

WPŁYW CZYNNIKÓW AGROFIZYCZNYCH NA ZMIENNOŚĆ POROWATOŚCI MASY  
ZIARNA ZBÓŻ

Wanda Woźniak

Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie

## WPROWADZENIE

Jedną z ważniejszych cech fizycznych ośrodka sypkiego, a więc i masy nasiennej jest porowatość, czyli względna objętość wolnych przestrzeni międzyziarnowych. Znaczenie porowatości polega przede wszystkim na tym, że powietrze zawarte w przestrzeniach między ziarnami jest nosicielem ciepła i wilgoci. Wraz z powiększającą się porowatością usypanej masy spada przewodność ciepła [1, 3, 4, 9]. Układ ziarno - powietrze o zróżnicowanej wilgotności może istotnie ograniczać intensywność procesu wymiany ciepła i masy, a w konsekwencji prowadzić do groźnych stanów zlegania i miejscowego samozagrzewania [5, 9]. Obecność powietrza w porach ma także znaczenie fizjologiczne dla życia nasion, a dzięki przepływowi powietrza umożliwia w razie potrzeby jego dezynfekcję. Istnieje również inny aspekt tego zagadnienia. Poprzez ściskanie masy pod wysokim ciśnieniem, zmniejsza się wydatnie jej porowatość, a tym samym objętość. Ma to niebywałe znaczenie w ekonomice transportu i przechowywania, a ponadto szok ciśnieniowy w takich procesach prowadzący do drastycznego zmniejszania bakterii i pleśni jest podobny do reakcji mikroorganizmów na inne bodźce chemiczne i fizyczne [6].

Można więc stwierdzić, że rola jaką spełnia porowatość masy w praktyce rolniczej jest niezaprzeczalna. Ta ważna cecha fizyczna masy nasiennej jest jednak uzależniona od takich czynników jak kształt, wielkość i stan powierzchni nasion, ich układ w masie,

ilość i rodzaj zanieczyszczeń, nacisk górnych warstw na niższe, zjawisko samosortowania oraz wilgotność przechowywanego materiału [2, 7, 8, 10-12]. Poznanie wpływu przynajmniej części z nich staje się kolejnym krokiem w rozwiązywaniu bardzo ważnych i nabrzmiałych problemów rolniczych. Stąd też jako cel pracy przyjęto określenie zmienności porowatości masy ziarna determinowanej jednoczesnym zróżnicowaniem międzygatunkowym i międzyodmianowym, wymiarami i kształtem ziarna oraz jego zmienną wilgotnością. Zespół tych cech nazwano czynnikami agrofizycznymi. Zamierzano ocenić zarówno jakościowy jak i ilościowy wpływ tych czynników oraz uszeregować je według wielkości zmian, jakie wywołują w zawartości przestrzeni międzyziarnowych.

#### MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał badawczy stanowiły próbki ziarna pszenicy ozimej (Grana, Maris Huntsman, Mironowska 808), pszenicy jarej (Alfa, Sappo, Kolibri), żyta (Dańkowskie Złote, Dańkowskie Nowe, Pancerne) oraz jęczmienia jarego (Menuet, Trumpf, Aramir) pochodzące ze zbiorów Stacji Oceny Odmian w Czesławicach w latach 1977-1979.

Zakres prac eksperymentalnych obejmował:

- określenie wpływu zmiennej wilgotności ziarna na porowatość jego masy w stanie usypanym oraz dla masy o stałej objętości dla ziarna o naturalnym składzie granulometrycznym i dla wybranych klas grubości,

- określenie zmian podstawowych wymiarów geometrycznych ziarna pod wpływem wilgotności.

Każdy etap realizowano w dwóch kierunkach: przy wzroście wilgotności ziarna od kondycjonalnej do około 30% oraz przy zmniejszaniu się wilgotności od kondycjonalnej do suchej masy. Przy zbożach kłosowych badanie powyżej tego zakresu jest mało przydatne z uwagi na to, że nie została jeszcze osiągnięta dojrzałość fizjologiczna ziaren, a zatem nie zakończyło się ostateczne magazynowanie substancji odżywczej.

Pierwszy etap badań obejmował określenie porowatości masy ziar-

na luźno usypanego przy zmianie jego wilgotności. W tym celu dla każdej partii ziarna powietrznie suchego określano wilgotność stosując suszarkę Brabender. Następnie w wytarowanych, ażurowych i niechłonaących wilgoci pojemnikach odważano próbę o masie 500 g. Taką ilość ziarna tworzyła warstwę o grubości 15 mm, umożliwiała równomierne nawilżanie oraz zapewniała pomiar porowatości w założonej ilości 10 powtórzeń. Po określeniu, przy pomocy porometru ciśnieniowego [10, 12], porowatości masy ziarna powietrznie suchego umieszczano przygotowane próby w komorze klimatyzacyjnej Weiss i poddawano procesowi nawilżania w stałych, przyjętych na podstawie wstępnych badań warunkach, tj. w temperaturze 15°C i wilgotności względnej powietrza około 100%. Początkowo próby ważono i określano ich porowatość 3 razy na dobę, następnie 2 i 1 raz w zależności od przyrostu masy, a więc od intensywności pochłaniania wilgoci. Pełny cykl nawilżania trwał 10-14 dni, co odpowiadało zmianie wilgotności od około 11% do około 30%. Natomiast w celu określenia zmienności charakteryzowanych parametrów poniżej wilgotności kondycjonalnej, próby suszono w suszarce podwyższając temperaturę powietrza od 30°C do 105°C w miarę ubywania wody, dochodząc w efekcie do suchej masy. W czasie pełnego cyklu badań, tj. przy zmianie wilgotności od 0 do około 30% dokonano 300 pomiarów porowatości dla 30 poziomów wilgotności. W ten sposób po przyporządkowaniu kolejnym poziomom wilgotności, określonym według wzoru:

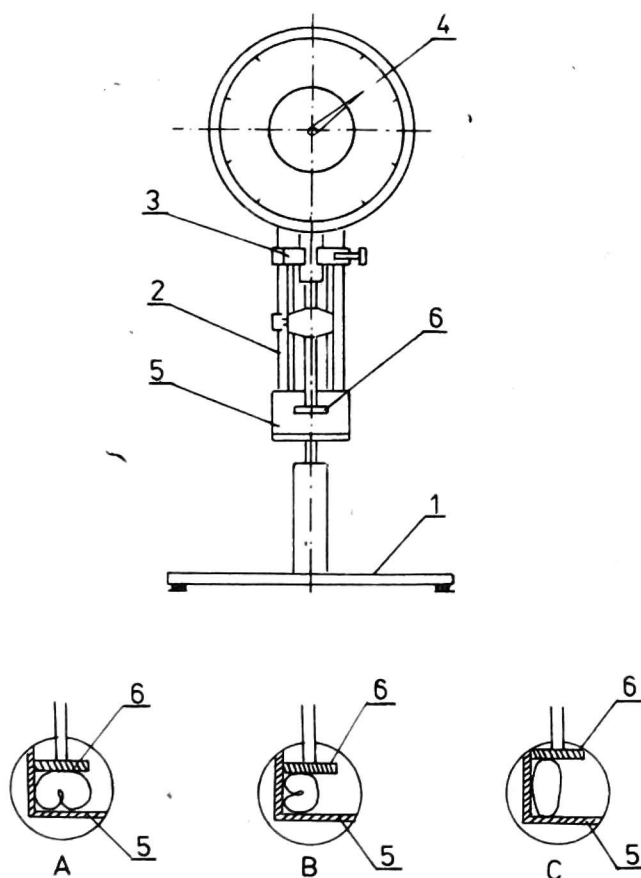
$$w_i = \frac{W + \Delta M}{M_i} \cdot 100 (\%) ,$$

gdzie:

- W - początkowa (wyjściowa) masa wody w badanej próbce ziarna,
- $M_i$  - masa próby po nawilżeniu,
- $\Delta M$  - zmiana masy wynikająca z nawilżania lub suszenia próby odpowiadających im wartości porowatości, uzyskano zależność typu  $P = P(w)$ .

Następny etap pracy realizowano poprzez nawilżanie i suszenie ziarna w cylindrycznych, perforowanych, zamykanych pojemnikach o objętości 100 cm<sup>3</sup>, tj. o takiej samej objętości, jaką ma cylinder

pomiarowy porometru. Pozwalało to na łatwe nawilżanie ziarna bez zmiany jego objętości, a jednocześnie na bezpośredni pomiar porowatości. Cała pozostała procedura eksperymentu, tzn. sposób nawilżania, suszenie i wykonywanie pomiarów odbywała się według omówionych zasad. W ostatnim etapie prac eksperymentalnych określono podstawowe wymiary geometryczne ziarna przy zmiennej wilgotności. Realizowano to poprzez pomiar grubości, szerokości i długości 300 ziarn dla każdej odmiany w czasie nawilżania i suszenia stosując te same jak poprzednio warunki. Miernik użyty do określania podstawowych wymiarów geometrycznych (rys. 1) składa się z podstawy (1) i kolumny (2), która jest na niej na stałe osadzona. Na kolumnie zamocowane jest jarzmo (3) z czujnikiem zegarowym (4) oraz kątowe kowadełko (5), na którym opiera się płaski trzpień czujnika (6). Podczas pomiaru ziarno znajduje się między kątowym kowadełkiem a trzpieniem czujnika w pozycjach: A - pomiar grubości, B - pomiar szerokości i C - długości. Odczytu dokonuje się na czujniku zegarowym z dokładnością do 0,01 mm.



Rys.1. Schemat miernika podstawowych wymiarów geometrycznych ziarna zbóż  
 A, B, C - sposoby ustawienia ziarna podczas pomiaru, 1 - podstawa, 2 - kolumna, 3 - jarzmo, 4 - czujnik zegarowy, 5 - kątowe kowadełko, 6 - płaski trzpień czujnika

## WYNIKI BADAŃ

Uzyskane dane liczbowe poddano analizie statystycznej poszukując zależności między badanymi parametrami. Przeprowadzono analizy wariancji dla klasyfikacji podwójnych i potrójnych stosując model ortogonalny. Porównano istotność różnic między gatunkami, odmianami, poziomami wilgotności i klasami grubości ziarna. Szczegółowe wnioski przeprowadzono za pomocą półprzedziałów ufności Dun-cana. Zmienność porowatości masy ziarna w funkcji wilgotności opisano odpowiednimi wielomianami, obliczono współczynniki determinacji, które są miarą dopasowania krzywej do danych eksperymentalnych oraz współczynniki korelacji między badanymi cechami.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badane czynniki agrofizyczne mają istotny wpływ na zmienność porowatości ziarna zbóż, a więc zmienność ta determinowana jest zarówno cechami gatunkowymi i odmianowymi, jak i czynnikami zewnętrznymi.

Wpływ cech gatunkowych uwidacznia się przede wszystkim poprzez stan powierzchni i zróżnicowany kształt ziarna, który został ujęty liczbowo współczynnikiem sferyczności. Przy obliczaniu współczynnika sferyczności 
$$\left( s = \frac{\sqrt[3]{abc}}{a} \right)$$
 wykorzystano podstawowe parametry geometryczne ziarna zakładając, że ma ono kształt zbliżony do elipsoidy trójwymiarowej o osiach: a - długość, b - szerokość i c - grubość. Uzyskane wartości (tab. 1) wskazują, że najbardziej zbliżone do kuli są ziarna pszenicy jarej ( $0,637 \leq s \leq 0,706$ ) najbardziej zaś od kuli różnią się ziarna żyta ( $0,497 \leq s \leq 0,529$ ) i jęczmienia ( $0,532 \leq s \leq 0,579$ ). Największą porowatość masy jęczmienia (tab. 2) tłumaczyć więc można chropowatą powierzchnią, a więc i największym spośród wszystkich współczynnikami tarcia wewnętrznego oraz kształtem ziarna wyrażającym się niskim współczynnikiem sferyczności. Mniejsza zawartość porów powietrznych w masie ziarna pszenicy jarej wynikać będzie natomiast z kształtu najbardziej zbliżonego do kuli i najmniejszego tarcia. Porównując jednak ziarno pszenicy i żyta, które mają podobny stan powierzchni, nasuwa się przypuszczenie, że to właśnie kształt najbardziej wpływa na objętość porów powietrznych..

T a b e l a 1

Średnie wartości współczynników sferyczności ziarna  
pszenicy, żyta i jęczmienia

Gatunek	Odmiana	Wilgotność, %					Średnia
		12	16	20	24	28	
Pszenica ozima	Mironowska	0,627	0,637	0,640	0,643	0,640	0,637
	Maris H.	0,646	0,636	0,649	0,650	0,653	0,647
	Grana	0,657	0,665	0,675	0,677	0,682	0,671
Średnia		0,644	0,646	0,655	0,657	0,659	0,652
Pszenica jara	Kolibri	0,661	0,678	0,677	0,683	0,679	0,676
	Sappo	0,680	0,688	0,699	0,692	0,706	0,693
	Alfa	0,644	0,637	0,654	0,649	0,650	0,647
Średnia		0,662	0,668	0,677	0,675	0,678	0,672
Żyto	Pancerne	0,497	0,502	0,517	0,515	0,513	0,509
	Dańkowskie Złote	0,506	0,504	0,504	0,516	0,518	0,510
	Dańkowskie Nowe	0,505	0,513	0,515	0,529	0,520	0,516
Średnia		0,503	0,507	0,512	0,520	0,517	0,512
Jęczmień jary	Trumpf	0,547	0,532	0,563	0,571	0,576	0,558
	Aramir	0,542	0,542	0,550	0,554	0,551	0,548
	Menuet	0,558	0,571	0,567	0,570	0,579	0,569
Średnia		0,549	0,548	0,560	0,565	0,569	0,558

NIR	Pszenica ozima	Pszenica jara	Żyto	Jęczmień jary
- między odmianami	0,005	0,005	0,005	0,004
- między wilgotnościami	0,007	0,008	0,007	0,006
- we współdziałaniu: odmiana x wilgotność	0,015	0,018	0,015	0,014

T a b e l a 2

Średnie wartości porowatości masy ziarna o naturalnym składzie granulometrycznym (%)

Gatunek	Wilgotność, %					Średnia
	12	16	20	24	28	
Pszenica ozima	50,33	52,20	52,95	55,17	55,17	53,17
Pszenica jara	48,67	50,30	52,03	53,92	52,57	51,50
Żyto	50,17	53,48	54,17	54,67	56,07	53,71
Jęczmień jary	55,85	56,67	58,83	58,77	55,52	57,13
Średnia	51,25	53,16	54,50	55,63	54,83	53,87

NIR

- między gatunkami - 0,29
- między wilgotnościami - 0,35
- we współdziałaniu: gatunek x wilgotność - 0,90

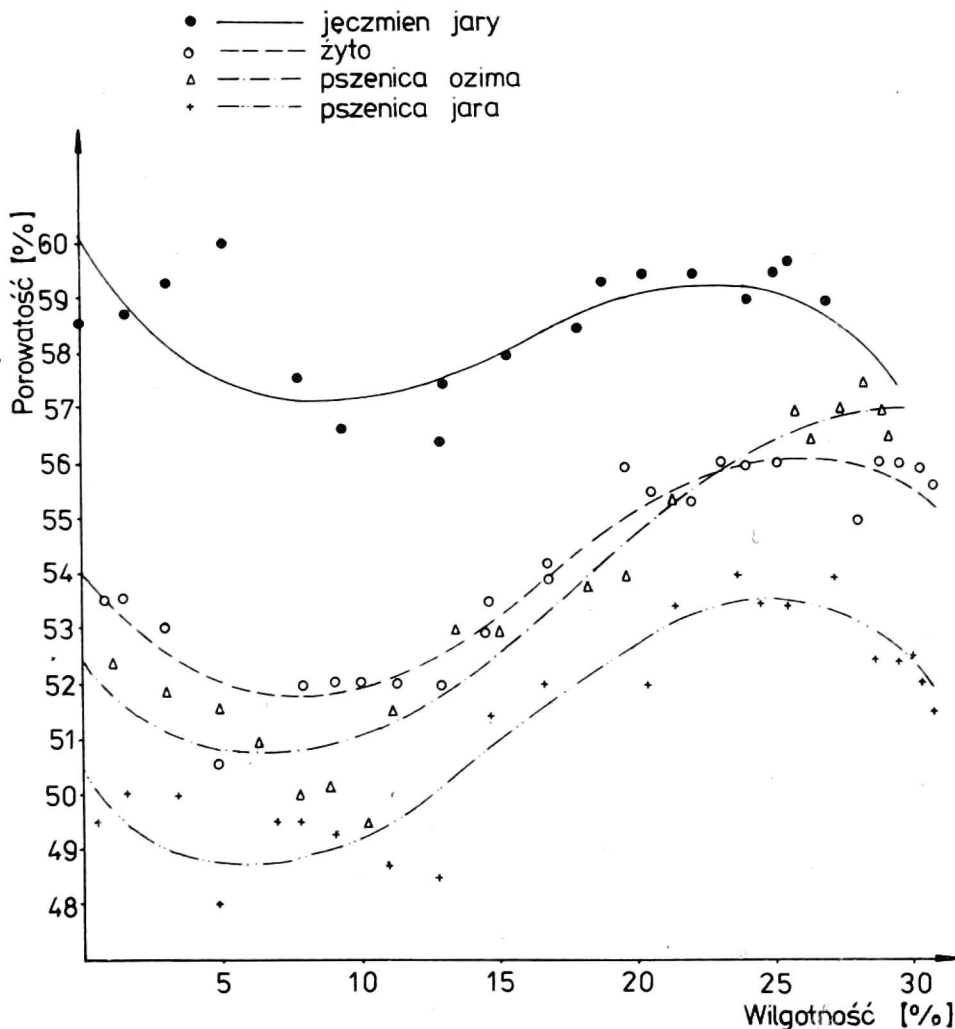
Następnym czynnikiem istotnie różnicującym objętość porów powietrznych między ziarnami jest ich wilgotność. Analizując wpływ wilgotności stwierdzono jednoznacznie, że jest on bardzo wyraźny zarówno w zakresie 12-30%, a więc dla wilgotności występujących w praktyce rolniczej, jak i dla całego badanego zakresu 0-30%. Uzyskaną eksperymentalnie zależność opisano w pierwszym zakresie funkcją liniową, w drugim zaś wielomianem trzeciego stopnia. Obliczone współczynniki korelacji w większości przypadków przekraczają wartości 0,9, a wysokie wartości współczynników determinacji (0,696-0,971) wskazują na poprawne dopasowanie opisu teoretycznego do danych doświadczalnych. Jedynie dla badanych odmian jęczmienia wartości te są niższe.

W przebiegu zmian porowatości w funkcji wilgotności w zakresie 0-30% można wyróżnić trzy przedziały zmienności (rys. 2):

- od 0 do około 8-10% wilgotności, kiedy porowatość maleje (często bardzo nieznacznie),

- od 8-10% do około 24-28%, gdzie porowatość intensywnie liniowo rośnie,

- powyżej 28%, kiedy objętość powietrza między ziarnami ponownie maleje.



Rys.2. Zmienność porowatości masy ziarna pszenicy ozimej Maris Huntsman, pszenicy jarej Kolibri, żyta Pancerne i jęczmienia jarego Trumpf w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

Analizując przedstawione przebiegi można stwierdzić, że jęczmień charakteryzuje się największą zawartością porów w całym badanym zakresie wilgotności. Porowatość jego masy waha się w granicach 56-60% dając maksymalne zróżnicowanie rzędu 4%. Dla pszenic zróżnicowanie to jest dwa razy większe (6-8%) co świadczy o ich większej wrażliwości na zmiany wilgotności. Pszenica jara ma poza tym naj-



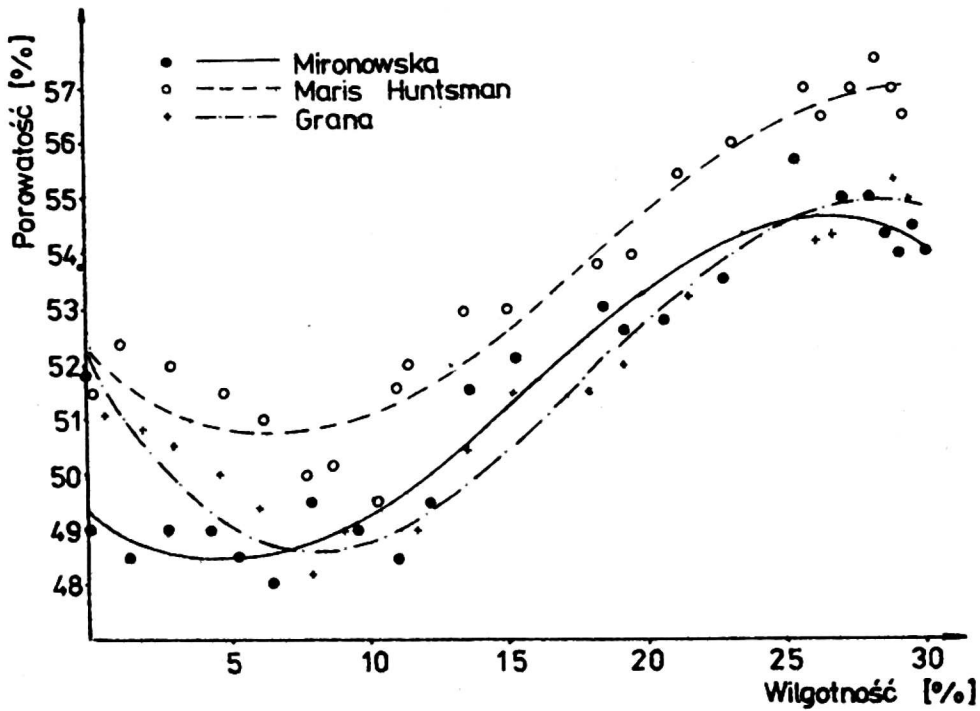
niższą porowatość masy zmieniającą się w granicach 48-54%. Zmiana objętości porów w masie żyta wynosi około 5%. Widać więc wyraźnie, że taka sama zmiana wilgotności ziarna powoduje u pszenic dwukrotnie większe zróżnicowanie porowatości niż u jęczmienia.

Ten złożony charakter zmian porowatości można z jednej strony wyjaśnić wpływem różnych rodzajów wiązań wody, z drugiej jednak nie do pominięcia jest fakt występowania pewnych charakterystycznych zjawisk powierzchniowych. Tak więc niewielki wzrost porowatości spowodowany wysychaniem materiału (zakres wilgotności 0-10%) wynika z powstawania zagłębień i nierówności na powierzchni ziarna. W tym zakresie wilgotności ziarna zachowują się jak ośrodek sypki, a współczynnik tarcia ma stałą minimalną wartość. Nawilżanie powyżej wilgotności kondycjonalnej wygładza powierzchnię ziaren likwidując w ten sposób wszelkie zagłębienia. Jednak w przedziale wilgotności 10-28% gwałtowny wzrost objętości porów powietrznych wynika ze wzrostu tarcia i wyraźnie zaznaczającego się działania sił kohezji. Wzrost sił spójności i tarcia występuje jednak do pewnej granicy, to jest 26-28% wilgotności po czym wyraźnie przestaje wpływać na porowatość, która z zasady ustala się na pewnym poziomie lub nieznacznie maleje. Tendencję taką można wyjaśnić faktem, że powyżej 26% wilgotności współczynnik tarcia wzrasta bardzo nieznacznie lub nawet spada na skutek poślizgu wody powierzchniowej, jak również tym, że materiał sypki przy wysokich wilgotnościach zachowuje się plastycznie.

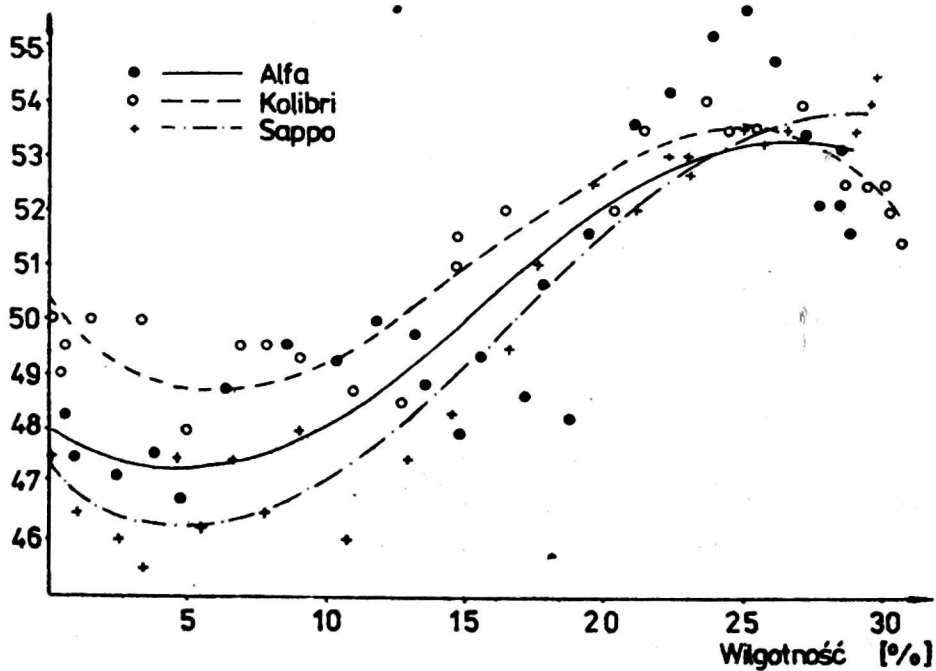
Analizując zmienność porowatości w obrębie gatunku stwierdzono, że spośród odmian pszenicy ozimej (rys. 3) - Maris Huntsman charakteryzuje się najwyższą porowatością w całym zakresie zmiennej wilgotności (49,5-57,5%). Ziarna Grany natomiast, poza skrajnymi zakresami (poniżej 7% i powyżej 25%) tworzą warstwę o najmniejszej zawartości wolnych przestrzeni: 48%-54%. Zauważyć jednak można, że wzrost zawartości wolnych przestrzeni międzyziarnowych - spowodowany nawilżaniem - wynosi 7-8%, niezależnie od cech odmianowych.

Przy nawilżaniu ziarna pszenicy jarej zaobserwowano wyraźne zróżnicowanie międzyodmianowe w zakresie od 0 do 24% wilgotności (rys. 4). Przy wyższych wilgotnościach różnice te zacierają się. Najwyższą porowatością charakteryzowała się w tym zakresie odmiana

Kolibri (48-54%), a najniższą Sappo (45,5-53%). Zmiana porowatości towarzysząca nawilżaniu dochodziła w obrębie badanych odmian nawet do 10% (Sappo).

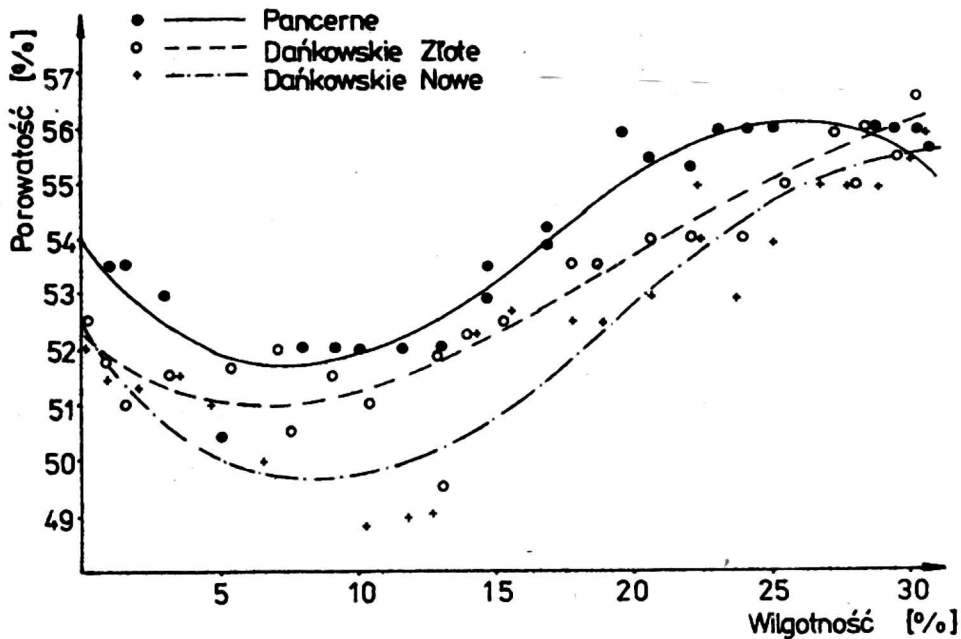


Rys.3. Zmienność porowatości masy ziarna trzech odmian pszenicy ozimej w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

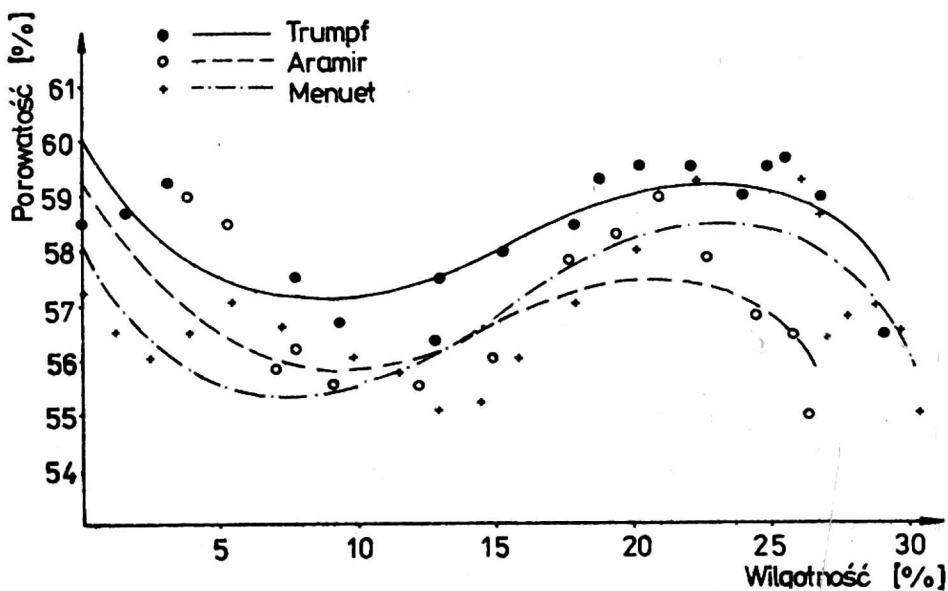


Rys.4. Zmienność porowatości masy ziarna trzech odmian pszenicy jarej w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

Zmienność porowatości masy ziarna żyta wynikająca ze zmian wilgotności obejmowała mniejszy zakres niż u pszenic (rys. 5). Skrajne wartości dla wszystkich badanych odmian różniły się o 5,5-7%. Najwięcej przestrzeni międzyziarnowych zaobserwowano u odmiany Pancerne (50,5-56%), najmniej u odmiany Dańkowskie Nowe (49-56%).



Rys.5. Zmienność porowatości masy ziarna trzech odmian żyta w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

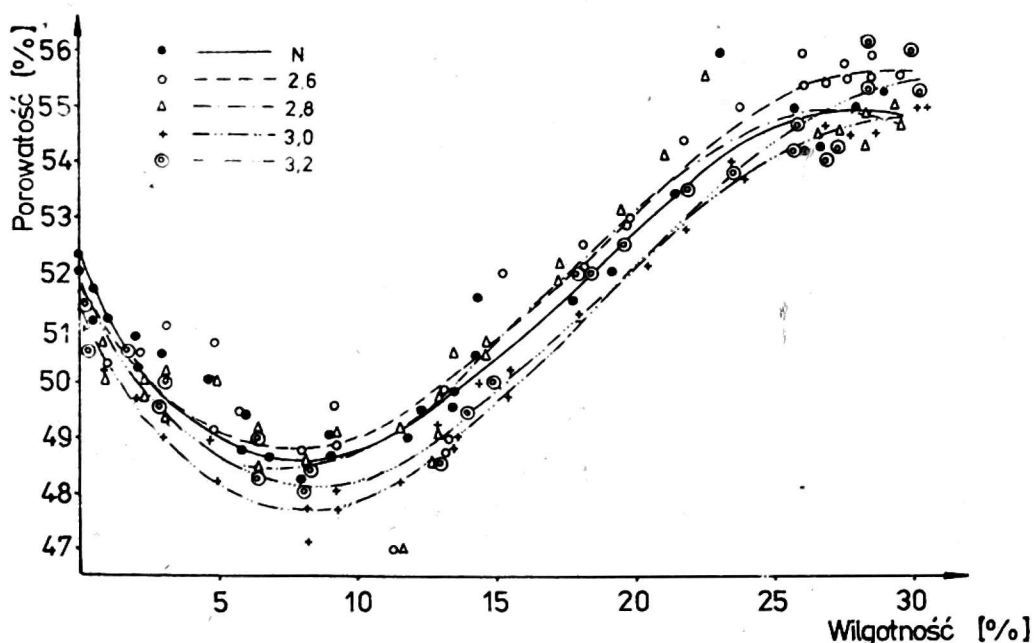


Rys.6. Zmienność porowatości masy ziarna trzech odmian jęczmienia jarego w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

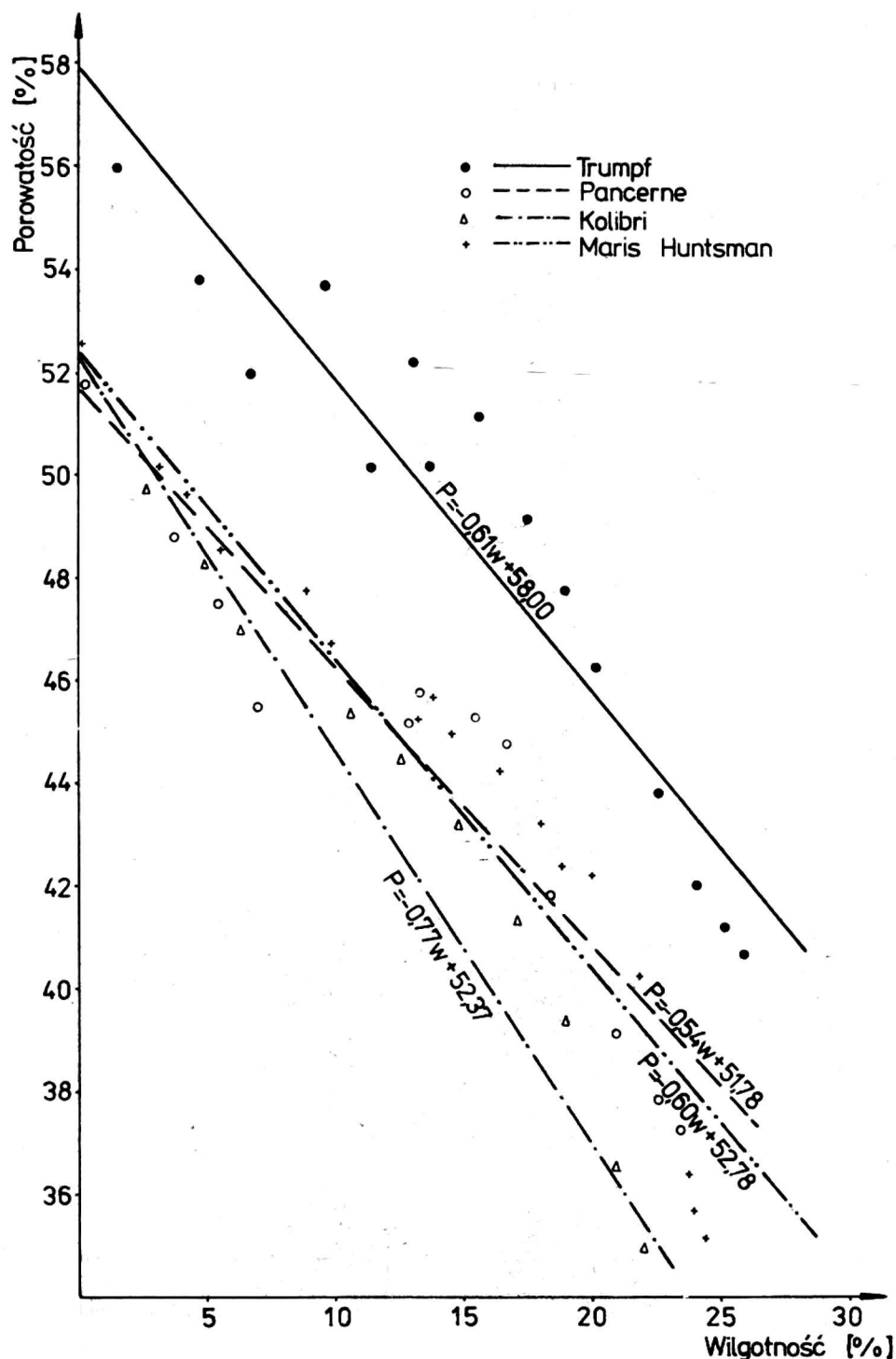
W obrębie badanych odmian jęczmienia zaobserwowano też wyraźne różnice międzyodmianowe (rys. 6). Trumpf jest odmianą o najwyższej zawartości przestrzeni międzyziarnowych: 56,5-60%, dwie pozostałe - Aramir i Menuet przyjmują wartości z przedziału 55-59%. Widać więc wyraźnie, że wilgotność ziarna w tym przypadku ma zdecydowanie mniejszy wpływ na zmianę porowatości niż u pszenic i żyta. Skrajne wartości nie różnią się więcej niż o 3-4%.

Na zróżnicowanie porowatości wpływa także, poza omówionymi czynnikami, grubość ziarna, chociaż różnie u poszczególnych odmian i gatunków. Najwyraźniej zarysowuje się to u pszenic, najsłabiej u żyta. Stwierdzono, że ze wzrostem grubości ziarna maleje zawartość porów powietrznych (rys. 7). Znajduje to potwierdzenie w literaturze, gdzie autorzy sugerują wzrost prawdopodobieństwa wystąpienia większej ilości wolnych przestrzeni dla cząstek o regularnym kształcie i mniejszym rozmiarze [3, 9].

Szeregując badane czynniki na podstawie wpływu, jaki mają na porowatość można stwierdzić, że wilgotność dominuje nad pozostałymi. Zmienność porowatości wynikająca z jej wpływu jest kilkakrotnie większa od zróżnicowania determinowanego grubością i cechami odmianowymi.

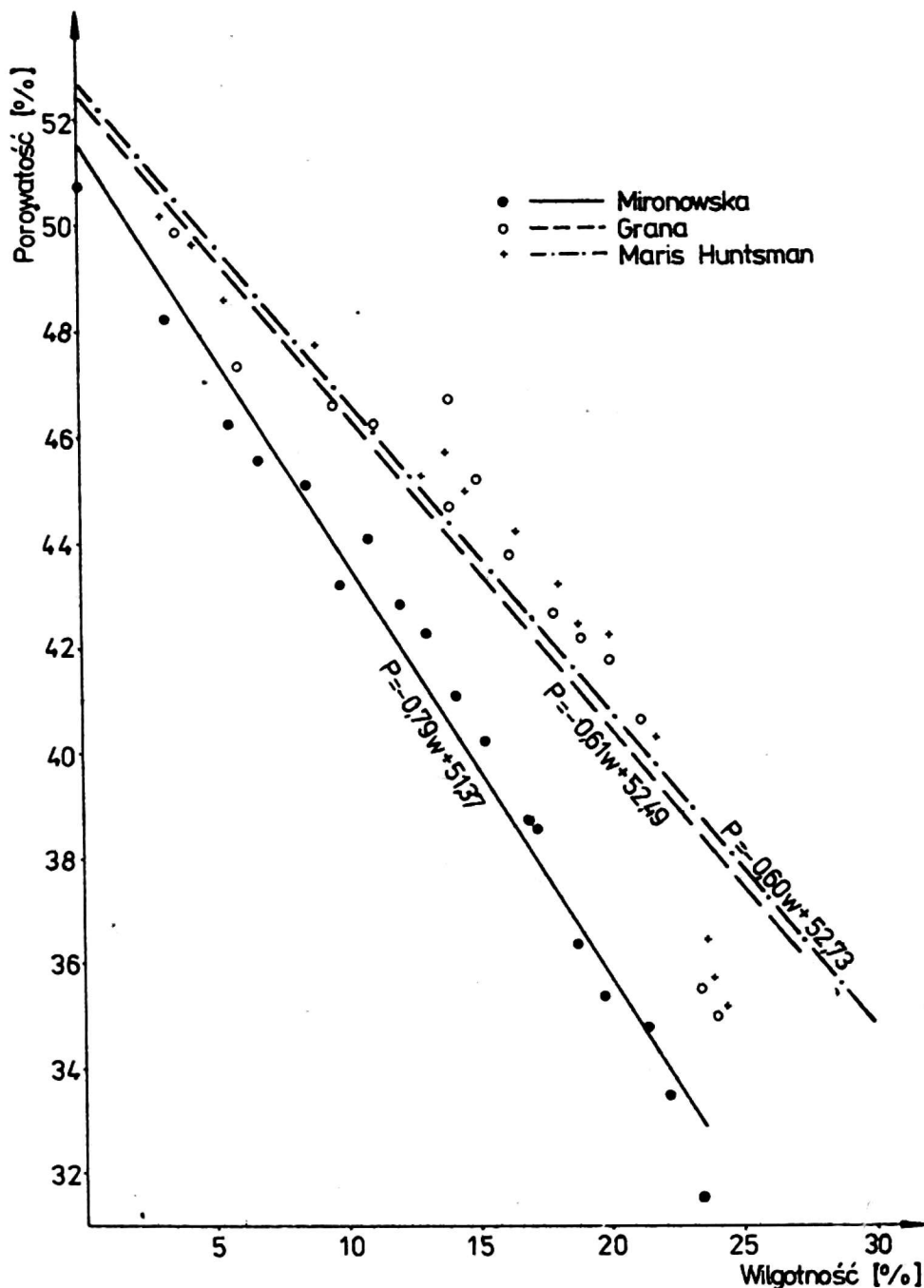


Rys.7. Zmienność porowatości masy ziarna pszenicy ozimej Grana w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$  dla materiału o naturalnym składzie granulometrycznym i wybranych klasach grubości



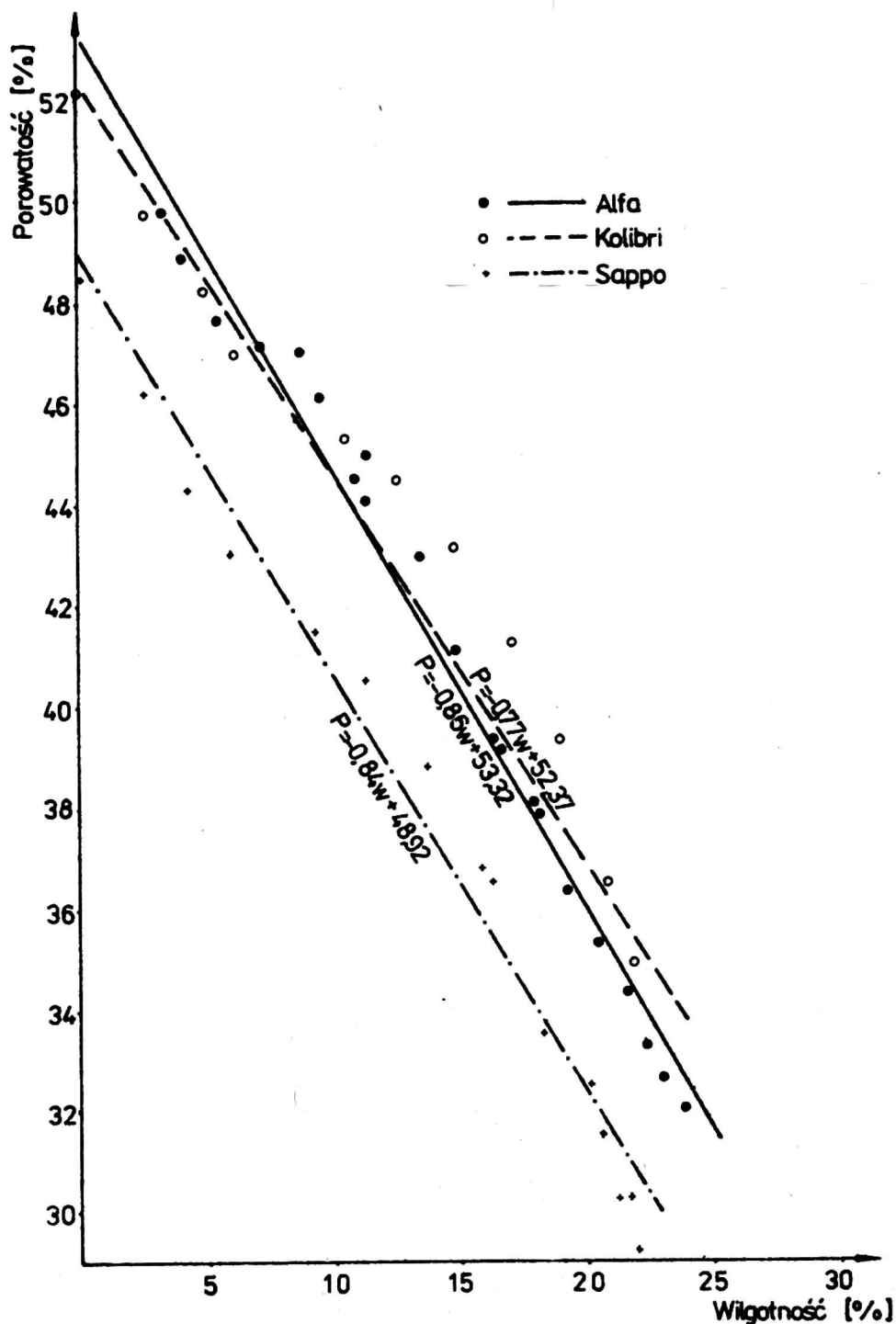
Rys.8. Zmienność porowatości masy ziarna o stałej objętości pszenicy ozimej Maris Huntsman, pszenicy jarej Kolibri, żyta Pancerne i jęczmienia Trumpf w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

Przy ocenie wpływu wilgotności ziarna na porowatość masy o stałej objętości, co ma imitować warunki w jakich znajdują się ziarna w środkowych i dolnych partiach przechowywanej masy, wykazano, że nawilżanie powoduje zmniejszanie objętości porów powietrznych. Badana zależność ma przebieg liniowy, a nawilżanie ziarna w niektórych przypadkach powoduje 30-procentowy spadek porowatości (rys.8). Analizując przebieg otrzymanych zależności stwierdzono, że jęczmień



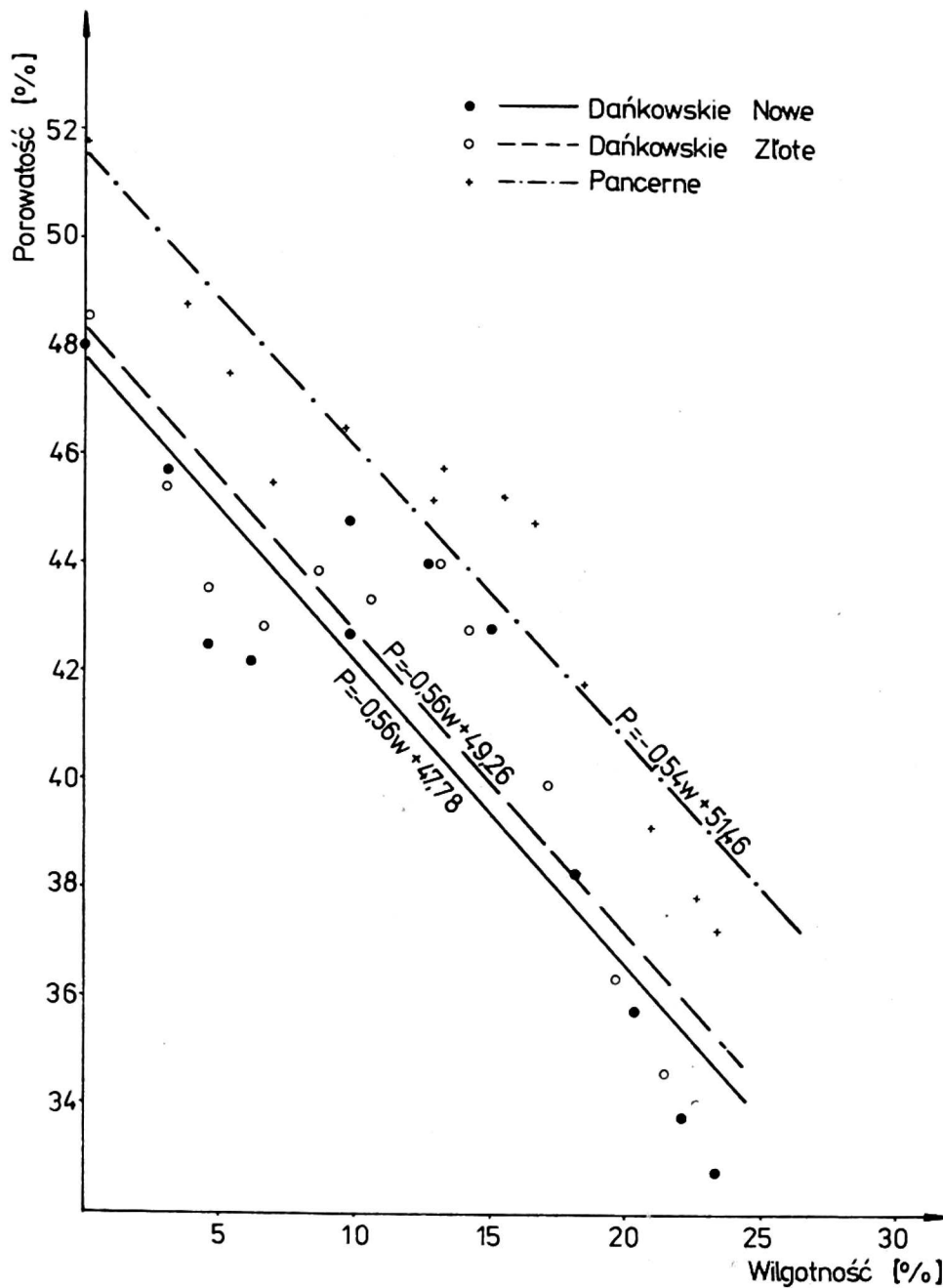
Rys.9. Zmienność porowatości masy ziarna o stałej objętości trzech odmian pszenicy ozimej w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

jary w całym zakresie zmiennej wilgotności charakteryzuje się największą porowatością (41-58%), zaś najniższą ma masa pszenicy jarej (35-52%). Analizując wielkości współczynników kierunkowych stwierdzono, że pszenica jara najsilniej reaguje na zmiany zawartości wody. Każda zmiana wilgotności ziarna o 10% pociąga za sobą spadek porowatości o około 8%, podczas gdy dla żyta (najmniej wrażliwego) tylko o 5%.



Rys.10. Zmienność porowatości masy ziarna o stałej objętości trzech odmian pszenicy jarej w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

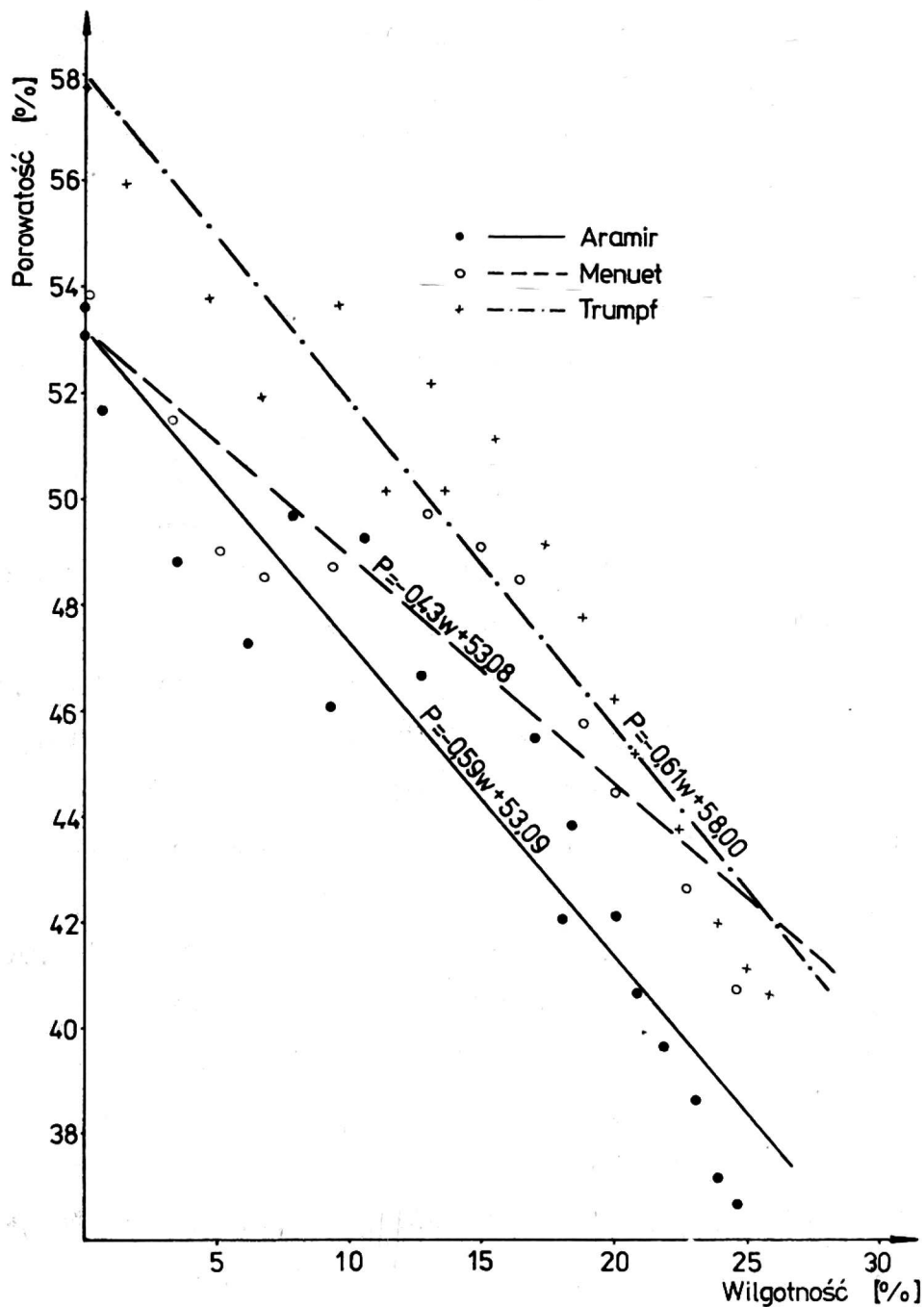
Rozważając w dalszej kolejności zróżnicowanie międzyodmianowe, stwierdzono, że w obrębie badanych odmian pszenicy ozimej (rys. 9) Mironowską cechuje najniższa porowatość: 31,5-51,5%, podczas gdy Maris Huntsman obejmuje przedział najwyższych wartości: 35-53%. Ponadto obserwuje się, że Mironowska jest najbardziej wrażliwa na zmiany wilgotności. Świadczy o tym wielkość współczynnika kierunkowego 0,79 w porównaniu z 0,60 i 0,61 dla pozostałych odmian.



Rys.11. Zmienność porowatości masy ziarna o stałej objętości trzech odmian żyta w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

Wszystkie badane odmiany pszenicy jarej reagują bardzo podobnie (rys. 10). Rozrzut wartości współczynników kierunkowych jest minimalny; wynoszą one odpowiednio: dla Alfya - 0,86, Kolibri - 0,77 i Sappo - 0,84. Odmiana Sappo ma jednak zdecydowanie najmniej wolnych przestrzeni międzyziarnowych: 29-48,5%, podczas gdy Alfa obejmuje przedział 32-53%. Analizując wielkość współczynników kierunkowych prostych regresji opisujących zmienność porowatości masy ziarna żyta, stwierdzono, że wszystkie badane odmiany reagują jednakowo na zmiany wilgotności (rys. 11). Zróżnicowanie zawartości wody o 10% pociąga zmianę porowatości o około 5-6%. Wrażliwość żyta





Rys.12. Zmienność porowatości masy ziarna o stałej objętości trzech odmian jęczmienia jarego w funkcji wilgotności  $0 \leq w \leq 30$

jest więc mniejsza niż u pszenic. Ponadto największej przestrzeni międzyziarnowych jest w masie ziarna odmiany Pancerne: 37-52%. Dwie pozostałe odmiany są bardzo podobne, a porowatość ich zmienia się od 34 do 48%. Dwie odmiany jęczmienia (rys. 12) odznaczają się podobną wrażliwością na zmianę wilgotności jak omówione odmiany żyta, pomimo, że jedną (Trumpf) cechuje największa zawartość porów powietrznych w masie (41-58%), a drugą (Aramir) najmniejsza (37-54%). Odpowiednie współczynniki regresji 0,59 i 0,61 są 1,5 raza większe niż dla trzeciej badanej odmiany - Menuet.

Oceniając kompleksowy wpływ badanych czynników można stwierdzić, że objętość porów między ziarnami najwyraźniej różnicowana jest przez wilgotność, w dalszej kolejności przez gatunek i odmianę. Grubość ziarna w tych warunkach nie ma istotnego wpływu.

### WNIOSKI

Przeprowadzone testowanie uzyskanych wyników pozwoliło stwierdzić, że:

1. Zmienność porowatości ziarna zbóż determinowana jest zarówno cechami odmianowymi, jak i czynnikami zewnętrznymi.

2. Spośród badanych rodzajów zbóż najwyższą porowatością masy ziarna w stanie usypnym charakteryzuje się jęczmień, zaś najniższą pszenica jara. Wpływ cech odmianowych i gatunkowych uwidacznia się przede wszystkim poprzez stan powierzchni i zróżnicowany kształt ziarna, który został ujęty liczbowo współczynnikiem sferyczności.

3. Wilgotność jest czynnikiem istotnie zmieniającym zawartość wolnych przestrzeni międzyziarnowych. Pszenice (szczególnie jare) są bardziej wrażliwe na zmiany wilgotności niż żyto i jęczmień. Zmiany porowatości masy ziarna w funkcji wilgotności opisano wielomianem trzeciego stopnia w zakresie  $0 \leq w \leq 30\%$ , a funkcją liniową dla  $12 \leq w \leq 30\%$ .

4. Grubość ziarna wpływa na zróżnicowanie porowatości, chociaż w różnym stopniu u poszczególnych odmian i gatunków. Najwyraźniej zarysowuje się to u pszenic, najsłabiej u żyta.

5. Spośród badanych czynników agrofizycznych na zmienność porowatości mają wpływ:

- wilgotność - zróżnicowanie porowatości wynikające z działania tego czynnika dochodzi do 20% (w stosunku do średniej porowatości przy wilgotności kondycjonalnej),

- gatunek - 14%,

- odmiana - 6%,

- grubość ziarna - 5%.

Zmienność porowatości wynikająca z wpływu wilgotności ziarna jest kilkakrotnie większa od zróżnicowania determinowanego grubością ziarna i ich cechami odmianowymi.

6. Nawilżanie ziarna w zamkniętych pojemnikach, a więc przy stałej objętości masy, powoduje bardzo gwałtowne zmniejszanie się porów powietrznych - dochodzące nawet do 30% objętości początkowej. Największą wrażliwość na zmiany wilgotności wykazała pszenica jara; jęczmień i żyto - najsłabszą.

7. Zawartość przestrzeni międzyziarnowych w masie o stałej objętości zależy od wilgotności, gatunku i odmiany. W obrębie pszenicy jarej wilgotność wpływa na tę zmienność 2-3-krotnie więcej niż np. odmiana. Grubość ziarna w tych warunkach eksperymentu nie ma istotnego wpływu na zmianę porowatości.

8. Podstawowe wymiary geometryczne ziaren - długość, grubość i szerokość rosną liniowo wraz z wilgotnością. Względny przyrost każdego z nich spowodowany nawilżaniem ( $0 \leq w \leq 30\%$ ) wynosi średnio 10%. Są one ponadto między sobą ściśle skorelowane.

9. Uzyskane zależności i tendencje dają jakościowy i ilościowy obraz wpływu wybranych cech agrofizycznych na zmienność zawartości wolnych przestrzeni w masie ziarna zbóż, co jest szczególnie istotne w programowaniu procesów technologicznych obejmujących transport, składowanie, suszenie i przechowywanie ziarna.

10. Opracowana metoda oznaczania porowatości masy ziarna zbóż jest szybka, dokładna i pozwala na prowadzenie badań nieniszczących. Pozwala ponadto na poznanie nowych elementów charakteryzujących właściwości fizyczne masy ziarna i daje podstawę do oceny i porównywania poszczególnych odmian w aspekcie ich podatności na działanie czynników zewnętrznych.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Haman J., Szot B., Woźniak W.: Zagadnienie wymiany ciepła i masy w materiałach roślinnych. Probl. Agrofiz., 9, 1973.
2. Kutzbach H.D., Scherer R.: Das Reibverhalten von Körnerfrüchten eine Schrifttumsübersicht. Grndl. Landtechnik, t. 27, nr 6, 1977, s. 213-219.
3. Lis H.: Thermal properties of agricultural products. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol., z. 203, 1978, s. 441-449.
4. Lisowa H., Haman J., Lis T.: Właściwości cieplne ciał kapilarno-porowatych i metody ich pomiaru. Probl. Agrofiz., 22, 1976.

5. Lityński M.: Biologiczne podstawy nasiennictwa. PWN, Warszawa 1977.
6. Mc Nulty P.B., Petrell R.J., Fung D.Y.C., Mohsenin N.N.: Microbial growth in bulk whole corn kernels subjected to high pressure compaction. J. of Food Protection. 40/10/, 1977, s.686-688.
7. Morita T., R. Paul Singh: Physical and thermal properties of short - grain rough rice. Trans. ASAE, vol. 22, nr 3, 1979, s. 630-636.
8. Scherer R., Kutzbach H.D.: Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten. Grundl. Landtechnik, t. 28, nr 1, 1978, s. 6-12.
9. Scherer R., Kutzbach H.D.: Die Wärme - und Temperatur leitfähigkeit von Körnerfrüchten. Grundl. Landtechnik, t. 30, nr 1, 1980, s. 21-27.
10. Szot B., Woźniak W., Grundas S.: Zmienność porowatości masy ziarna zbóż w zależności od cech odmianowych, pochodzenia materiału i skutków wymuszonych obciążeń. VIII Sesja Naukowa Komitetu Technologii i Chemii Żywności PAN, Poznań 1977.
11. Szot B., Woźniak W.: Moisture as a factor determining the variability of the grain mass porosity of spring wheat. Proceedings of the II. International Conference on Physical Properties of Agricultural Materials. Gödöllő, t. 2, 38, 1980.
12. Woźniak W.: Wpływ wilgotności na zmienność porowatości warstwy ziarna zbóż. Biofizyka. Siedlce 1980, s. 281-299.

## В. Возняк

### ВЛИЯНИЕ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОРИСТОСТИ МАССЫ ЗЕРНА ЗЕРНОВЫХ

#### Р е з ю м е

Представлено методику измерения пористости массы зерна и основных геометрических размеров зерна в функции влажности 3 сортов озимой пшеницы, яровой пшеницы, ржи и ярового ячменя. Исследования пористости велись для зерна натурального гранулометрического состава и для избранных классов толщины в 2 вариантах эксперимента для свободно насыпанной массы и для массы постоянного объема.

Полученные результаты однозначно указывают, что изменения объема воздушных пор детерминируются дифференцированной влажностью зерна,

ВИДОВЫМИ И СОРТОВЫМИ КАЧЕСТВАМИ, а в случае массы свободно насыпанного материала также толщиной зерна. Пористость массы свободно насыпанного зерна в функции влажности  $0 \leq v \leq 30\%$  описано многочленом третьей степени, для влажности же из диапазона 0-12% получено линейную зависимость. Похоже линейной функцией описано понижение содержания межзерновых пор в зависимости от дифференцированного содержания воды для массы постоянного объема. Анализируя видовую изменчивость во всем исследуемом диапазоне влажности, показано, что зерно ярового ячменя образует массу с наибольшим содержанием межзерновых пространств, яровой же пшеницы - с наименьшим. Рост толщины зерна вызывает в свою очередь понижение пористости массы, хотя по-разному у отдельных сортов и видов.

W. Woźniak

EFFECT OF AGROPHYSICAL FACTORS ON POROSITY VARIATIONS IN  
CEREAL GRAIN MASS

S u m m a r y

A method of measurement of grain layer mass porosity and of basic geometric parameters of grains of rye, spring barley, spring wheat and three varieties of winter wheat is presented. Porosity measurements were performed for grains of natural size distribution and for selected thickness classes in two versions of measurements: for loosely packed and for mass of constant volume.

The results obtained indicate univocally that changes of pore volume are governed by moisture content and by specific grain features, and in the case of loosely packed material, also by grain thickness. Porosity of a loosely packed grain layer as related to grain

moisture content within the interval  $0 \leq w \leq 30\%$  was described by a polynomial of a third degree, and for the interval  $0 \leq w \leq 12\%$  a linear relation was found. A linear function was also used to describe a decrease in porosity with the moisture content increase in the grain mass of constant volume. Comparing the species in the entire moisture interval it was shown that spring barley grains are characterized with the highest porosity, while those of spring wheat with the lowest one. An increase in the grain thickness causes a decrease of the porosity of the grain mass. This decrease differs among species and varieties.