

NIEKTÓRE SKUTKI ZMIAN STRUKTURALNYCH  
W USZKODZONYCH ZIARNACH PSZENICY

Stanisław Grundas, Józef Horabik, Wanda Woźniak

Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie

Józef Kocoń

Pracownia Mikroskopii Elektronowej SGGW w Warszawie

WSTĘP

W wyniku działania elementów roboczych maszyn i urządzeń uszkodzeniom mechanicznym ulega około 40% ziarna [5]. Uszkodzenia te, aczkolwiek w przeważającej większości nie są widoczne gołym okiem, wywołują określone skutki. Szczególnie w okresie przechowywania uszkodzony materiał charakteryzuje się większymi stratami suchej masy, a po wysiewie - obniżoną zdolnością kiełkowania i siłą wzrostu [3]. Pojawia się więc bardzo istotny problem maksymalnego ograniczania strat. Chcąc jednakże przeciwdziałać uszkodzeniom mechanicznym ziarna, należy znać nie tylko ogólny procent strat, ale przede wszystkim mechanizm ich powstawania, jak również skutki uszkodzeń, które objawiają się zmianami właściwości fizycznych i biologicznych tego materiału.

Zasadniczym celem pracy jest więc analiza skutków działania obciążeń statycznych na ziarno pszenicy w powiązaniu ze zmianami w strukturze wewnętrznej ziarniaka, powstałymi w wyniku działania tych obciążeń.

SPOSÓB PRZYGOTOWANIA MATERIAŁU DO BADAŃ

Obiektem badań były ziarniaki pszenicy ozimej odmiany Jana, o wilgotności około 12%, zebranej w roku 1977 na terenie Stacji Oceny Odmian w Czesławicach koło Lublina.

Przed przystąpieniem do badań szczegółowych ziarno poddawano działaniu obciążeń statycznych na maszynie wytrzymałościowej Instron typ 1253. Układ pomiarowy zastosowany w tej maszynie składał się z cylindra o pojemności  $100 \text{ cm}^3$  i wysokości warstwy ziarna 100 mm. W procesie obciążania tłok wywierający nacisk do 8 MPa przesuwał się z prędkością 50 mm/min. Taki rodzaj obciążeń powodował zauważalne trwałe odkształcenia w postaci wgnieceń w miejscach stykania się poszczególnych ziarn.

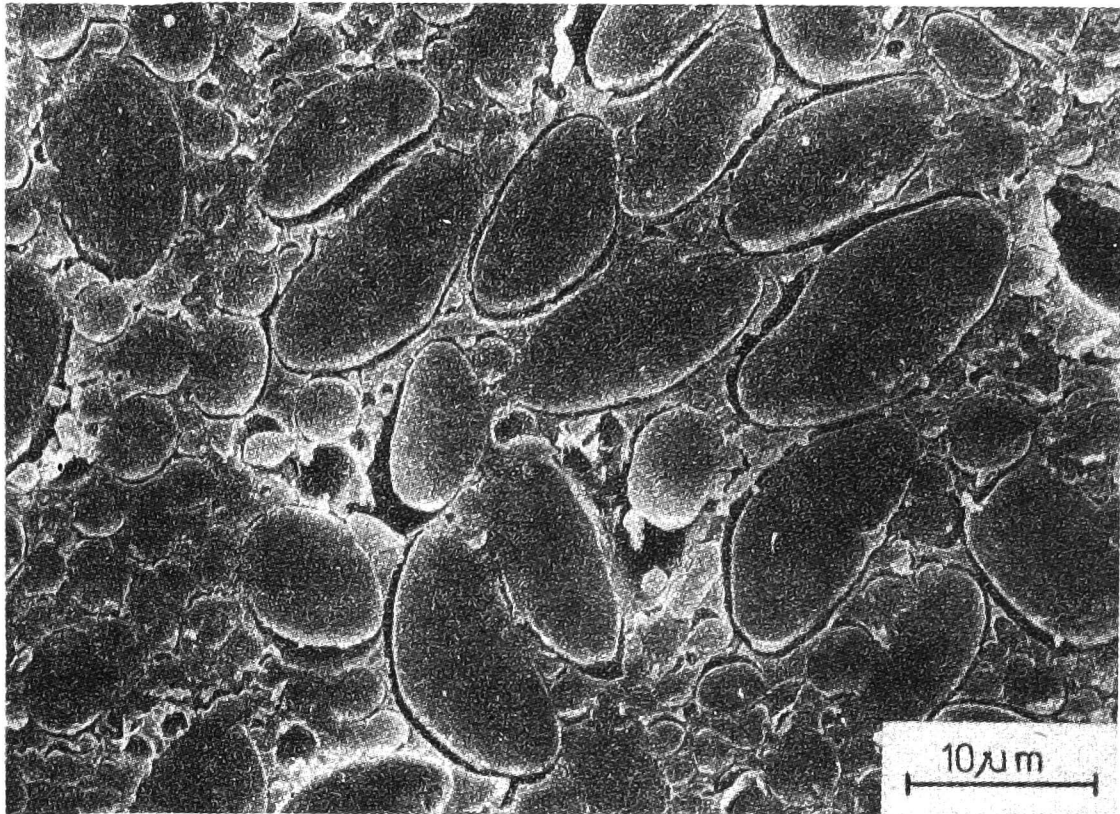
### CHARAKTERYSTYKA OGÓLNA I STRUKTURALNA ZIARNIAKA PSZENICY

Ziarniak pszenicy jest małym, suchym, niepękającym, jednonasiennym owocem z cienką, ściśle przylegającą owocnią. Przeciętna długość dorodnego ziarniaka wynosi 6,0–6,5 mm, zaś grubość 3,0–4,0 mm. Masa jednego ziarniaka wynosi przeciętnie 30–40 mg. Ziarniak pszenicy ma kształt owalny, oba jego końce zwężają się równomiernie i są łagodnie zaokrąglone. Zarodek, który znajduje się w części bazalnej, grzbietowej jest głęboko osadzony i nie wystaje na zewnątrz, tworząc rodzaj fałdy na powierzchni ziarna. W części szczytowej mieści się duża i wyraźna bródka, pokryta włoskami. Przednia brzuszna strona ziarniaka jest bardziej płaska, a tylna - wypukła.

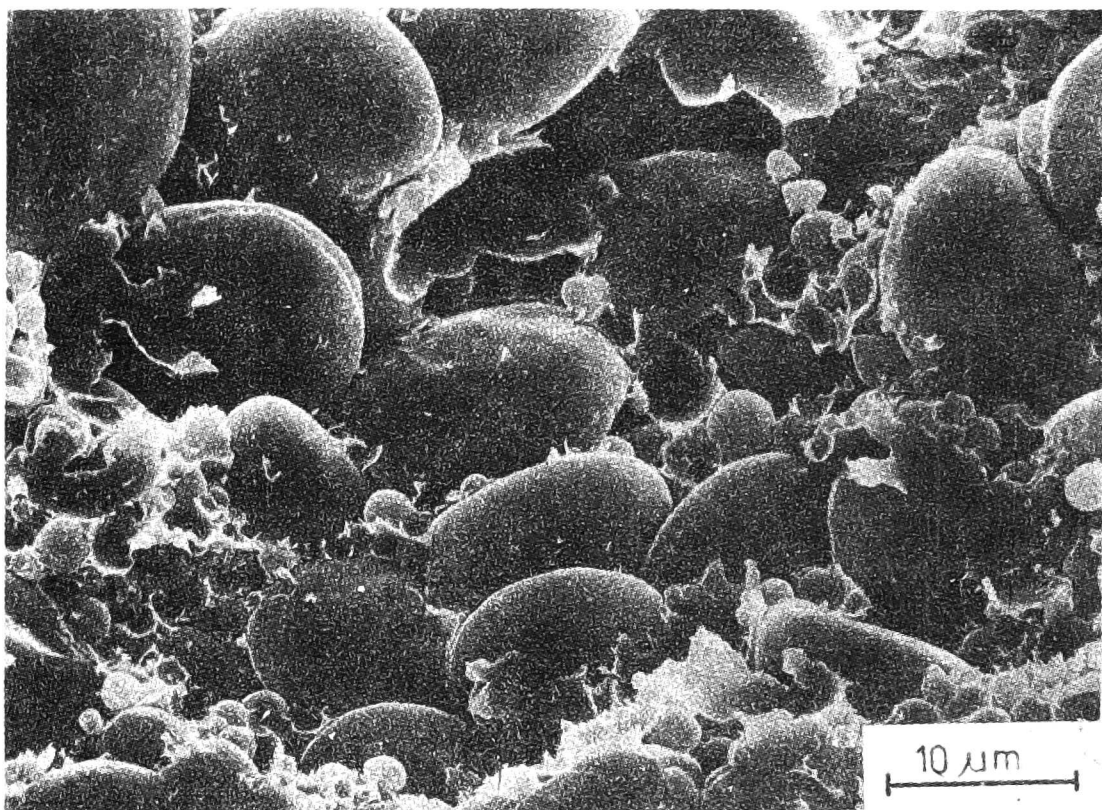
W budowie anatomicznej ziarniaka pszenicy jak i innych gatunków zbóż wyróżnia się 4 zasadnicze części: okrywę owocowo-nasienną, warstwę aleuronową, bielmo i zarodek. Procentowy udział poszczególnych części w ziarnie pszenicy jest następujący [3]:

- okrywa owocowo-nasienna      5-7,
- warstwa aleuronowa            7-9,
- bielmo                              83-85,
- zarodek                             2-3.

Główny składnik ziarniaka - bielmo /rys. 1/ składa się z dużych cienkościennych komórek, które zawierają głównie ziarna skrobi. Jak wynika z obserwacji, ziarna skrobi przybierają kształty: kuliste, elipsoidalne, muszelkowate i nieregularne. Najmniejsze ziarna skrobi mają kształt kulisty, największe - nieregularny lub elipsoidalny. Rozmiary obserwowanych ziarn skrobi zawierają się w przedziale od 1 do  $40 \mu\text{m}$ . Między ziarnami skrobi znajduje się białko zwane glutenem /rys. 2/. Przy większych powiększeniach widać, że białko wypełniające nie wszędzie szczelnie przylega do powierzchni ziaren skrobi. Między białkiem wypełniającym a ziarnami skrobi występuje również wolna przestrzeń /rys. 3/. Nieciągła budowa mikroskopowa bielma /wolne przestrzenie/ oraz duża niejednorodność /skrobia, białko wypełniające, ściany komórkowe/ powodują, że bielmo rozpatrywane jako struktura mechaniczna jest kruche i mało wytrzymałe na działanie zewnętrznych naprężeń. W suchym ziarnie białko stosunkowo słabo łączy ze sobą ziarna skrobi i bielmo można łatwo rozkruszyć.

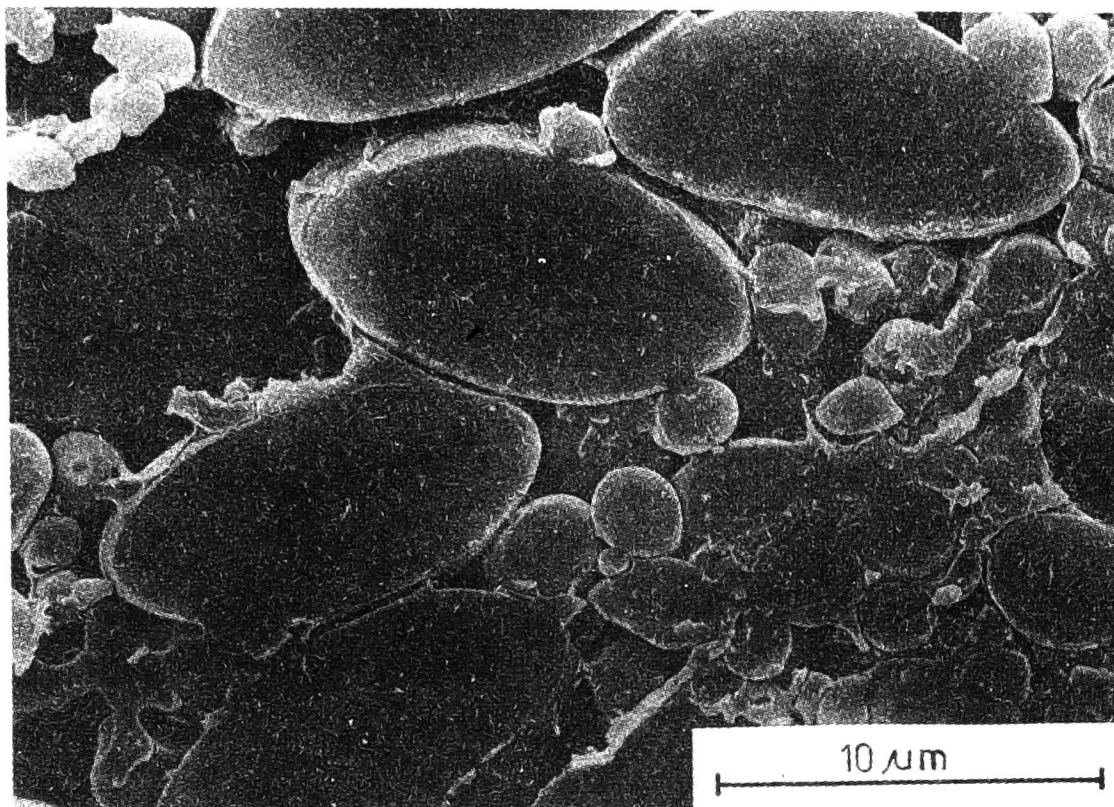


Rys. 1. Obserwowane kształty i rozmiary ziarn skrobi

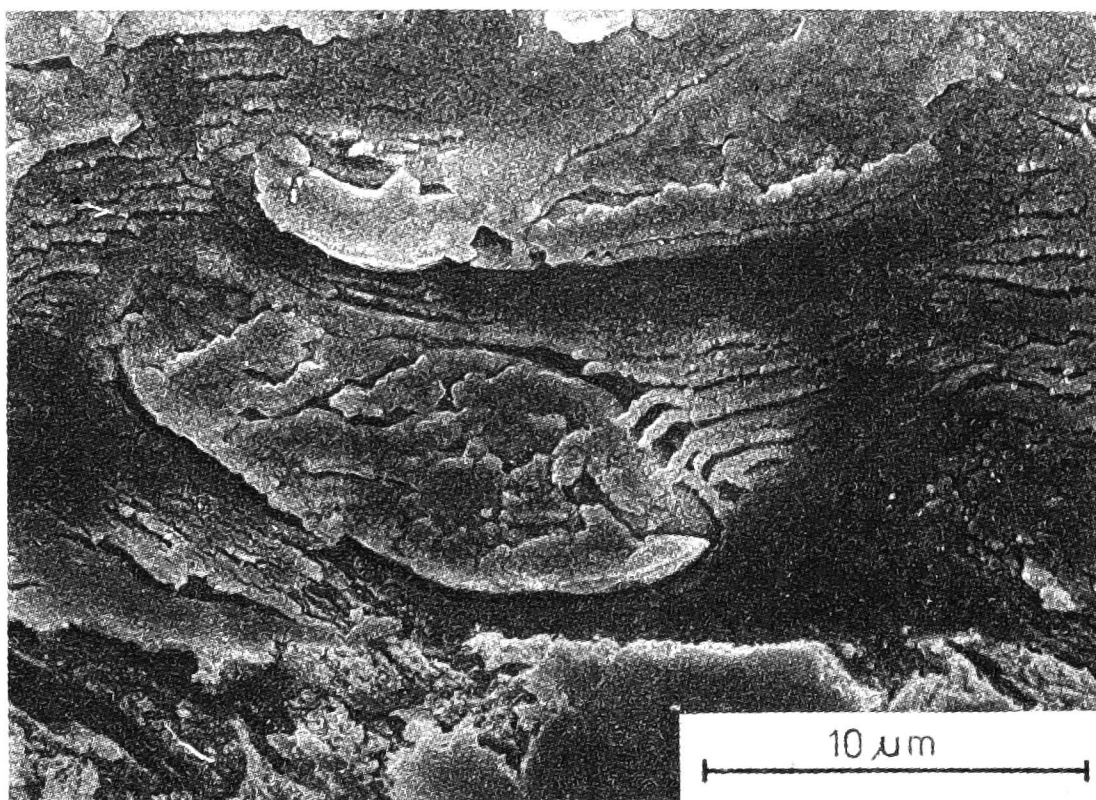


Rys. 2. Gluten wypełniający przestrzenie między ziarnami skrobi

Struktura warstwy aleuronowej przy powiększeniu 3400x przedstawiona jest na rysunku 4. Ściany komórek aleuronowych są grube, dobrze wykształcone, mają kształt nieregularny i są wypełnione szczelnie aleuronem. W części grzbietowej ziarniaków występuje podwójna warstwa komórek aleuronowych /rys. 5, 6/. Uwagę zwraca masywna struktura ścian komórkowych, komórek aleuronowych w pobliżu środka długości ziarniaka. W części brzusznej ziarniaków występują pojedyncze warstwy tych komórek.

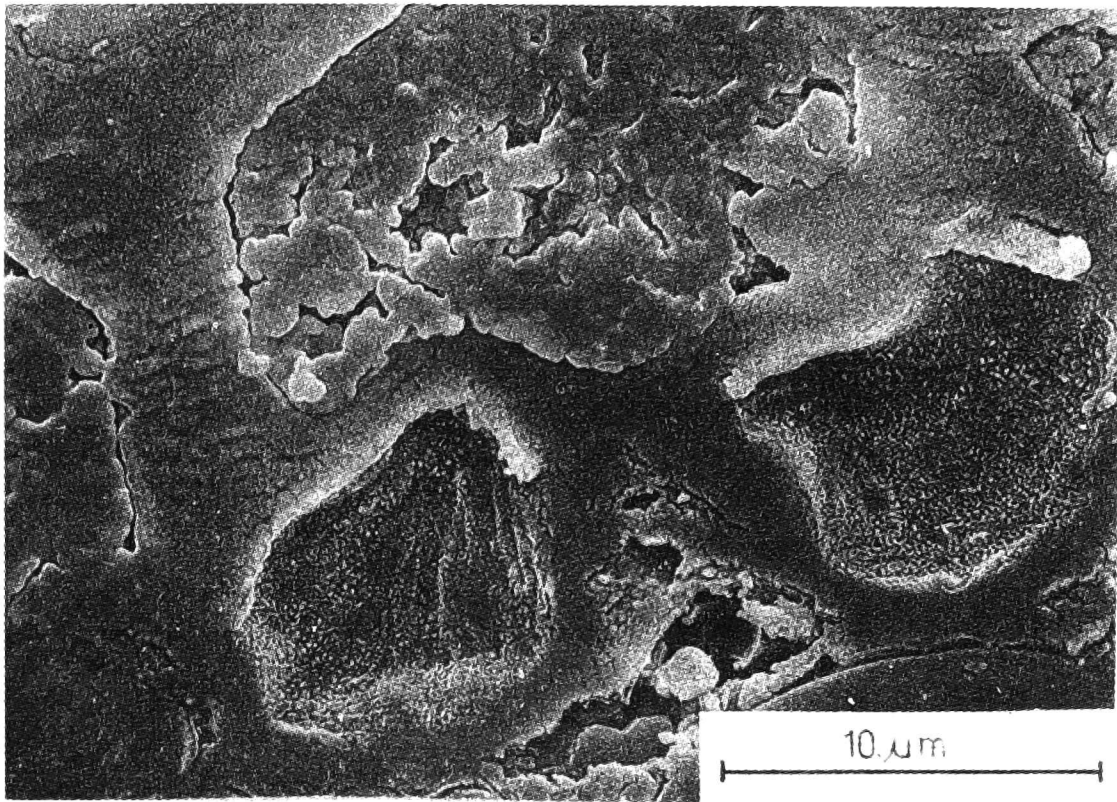


Rys. 3. Wolne przestrzenie między białkiem wypełniającym a ziarnami skrobi

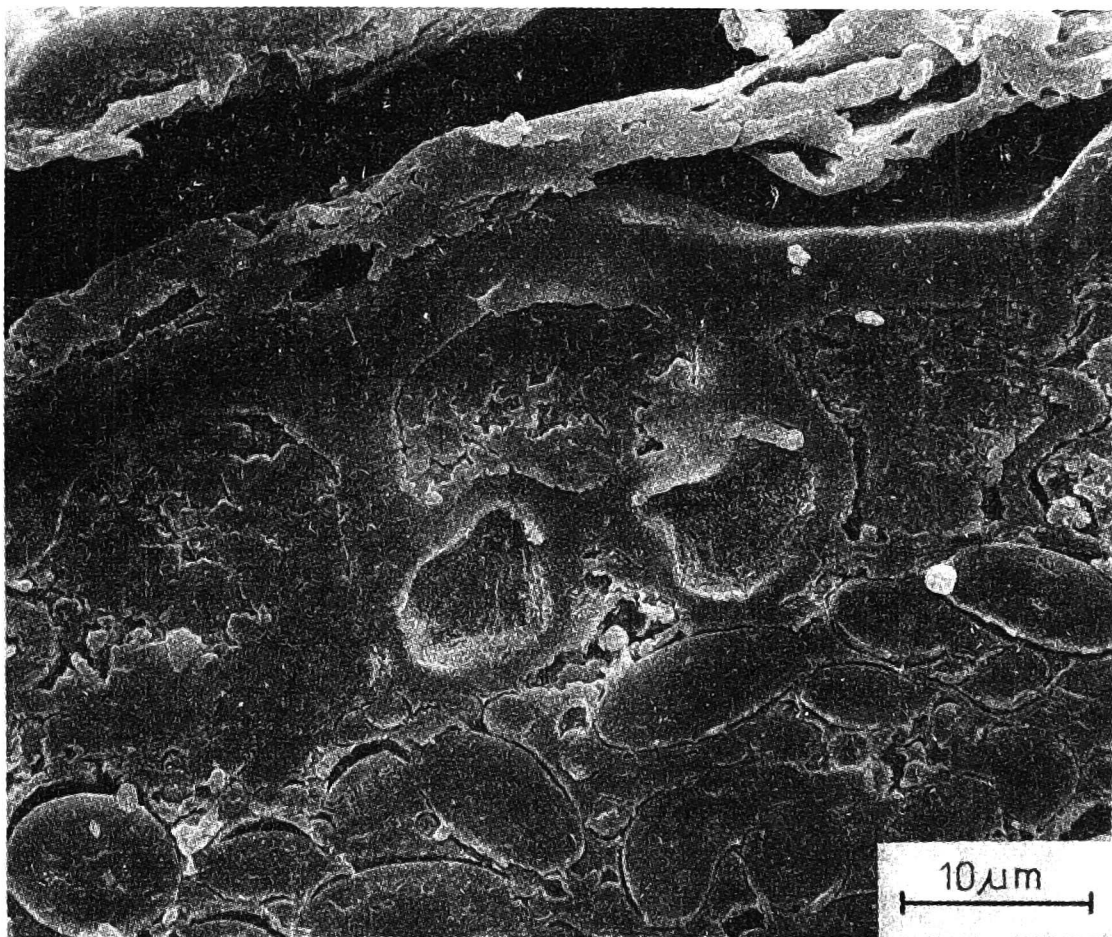


Rys. 4. Białko aleuronowe wypełniające szczelnie komórki

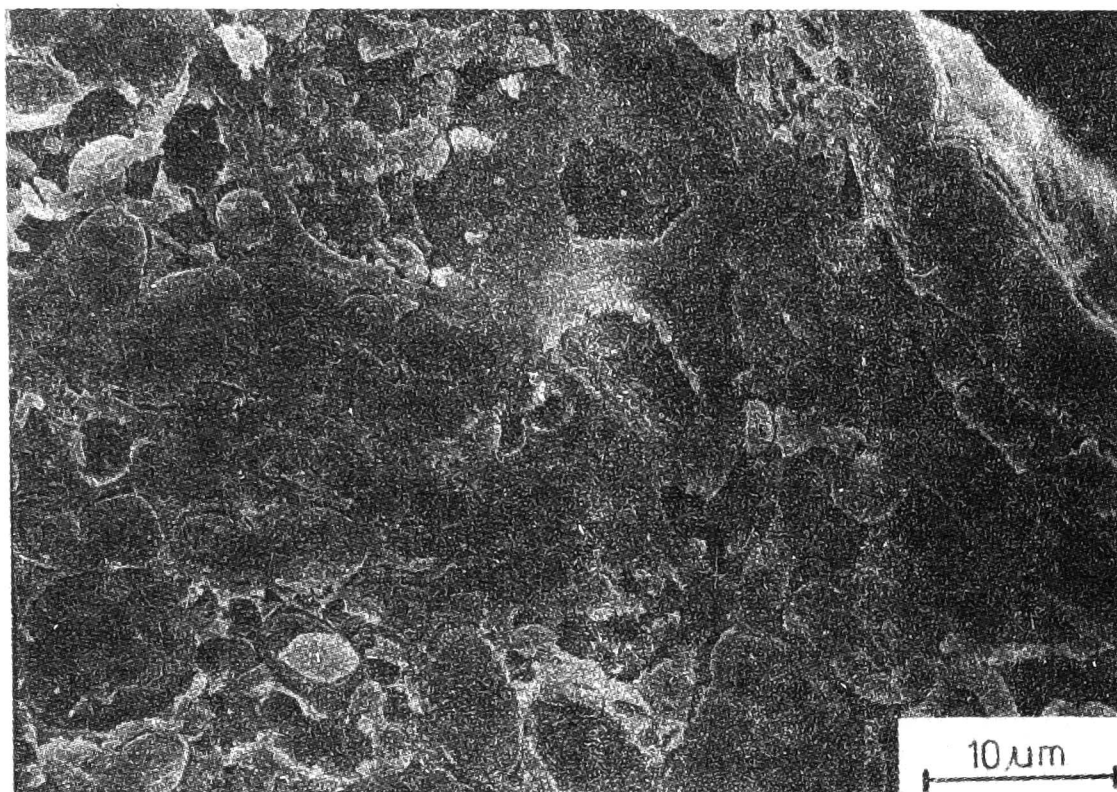
Warstwa aleuronowa otaczająca szczelnie bielmo nadaje sztywność i wytrzymałość mechaniczną całej konstrukcji ziarniaka. Zwarta i jednorodna budowa komórek aleuronowych zapewnia im dużą wytrzymałość, natomiast bezpostaciowy aleuron może być wyjaśnieniem stosunkowo dużej odkształcalności tej warstwy bez wyraźnego zniszczenia. Poszukując mechanicznego modelu ziarniaka należałoby więc dla warstwy aleuronowej szukać analogu lepko-sprężystego, zaś dla bielma analogu plastycznego.



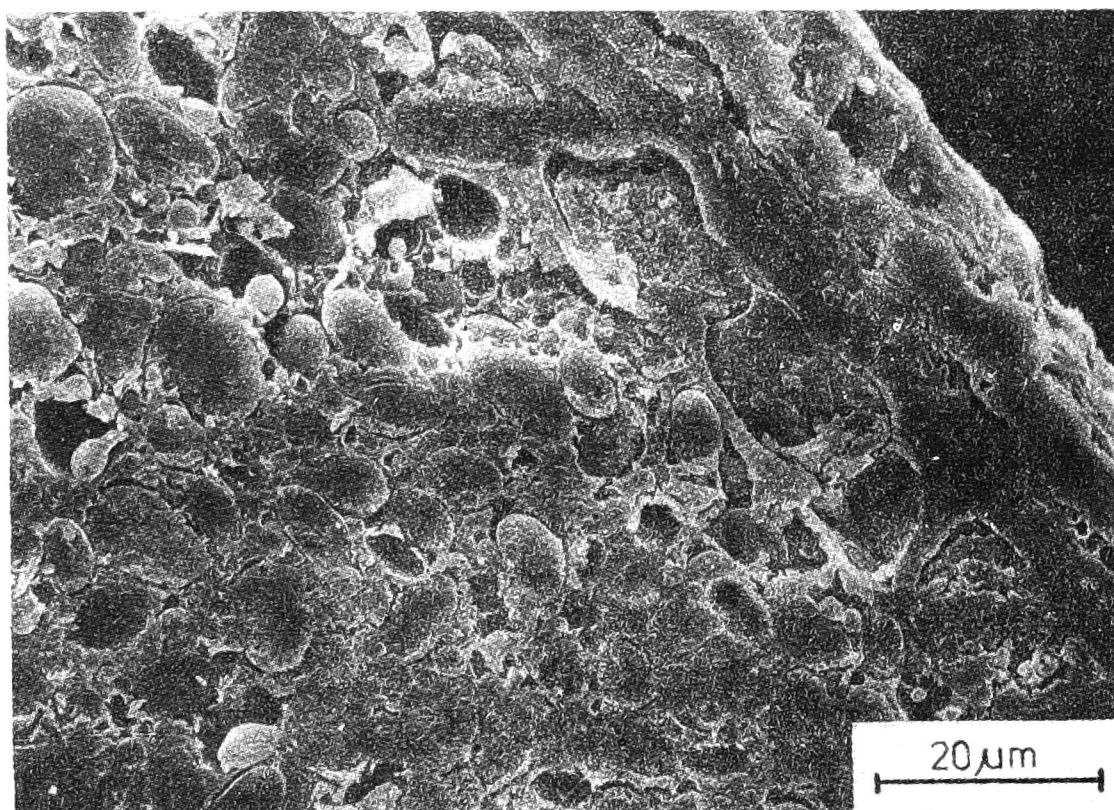
Rys. 5. Fragment podwójnej warstwy komórek aleuronowych w grzbietowej części ziarniaka



Rys. 6. Większy fragment podwójnej warstwy komórek aleuronowych w grzbietowej części ziarniaka



Rys. 7. Fragment budowy warstwy owocowo-nasiennej od strony grzbietowej ziarniaka

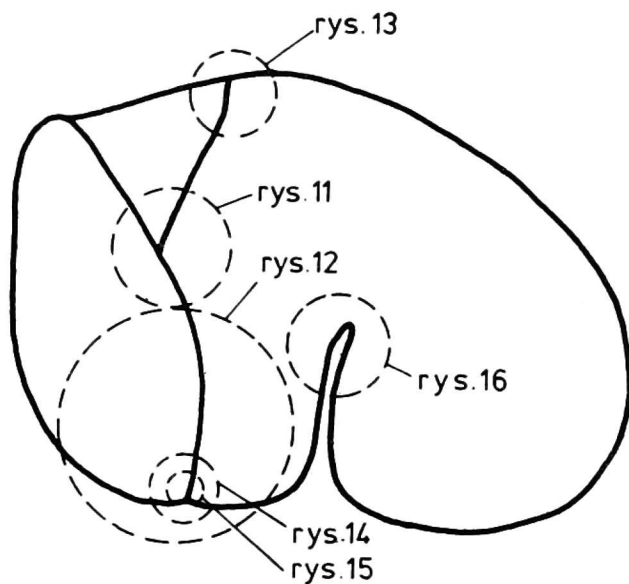


Rys. 8. Fragment przylegających do siebie warstw: okrywy owocowej i nasiennej

Warstwa owocowo-nasienna składa się z epidermy zewnętrznej, warstwy komórek poprzecznych, komórek rurkowatych i łupiny nasiennej /rys. 7/. Z mikrofotografii przedstawionej na rysunku 8 widać, że owocnia nie jest zrosnięta z łupiną nasienną, lecz ściśle do niej przylega.

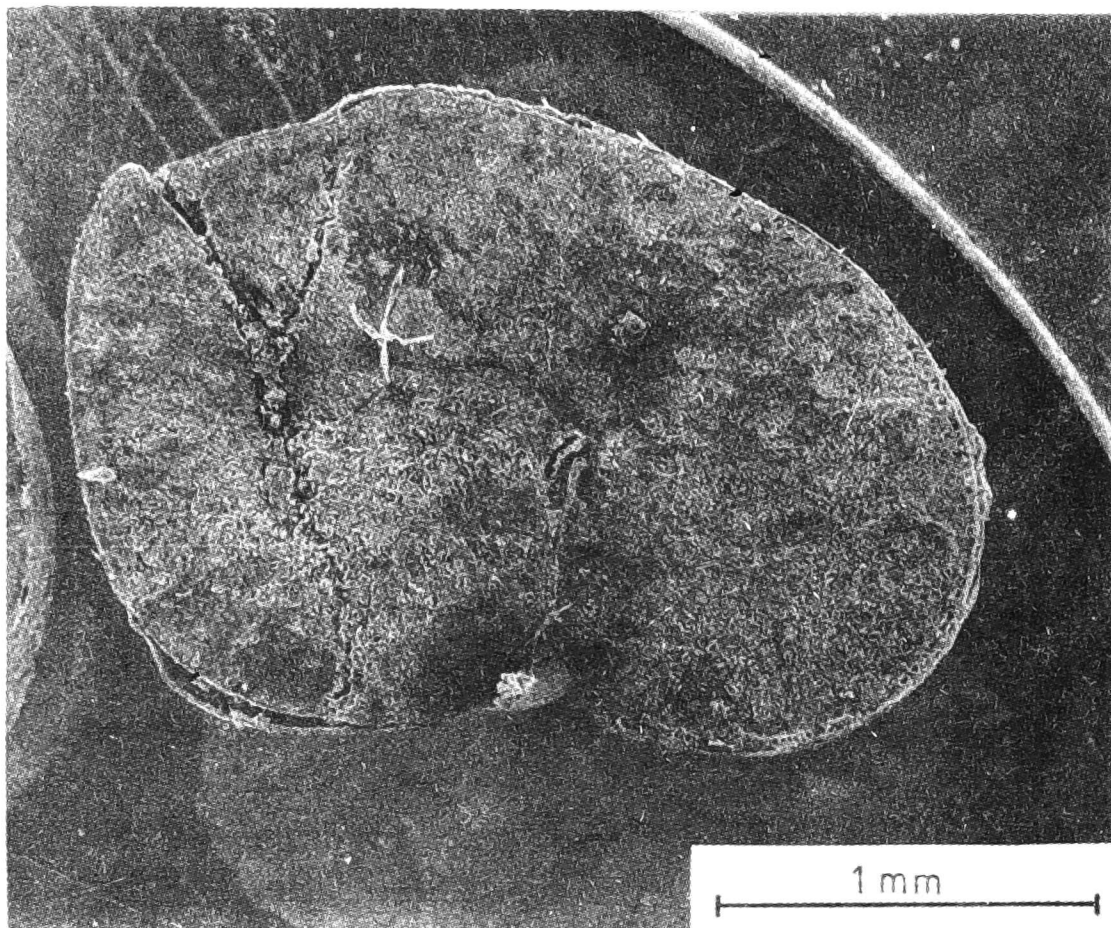
### OKREŚLENIE ZMIAN STRUKTURALNYCH USZKODZONEGO ZIARNA

Badania w zakresie zmian strukturalnych w uszkodzonym ziarnie przeprowadzono w Pracowni Mikroskopii Elektronowej AR w Warszawie. Do badań przyjęto tylko te ziarniaki, które posiadały na swej powierzchni wgniecenia zlokalizowane w okolicy środka długości ziarniaka. Jedną połówkę przeciętego ziarniaka umieszczano na stoliku mikroskopu, po czym preparat napyłano węglem i srebrem przy ciśnieniu około  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Pa. Badania przeprowadzono przy zastosowaniu skaningowego mikroskopu elektronowego JSM-35 stosując powiększenia od 20 do 3500 razy.

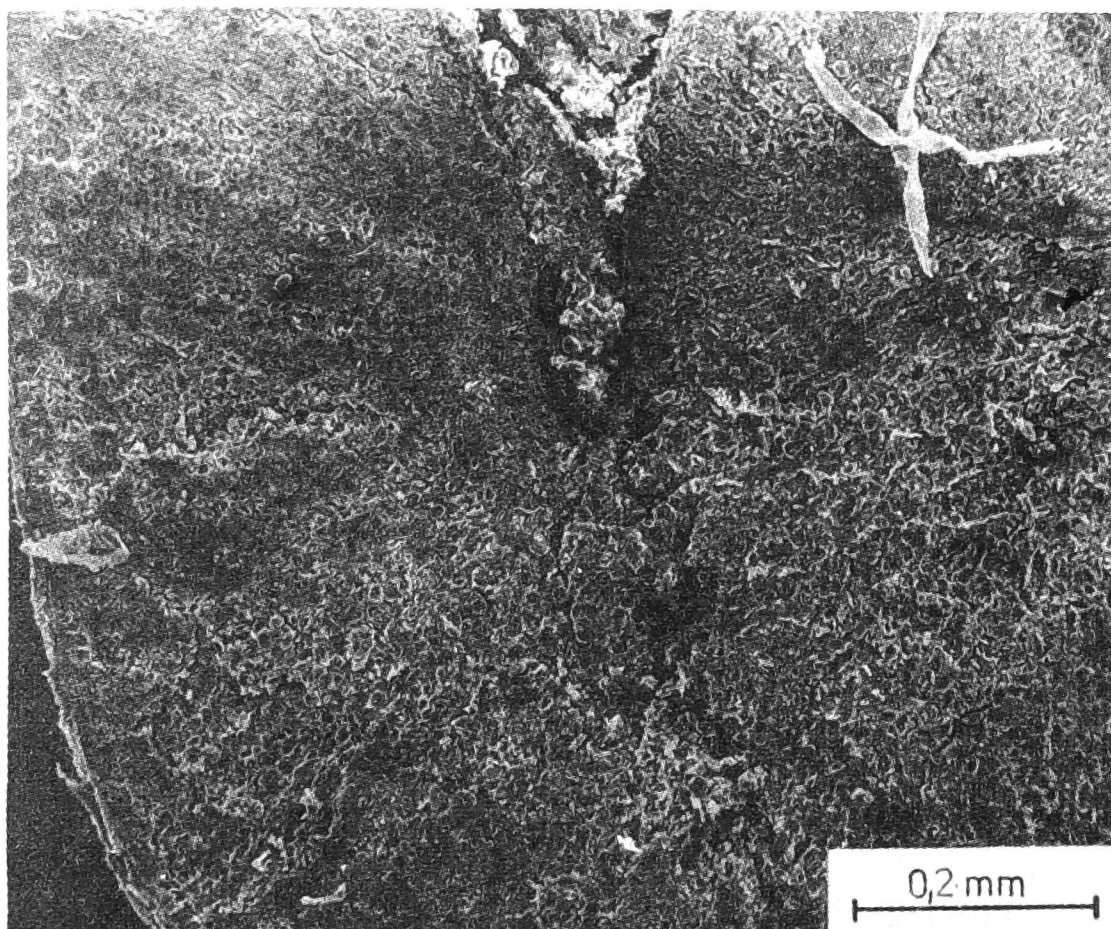


Rys. 9. Schemat kształtu przekroju poprzecznego ziarniaka pszenicy z zaznaczonymi obszarami przedstawionymi na kolejnych rysunkach

Przedstawione schematycznie na rysunku 9 kontury wraz z siatką pęknięć pozwalają na identyfikację kolejnych fotografii, odnoszących się do danego przekroju ziarniaka. Na rysunku 10 widoczne są uszkodzenia w grzbietowej części ziarniaka, jak również pęknięcia rozciągające się od łupiny zewnętrznej poprzez okrywę owocowo-nasienną, warstwę aleuronową i endospermę skrobiową. Od wgniecenia na stronie grzbietowej rozciąga się pęknięcie w kształcie litery V.

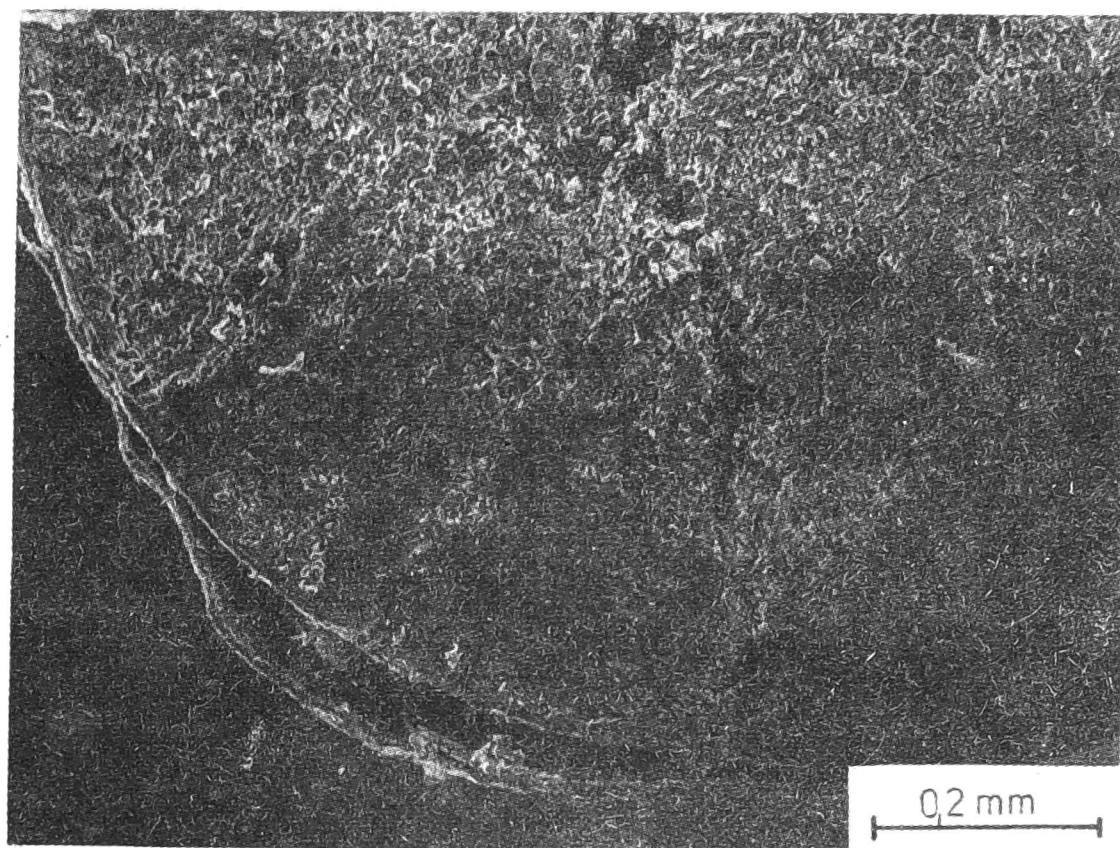


Rys. 10. Główne linie pęknięć w uszkodzonym ziarniaku

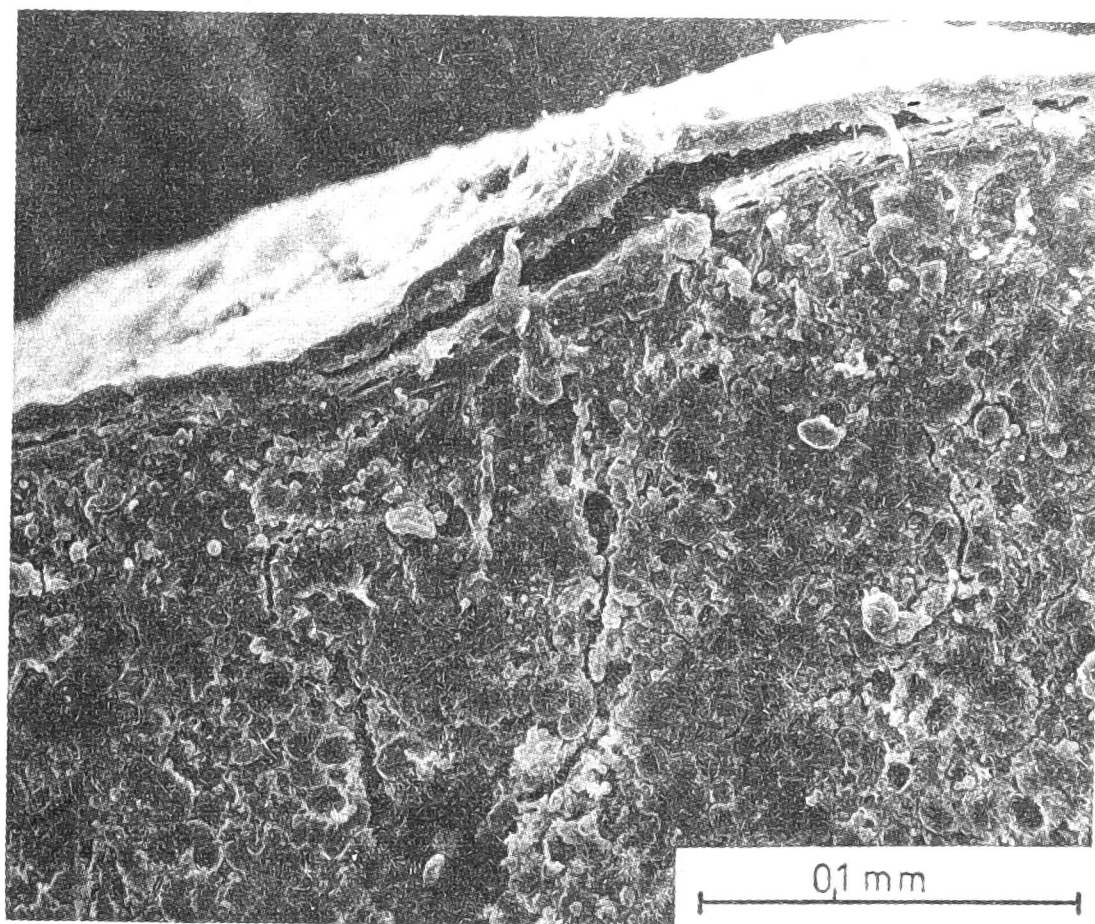


Rys. 11. Fragment rozwidlenia głównej linii pęknięcia bielma



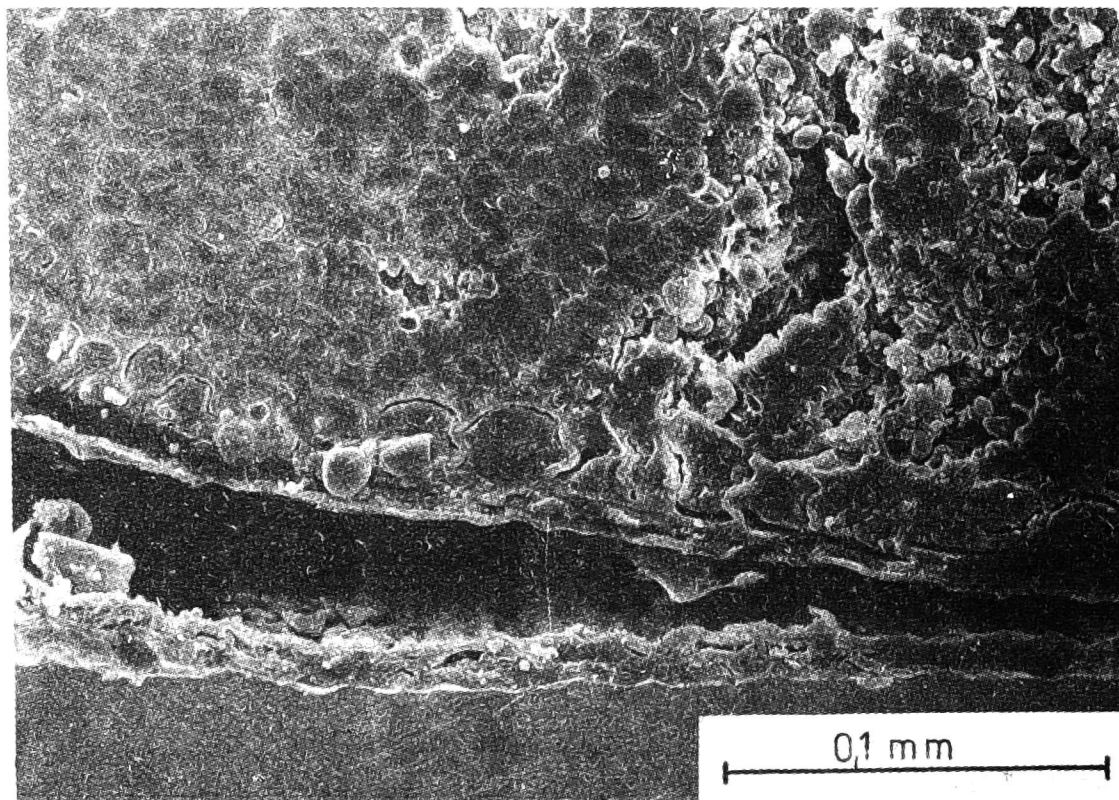


Rys. 12. Pęknięcie bielma od strony brzusznej ziarniaka

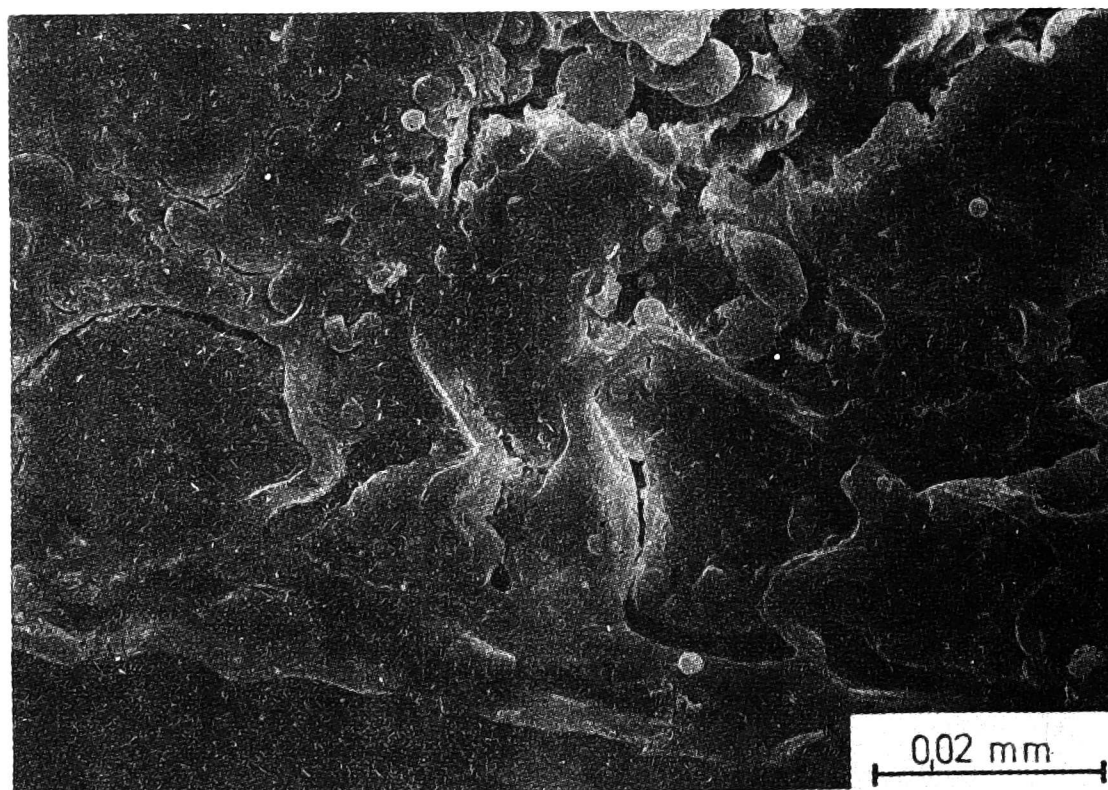


Rys. 13. Fragment pęknięcia i oddzielenia się okrywy owocowej od nasiennej w ziarniaku po stronie grzbietowej

Od jej podstawy, /rys. 11 i 12/ pęknięcie biegnie przez bielmo i zatrzymuje się przed warstwą aleuronową po stronie brzusznej ziarniaka. Na uwagę zasługuje fakt, że zarówno w części grzbietowej jak i brzusznej w okolicy pęknięć endospermy lub warstwy aleuronowej i okrywy owocowo-nasiennej epiderma oddziela się od łupiny nasiennej, co wyraźnie widać na rysunkach 13 i 14.

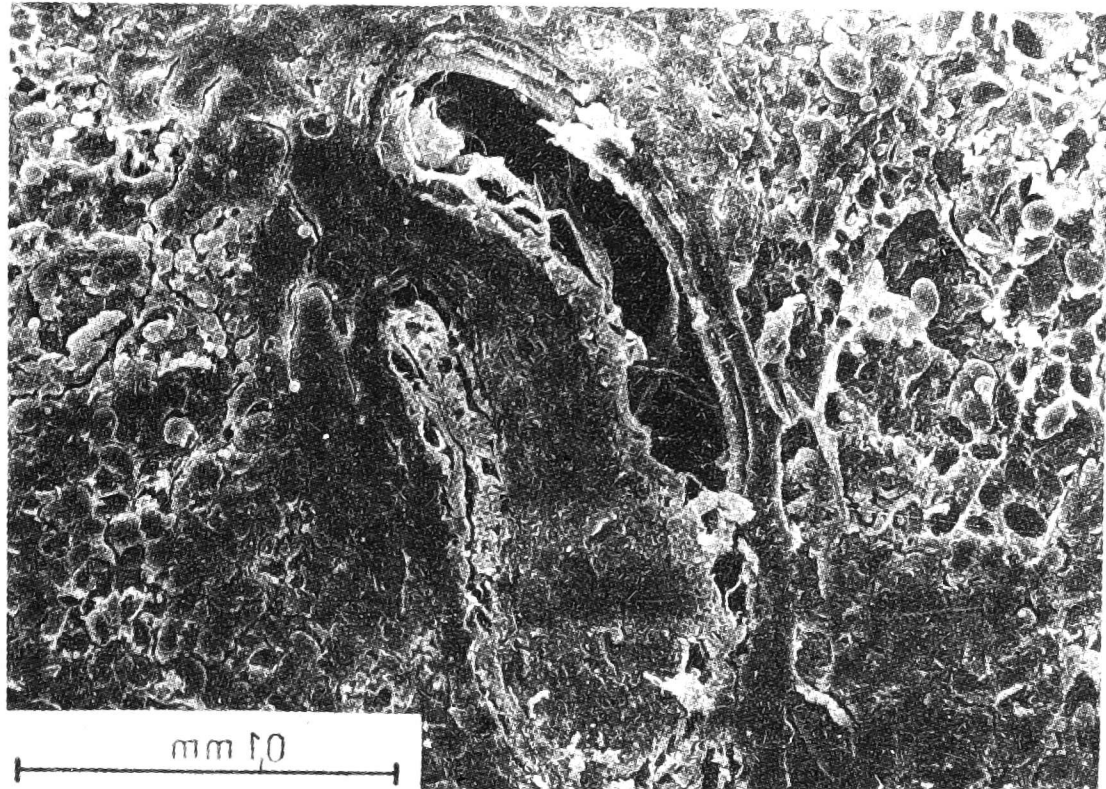


Rys. 14. Fragment oddzielenia się okrywy owocowej od nasiennej w ziarniaku po stronie brzusznej

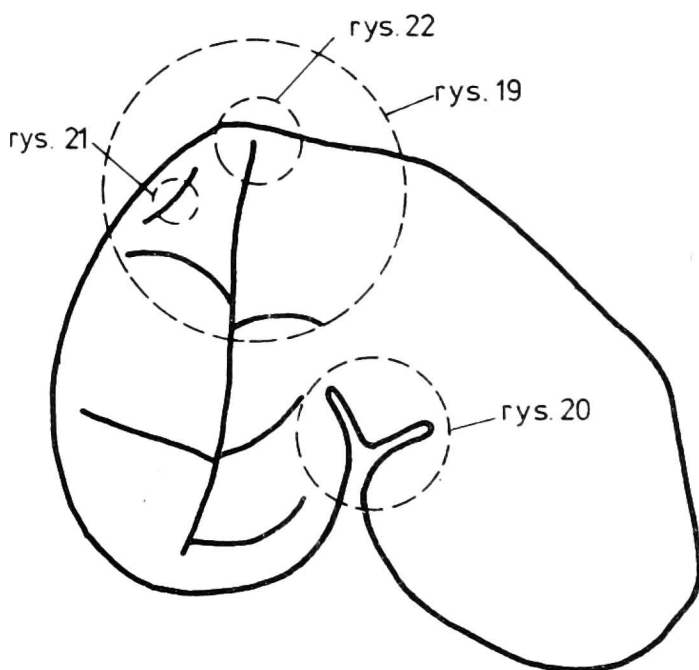


Rys. 15. Końcowy fragment szczeliny dochodzący do warstwy aleuronowej w ziarniaku po stronie brzusznej

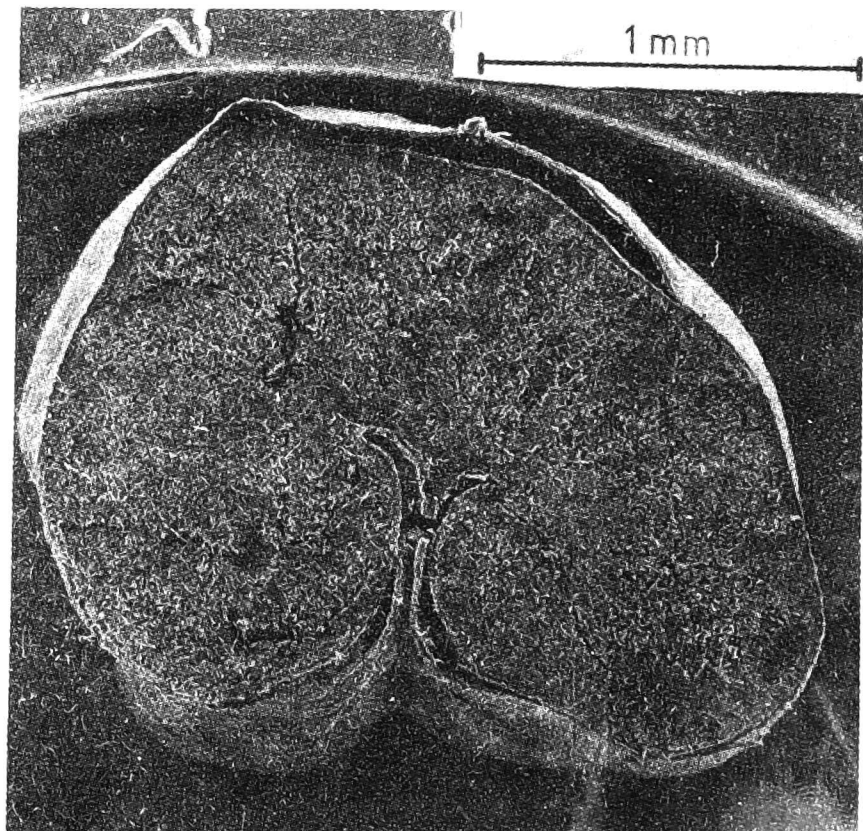
Najczęściej widoczne głębokie pęknięcia w endospermie skrobiowej dochodzą do warstwy aleuronowej, która nie zostaje w tym miejscu przerwana /rys. 15/. Na rysunku 16 przedstawiono strukturę ziarniaka w okolicy bruzdki. W tej części ziarniaka nie widać już tak wyraźnego uszkodzenia.



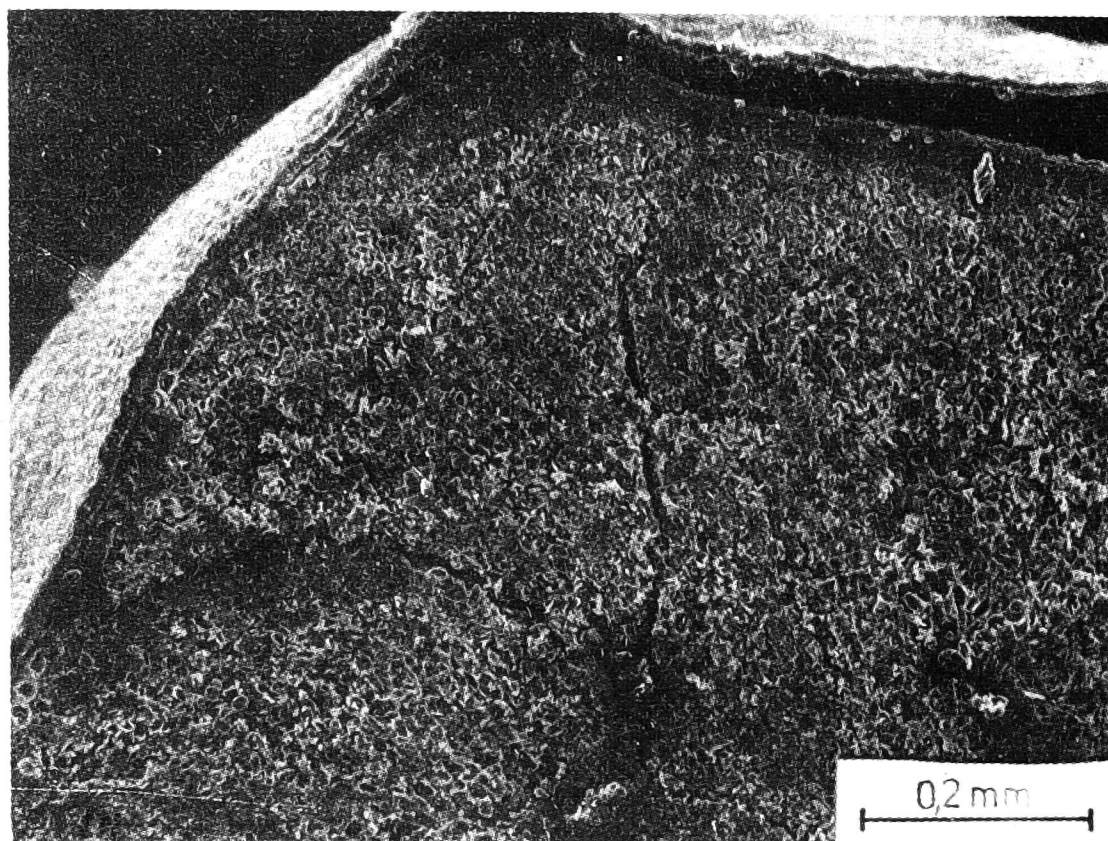
Rys. 16. Struktura ziarniaka w okolicy bruzdki



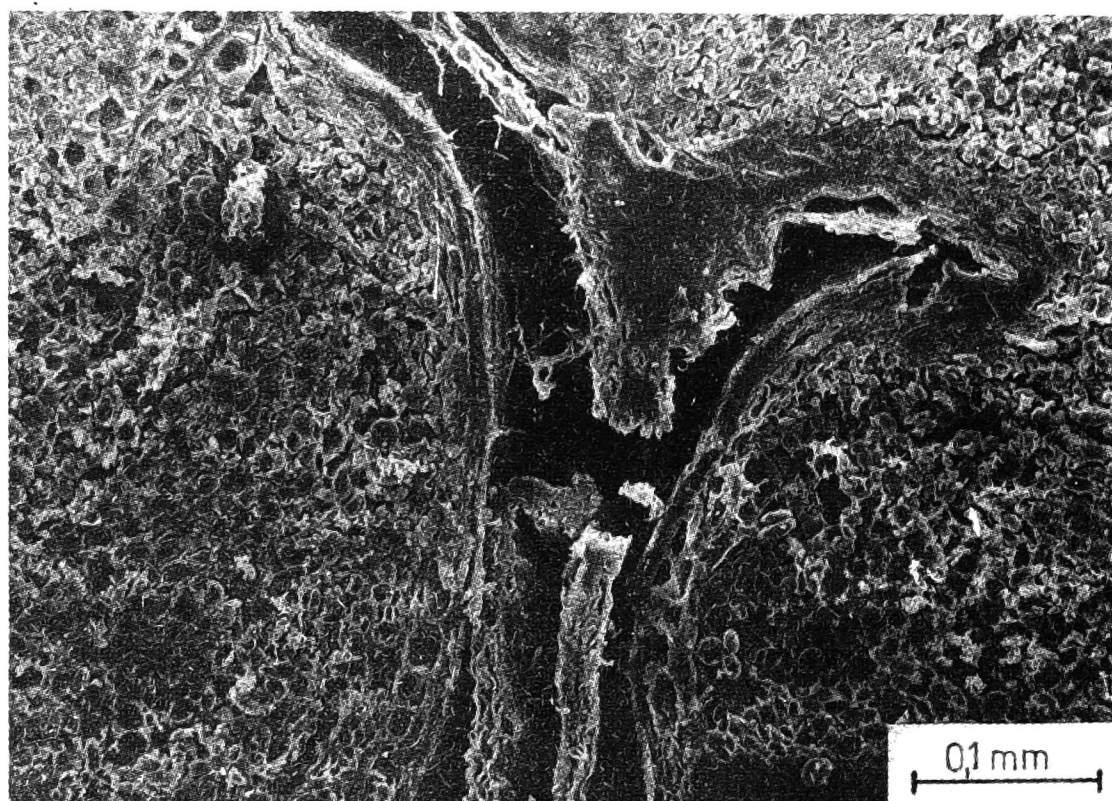
Rys. 17. Schemat kształtu przekroju poprzecznego ziarniaka z zaznaczonymi obszarami przedstawionymi na kolejnych rysunkach



Rys. 18. Główne linie pęknięć w uszkodzonym ziarniaku

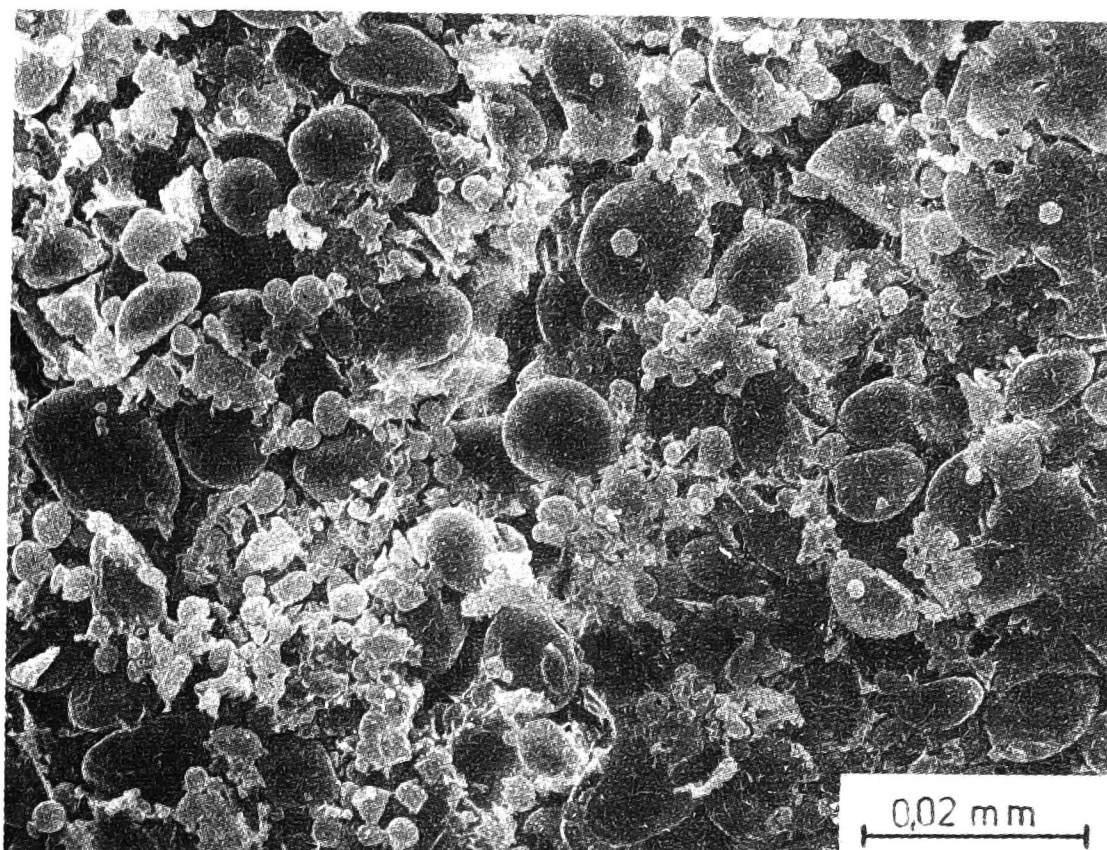


Rys. 19. Fragment rozwidlenia linii pęknięć w bielmie i oddzielenia się warstwy owocowej od nasiennej w ziarniaku

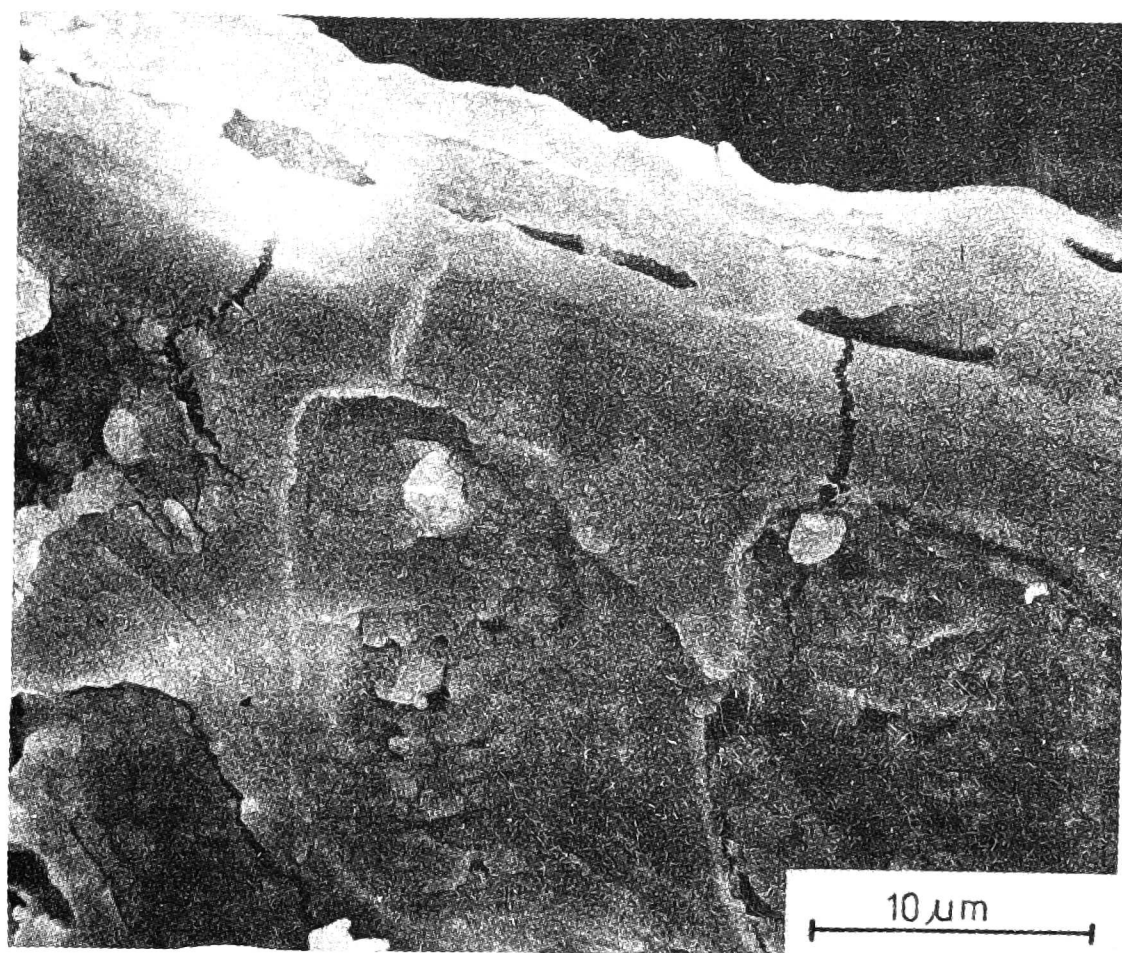


Rys. 20. Pęknięcia warstwy owocowej w okolicy bruzdki

Na rysunku 17 przedstawiono schemat analizy mikroskopowej kolejnego ziarniaka, zaś na rysunku 18 - fotografię przekroju poprzecznego ziarniaka z widocznymi pęknięciami. W części grzbietowej tego ziarniaka okrywa owocowa również oddziela się od okrywy nasiennej. /rys. 19/. Widoczne są również charakterystyczne pęknięcia w kształcie litery V. Występują tu pęknięcia w okolicy bruzdki. /rys. 20/. Jak wynika z obserwacji, /rys. 21/, pęknięcia w endospermie skrobiowej przebiegają między ziarnami skrobi, same zaś ziarna skrobi nie ulegają pęknięciom.



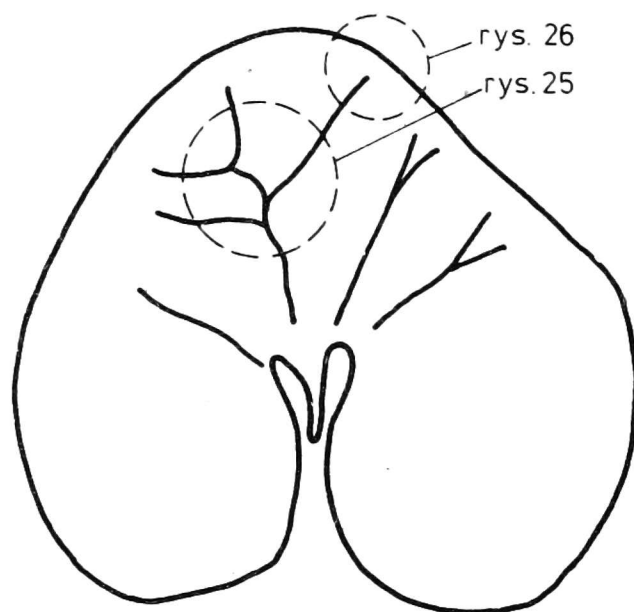
Rys. 21. Fragment linii pęknięć przebiegającej między ziarnami skrobi



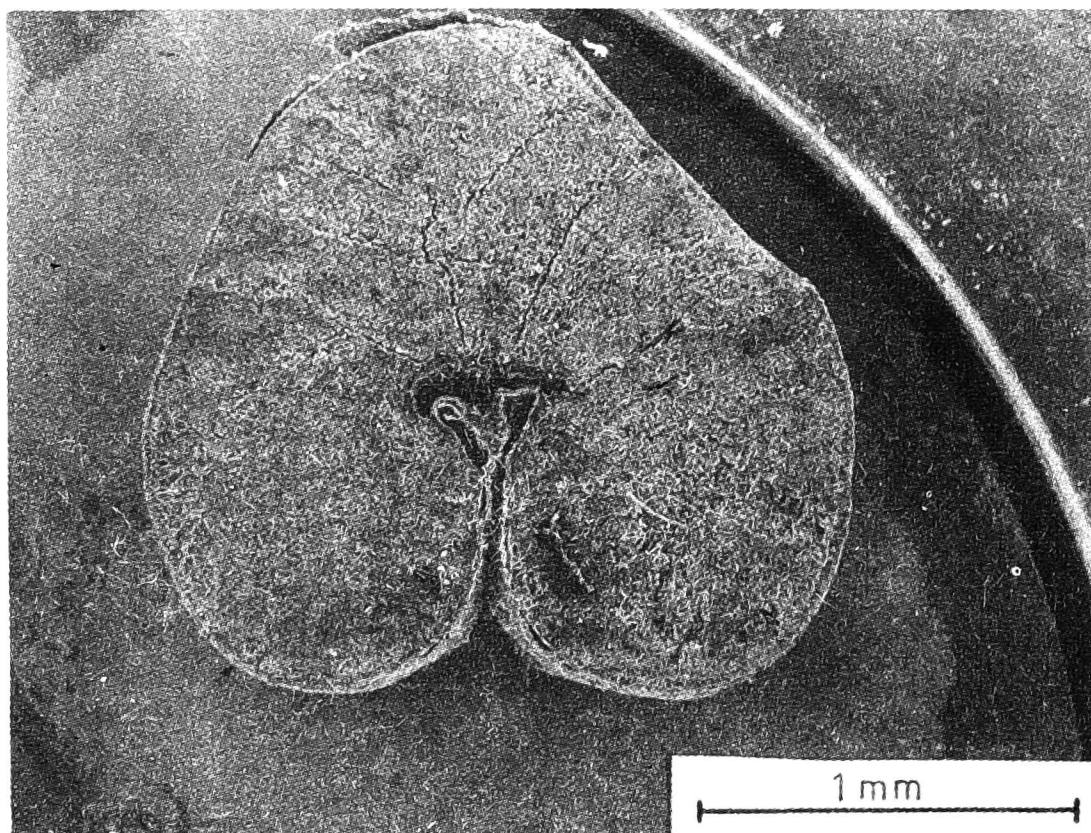
Rys. 22. Fragment pęknięć w okolicy warstwy nasiennej i aleuronowej

Stosunkowo rzadko występują pęknięcia w części okrywy nasiennej i warstwy aleuronowej /rys. 22/.

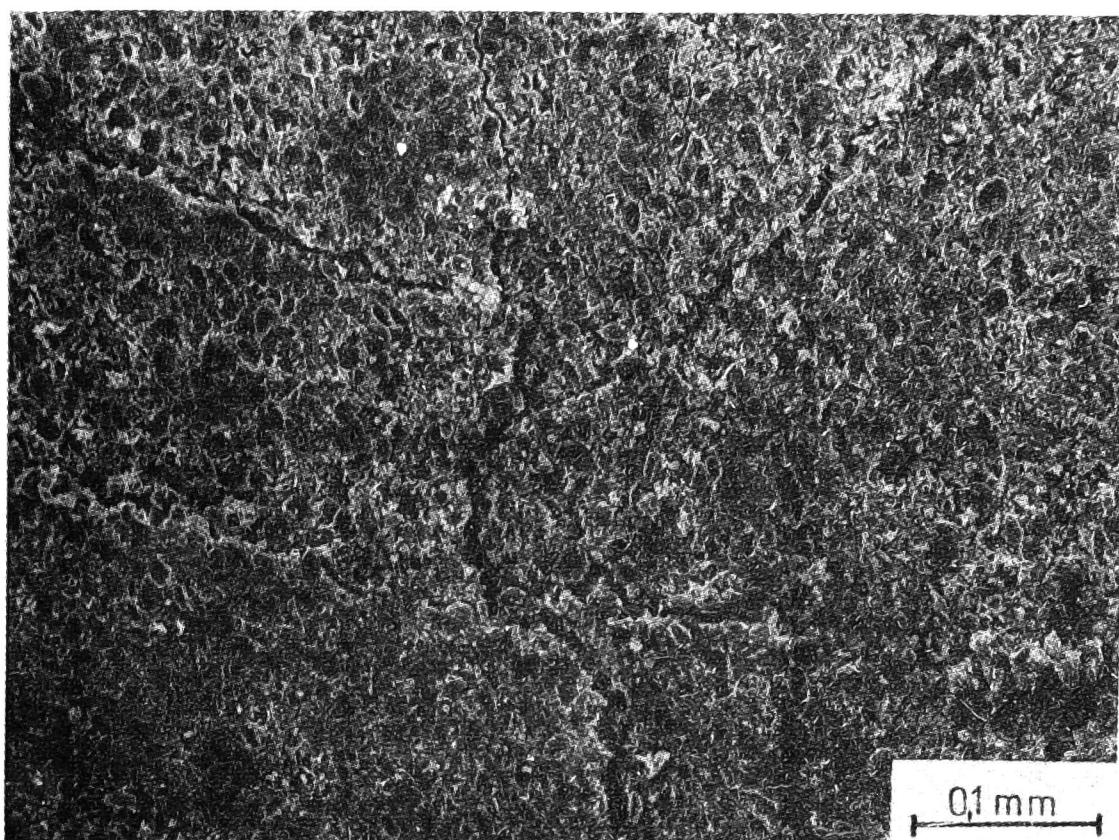
Rysunek 23 przedstawia kolejny kontur i miejsce wgniecenia, zaś rysunek 24 pokazuje rzeczywisty układ mikropęknięć w bielmie. W grzbietowej części okrywa owocowa również jest oddzielona od nasiennej, zaś linia głównych pęknięć tworzy charakterystyczne widełki /rys.25/.



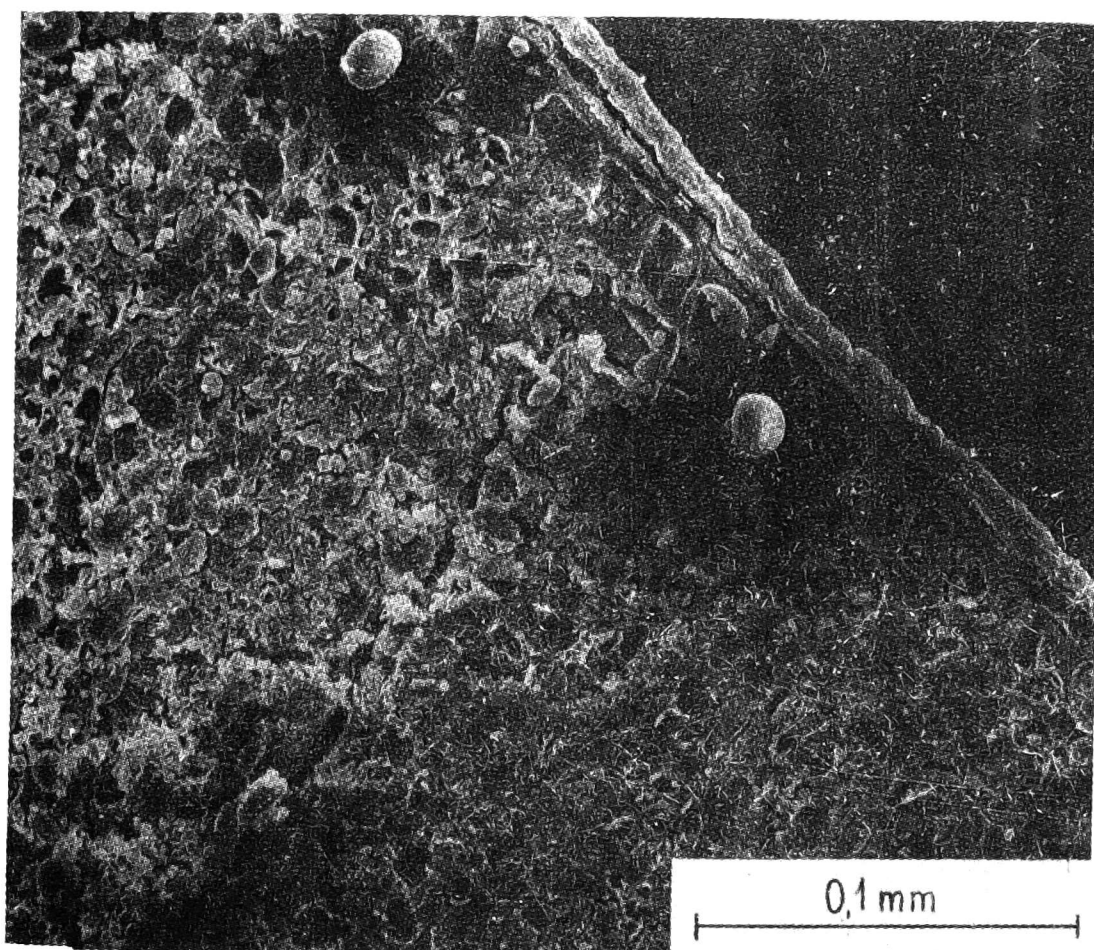
Rys. 23. Schemat kształtu przekroju poprzecznego ziarniaka z zaznaczonymi obszarami przedstawionymi na kolejnych rysunkach



Rys. 24. Główne linie pęknięć w uszkodzonym ziarniaku



Rys. 25. Fragment charakterystycznego rozwidlenia pęknięć w uszkodzonym mechanicznie bielmie



Rys. 26. Końcowy fragment linii pęknięć dochodzący do warstwy aleuronowej w ziarniaku po stronie grzbietowej

Pęknięcia w endospermie skrobiowej w grzbietowej części ziarniaka nie dochodzą do warstwy aleuronowej i w tym przypadku ani okrywa owocowo-nasienna, ani warstwa aleuronowa nie są przerwane /rys. 26/.

Na podstawie analizy uszkodzeń 30 ziarniaków - w pracy zamieszczono tylko 3 typowe przykłady - można wysnuć następujące wnioski:

- Ponieważ obciążenia były przyłożone do ziarniaków w wielu punktach, wewnątrz ziarniaków powstawał niejednorodny stan naprężeń. Przypuszcza się, że uszkodzenia struktury bielma następowały w obszarze największych naprężeń ścinających.

- Warstwa aleuronowa jest składnikiem decydującym o wytrzymałości mechanicznej ziarna. Trwałym odkształceniom ziarna towarzyszy zawsze uszkodzenie struktury bielma, natomiast warstwa aleuronowa często nie zostaje przerwana, choć ulega znacznym odkształceniom przy deformacji ziarna. Częściej występują pęknięcia w okrywie owocowej, rzadziej w okrywie nasiennej i warstwie aleuronowej. Amorficzna budowa warstwy aleuronowej tłumaczy dużą odkształcalność tej tkanki.

- Uszkodzenia występują najczęściej w grzbietowej części ziarniaka. Wgniecenia te powodują wyraźną siatkę mikropęknięć widocznych na przekroju poprzecznym już przy powiększeniu około 30-krotnym.

- Mniejszym uszkodzeniom ulega część brzuszna ziarniaków. Przypuszcza się, że na takie zachowanie wpływa obecność bruzdki, która pod wpływem obciążeń ugina się, zmniejszając światło komory.

- Na skutek wgnieceń u wszystkich badanych ziarniaków pszenicy stwierdzono rozwarstwienie okrywy owocowo-nasiennej.

- Prawie wszystkie pęknięcia na przekroju poprzecznym tworzą rysy w kształcie litery V. W rzeczywistości powstaje przestrzenna sieć mikropęknięć, tworzących rodzaj kratownicy.

Pęknięcia w endospermie skrobiowej przebiegają między ziarnami skrobi. Nie stwierdzono pęknięć w bielmie, przebiegających przez ziarna skrobi.

Przedstawiony w ogólnym zarysie obraz struktury wewnętrznej uszkodzonego ziarniaka może być podstawą do wyjaśnienia istotnych z praktycznego punktu widzenia zmian w porowatości wewnętrznej, intensywności pochłaniania wody i zdolności kiełkowania nasion.

#### OKREŚLENIE ZMIAN W ZAWARTOŚCI PORÓW WEWNĘTRZNYCH

Porowatość wewnętrzna ziarna wynika z istnienia przestrzennej sieci kanalików, utworzonych na skutek niecałkowitego wypełnienia przestrzeni międzyskrobiowej przez białko. W obrębie sieci tych kanalików wyróżnia się umownie dwa rodzaje porów [2, 3]; mikropory o umownej średnicy mniejszej od  $0,1 \mu\text{m}$ , oraz makropory o średnicy większej od  $0,1 \mu\text{m}$ .



Dla wyznaczenia zawartości porów wewnętrznych w badanych próbkach ziarna zastosowano metodę porografii rtęciowej przy użyciu porozymetru rtęciowego Carlo Erba typ 1500. Aparat ten pozwala rejestrować zmiany objętości rtęci wciskanej w pory badanego ciała przy stopniowo wzrastającym ciśnieniu do 150 MPa. Zależność między ciśnieniem potrzebnym do wprowadzenia rtęci w kapilarę a ich wielkością wyraża następujący związek:

$$r \cdot p = C \quad /1/$$

gdzie:

$r$  - promień kapilary,

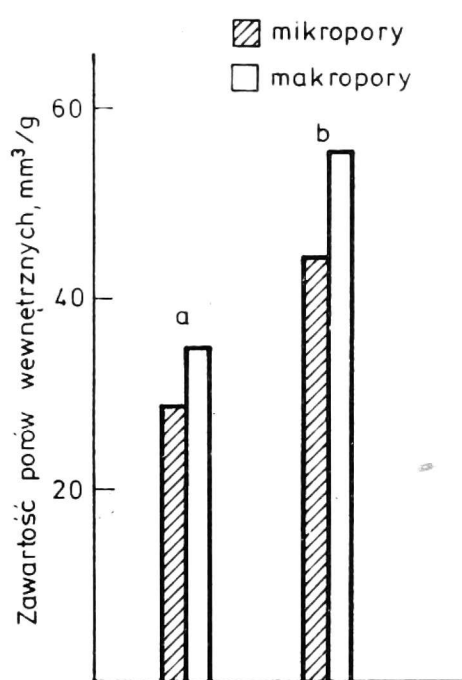
$p$  - ciśnienie rtęci,

$C$  - wartość stała dla danego materiału.

Pomiary zawartości porów wewnętrznych na materiale obciążonym i kontrolnym przeprowadzono według ustalonej metodyki [4] w trzech powtórzeniach, pobierając każdorazowo masę ziarna około 4,5 g.

Badania przeprowadzono w dwóch zakresach ciśnienia: od 0,01 do 76 MPa - dla wyznaczenia zawartości makroporów, oraz od 76 do 150 MPa - dla wyznaczenia zawartości mikroporów. Przyjęta granica podziału pełnego zakresu ciśnienia  $/p = 76 \text{ MPa}/$  odpowiadała, zgodnie z podanym równaniem /1/, wielkości porów o umownej średnicy 0,1  $\mu\text{m}$ , przyjętej jako kryterium podziału na mikro i makropory.

Uzyskane wyniki pomiarów zawartości porów wewnętrznych przedstawiono w formie diagramów /rys. 27/. Z przeprowadzonych badań wynika, że uszkodzenia mechaniczne powstałe w trakcie



Rys. 27. Zawartość mikro i makroporów w badanych próbkach ziarna: a - materiał kontrolny, b - materiał obciążony

obciążania wyraźnie wpływają na wzrost zawartości porów wewnętrznych w badanym materiale. Szczególnie wyraźnie wzrasta zawartość makroporów /około 68%/, czyli przestrzeni o średnicy powyżej 0,1  $\mu\text{m}$ . Należy sądzić, że zdecydowana przewaga zawartości makroporów w ziarnie uszkodzonym w porównaniu z ziarnem kontrolnym wynika z istnienia widocznych na rysunkach 10, 18, 24 dużych pęknięć w obrębie bielma. Wielkość tych szczelin często przekracza maksymalne średnice największych ziarn skrobi. Natomiast, jak wynika z przeprowadzonych eksperymentów, najmniejsza średni-

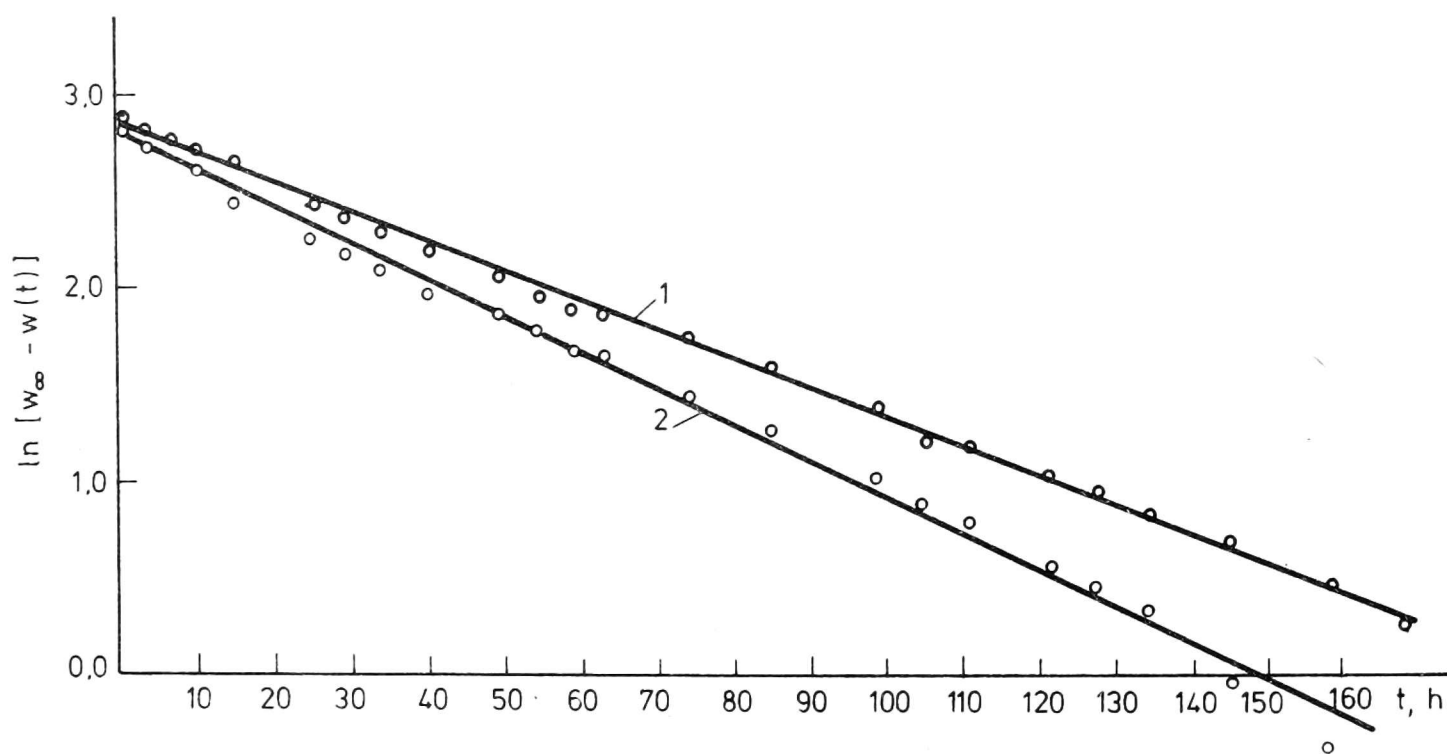
ca kapilar, jaka jest w stanie wykryć ten aparat, dochodzi do 10 nm, a więc są to kapilary o około 100 razy mniejsze od najmniejszych spotykanych ziarn skrobi. Wzrost zawartości mikroporów w ziarnie obciążonym w porównaniu z materiałem kontrolnym wynosił około 52%.

Zaobserwowany wpływ obciążeń statycznych na wzrost zawartości porów wewnętrznych może mieć istotne znaczenie z punktu widzenia przebiegu procesu nawilżania i suszenia, powodując na przykład niepożądany wzrost wilgotności ziarna w okresie przechowywania.

### OKREŚLENIE ZMIAN W DYNAMICE NAWILŻANIA ZIARNA

W celu sprawdzenia, w jakim stopniu uszkodzenia mechaniczne ziarna wpływają na przyspieszenie procesu pochłaniania wilgoci, poddano materiał ziarnowy procesowi nawilżania. 100-gramowe próbki ziarna powietrznie suchego nawilżano w komorze klimatyzacyjnej Weiss typ 240T w warunkach wilgotności względnej powietrza 100% i temperatury 15°C. Tak duża wilgotność powietrza umożliwiała otrzymanie pełnej charakterystyki nawilżania. W kilkugodzinnych odstępach czasu próbki ważono, aż do momentu ustalenia się ich masy. Wilgotność ziarna określano z przyrostu ich masy.

Ponieważ układ punktów doświadczalnych zbliżony był do przebiegu funkcji wykładniczej o poziomej asymptocie, wobec tego zaproponowano przybliżenie procesu tą właśnie funkcją. Najprostszym sposobem dopasowania funkcji wykładniczej do punktów doświadczalnych było przedstawienie zależności w układzie współrzędnych  $\{\ln [w_\infty - w(t)], t\}$ , gdzie  $w$  jest wilgotnością równowagową ziarna, zaś  $w(t)$  wilgotnością ziarna w chwili  $t$ , /rys. 28/.



Rys. 28. Przebieg dynamiki nawilżania ziarna pszenicy: 1 - materiał kontrolny, 2 - materiał obciążony

Metodą najmniejszych kwadratów dopasowano do danych doświadczalnych funkcję:

$$\ln [w_{\infty} - w(t)] = a t + b \quad /2/$$

gdzie:

a i b - współczynniki funkcji wykładniczej.

Zachodzi oczywisty związek między stałą b oraz wilgotnością początkową ziarna  $w_0$  i wilgotnością równowagową  $w_{\infty}$ :

$$b = \ln (w_{\infty} - w_0) \quad /3/$$

Tak więc proces nawilżania badanego materiału można opisać równaniem postaci:

$$w(t) = w_0 + (w_{\infty} - w_0)(1 - e^{at}), \quad /4/$$

gdzie charakterystyczne parametry ( $w_0$ ,  $w_{\infty}$  i a) wynoszą odpowiednio dla ziarna uszkodzonego: 11,20%, 28,84%, -0,0187, a dla ziarna kontrolowanego: 11,50%, 29,35%, -0,0151.

Na podstawie testu istotności ( $\alpha = 0,05$ ) odrzucono hipotezę o równości współczynników "a" dla ziarna uszkodzonego i kontrolnego. Ponieważ wilgotności początkowe i równowagowe ziarna są prawie jednakowe, więc badane procesy nawilżania różnią się tylko szybkością pochłaniania wilgoci. Z porównania wielkości współczynników "a" wynika, że ziarno uszkodzone osiąga wilgotność ziarna kontrolnego w czasie o 20% krótszym.

Uzyskane wyniki badań sugerują więc następujące wnioski:

- Krzywą nawilżania ziarna w warunkach stałej temperatury i wilgotności względnej powietrza - jako proces dochodzenia układu do stanu równowagi - dobrze przybliża funkcja wykładnicza.

- Pęknięcia, szczeliny i kanaliki powstałe na skutek mechanicznego uszkodzenia w okrywie owocowo-nasiennej, warstwie aleuronowej i bielmie ułatwiają dostęp wilgoci do wnętrza ziarna, co powoduje zauważalny wzrost szybkości pochłaniania wilgoci z otoczenia.

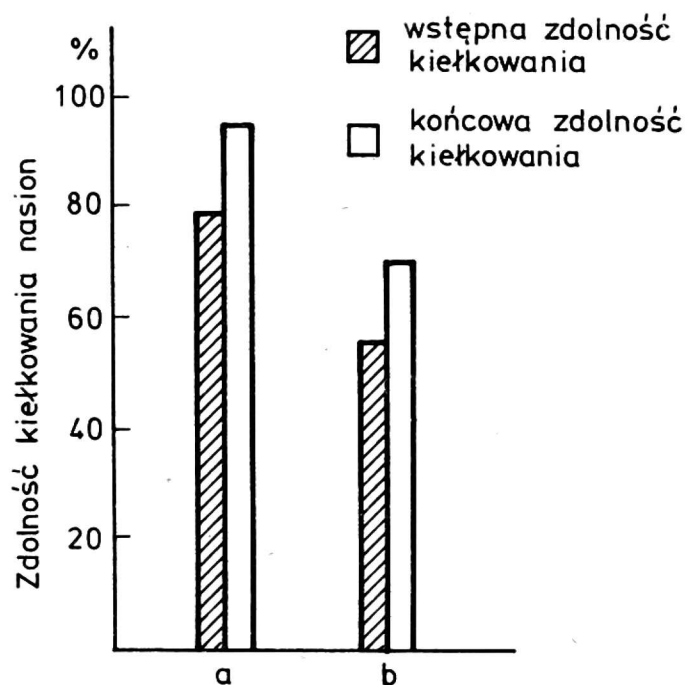
- Nie stwierdzono wyraźnego wpływu uszkodzeń na całkowitą ilość pochłoniętej wilgoci.

## OKREŚLENIE ZMIAN W ZDOLNOŚCI KIEŁKOWANIA NASION

Mechaniczne uszkodzenia nasion odgrywają również istotną rolę w kształtowaniu się cech jakościowych materiału siewnego. Wpływ uszkodzeń tkanki spichrzowej /bielma/ na procesy życiowe rośliny zależy od miejsca uszkodzenia. Wielu autorów dowiodło szczególnej wrażliwości ziarniaka na uszkodzenia w obrębie strony grzbietowej. Przypuszcza się, że jest to spowodowane

przerwaniem ciągłości warstwy aleuronowej, która spełnia funkcję tkanki przewodzącej, dostarczającej składniki pokarmowe z bielma do zarodka [5].

Celem sprawdzenia biologicznych skutków działania obciążeń statycznych na masę ziarnową pszenicy przeprowadzono pomiary zdolności kiełkowania nasion. Do oznaczenia zdolności kiełkowania nasion przyjęto metodę kiełkowania w podłożu piaskowym. Sposób przygotowania podłoża, zakładania doświadczeń oraz warunki w jakich przebiegał badany proces odpowiadały obowiązującej w tym zakresie metodyce [1]. Pomiary zdolności kiełkowania prowadzono w ośmiodniowym cyklu, dokonując po 4 dniach wstępnej oceny zdolności kiełkowania, zaś po 8 - końcowej. Podstawą oceny wpływu obciążeń statycznych na zdolność kiełkowania były wyniki pomiarów kontrolnych, przeprowadzonych na materiale nieobciążanym /rys. 29/.



Rys. 29. Zdolność kiełkowania /wstępna i końcowa/ nasion pszenicy: a - materiał kontrolny, b - materiał obciążony

Uzyskane wyniki badań potwierdzają wyraźny wpływ tego rodzaju obciążeń na obniżenie zdolności kiełkowania nasion.

Wskaźnik wstępnej oceny zdolności kiełkowania dla materiału obciążanego obniżył się z 80 do 57%. Analogicznie przy końcowej ocenie zdolności kiełkowania odpowiednie wartości wynosiły 97 i 67%. Zauważono również bardziej intensywny rozwój pleśni na nasionach uszkodzonych, spowodowany większą ilością szkodliwej mikroflory.

#### PODSUMOWANIE

Ziarniak zbóż jest zbyt małym obiektem, aby można było przeprowadzić na nim wszechstronne, makroskopowe badania właściwości mechanicznych, nie uwzględniając jego złożonej budowy wewnętrznej. Przeprowadzone obserwacje zmian w strukturze wewnętrznej ziarna pszenicy, podanego uprzednio działaniu obciążeń statycznych, zaliczyć należy do wstępnych. Aczkolwiek badania te nie ujawniły w pełni rzeczywistych mechanizmów powstawania uszkodzeń w ziarnie, to jednak wykazały określone prawidłowości tworzenia się pęknięć i szczelin. Uwzględnienie zmian strukturalnych w uszkodzonych ziarniakach pozwoliło wyjaśnić takie makroskopowe efekty, jak przyspieszenie procesu pochłaniania wilgoci, czy obniżenie zdolności kiełkowania nasion.

Jest to o tyle istotne, że dotyczy głównie takich uszkodzeń ziarn, które nie są widoczne na zewnątrz.

Wyniki tej pracy wskazują na potrzebę rozszerzenia badań agrofizycznych materiałów roślinnych o analizę struktury wewnętrznej. W dalszych badaniach nad mechanizmem tworzenia się uszkodzeń w ziarnie zbóż należałoby dokładniej poznać przestrzenną sieć pęknięć i zlokalizować na powierzchni ziarna obszary najbardziej podatne na obciążenia mechaniczne. Kontynuacja badań w zakresie struktury wewnętrznej w połączeniu z badaniami porozymetrycznymi pozwoli na dokładniejsze poznanie mechanizmów tworzenia się uszkodzeń w żywym materiale roślinnym, jakim jest ziarniak zbóż.

#### LITERATURA

1. Dorywalski J., Wojciechowski M., Bartz J.: *Metodyka oceny nasion*. Wyd. IV, PWRiL, Warszawa 1964.
2. Grundas S.: Próba określenia związku pomiędzy obciążeniem statycznym a porowatością ziarna pszenicy. *Rocz. Nauk Rol.* 1978, t. 73-C-4.
3. Lityński M.: *Biologia nasion i nasiennictwo*. PWN, 1970.
4. Stawiński J., Szot B.: Zastosowanie porozymetru rtęciowego do oznaczania porowatości wewnętrznej ziarn pszenicy. *Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo*. 1976, t. 20, z. 3.
5. Strona I.: *Uszkodzenia nasion, przyczyny i zapobieganie*. /tłum. z ros./ PWRiL Warszawa 1977.

С.Грундас, Д.Горабик, В.Возняк, Д.Коцонь

#### НЕКОТОРЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ПОВРЕЖДЕННЫХ ПШЕНИЧНЫХ ЗЕРНАХ

#### Резюме

Опираясь на анализ структурных изменений механически поврежденного пшеничного зерна, обсудили результаты исследований содержания внутренних пор, процесса увлажнения и всхожести семян. Исследования провели на материале, подверженном действию статических нагрузок в пределах до 8 МПа, а также на контрольном материале.

Анализ структурных изменений зерновок провели с применением электронного микроскопа, используя увеличение в 20-3500 раз. В результате выполненных наблюдений обнаружили м.пр., что устойчивые деформации зерна сопровождаются всегда повреждениями структуры эндосперма, а возникшие трещины проходят между зернами крахмала, образуя царапины в форме буквы V. Вследствие вмятин происходит расслоение плодово-семенной оболочки. Процесс увлажнения осуществляли в климатической камере Вейсса.

В результате измерений нашли, что микротрещины, возникшие во время нагрузок зерна, вызывают существенный рост скорости поглощения влаги из окружающей среды, причем не отметили отчетливого влияния повреждений на полное количество поглощенной влаги. Содержание внутренних пор в исследуемом материале определили, применяя ртутный порозиметр Карло Эрба тип I500. Констатировали, что механические повреждения вызывают отчетливый рост содержания макропор, т.е. канальцев с условным диаметром выше 0,1 мкм.

Процесс прорастания семян происходил на песчаной среде проращивания. Результаты измерений показали отрицательное влияние применяемого вида нагрузок, а наблюдения, проведенные во время прорастания, - интенсивное развитие вредной микрофлоры на поврежденных семенах.

S. Grundas, J. Horabik, W. Woźniak, J. Kocoń

## SOME RESULTS OF STRUCTURAL CHANGES IN DAMAGED WHEAT GRAINS

### Summary

On the basis of an analysis of structural changes in mechanically damaged grain of wheat the authors discuss the results of investigations of the internal pore content, the process of moistening and the germination ability of grains. The investigations were carried out on material subjected to static loads in the range of values up to 8 MPa, and on control material.

Analyses of the structural changes in the grains were carried out with the help of an electron microscope, using a magnification range from 20 to 3500 times. As a result of the observations made it was found, among other things, that permanent deformations of grains are always accompanied by damage to the endosperm, and the cracks formed run between starch particles in a V shape. Due to indentations a stratification of the fruitseed cover takes place.

The process of moistening was realized in a Weiss climatic chamber. As a result of the measurements it was found that the micro-cracks formed during the loading of the grains have a significant effect on the rate of moisture absorption from the neighbourhood, but no distinct effect of the damage on the amount of moisture absorbed was noted.

The internal pore content in the material examined was determined with the help of a Carlo Erba type 1500 mercury porometer. It was found that mechanical damage causes a significant increase in the content of macropores, i. e. channels of a conventional diameter of over 0.1 μm.

The process of germination occurred in a sandy medium. The results of measurements indicate a negative effect of the kind of loads applied, and the observations made during the germination indicated an intense development of harmful micro-flora on the damaged grains.