie obciążenia; S – obciążenia statyczne 8 MPa, D – obciążenia dynamiczne 25 m/s

Z analizy wariancji (tab. 10) wynika, że średnie wartości wskaźnika uszkodzeń \bar{I}_s są istotnie zróżnicowane (na poziomie istotności $\alpha < 0.001$) pomiędzy odmianami, natomiast nie można stwierdzić istotnego zróżnicowania średnich pomiędzy sposobami destrukcji ziarna. Rzeczywiście, występuje duże zróżnicowanie średnich dla odmian (od 0.82 do 1.67) w porównaniu ze średnimi dla obciążeń (1.18 dla D i 1.19 dla S).

Podobnie jak poprzednio, można podzielić badane odmiany na 3 homogeniczne grupy, istotnie różnie reagujące na wyższy poziom obciążeń statycznych i dynamicznych. Do pierwszej grupy, o najniższych średnich, należą odmiany: Henika (0.82), Gama (0.87) i Panda (0.88). Drugą grupę, o wyższych średnich, stanowią odmiany: Liwilla (1.40) i Kadett (1.47). Trzecią grupę formalnie tworzą Kadett i Jara (1.67), gdyż różnica ich średnich jest równa, lecz nie przekracza wartości $T_p = 0.20$. Średnie wskaźniki uszkodzeń pierwszej grupy odmian plasują się poniżej średniej ogólnej (1.18), a pozostałych grup – powyżej. Podział ten pokrywa się w zasadzie z podziałem tychże odmian w reakcji na małe obciążenia statyczne i dynamiczne.

Z tabeli 10 analizy wariancji wynika, że istnieje bardzo silna interakcja pomiędzy odmianami i typami obciążeń (poziom istotności wyższy niż 0.001).

Reakcję odmian na omawiane obciążenia przedstawia rys. 11. Wszystkie odmiany ozime charakteryzują się istotnie wyższym średnim stanem uszkodzeń po obciążeniach statycznych, niż po obciążeniach dynamicznych. Wśród odmian jarych sytuacja jest dokładnie odwrócona. Mniejsze różnice wartości średnich wy-

Tabela 11. Analiza wariancji stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarna obu form pszenicy pod wpływem wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych

Źródła zmienności	Stopnie swobody v	Sumy kwadratów odchyl. nS^2	Średnie kwadraty $V=nS^2/v$	Fo=V/Ve	P(F>Fo)	Istotność
Formy (A)	1	2.1897	2.1897	14.07	0.0003	***
Obciążenia (B)	1	0.0023	0.0023	0.02	0.9039	
Interakcja (AB)	1	17.7793	17.7793	114.22	0.0000	***
Błąd	116	18.0565	0.5557			
Całość	119	38.0278				

stały u odmian: Panda (0.53), Henika (0.58) i Kadett (0.59), większe zaś u odmian: Liwilla (0.88), Gama (0.91) i Jara (1.11).

Dominacja skutków obciążeń dynamicznych nad statycznymi wystąpiła również u wszystkich odmian jarych w przypadku niższych poziomów tych obciążeń (s i d). W szczególności, bardzo podobnie zachowały się ziarniaki odmiany Jara. Natomiast dominacja skutków obciążeń statycznych nad dynamicznymi na niższym poziomie u odmian ozimych praktycznie nie wystąpiła. Jedynie u odmiany Gama zaznaczyła się nieistotną zwykłą uszkodzeń ziarna.

Tabela 12. Średnie wskaźniki uszkodzeń \bar{I}_s oraz półprzedziały ufności T_p Tukey'a dla oceny skutków wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych w obrębie odmian i formA. Średnie \bar{I}_s dla odmian i form

Odmiany	Ozime				Jare				Średnia ogólna
	Gama	Liwilla	Panda	Średnia	Henika	Jara	Kadett	Średnia	
\bar{I}_s	0.87	1.40	0.88	1.05	0.82	1.67	1.47	1.32	1.18

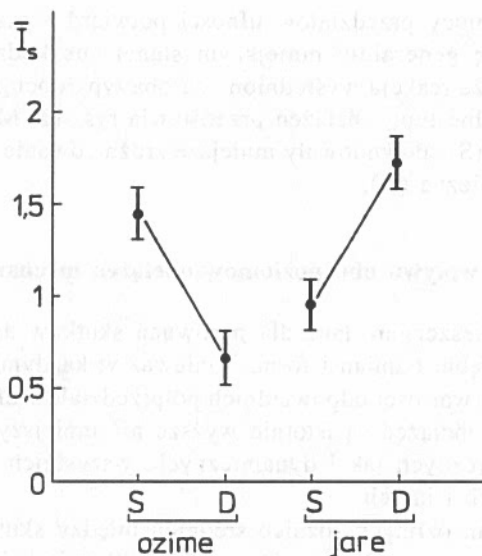
B. Średnie \bar{I}_s dla kombinacji form i obciążeń

Formy	Obciążenia		Średnie dla form
	S	D	
Ozime	1.44	0.66	1.05
Jare	0.94	1.70	1.32
Średnie dla obciążeń	1.19	1.18	1.18

C. Półprzedziały ufności T_p Tukey'a

Dla porównań w obrębie

Odmian	T_p	Form	T_p
Między odmianami	0.20	Między formami	0.14
Między obciążeniami	0.08	Między obciążeniami	0.14
Dla kombinacji odmiany x obciążenia	0.33	Dla kombinacji formy x obciążenia	0.26



Rys. 12. Średnie \bar{I}_s i 95% przedziały ufności Tukey'a dla kombinacji form i obciążeń na wyższym poziomie; oznaczenia – jak na rys. 11

Podział badanych odmian na grupy homogeniczne ze względu na stan uszkodzeń ziarna po obciążeniach statycznych na wyższym poziomie przedstawia się następująco. Pierwszą grupę stanowi odmiana Henika – o najmniejszym średnim wskaźniku uszkodzeń (0.53). Drugą grupę, o wyższych średnich tworzą odmiany Jara (1.12), Panda (1.14), Kadett (1.17) i Gama (1.33). Trzecią grupę, o najwyższej średniej (1.84) tworzy Liwilla. Średnia pierwszej grupy jest niższa od średniej ogólnej (1.18), średnie drugiej grupy mają wartości bliskie średniej ogólnej, zaś średnia trzeciej grupy znacznie ją przekracza.

Analogiczny podział w odniesieniu do obciążeń dynamicznych na wyższym poziomie kreuje aż cztery grupy. Pierwszą grupę stanowią odmiany: Gama (0.42) i Panda (0.61), drugą – Liwilla (0.96) i Henika (1.11), trzecią tworzy Kadett (1.76) a czwartą – Jara (2.23). Średnia ogólna (1.18) rozdziela dwie pierwsze grupy od dwóch ostatnich. Widoczne jest również to, że średnie o trzech najwyższych wartościach odpowiadają odmianom jarym, zaś o trzech najniższych – odmianom ozimym.

Fakt nieoczekiwanej, odmiennej reakcji odmian ozimych i jarych na obciążenia statyczne (S) i dynamiczne (D) potwierdza analiza wariancji w układzie "formy x obciążenia". Jak wynika z porównania odpowiednich sum kwadratów odchyień w tabelach 10 i 11, w przypadku wyższych poziomów obciążeń również znaczna część zmienności międzyodmianowej, która nie była zgodna z podziałem na formy, została przypisana błędowi eksperymentalnemu. Pomimo tego, analiza wariancji wskazuje na istotne zróżnicowanie średnich pomiędzy formami oraz na wystąpienie interakcji między formami i obciążeniami na poziomie istotności $\alpha < 0.001$. Interakcja oznacza tu odmienną reakcję obu form na zadane obciążenia.

Analiza przy pomocy przedziałów ufności potwierdza fakt, że formy ozime charakteryzowały się generalnie mniejszym stanem uszkodzeń (1.05) niż jare (1.32). Jest to jednakże reakcja wyśredniona na oba typy obciążeń. Reakcję każdej z form na poszczególne typy obciążeń przedstawia rys. 12. Można zauważyć, że obciążenia statyczne (S) spowodowały mniejsze zróżnicowanie średnich w obrębie obu form, niż dynamiczne (D).

5.4. Porównanie wpływu obu poziomów obciążeń mechanicznych ziarna

W tabeli 13 zamieszczono dane dla porównań skutków działania obu poziomów obciążeń w obrębie odmian i form. Ponieważ w każdym przypadku różnice średnich przekraczają wartości odpowiednich półprzedziałów ufności, zatem skutki działania większych obciążeń są istotnie wyższe niż mniejszych. Dotyczy to zarówno obciążeń statycznych jak i dynamicznych, wszystkich odmian oraz generalnie – form ozimych i jarych.

W obrębie odmian ozimych różnice średnich między skutkami obciążeń statycznych (S – s) są znacznie większe niż między skutkami obciążeń dynamicznych (D – d). Zachowanie odmian jarych jest odmienne. U każdej odmiany różnice między skutkami obciążeń dynamicznych (D – d) są większe, niż między skutkami obciążeń statycznych, aczkolwiek nie tak duże, jak u odmian ozimych.

Jest widoczne również, że różnice skutków obciążeń statycznych (S – s) u odmian ozimych są większe, niż u odmian jarych. Natomiast różnice skutków obciążeń dynamicznych (D – d) są większe u odmian jarych, niż u ozimych.

Ze względu na to, że różnice między skutkami obu poziomów obciążeń są istotne w obrębie odmian i form, to tym bardziej istotne są różnice między skutkami wyższych obciążeń i kontroli, czyli średnie przyrosty wskaźnika uszkodzeń w wyniku działania tych obciążeń. Wśród badanych odmian nie ma więc odmian nieistotnie podatnych (w sensie określenia przyjętego w rozdz. 4.4) na uszkodzenia pod wpływem działania wyższych poziomów obciążeń – zarówno statycznych jak i dynamicznych. Można jedynie mówić o mniejszej lub większej ich podatności na uszkodzenia pod wpływem tego rodzaju obciążeń.

Tabela 13. Różnice średnich wskaźników uszkodzeń oraz półprzedziały ufności L_p Studenta dla porównań skutków działania obu poziomów obciążeń statycznych (s, S) i dynamicznych (d, D) w obrębie odmian i form

Obciążenia	Statyczne		Dynamiczne	
	S - s	L_p	D - d	L_p
Odmiany/formy				
Gama	1.08	0.13	0.24	0.09
Liwilla	1.39	0.21	0.35	0.19
Panda	0.90	0.10	0.34	0.16
Ozime	1.13	0.14	0.31	0.13
Henika	0.38	0.10	0.81	0.12
Jara	0.60	0.14	1.28	0.17
Kadett	0.75	0.18	1.15	0.35
Jare	0.57	0.14	1.08	0.23

Tabela 14. Średnie przyrosty wskaźnika uszkodzeń ziarna sześciu badanych odmian pszenicy i obu form w wyniku działania wyższego poziomu obciążeń statycznych i dynamicznych

Obciążenia					
Statyczne (S)			Dynamiczne (D)		
Odmiany		$\Delta \bar{I}_s$	Odmiany		$\Delta \bar{I}_s$
1.	Henika	0.42	1.	Gama	0.31
2.	Jara	0.63	2.	Panda	0.43
3.	Kadett	0.84	3.	Liwilla	0.80
4.	Panda	0.96	4.	Henika	1.00
5.	Gama	1.22	5.	Kadett	1.43
6.	Liwilla	1.68	6.	Jara	1.74
Formy		$\Delta \bar{I}_s$	Formy		$\Delta \bar{I}_s$
1.	Jare	0.63	1.	Ozime	0.51
2.	Ozime	1.29	2.	Jare	1.39

W tabeli 14 zestawiono w kolejności rosnącej średnie przyrosty $\Delta \bar{I}_s$ dla ziarna badanych odmian w wyniku działania obciążeń S i D. Zwraca uwagę fakt, że w podanych uporządkowaniach rozgraniczone są odmiany jare i odmiany ozime. W przypadku uporządkowań według przyrostów uszkodzeń wskutek działania niższych poziomów obciążeń (tab. 9) tak dokładnego rozgraniczenia odmian obu form nie było. Jednakże reakcja każdej z form na obciążenia niższego poziomu jest identyczna z ich reakcją na obciążenia wyższego poziomu.

Z obu tych zestawień wynika, że formy ozime są bardziej podatne na obciążenia statyczne, a jare – na dynamiczne. Właściwość ta ujawniła się wyraziście dopiero pod wpływem działania stosunkowo silnych bodźców, czyli przy wyższych poziomach obciążeń (S i D). Przy działaniu słabszych bodźców, czyli przy niższych poziomach obciążeń (s i d), była jeszcze dość mocno zakłócona przez bardzo zróżnicowaną reakcję odmian. Fakt ten ma swoje odbicie również w skutkach działania wyższego poziomu obciążeń. Objawia się bowiem inną kolejnością poszczególnych odmian pod względem podatności na duże obciążenia statyczne (S), a inną – na obciążenia dynamiczne (D).

6. DYSKUSJA

6.1. Skutki oddziaływania obciążeń statycznych i dynamicznych

Przeprowadzone badania wykazały, że oprócz bardzo dużej zmienności odmianowej w reakcji na oba rodzaje obciążeń, istnieje również silna, jednolita reakcja odmian w obrębie form na te obciążenia. Przy zastosowaniu niższego poziomu obciążeń była ona jeszcze słabo zauważalna, objawiła się z całą wyrazistością dopiero przy zastosowaniu wyższych poziomów obciążeń.

Badania nad podatnością ziarna pszenicy obu form na uszkodzenia zewnętrzne (wykrywane metodą kolorymetryczną) pod wpływem działania tego samego rodzaju i wielkości obciążeń statycznych prowadził również Grundas [9]. Jako miarę podatności przyjął różnicę między stanem uszkodzeń ziarna po obciążeniach 8 MPa i 4 MPa, czyli różnicę uszkodzeń dla S – s. Z tabel 13 i 14 wynika, że uporządkowanie odmian pod względem podatności definiowanej na oba sposoby jest identyczne – zarówno w odniesieniu do obciążeń statycznych, jak i dynamicznych. Różnica polega na tym, że miara podatności, w przypadku odniesienia jej do wielkości uszkodzeń w materiale kontrolnym, spowodowała większe zróżnicowanie wyników badanych odmian. Umożliwia również określenie podatności odmian na uszkodzenia pod wpływem niższego poziomu obciążeń.

W badaniach przeprowadzonych przez Grundasa użyty był nieco inny zestaw odmian ozimych (Grana, Liwilla i Panda) i jarych (Alfa, Jara, LGR 36/11). Badania te prowadzone były przy trzech zróżnicowanych poziomach nawożenia NPK, a próbki ziarna każdej z odmian pochodziły z trzech kolejnych lat. Okazało się, że odmiany ozime są bardziej podatne na uszkodzenia, niż jare. Badania autora potwierdzają tę tezę w odniesieniu do uszkodzeń wewnętrznych, powstających pod wpływem obciążeń statycznych wykrywanych techniką rentgenograficzną. Podobne badania w odniesieniu do obciążeń dynamicznych nie są autorowi znane, a więc w tym względzie nie mogą być porównane.

Rezultaty badań odnoszące się do reakcji ziarna pszenicy odmian jarych na oba rodzaje obciążeń na wyższym poziomie (S i D) znajdują potwierdzenie we wcześniej przeprowadzonych badaniach Styka i Szota [39]. Autorzy badali połowę zdolność wschodów oraz szereg cech charakteryzujących otrzymane plony z nasion pszenicy odmiany Jara. Nasiona te były obciążane mechanicznie około pół roku przed wysiewem. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że w przypadku obciążeń dynamicznych, przekroczenie prędkości 20 m/s powodowało większe skutki ujemne, niż obciążenia statyczne 8 MPa.

Wyjaśnienie odmiennej reakcji form na obciążenia dynamiczne oraz przeciwnych skutków obciążeń statycznych i dynamicznych u obu form nie jest łatwe. Nie można na przykład odnosić wykrytych faktów do zawartości białka w badanych odmianach (tabela 1), gdyż wielkości te są mało zróżnicowane zarówno w obrębie odmian jak i form (12+13.4%) i nie dają zgodnego uporządkowania ze skutkami jakichkolwiek obciążeń. Poszukiwanie relacji z niektórymi parametrami fizycznymi, na przykład z ciężarem właściwym ziarna lub MTZ również nie dało

pozytywnego efektu. Podobnie rzecz się ma z takimi cechami morfologicznymi ziarna jak kształt i szerokość bruzdki.

Najbardziej przekonującym, aczkolwiek hipotetycznym wyjaśnieniem omawianych zachowań ziarna pszenicy może być odniesienie ich do odmienności tekstury bielma obu form. Jest prawdopodobne, że na niskie poziomy nawet różnych rodzajów obciążeń oba typy tekstury reagują podobnie. Zróżnicowane cechy osobnicze lub odmianowe ziarna są na tyle silne, że cechy wytrzymałościowe, wynikające z odmienności tekstury bielma jeszcze wtedy nie ujawniają się (przykład: rozkłady według kategorii uszkodzeń {0, A, B, C} w próbkach ziarna odmiany Henika po obciążeniach s i d). Reakcja tekstury bielma ujawnia się prawdopodobnie dopiero pod wpływem działania dostatecznie wysokich poziomów obciążeń. Wówczas właściwości osobnicze lub odmianowe ziarna stają się jak gdyby drugorzędne.

Pod wpływem działania pewnych rodzajów obciążeń (na przykład dużych obciążeń statycznych) oba typy tekstury bielma mogą reagować podobnie, dając na przykład podobne rozkłady wskaźnika uszkodzeń w badanych próbkach ziarna. Zróżnicowanie skutków obciążeń może jednak wynikać już z większej lub mniejszej podatności na uszkodzenia obu typów tekstury bielma pod wpływem takich obciążeń.

Pod wpływem działania innych rodzajów obciążeń (na przykład dynamicznych), reakcja obu typów tekstury bielma może być całkowicie odmienna, dając tym razem inny typ rozkładu wskaźnika uszkodzeń u odmian ozimych, a inny u jarych. Jest to już widoczne przy niższym poziomie obciążeń dynamicznych. Dwie spośród trzech odmian jarych (Jara i Kadett) reagowały na te obciążenia w podobny sposób jak wszystkie odmiany jare po obciążeniach dynamicznych wyższego poziomu dając podobne, specyficzne rozkłady wskaźnika uszkodzeń.

Wynika stąd wniosek, że obciążenia dynamiczne, nawet na niskim poziomie, są groźniejsze dla ziarna pszenicy odmian jarych, gdyż oddziaływująca na pojedyncze ziarniki siła powoduje powstawanie u nich znacznych uszkodzeń.

Zgoła odmienny charakter oddziaływania sił na ziarno istnieje podczas obciążeń statycznych masy ziarna. Dzięki początkowo wolnym przestrzeniom między ziarnami, znaczna ich część nie ulega dużym uszkodzeniom, nawet przy dość znacznych obciążeniach, przylegając ściślej do siebie. Na większe uszkodzenia narażone są ziarniki stykające się bezpośrednio z tłokiem, dnem cylindra i jego ściankami.

Jest godne uwagi, że reakcja ziarników poddawanych pojedynczo obciążeniom statycznym jest inna. Świadczą o tym wyniki wstępnych badań podatności na mikrouszkodzenia ziarna odmian jarych przeprowadzone w Instytucie Mechanizacji i Energetyki Rolnictwa AR w Krakowie. Ziarniki były ściskane między dwiema płaskimi płytkami do momentu pojawienia się mikrouszkodzeń. Otrzymane średnie wartości siły uszkadzającej (Jara – 94 N, Kadett – 123 N, Henika – 144 N) porównano z wartościami podatności z tabel 9 i 14. Okazało się, że uporządkowanie odmian otrzymane w badaniach pojedynków jest zgodne z uporządkowaniem po obciążeniach dynamicznych (d i D), ale nie jest zgodne z uporządkowaniem po obciążeniach statycznych masy ziarna (s i S). Może to oznaczać, że charakter działania zastosowanych w badaniach wstępnych obciążeń statycznych jest bliższy obciążeniom dynamicznym, niż statycznym, zastosowanym w badaniach zasadniczych.

Wyniki autora porównano również z wynikami przedstawionymi przez Woźniak i innych w pracy [45]. Ziarno tych samych odmian poddawane było intensywnemu nawilżaniu przez 1h i 3h. Do doświadczeń wybrano ziarniaki typowo mączyste i szkliste. Pęknięcia bielma były wykrywane techniką rentgenograficzną. Zastosowano podział obrazów ziarna na 3 strefy poziome. Jako miarę uszkodzeń ziarna przyjęto wskaźnik pozycyjny binarny (BI), przyjmujący wartości całkowite z przedziału $\langle 0;7 \rangle$. Przy pomocy tego wskaźnika określono w sposób jednoznaczny zarówno położenie uszkodzeń (z dokładnością do strefy) jak i liczbę stref z uszkodzeniami. Stwierdzono istotny przyrost wartości średniego wskaźnika uszkodzeń z \overline{BI} po 3 h nawilżania w stosunku do stanu po 1 h. Dla porównania wyników obu prac przyrosty te potraktowano jako miarę podatności na pękanie bielma przy tego rodzaju destrukcji ziarna. Okazuje się, że uporządkowanie odmian ze względu na tak rozumianą podatność jest inne dla ziarniaków szklistych, niż dla mączystych.

Faktem godnym odnotowania jest uporządkowanie odmian dla ziarniaków o bielmie mączystym. Pomijając odmianę Henika, uporządkowanie to jest przeciwne do uporządkowania odmian po obciążeniach dynamicznych. Może to świadczyć o tym, że im bardziej ziarno jest podatne na uszkodzenia w wyniku nawilżania, tym bardziej jest odporne na obciążenia dynamiczne. Takie zachowanie ziarna można przypisać warstwie aleuronowej, która zawiera stosunkowo dużo białka. Warstwa ta łatwo chłonie wodę, a z drugiej strony – stanowi dla bielma dostatecznie mocną osłonę przed obciążeniami mechanicznymi [11].

Zagadkowe w tym względzie jest zachowanie odmiany Henika – średnio podatnej na pęknięcia pod wpływem obciążeń dynamicznych (trzecie miejsce) i bardzo podatnej pod wpływem nawilżania (drugie miejsce).

Z przedstawionej dyskusji wynika następujący wniosek. Wyznaczonej podatności na uszkodzenia mechaniczne ziarna danych odmian pod wpływem określonego czynnika destrukcyjnego nie można traktować jako absolutnej miary podatności. Jest to wyłącznie podatność na uszkodzenia pod wpływem badanego czynnika (lub nawet jego poziomu) albo co najwyżej podatność wyznaczona w odniesieniu do grupy czynników destrukcyjnych, o podobnych skutkach działania.

6.2. Ocena opracowanej metody wyznaczania wskaźników uszkodzeń

Opracowana metoda wyznaczania wskaźników uszkodzeń pozwoliła określić wpływ wybranych poziomów obciążeń statycznych i dynamicznych na zmianę stanu fizycznego bielma.

Do osiągnięcia tego celu bardzo korzystna okazała się możliwość wyrażenia stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarna przy pomocy miary ilościowej. Dotychczas stosowane sposoby zliczania pęknięć i różnego rodzaju kategoryzacje uszkodzeń były dalece niezadowolające. Zdarzające się uszkodzenia miały często taki kształt, który uniemożliwiał zliczanie pęknięć, zaś stosowane kategoryzacje stwarzały problemy przydzielania ziarniaków do odpowiednich kategorii, niosły dużą dozę subiektywizmu, a więc i dowolności ocen.

Zaproponowana metoda usuwa wiele z tych wad. Stosując bowiem podział obrazu ziarna, wystarczy proste stwierdzenie faktu, czy w danej części obrazu istnieje czy też nie jakiegokolwiek uszkodzenie. Wykorzystując te cząstkowe oceny stanu uszkodzeń w formie odpowiedniej tablicy, której elementami są zera lub jedynki, można utworzyć szereg różnych miar ilościowych – tak zwanych wskaźników uszkodzeń ziarna, a na ich podstawie ustanawiać na wiele sposobów kategorie jakościowe. W pracy wykorzystano jedną z najprostszyc takich miar – wskaźnik sumaryczny – liczbę części obrazu ziarna, w których stwierdzono uszkodzenia. W odniesieniu do postawionego celu badań wydaje się on najodpowiedniejszy.

Jedną z najważniejszych cech każdej metody pomiarowej jest jej czułość. Brak dostatecznej czułości może być związany ze zbyt rzadkim podziałem obrazów ziarna na części. Wówczas ziarniakom o dostrzegalnie różnych stanach uszkodzeń przypisywane są te same wartości wskaźnika.

Otwartym problemem pozostaje wybór optymalnego podziału obrazu ziarna na części (zwłaszcza na pasy poziome), to znaczy takiego podziału, że dalsze jego zagęszczanie nie poprawia wyników w sensie otrzymywanych wniosków. Badania takie prawdopodobnie najefektywniej można byłoby przeprowadzić w odniesieniu do skutków biologicznych uszkodzeń.

Wprawdzie poprzez zagęszczanie podziału obrazu ziarna osiąga się większą dokładność opisu stanu uszkodzeń wyrażonego wskaźnikiem, ale wprowadzanie zbyt dużej ilości pasów poziomych przy zastosowaniu inspekcji wzrokowej, jaką dotychczas stosowano, powoduje nadmierne wydłużenie czasu przeglądania rentgenogramów. Należy więc wybrać rozsądny kompromis pomiędzy tymi, wzajemnie sprzecznymi tendencjami. Zdaniem autora, przy dotychczasowym, nieautomatycznym sposobie opracowywania rentgenogramów, przy dużych powiększeniach obrazu ziarna, można stosować podział maksymalnie na 12 pasów poziomych i 3-4 pionowe. Podział taki stwarza ponadto możliwość stosowania wielu prostych kategoryzacji.

Do szacunkowego określenia stanu uszkodzeń, kiedy inspekcji obrazów dokonuje się na przykład przy pomocy lupy, podział można ograniczyć do czterech a nawet do trzech pasów poziomych. Jest to uzasadnione również tym, że pole obrazu zarodka, względem którego orientowany jest zapis uszkodzeń, sięga u ziaren pszenicy od 1/4 do 1/3 długości całego obrazu ziarniaka. W przypadku wskaźników

sumarycznych podział taki daje możliwość rozróżnienia odpowiednio pięciu lub czterech różnych stanów uszkodzeń.

Zaproponowana metoda, nawet na obecnym etapie jej stosowania, pozwoliła usprawnić badanie uszkodzeń ziarna przy użyciu techniki rentgenograficznej, dzięki czemu stało się ono bardziej skuteczne. Wartości wskaźników można wyznaczać stosunkowo łatwo nawet przy zastosowaniu inspekcji wzrokowej rentgenogramów i prostych obliczeń. Idea zaproponowanej metody może być również wykorzystana do automatycznego analizowania uszkodzeń przy zastosowaniu odpowiednich urządzeń elektronicznych, bezpośrednio odczytujących obrazy rentgenowskie.

7. WNIOSKI

1. Przedstawiony w pracy sposób jednoznacznego zapisu cyfrowego stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarniaka pszenicy zapewnia:

- a) ograniczenie subiektywności oceny stanu uszkodzenia,
- b) możliwość określenia miar (wskaźników) uszkodzeń o rozmaitych własnościach, między innymi w różnym stopniu (w zależności od potrzeb) uwzględniających usytuowanie uszkodzeń.

2. Zastosowanie proponowanej metody liczbowego określania stanu uszkodzeń wewnętrznych ziarniaków pszenicy okazało się bardzo efektywne, gdyż zaproponowany wskaźnik sumaryczny umożliwił wykonanie zarówno analiz ilościowych jak i jakościowych stanu uszkodzeń badanych próbek ziarna. W szczególności możliwe było określenie przyrostu uszkodzeń w wyniku zastosowanych obciążeń, rozumianego w pracy jako miara podatności ziarna na uszkodzenia. Otrzymane wyniki znajdują potwierdzenie we wnioskach z innych badań, znanych z literatury.

3. Ocena ilościowa stanu uszkodzeń badanych próbek ziarna pszenicy wykazała bardzo duże zróżnicowanie międzyodmianowe, i to nie tylko w wyniku oddziaływania obu rodzajów zastosowanych obciążeń, a przede wszystkim ich poziomów, lecz także w materiale kontrolnym, który pochodził z omlotu maszynowego.

4. Próbkę kontrolne wszystkich odmian charakteryzowały się poziomem uszkodzeń istotnie wyższym od zera, przy czym u odmian jarych stwierdzono znacznie wyższy poziom uszkodzeń wstępnych.

5. Wyrażna różnica między skutkami obciążeń statycznych i dynamicznych ujawniła się po zastosowaniu wyższych poziomów tych obciążeń i to w interakcji z formami. U odmian ozimych stwierdzono istotnie wyższy stan uszkodzeń po obciążeniach statycznych, niż po dynamicznych, a u odmian jarych – przeciwnie – po obciążeniach statycznych stan uszkodzeń był istotnie niższy, niż po dynamicznych. Odmienne oddziaływanie obciążeń dynamicznych na obie formy pszenicy objawiło się również różną postacią rozkładów wskaźnika uszkodzeń u obu form. U odmian jarych obciążenia te spowodowały pojawienie się dużej liczby ziarniaków o największym stopniu destrukcji.

6. Uporządkowanie odmian pod względem podatności ziarna na uszkodzenia w wyniku zastosowanych obciążeń statycznych było inne, niż w wyniku działania obciążeń dynamicznych. Z uporządkowań tych wynika, że ziarno odmian ozimych okazało się bardziej podatne na uszkodzenia pod działaniem obciążeń statycznych, a odmian jarych – pod działaniem obciążeń dynamicznych.

7. Zastosowanie opracowanej metody oceny stanu uszkodzeń ziarna pozwala na weryfikację szeregu znanych hipotez i rozwiązywanie nowych problemów związanych z badaniem wpływu różnych czynników na stan uszkodzeń ziarna oraz jego związków z innymi właściwościami ziarna – fizycznymi, biologicznymi i technologicznymi. Opracowana metoda umożliwia między innymi wykonywanie analizy porównawczej uszkodzeń pojedynczych ziarniaków w kolejnych fazach ich destrukcji, jak na przykład w procesach zmian temperatury i wilgotności.

8. LITERATURA

1. Byszewski W., Haman J.: *Gleba, maszyna, roślina*. PWN, Warszawa, 1977.
2. Byszewski W., Pala J.: *Niektóre aspekty związku między poziomem mechanizacji produkcji roślinnej a właściwościami fizycznymi roślin*. Problemy Agrofizyki, 20, PAN, 1976.
3. Campbell J. D., Jones C.R.: *The Rates Penetration of Moisture to Different Points in the Several Cross Sections of the Endosperm in Damped Manitoba Wheat Grains*. Cereal Chem. 34(2), 110-116, 1957.
4. Chowdhury M. H.: *Methods for Determining Grain Damage (Mechanical)*. Proc. of the 4-th International Conf. on Mechanization of Field Experiments. Iowa, 216-228, 1976.
5. Chowdhury M. H., Buchele W. F.: *Development of a Numerical Damage Index for Critical Evaluation of Mechanical Damage of Corn*. Trans. ASAE, 19(3), 428-432, 1976.
6. Gieroba J., Dreszer K.: *Wpływ mechanicznych uszkodzeń ziarna pszenicy Grana na zdolność kielkowania*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. z. 351, s. 69-75, 1988.
7. Gieroba J., Dreszer K., Grundas S.: *Uszkodzenia ziarna w zespołach roboczych kombajnu zbożowego*. Roczn. Nauk Roln. ser. C, t. 76, 87-9, 1985.
8. Grochowicz J.: *Niektóre zagadnienia odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 112, 115-125, 1971.
9. Grundas S.: *Niektóre aspekty podatności ziarna pszenicy zwyczajnej (Triticum aestivum L.) na uszkodzenia mechaniczne*. Problemy Agrofizyki, 54, Wyd. Ossolineum, Wrocław, 1987.
10. Grundas S.: *Wheat*. Encyclopedia of Food Science, Food Technology and Nutrition. Academic Press, (w druku).
11. Grundas S., Horabik J., Woźniak W., Kocoń J.: *Niektóre skutki zmian strukturalnych w uszkodzonych ziarnach pszenicy*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 258, 449-470, 1983.
12. Grundas S., Szot B.: *Biological Effects of Static Loading of Wheat Grain in Mass*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 203, 515-520, 1978.
13. Grzesiuk S., Kulka K.: *Fizjologia i biochemia nasion*. PWRiL, Warszawa, 1981.
14. Grzesiuk S., Kulka K.: *Biologia ziarniaków zbóż*. PWN, Warszawa, 1988.
15. Gunasekaran S., Deshpande S. S., Paulsen M. R., Shove G. C.: *Size Characterization of Stress Cracks in Corn Kernels*. Transactions of the ASAE 28(5), 1668-1672, 1985.
16. Gunasekaran S., Paulsen M. R.: *Automatic Nondestructive Detection of Corn Kernel Defects*. International advances in Nondestructive Testing, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 12, 95-116, 1986.
17. Kent N. L., Evers A. S.: *Fine Grinding and Air Classification at Subaleurone Endosperm of High Protein Content*. Cereal Sci. Today, 14(4), 142-147, 1969.
18. Kolowca J.: *Wpływ obciążeń mechanicznych na uszkodzalność i wartość biologiczną ziarna pszenicy*. Zesz. Nauk. AR Kraków, 70, 1979.
19. Kolowca J., Gąska R., Ślipek Z.: *Wpływ obciążeń mechanicznych na wartość biologiczną ziarna pszenicy*. Roczn. Nauk Roln., ser. C, t. 73, 3, 1978.
20. Kolowca J., Rys S., Ślipek Z.: *Wartość biologiczna ziarna pszenicy poddanego działaniu obciążeń dynamicznych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 258, 417-423, 1983.
21. Konieczna M.: *Wpływ kontrolowanych obciążeń mechanicznych na uszkodzenia zarodków i właściwości biologiczne ziarna pszenicy*. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rozprawy, 36, s. 55, 1983.
22. Konieczna M., Aftarczuk Z.: *System badań modelowych uszkodzeń nasion, cz. IV. Nekrozy zarodków ziarna pszenicy obciążanego dynamicznie w warunkach swobodnego podparcia*. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Rolnictwo XLVI, nr 164, 1987.
23. Lityński M. (red.): *Biologia nasion i nasiennictwo*. PWN, Warszawa, 1970.
24. Lityński M.: *Biologiczne podstawy nasiennictwa*. PWN, Warszawa, 1982.
25. Malicki L., Nawrocki S., Pawłowski F.: *Ogólna uprawa roli i roślin (skrypt)*. AR Lublin, 1986.

26. Milner M., Shellenberger J. A.: *Physical Properties of Wheathered Wheat in Relation to Internal Fissuring Detected Radiographically*. Manuscript Contribution No 224. Department of Flour and Feed Milling Industries. Kansas State Collage, 202-212, 1952.
27. Niewczas J.: *The Method of Determination of the Index of Mechanical Damage of Single Kernel by Means of X-ray Detection*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 389, 89-95, 1991.
28. Niewczas J., Woźniak W.: *Application of the Discretization of an X-ray Picture of Wheat Grain for the Evaluation of Endosperm Cracks*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 397, 45-51, 1991.
29. Noworolnik K.: *Wpływ terminu sprzętu i nawożenia azotem na plon i jakość ziarna kilku odmian pszenicy ozimej*. Wyd. IUNG, Puławy, ser. C. 1979.
30. Oktaba W.: *Metody statystyki matematycznej w doświadczalnictwie*. Wyd. II. PWN, Warszawa, 1972.
31. Orzechowski J., Konieczna M.: *Uszkodzenia mechaniczne występujące przy kombajnowym zbiorze pszenicy*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 258, 343-359, 1983.
32. Ostromęcki K.: *Rentgenograficzna metoda oceny i klasyfikacji mechanicznych uszkodzeń ziarniaków pszenicy*. Biul. IHAR, 143, 69-74, 1981.
33. Pecen J., Grundas S., Velikanov L.: *O potrzebie badania uszkodzeń mechanicznych ziarna pszenicy*. Proceedings of the International Sciences Conference "Trends in Agricultural Engineering". Praga 15-18 Sept. 1992 (w druku).
34. Savin V. N., Arkhipov M. V., Badenko A. L., Joffe Ju. K., Grun L. B.: *Rentgenografija dlja vyjavlenija vnutrennikh povrozhenij i ikh vlijanije na urozhajnyje kachestva semjan*. Vestn. Sch. Nauki, Moskva, N 10, 99-105, 1981.
35. Savin V. N., Nikolenko V. F., Alekseeva D. I., Grundas S., Geodecki M.: *Vlijanie vnutrennej mikrotravmirovannosti zerna ozimoy pshenicy na ego vskhozhest'*. Dostizhenija Nauki i Tekhniki, No 12, s. 19-21, 1988.
36. Song H.: *Measuring Stress Cracking in Corn by MRI*. ASAE Paper No 916052, 1991.
37. Strona I. G.: *Uszkodzenia nasion i sposoby zapobiegania ich występowaniu*. Biul. IHAR, 5-6, 1973.
38. Strona I. G., (red.): *Uszkodzenia nasion. Przyczyny i zapobieganie*. Praca zbiorowa. Tłum. z jęz. rosyjskiego. PWRiL, Warszawa, 1977.
39. Styk B., Szot B.: *The Influence of Mechanical Loading on the Germination Capacity of Spring Wheat and its Yield*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., z. 389, 105-110, 1983.
40. Styk B., Szot B.: *The Influence of Mechanical Damage of Winter Wheat Grains on the Germination Capacity, Plant Development and Crop Yields*. Physical properties of agricultural materials and product, Hemisphere Publ. Co., USA, 591-596, 1988.
41. Styk B., Szot B.: *Estimation of the Effect of Mechanical Damage of Cereal Grain on its Germination Capacity*. Physical properties of agricultural materials and product, Hemisphere Publ. Co, USA, 597-602, 1988.
42. Szot B., Grundas S.: *Zagadnienie zmienności niektórych cech fizycznych ziarna zbóż*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 202, 219-243, 1978.
43. Szot B., Tys J.: *Wpływ różnych terminów zbioru na trwałość związania ziarna z kłosem*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 258, 377-387, 1983.
44. Wall G. L., Norris E. R.: *A Technical Note on the Use of a Colorimetric Technique for Evaluation Mechanical Corn Kernel Damage*. Canad. Agric. Eng., 23, 67-68, 1981.
45. Woźniak W., Grundas S., Kocój J.: *Qualitative Effect of Moisture Treatment of Wheat Grain by Means of X-ray and SEM Techniques*. Proceedings of ICC Symposium. Cereal based foods: New developments, Prague, 494-499, 1991.

ASSESSMENT OF MECHANICAL DAMAGE TO WHEAT GRAIN AS DETECTED BY MEANS OF THE X-RAY TECHNIQUE

SUMMARY

The study presents a method for definite digital recording of the status of internal damage (mainly cracks of endosperm) of wheat kernel. The method consists in the identification of damage in the particular fields of a square grid covering the X-ray image of the kernel under study. A number of indices have been proposed, making use of that identification. Some of those can also (to a certain extent) take into consideration the location of the damage. This means that, basing on the value of such an index, it is possible to reconstruct the damage condition of a kernel with an accuracy corresponding to the kernel division.

In the study an overall index was employed, defined as the number of the rectangles of the grid in which damage was observed. It allowed for performance of qualitative and quantitative analyses of the damage status of the wheat grain samples under study. The damage was caused by the effect of mechanical loading. The test material was constituted by samples of ordinary winter wheat (Gama, Liwilla, Jara) and spring wheat (Henika, Jara, Kadett) originating from machine threshing. The destructive factor was introduced by means of the application levels – 4 MPa and 8 MPa) and dynamic loading of individual kernels (two levels – 20 m/s and 25 m/s).

Among other things, the study allowed for the formulation of the following conclusions:

1. The quantitative assessment of the status of damage of the wheat grain samples studied showed a significant intervarietal differentiation, not only as a result of the effect of the types of loading applied, and especially of their levels, but also in the control material. The control samples of all the varieties tested were characterized by indexes significantly above zero, with spring varieties showing a considerably higher level of initial damage.
2. The grain of the winter varieties turned out to be more susceptible to damage under static loading, and that of the spring varieties – under dynamic loading. In the case of the spring varieties, the application of dynamic loading resulted in the appearance of a large number of kernels with the highest level of destruction.
3. The application of the proposed method for the assessment of the status of damage to wheat grain permits the verification of a number of known hypothesis and the solution of new problems concerning the study of the effect of various factors on the status of damage to grain and of its relation to the other properties of the grain – physical, biological, and technological.