

074

A

ZESPÓŁ AUTOMATYKI ELEKTRONICZNEJ

Nazwa ONBIZNB

Główny wykonawca

dr inż. Andrzej Kobosko

Kierownik Projektu Badawczego

Wykonawcy:

Metody oceny intensywności procesów metabolicznych  
w przechowywaniu zbóż.

Projekt badawczy nr 400/P06/96/11, Sprawozdanie z 1999r.

1. Ocena ziarna zbóż ze zbiorów 96-98r., Umowa nr 37/99
2. Analiza jakości technologicznej ziarna pszenicy przechowywanej  
w zmiennych warunkach wilgotności i temperatury,  
Umowa nr 39/99,
3. Badania intensywności procesów metabolicznych za pomocą  
czujników TGS i TG oraz wybór systemu komputerowego do  
wyznaczenia pól temperaturowych,  
Opracowanie monografii nt. pomiarów temperaturowych w masie  
ziarna, Umowa nr 38/99

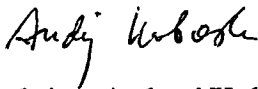
(Tytuł pracy, numer i tytuł etapu)

Zleceniodawca

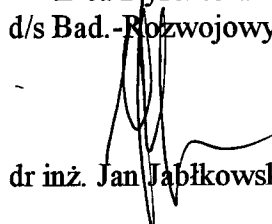
KBN

**DOKUMENT WZORCOWY**

Kierownik Pracowni



dr inż. Andrzej Kobosko

Z-ca Dyrektora  
d/s Bad.-Rozwojowych

dr inż. Jan Jabłkowski

Kierownik Zespołu



doc. dr inż. J. Korytkowski

15.06.1999r.

Pracę zakończono dnia .....

7670

Nr arch. ....

1709G

Nr zlecenia .....

1

Analiza deskryptorowa

**BADANIA PROCESÓW METABOLICZNYCH+ CZUJNIKI TG, TGS**

Abstrakt

Zastosowano czujniki TG i TGS do wyznaczania intensywności procesów metabolicznych oraz opracowano kilka publikacji podsumowujących dotychczasowe wyniki badań

Tytuły poprzednich sprawozdań

W ramach projektu badawczego i umowy z dnia 07.08.1996r.  
praca pt.: „Metody oceny intensywności procesów metabolicznych w przechowalnictwie zbożowym”. Projekt badawczy nr 400/PO6/96/11  
Sprawozdania z badań:  
nr arch. 7447, 7484 z 1997r.,  
nr arch. 7575, 7598 z 1998r.

Rozdzielnik

Egz. 1. .... **OIN** .....

Egz. 2. .... **ZAE-1** .....

Egz. 3. .... **ZAE-4** .....

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP
2. SPRAWOZDANIE Z BADAŃ INTENSYWNOŚCI PROCESÓW METABOLICZNYCH ZA POMOCĄ CZUJNIKÓW TGS i TG ORAZ WYBÓR SYSTEMU KOMPUTEROWEGO DO WYZNACZANIA PÓL TEMPERATUROWYCH,
3. ZBIÓR PUBLIKACJI MONOGRAFICZNYCH Z 1-SZEGO PÓŁROCZA 1999r.

## 1. WSTĘP

Sprawozdanie obejmuje prace zrealizowane w ramach Projektu Badawczego - Grantu pt. „Metody oceny intensywności procesów metabolicznych w przechowalnictwie zbożowym” finansowanego przez KBN na podstawie 3 - letniej Umowy nr. PB 400/POG/96/11 oraz, wynikających z niej, 3 - ch półrocznych umów o dzieło zrealizowanych w pierwszym półroczu 1999r. kończących prace niniejszego grantu.

Prace obejmujące okres tegoroczny prowadzone były przez trzy zespoły badawcze: Zespół pracowników Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów, Zespół pracowników Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie pod kierunkiem prof.dr hab. Łucji Fornal oraz Zespół pracowników Akademii Rolniczej w Poznaniu pod kierunkiem prof. dr hab. Edwarda Kamińskiego.

Koordynatorem tych prac był dr A. Kobosko z PIAP - kierownik projektu.

W bieżącym roku wykonano następujące prace:

1. Ocena ziarna zbóż ze zbiorów 96-98r.(wykonawca: Zespół pracowników Akademii Rolniczej w Poznaniu pod kierunkiem prof. dr hab. Edwarda Kamińskiego),
2. Analiza jakości technologicznej ziarna pszenicy przechowywanej w zmiennych warunkach wilgotności i temperatury (wykonawca: Zespół pracowników Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie pod kierunkiem prof.dr hab. Łucji Fornal),
3. Badania intensywności procesów metabolicznych za pomocą czujników TGS i TG oraz wybór systemu komputerowego do wyznaczenia pól temperaturowych ( wykonawcy: dr H.Leśkiewicz oraz dr A. Kobosko, mgr St. Chudzyński),  
Opracowanie monografii nt. pomiarów temperaturowych w masie ziarna,

Część publikacji została już wydrukowana w Biuletynie Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie oraz w Przeglądzie Zbożowo-Młynarskim, a pozostałe złożone zostały w redakcjach. Publikacja ze Światowego Kongresu IMEKO w Osace zostały nagrane na CD-ROM. W niniejszym sprawozdaniu dołączono kserokopie tych publikacji.

Monografia pt. „Zasady projektowania systemów monitoringu do elewatorów zbożowych” będzie podstawą pracy habilitacyjnej i znajduje się u autora - dr inż A. Kobosko.

## 2a. Badania intensywności procesów metabolicznych w ziarnie zbóż

W poprzednich etapach zlecenia wyjaśniono i opisano zjawiska towarzyszące przechowywaniu ziarna zbóż. Stwierdzono, że dla utrzymania dobrej jakości ziarna wymagana jest stała kontrola temperatury ziarna. Zmiany temperatury, a zwłaszcza jej wzrost jest pierwszym sygnałem intensyfikowania procesów metabolicznych przechowywanego ziarna. Pomiar pól temperaturowych w określonych przekrojach silosów i komór przechowalniczych ma więc decydujący wpływ na technologiczną wartość ziarna. Można stwierdzić, że istnieje ścisły związek pomiędzy metabolizmem ziarna, - jego technologiczną jakością i jego temperaturą przechowywania.

Najczęściej zmiany procesów metabolicznych i związane z nimi wzrost temperatury powstaje w partiach centralnych silosów i komór. Z reguły warstwy dolne i górne, jak również partie przylegające do ścian silosów mają temperaturę niższą.

Podczas zwiększonej intensywności procesów metabolicznych ziarno wydziela szereg związków lotnych, jak: butanol, heptanol, propanol, oktan, ksylen i kilka innych związków. Wyższe alkohole są metabolitami typowymi dla wszystkich grzybów pleśniowych. Pośrednio największy wpływ na rodzaj i zawartość mikroflory ma wilgotność ziarna. O niebezpieczeństwie rozwoju mikroflory i pogorszeniu się własności technologicznych ziarna można wnioskować więc również na podstawie kontroli związków lotnych wydzielanych przez ziarno. Do tego celu wykorzystano półprzewodnikowy czujnik typu TGS firmy Figaro Engineering inC., jaki był używany w opracowanych w PIAP alkotestach. Czujnik ten absorbując na swojej powierzchni ulatniające się w ziarnie zbóż metabolity znacznie zmniejsza swoją rezystancję elektryczną. Podstawowe charakterystyki czujnika przedstawiono na rys.1. Wykazuje on dużą zależność rezystancji od ilości cząstek związków toksycznych w powietrzu (łatwo są wykrywane gazy toksyczne w ilościach kilkuset cząstek gazu na milion cząstek powietrza). Rezystancję czujnika  $R_C$  można określić w układzie pokazanym na rys. 2 mierząc spadek napięcia na rezystorze  $R_O$  oraz napięcie zasilające  $V_Z$ :

$$R_C = R_O \left( \frac{V_Z}{V_O} - 1 \right)$$

Czujnik może być używany przez okres 5 do 8 lat bez utraty czułości. Nie traci również czułości po użyciu go do pomiarów stężeń gazów o dużej koncentracji. Poza tym czujnik jest nieczuły na wstrząsy i wibracje. Przy pomiarach należy jednak unikać dużych zmian temperatury i wilgotności otoczenia.

Wyznaczenie zależności pomiędzy jakością technologiczną ziarna w poszczególnych warstwach ziarna a stężeniem gazów lotnych wydzielanych przez to ziarno jest bardzo ważne, ale w przypadku silosów zamkniętych o dużej pojemności praktycznie jest niemożliwe. W związku z tym badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych, w pojemnikach zamkniętych.

Pomiar przeprowadzono w trzech pojemnikach nad ziarnem pszenicy o różnej zawartości wilgoci. Pierwszy pomiar - po tygodniu, drugi - po dwóch tygodniach, trzeci - po miesiącu. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli poniżej:

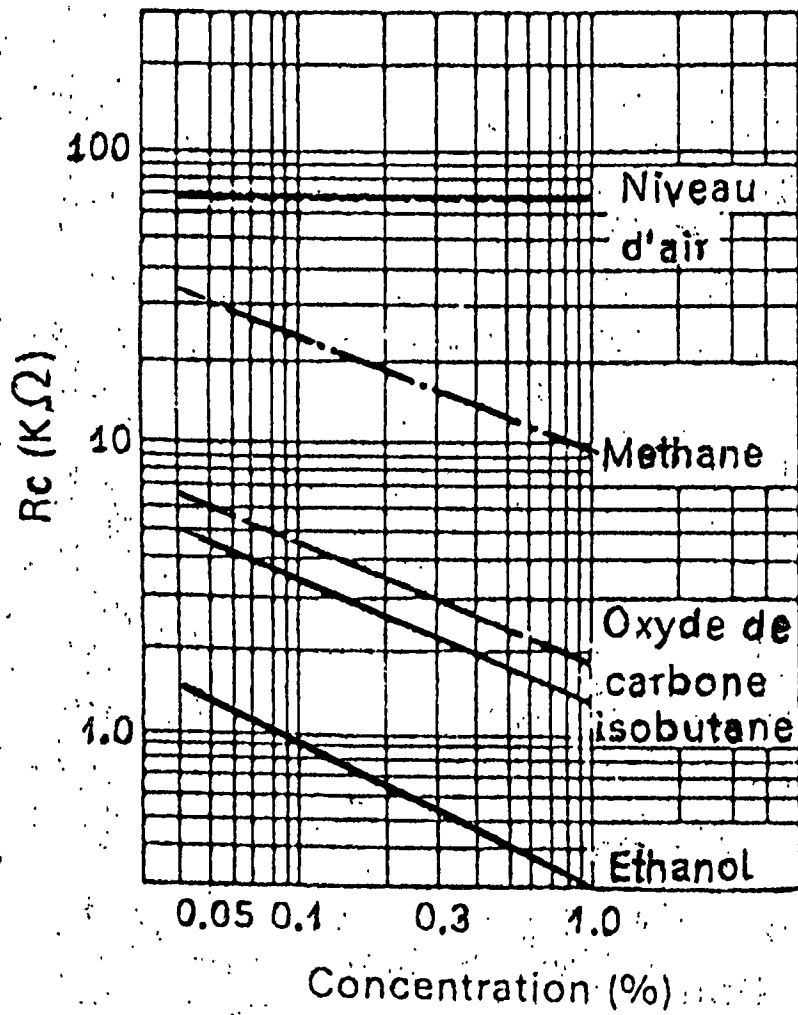
Czas (dzień)	Pojemnik nr 1 ( $\varphi < 10\%$ )	Pojemnik nr 2 ( $\varphi = 12 \div 13 \%$ )	Pojemnik nr 3 ( $\varphi = 20 \div 22\%$ )
0	1,0 V	1,0 V	1,2 V
7	1,15 V	1,23 V	1,72 V
14	1,32 V	1,81 V	3,26 V
31	1,48 V	2,15 V	4,65 V

Wprawdzie o pełnej ocenie jakości technologicznej ziarna obok jego wilgotności decyduje jeszcze twardość ziarna, wyciąg mąki, popiołowość mąki itd., jednak na jakość ziarna zebranego największy wpływ ma jego wilgotność, którą można zmieniać przez odpowiednie warunki przechowywania.

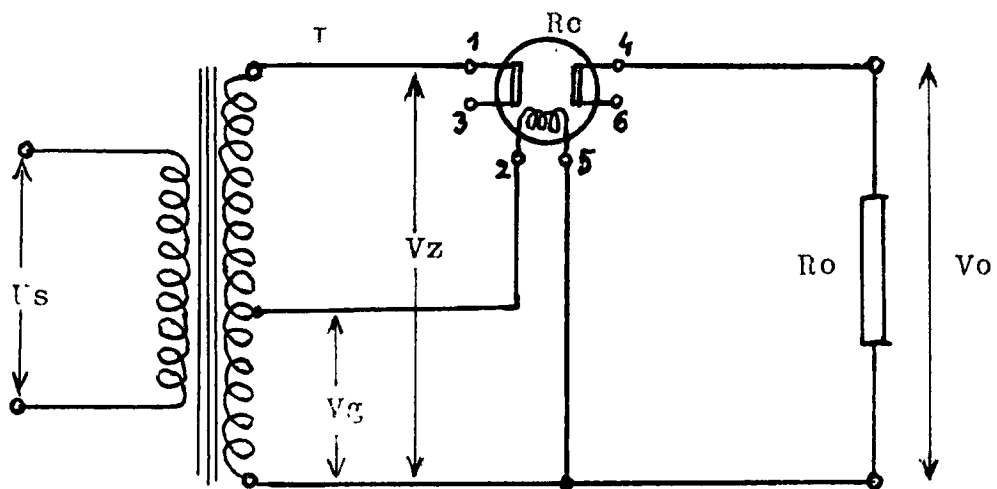
Z analizowanych badań wynika, że niska wilgotność ziarna (poniżej 15%) w czasie przechowywania wpływa na zmniejszenie procesów metabolicznych w warunkach stałej temperatury (laboratoryjnej) w czasie eksperymentu, co widać na podstawie małych zmian stężenia gazów lotnych nad ziarnem. Ponadto w ziarnie wilgotnym najintensywniejsze procesy metaboliczne zachodzą w pierwszych dwóch tygodniach.

Celem eksperymentu było wykazanie możliwości określenia przebiegu procesów metabolicznych metodą pomiaru stężeń gazów lotnych nad ziarnem za pomocą czujników półprzewodnikowych typu TGS i typu TG. Można zatem stwierdzić, że stosowanie powyższej metody kontroli procesów metabolicznych jest możliwe. Należy jednak zaznaczyć, że w warunkach przemysłowych, ze względu na trudności pobierania próbek powietrza z różnych warstw przechowywanego ziarna w silosach zamkniętych, metoda ta nie znajdzie szerokiego zastosowania. Jednak z punktu widzenia czysto technicznego, stosowanie tej może być rozwiązane prostymi metodami inżynierskimi.

Biorąc pod uwagę powyższe zastrzeżenia, w warunkach przemysłowych do kontroli procesów metabolicznych przechowywanego ziarna zbóż na pierwszym miejscu pozostawia się metodę pomiaru temperatury, która jest również funkcją powyższych procesów, natomiast metoda pomiaru stężenia związków lotnych pozostanie do badań laboratoryjnych.



Rys. 1. Charakterystyki rezystancji czujnika w funkcji koncentracji gazów.



Rys. 2. Podstawowy układ pomiarowy

## 2b. Wybrany system komputerowy do wyznaczania pól temperaturowych

Oferowane dotychczas przez PIAP układy monitoringu dla obiektów ze strefami niebezpiecznymi (jak młyny, elewatory zbożowe itp.) zawierały dla każdego punktu pomiarowego bariery i separatory bezpieczeństwa lub izolatory galwaniczne ograniczające prąd, napięcie i moc do poziomu wykluczającego możliwość spowodowania wybuchu w zapylonej atmosferze łatwopalnej.

W związku z pojawieniem się na rynku polskim sprzętu, który pozwala na zbudowanie podobnego układu i w którym dla 16-stu punktów pomiarowych wymagany jest tylko jeden separator, PIAP oferuje nowy system pomiaru temperatury w młynach i elewatorach zbożowych, którego schemat ideowy przedstawiono poniżej.

W systemie tym na wejściu zastosowano multiplekser MTL831B angielskiej firmy „Measurement Technology Limited”, który ma 16 wejść dla sygnałów dwustawnych lub analogowych. Sygnały analogowe multiplekser przetwarza, koduje na sygnały binarne i przesyła je linią dwuprzewodową poprzez separator do odbiornika typ MTL838B-MBF. W odbiorniku sygnały są dekodowane i poprzez interfejs RS485 przekazane do komputera.

Podstawową zaletą układu jest możliwość instalowania multipleksera w strefie niebezpiecznej - w atmosferze grożącej wybuchem i to, że mogą być stosowane jednocześnie czujniki temperatury różnego rodzaju, jak termopary i czujników rezystancyjne. Dodatkową zaletą układu, odczuwaną zwłaszcza w monitoringu wielu punktów pomiarowych jest znaczna redukcja oprzyrządowania i okablowania.

Jedną linią transmisji danych można przesyłać sygnały z dwóch multiplekserów, tj. 32 sygnały. Każda taka linia przesyłowa, jeśli multipleksery znajdują się w strefie niebezpiecznej jest chroniona przez separator (interfejs) typu MTL3052. Jeśli multipleksery są instalowane w strefie bezpiecznej, wówczas separator nie jest wymagany.

Multipleksery mogą przyjmować jednocześnie następujące sygnały: napięciowe - mV, z termopar różnego typu oraz z czujników rezystancyjnych o rezystancji poniżej 1 k $\Omega$ . Wejścia mogą być dowolnie mieszane. Multiplekser sam wybiera automatycznie jeden z 4-ch zakresów:  $\pm 10$ mV,  $\pm 25$ mV,  $\pm 60$ mV,  $\pm 100$ mV. Wybrany zakres zapewnia najlepszą dokładność odczytu każdego sygnału. Dla termopar multiplekser zapewnia automatyczną kompensację zimnych końców złącza.

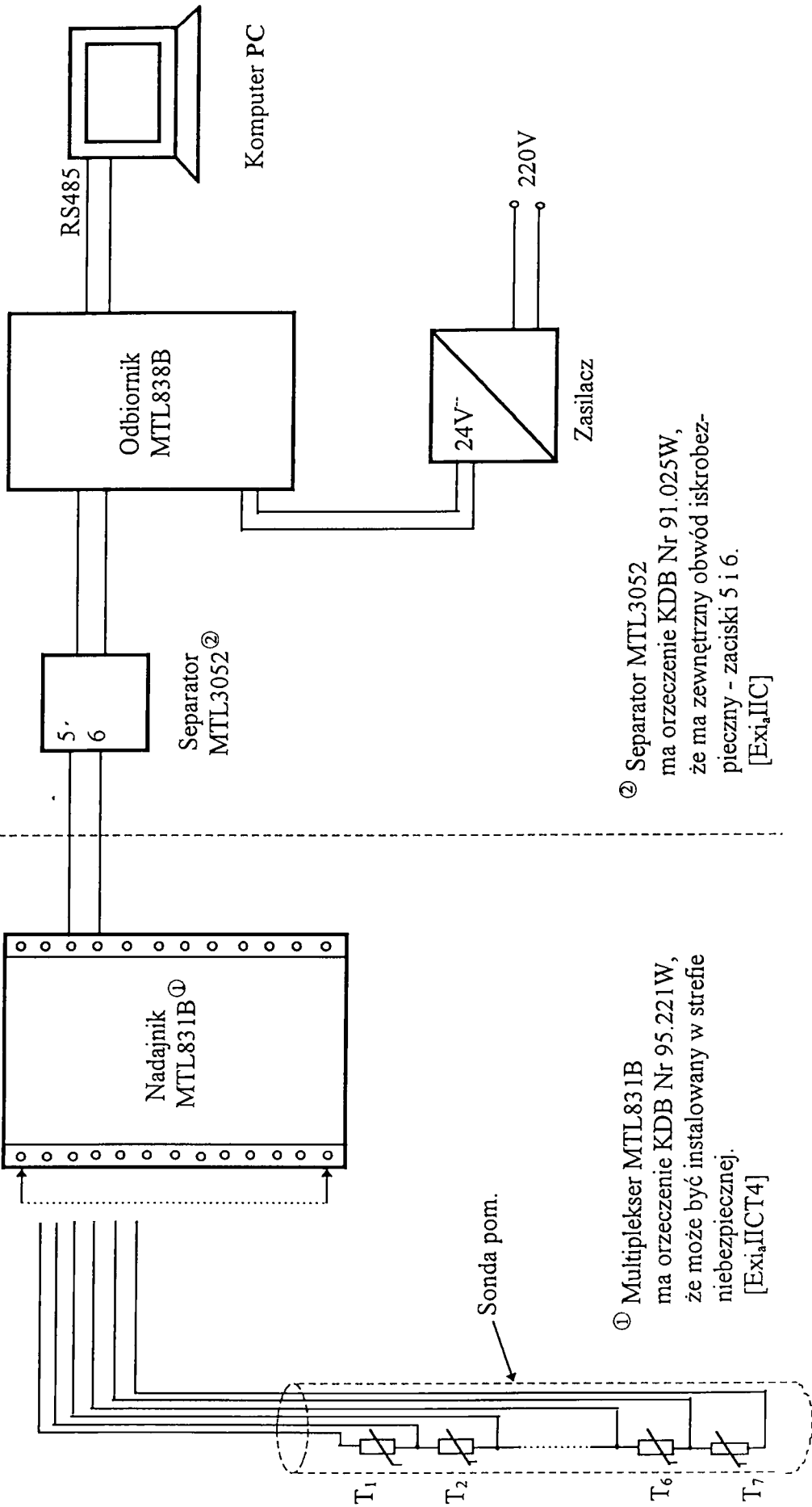
W przypadku czujników rezystancyjnych łączone są one szeregowo i na każdym z nich dokonywany jest pomiar napięcia. W przypadku uszkodzenia jednego czujnika pozostałe czujniki działają dalej prawidłowo, gdyż do każdego czujnika równolegle jest przyłączona dioda, która wówczas przewodzi, zapewniając zasilanie pozostałym czujnikom. Dopiero jeśli uszkodzeniu ulegnie 3 lub więcej czujników, wówczas multiplekser przestaje poprawnie działać.

W naszym układzie czujniki są montowane w specjalnych sondach. Ilość czujników w sondzie zależy od jej długości, tj. wysokości silosu na obiekcie, w którym mają być prowadzone pomiary temperatury. Sonda taka była w tym roku przedmiotem badań w Zakładzie Bezpieczeństwa Przeciwwybuchowego G.I.G. i ma wyniki próby zdolności zapalającej pozytywne. Potwierdza to Sprawozdanie Nr 131/98 z badań właściwości przeciwwybuchowych wyrobu - wykonanych w w/w Zakładzie.



Strefa bezpieczna

Strefa niebezpieczna



② Separator MTL3052  
 ma orzeczenie KDB Nr 91.025W,  
 że ma zewnętrzny obwód iskrobez-  
 pieczny - zaciski 5 i 6.  
 [Ex<sub>i</sub>IIC]

① Multiplexer MTL831B  
 ma orzeczenie KDB Nr 95.221W,  
 że może być instalowany w strefie  
 niebezpiecznej.  
 [Ex<sub>i</sub>IICT4]

Schemat ideowy systemu pomiaru temperatury w elewatorach zbożowych



## PRZEZNACZENIE SYSTEMU

- \* magazyny zbożowe, strefy zagrożone wybuchem (standardowe wykonanie z sondami o wytrzymałości 80 kN). Zarówno sondy, jak i oferowane koncentratory sygnałów mają orzeczenie atestacyjne G.I.G. - K.D. „BARBARA” dotyczące bezpieczeństwa przeciwwybuchowego i mogą być stosowane w pomieszczeniach zaliczonych do strefy Z10 i Z11 niebezpieczeństwa wybuchu pyłów,
- \* baterie silosów stalowych i aluminiowych (odmiana systemu z sondami o wytrzymałości 30 kN).

## MOŻLIWOŚCI SYSTEMU

- \* monitoring wartości aktualnych i przyrostowych w wybranym okresie czasu,
- \* archiwizacja danych pomiarowych,
- \* sygnalizacja przekroczenia wartości granicznych,
- \* współpraca z lokalną siecią komputerową.

## CECHY SYSTEMU

- \* sondy pomiarowe temperatury o wytrzymałości 80kN, wieloczujnikowe,
- \* pomiar temperatury 0...60°C, dokładność  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ,
- \* bezstykowy pomiar wysokości zasypu ziarna,
- \* oprogramowanie w środowisku „Windows”,
- \* magistrala komputerowa RS 485, kabel dwuprzewodowy, transmisja sygnałów na odległość do 2km.

*System wykonany zgodnie z ISO 4112, wydanie 2*

Nr arch. 7670

# Czujniki Światłowodowe

## 1. Wprowadzenie

B

Użycie technologii światłowodowej do pomiaru oraz transmisji danych od dawna ma duże grono zwolenników ze względu na bardzo duży obszar zastosowań efektów optycznych. Korzyści stosowania czujników optycznych w wielu dziedzinach są dobrze znane i zostały opisane w poprzednich sprawozdaniach. Brak połączeń galwanicznych między czujnikiem i monitorem czyni system optyczny szczególnie użyteczny w środowiskach zagrożonych wybuchem czy pożarem. Mała długość fali sygnałów optycznych zapewnia dużą czułość optycznego układu pomiarowego, jak również możliwość pomiaru z zastosowaniem efektów interferometrycznych, jednak w niektórych zastosowaniach powyższe efekty mogą prowadzić do niepożądanego modulacji sygnału optycznego.

Bardzo ważnym problemem pomiarów przemysłowych jest eliminowanie, a co najmniej minimalizowanie wpływu na pomiar wszelkich zakłóceń i zmian warunków zewnętrznych (temperatury, wilgotności) - niezwiązanych ze zmianami wielkości mierzonej. W wielu układach pomiarowych, również i w systemach czujników światłowodowych eliminowanie tego typu źródeł błędów pomiaru wiąże się z koniecznością stosowania pomiarowego toru kompensacyjnego (referencyjnego), na który działają zakłócenia i czynniki zewnętrzne, a który nie reaguje na wartość sygnału mierzonego. Rozwiązanie takie komplikuje sam układ pomiarowy i automatycznie podraża jego koszty.

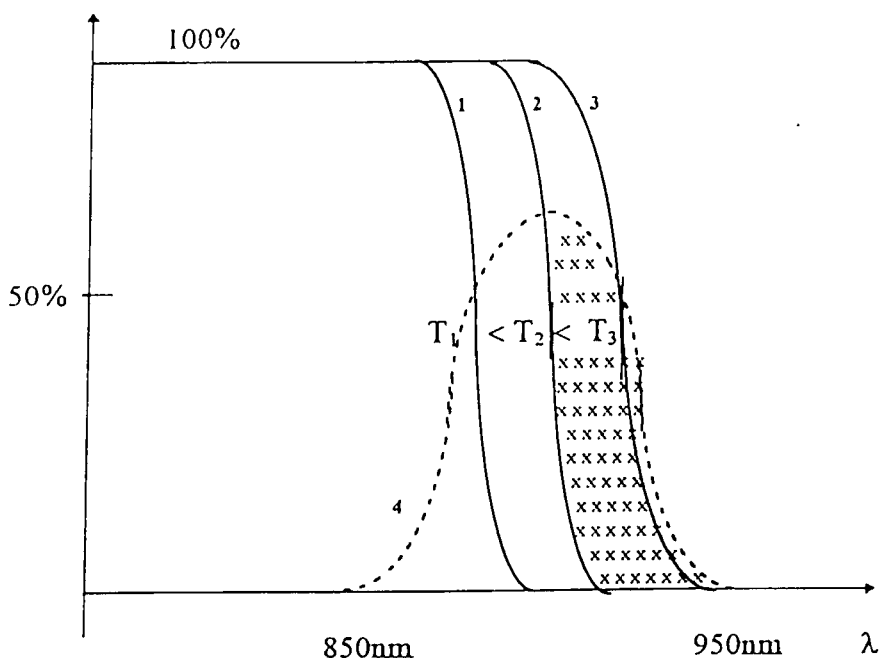
Dostępne techniki generowania i obróbki sygnałów optycznych zależą od takich czynników, jak: charakterystyka źródła światła, charakterystyka detektorów i samego światłowodu. Praktycznie oznacza to, że najlepszą czułość uzyskuje się stosując kombinację elementów systemu pomiarowego.

D

Wprawdzie względy bezpieczeństwa są powszechnie brane pod uwagę, to zasadniczym względem, decydującym o przemysłowym zastosowaniu światłowodów w technice pomiarowej i wprowadzeniu tej technologii na rynek muszą być brane pod uwagę zarówno korzyści techniczne, jak i koszty ich uzyskania. Ponadto należy zawsze rozważyć koszty komponentów systemu pomiarowego oraz koszty instalacji systemu. Technika pomiarowa z pomocą światłowodów może być uzasadniona w szczególnych środowiskach, jak: kopalnictwo, petrochemia, wytwarzanie materiałów wybuchowych, w generatorach mocy itp. Aby ocenić słuszność zastosowania światłowodów w naszym przypadku, należy wziąć pod uwagę wymagania dla przemysłowego optycznego układu pomiarowego, uzyskane parametry systemu oraz koszty ich uzyskania, które tymczasem są wielokrotnie większe w porównaniu z układami konwencjonalnymi.

## 2. Światłowodowe czujniki temperatury

W poprzednich etapach zbadano światłowodowy czujnik półprzewodnikowy oparty na arsenku gallu (GaAs). Stwierdzono, że arsenek gallu dla podczerwieni o długości fali świetlnej  $\lambda_p = 890$  nm wykazuje znaczną zmianę współczynnika absorpcji światła w funkcji temperatury (patrz rys. 1). Długość fali świetlnej odpowiadająca krawędzi absorpcji zmienia się ze wzrostem temperatury w kierunku fal dłuższych. Dla diody podczerwieni o podanej wyżej długości fali natężenie promieniowania przechodzące przez płytkę arsenku gallu maleje ze wzrostem temperatury.



Rys.1. Zależność absorpcji światła w arsenku gallu od temperatury  
Obszar: xxx - określa strumień świetlny po przejściu przez  
płytkę czujnika dla temperatury  $T_2$  (krzywa absorpcji - 2)

Badana płytka arsenku gallu, z której wykonano czujnik była zbyt gruba i natężenie światła po przejściu przez nią do detektora w postaci fotodiody było zbyt małe do wykreślenia charakterystyki natężenia światła w funkcji temperatury. Dla dokładniejszego zbadania temperaturowej zależności absorpcji światła wybranych źródeł przez czujnik półprzewodnikowy zakupiono w japońskiej firmie Hamamatsu podstawowe podzespoły i zmontowano w PIAP liniowy detektor obrazowy -MOS LINEAR IMAGE SENSOR typ 3903-256Q.

W ramach niniejszego etapu detektor ten został przebadany w Instytucie Chemii Uniwersytetu Warszawskiego.

### 3. Układ linijkowego detektora obrazowego

Układ zmontowanego linijkowego detektora obrazowego przedstawiono na rys. 2. Podstawowymi zespołami układu są:

- zegarowy generator impulsów „C4091”;
- sterownik/wzmacniacz z linijkowym czujnikiem obrazowym „C4070”.

Do zasilania układu użyto zwykłych zasilaczy sieciowych o napięciach podanych w katalogach Hamamatsu. Na wyjściu sterownika do rejestracji sygnału „Video” użyto oscyloskopu cyfrowego o zawężonym pasmie przenoszenia do 20 MHz.

Detektor linijkowy jest sterowany przez zegarowy generator impulsów (C4070) dwoma rodzajami impulsów:

- impulsami zegarowymi o ustawianej częstotliwości w zakresie od 93,75 kHz do 24 Mhz;
- impulsami startowymi, między którymi odstęp jest ustawiany od 1 $\mu$ s do 50 s w sekwencji „1 - 2 - 5”.

Impulsy startowe uruchamiają linijkowy detektor obrazowy ze sterownikiem i wzmacniaczem (C4070). Anoda fotodiod linijkowego czujnika obrazowego N-MOS jest na potencjale zero Volt, zacisk „Video” jest ustawiony na potencjale 2 V. Linijkowy czujnik obrazowy N-MOS działa na zasadzie akumulacji ładunku elektrycznego i otrzymany sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do ilości światła napromieniowania (natężenie światła x czas akumulacji). Czas akumulacji każdej fotodiody N-MOS linijkowego czujnika obrazowego jest równy interwałowi między impulsami startowymi. W sterowniku C4070 potrzebnych jest sześć impulsów zegarowych na wyświetlenie jednego elementu liniiki, dlatego wymagany czas odczytu dla jednego elementu jest równy sześciu okresom zegarowych impulsów sterujących.

Fotodiody N-MOS linijkowego czujnika obrazowego mają bardzo wysoki stopień nasycenia, jednak wystawione dłuższy czas na duże promieniowanie, większe niż ekspozycja ich nasycenia może doprowadzić do zmniejszenia czułości tych diod i wówczas nie mogą one już akumulować całego ładunku sygnału. Nadmiar ładunku prowadzi do zbyt dużego przetężenia linii „video”, a to powoduje pogorszenie się jakości sygnału. Aby maksymalnie eliminować to zjawisko, fotodiody są spolaryzowane potencjałem dodatnim 2V i wówczas nadmiarowy ładunek nasycenia jest odprowadzony do masy.

Podczas regulacji częstotliwości generatora impulsów (C4091) należy zawsze sprawdzić, czy daje on na wyjściu impulsy startowe (ST) o szerokości większej niż okres impulsów zegarowych (CLK).

### 4. Badania linijkowego detektora obrazowego.

Wykorzystując linijkowy detektor obrazowy opisany w p. 3 powyżej w Instytucie Chemii Uniwersytetu Warszawskiego zrobiono stanowisko doświadczalne, na którym przebadano opisany linijkowy detektor obrazkowy. Na rys. 3 przedstawiono układ do badania struktury obrazu - tj. rozkładu natężenia światła

w jednym wymiarze. Natomiast na rys. 4 pokazano układ do badań spektroskopowych.

W układzie na rys. 4 użyto spektroskopu typu pryzmatycznego. Pryzmat „à vision direct” jest wykonany ze szkła ciężkich, który charakteryzuje się zerowym odchyleniem promieni w obszarze zieleni widma oraz stosunkowo dużą dyspersją w obszarze podczerwieni. Charakterystyka taka okupiona jest całkowitą absorpcją w obszarze ultrafioletowym i dość znaczną absorpcją w obszarze fioletowym widma. Szczelina wejściowa miała stałą szerokość ca 0,1 mm. Soczewka  $S_1$  miała ogniskową 50 mm, a soczewka  $S_2$  - 80 mm. Jako źródła światła użyto: lampy halogenowej, spektralnej lampy rtęciowej, podczerwonej diody elektroluminescencyjnej i czerwonego lasera półprzewodnikowego o długości fali 670nm.

Roszczerzenie wiązki świetlnej oświetlającej spektroskop następowało w pionie - zgodnie z położeniem linijki detektora. Między źródło światła a szczelinę wejściową wkładano filtry o znanej transmisji lub próbki absorbcyjne z arsenku galu (GaAs). Jako modulatora przestrzennego światła użyto między innymi regulowanej szczeliny od profesjonalnego spektroskopu.

## 5. Ustawione parametry linijkowego detektora obrazowego

Dla ustawionej maksymalnej częstotliwości zegarowych impulsów sterujących (Master Clock) 375 kHz, odpowiadający minimalny okres wynosił ca 2,7.µs i mimo dużej dynamiki układu C4070 możliwe były tylko dwie nastawy potencjometru CLK:

$$\begin{aligned} \text{„ 6 „} & \text{----- } \tau = 5,43\mu\text{s} & (188 \text{ kHz}) \\ \text{„ 7 „} & \text{----- } \tau = 10,65\mu\text{s} & (94 \text{ kHz}). \end{aligned}$$

Stąd wynikają warunki dla częstotliwości impulsów startowych (Master Start Pulse), determinujące częstotliwość scanningu (odczytu) całej linijki, która wynosi 256 pikseli aktywnych i 256 pikseli referencyjnych (biernych). Okres impulsów startowych „T” dla wyżej podanych częstotliwości impulsów zegarowych (Master Clock) wynosi:

$$\begin{aligned} \text{dla } \tau = 5,43 \mu\text{s} & & T = 16,4 \text{ ms} & \text{ lub większy,} \\ \text{dla } \tau = 10,65 \mu\text{s} & & T = 32,7 \text{ ms} & \text{ lub większy.} \end{aligned}$$

Wartości te narzucają nastawy potencjometru START w położeniu „4” lub wyżej. Potencjometr w położeniu „4” zgodnie z podaną sekwencją sterownika 1-2-5 daje:  $T = 20 \text{ ms}$  lub  $50 \text{ ms}$ .

Maksymalna częstotliwość odczytu wynosi 50 Hz.

Sygnał „Video” osiąga maksymalną wartość 1,7 V (potem występuje nasycenie). Zerowanie daje możliwość zejścia do sygnału tła o  $A_{pp} = 10 \text{ mV}$ . Są trudności z odfiltrowaniem t. zw. „spikes”, które występują przy przełączaniu sygnałów „Trig Out” i „Clock”. Prawdopodobnie zakłócenia te można zmniejszyć obróbką komputerową.

Doświadczenie pokazało, że tradycyjne uśrednianie sygnałów nie daje w warunkach prowadzonego doświadczenia dobrych wyników, gdyż jest tu wymagana nadzwyczajna przestrzenna stabilność źródła światła i obiektu badanego, jak również sztywność i stabilność spektroskopu i linijkowego detektora obrazowego względem siebie. Przy rozmiarze piksela 20  $\mu\text{m}$  nie mogą być tolerowane drgania o amplitudzie większej niż 5  $\mu\text{m}$ .

## 6. Pomiary optyczne widma.

Linijkowy detektor obrazowy jest układem bardzo czułym. Uzyskanie jednak dużych czułości wymaga światłoszczelnej obudowy układu optycznego. W tym celu w układzie doświadczalnym, jak pokazano na rys.3 i rys.4 zastosowano specjalnie czernione diafragmy, co znacznie poprawiło wyniki, zapewniając jednocześnie dostęp do linijki.

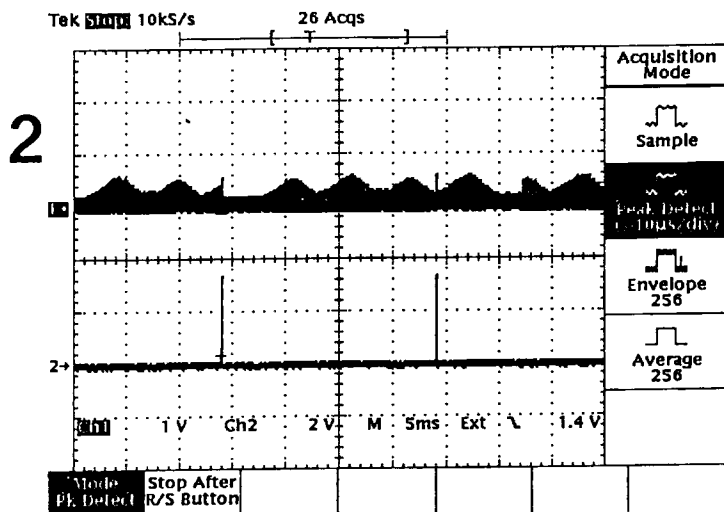
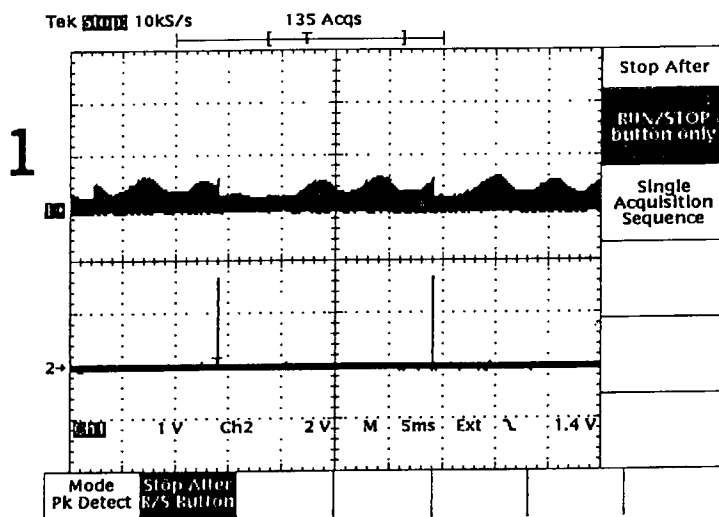
Jako modulatora wiązki światła użyto szczeliny spektroskopu. Obserwowano dyfrakcję wiązki lasera półprzewodnikowego o średnicy ca 1,5mm. Na uwagę zasługuje duża czułość linijki i możliwość rejestracji prążków dyfrakcyjnych na szczelinie dochodzącej do 1 mm szerokości, czego gołym okiem w laboratorium nie można zaobserwować. Istnieje również bardzo dobra przestrzenna zdolność rozdzielcza detektora linijkowego.

## 7. Pomiary spektroskopowe

W badaniach spektroskopowych badano widma źródeł światła wyszczególnionych powyżej w p. 3. Analizowano widma tych źródeł za pomocą spektralnych filtrów optycznych o długości fali:

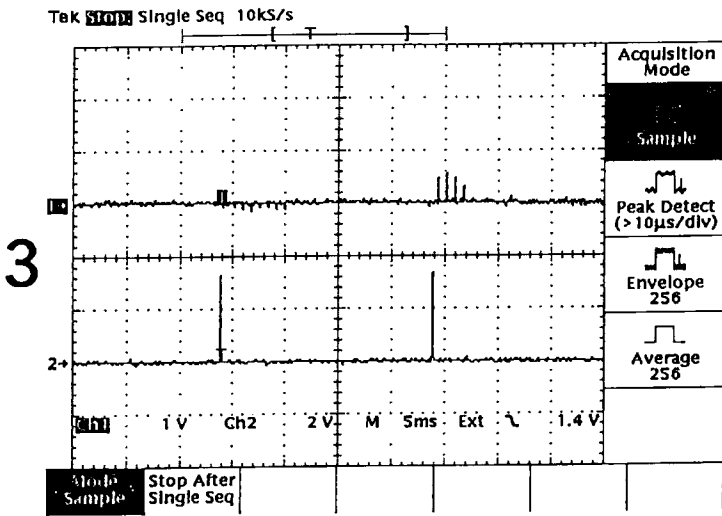
- 405 nm;
- 435 nm;
- 546 nm;
- 767 nm;
- 899 nm.

Na podstawie otrzymanych wydruków bardzo pozytywnie należy ocenić linijkowy detektor obrazowy (MOS Linear Image Sensor) w pomiarach spektroskopii dynamicznej, który umożliwia pomiar sygnału optycznego jednocześnie na wszystkich długościach fali. (Tradycyjny detektor mierzy widmo punkt po punkcie tracąc rozdzielczość czasową).

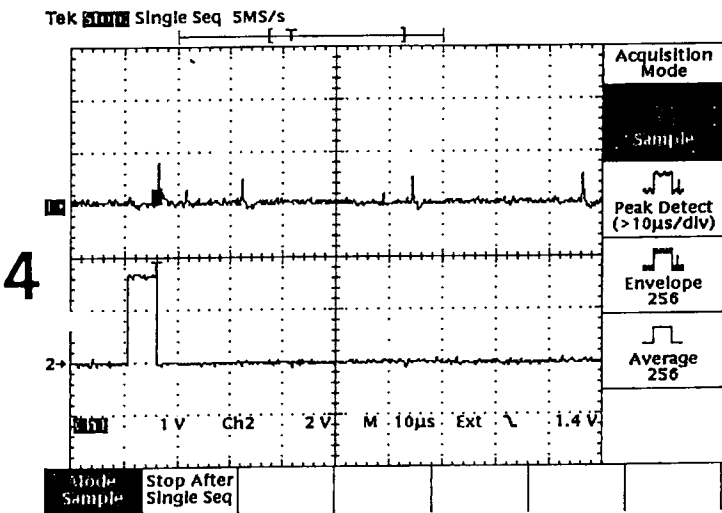


Na Fot.1 i 2 linijka jest nieoświetlona.  
Obie fotografie przedstawiają zapis pojedynczego przebiegu w trybie pracy oscyloskopu "peak detector".  
Kanał 1 rejestruje sygnał video,  
Kanał 2 rejestruje impulsy startowe Master Start .

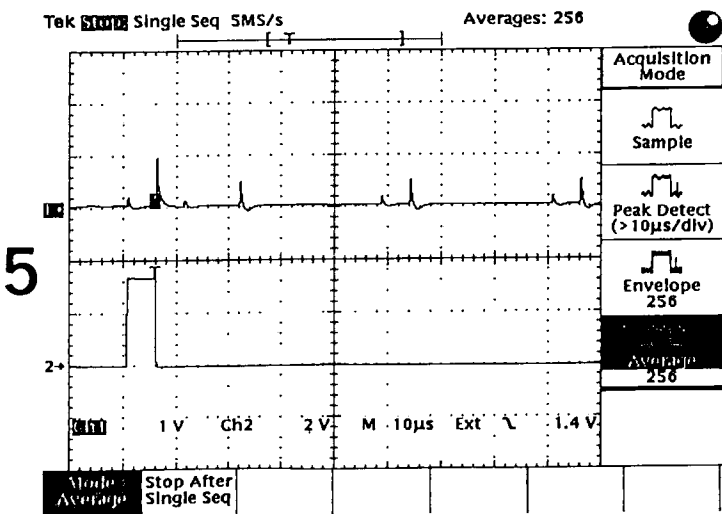




Linijka nieoświetlona.  
Zapis pojedynczego przebiegu w trybie pracy oscyloskopu "Sample" /próbkowanie'.



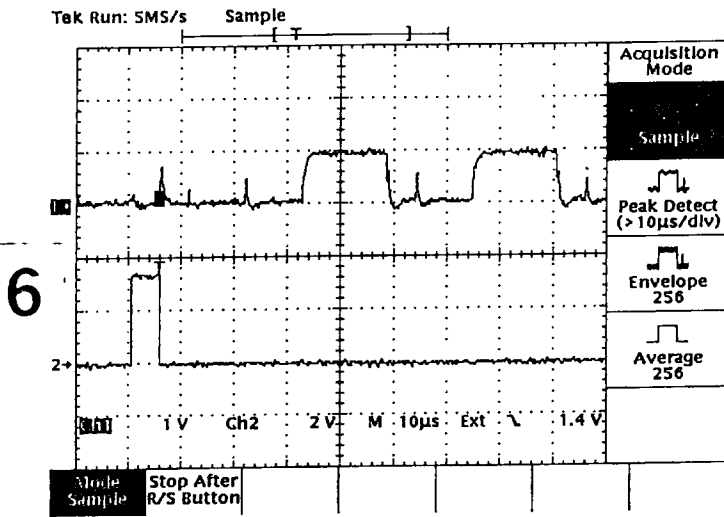
Fot.4 identyczne warunki, jak Fot.3, tylko podstawa czasu ustawiono w położeniu 10 $\mu$ s/dz.



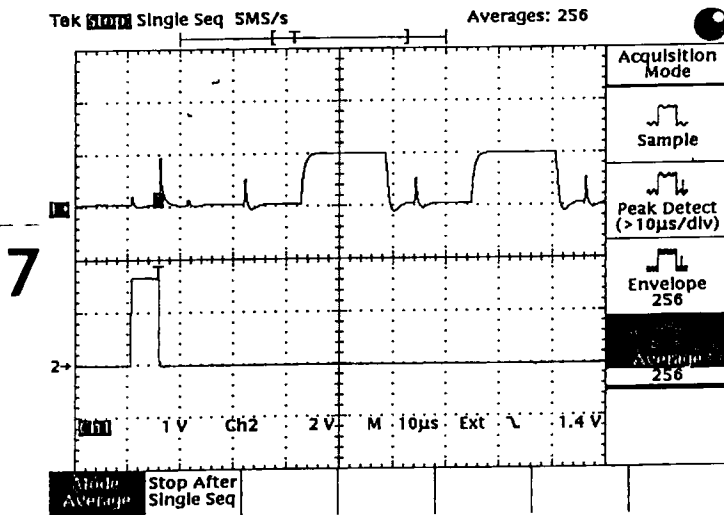
Fot.5, jak Fot.4, tylko przebieg został uśredniony po 256 okresach

Nr arch. 7670

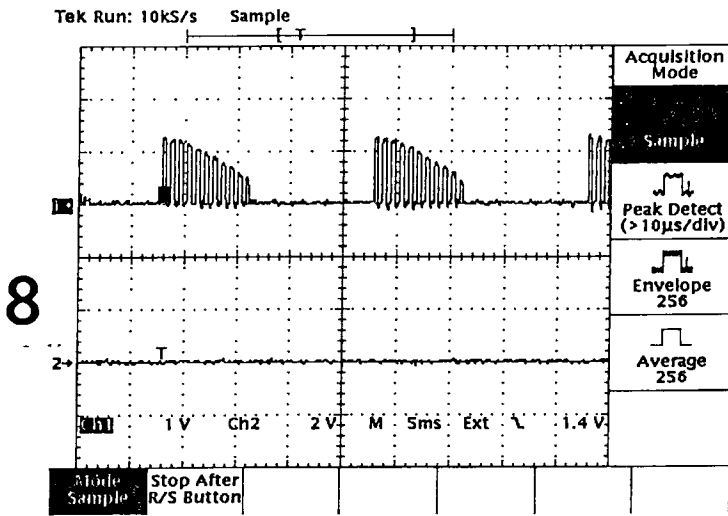
17



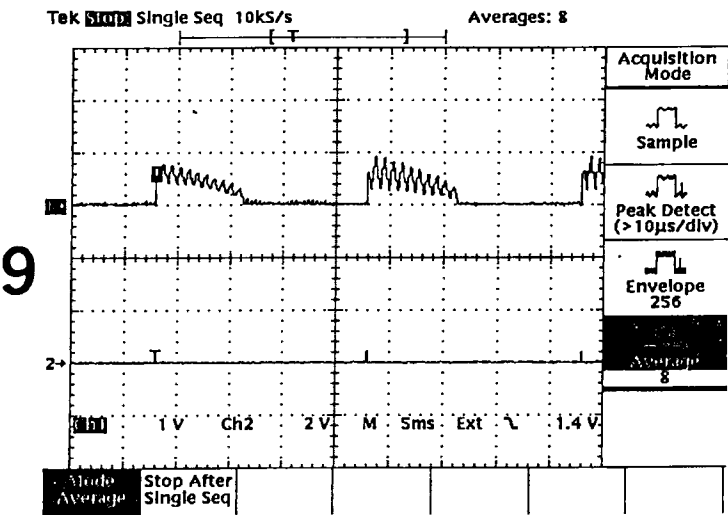
Linijka oświetlona.  
Widać odpowiedź linijki  
na oświetlenie jej  
światłem ciągłym przy  
podstawie czasu 10µs/dz  
Widoczny jest sygnał  
z dwóch elementów / pikse



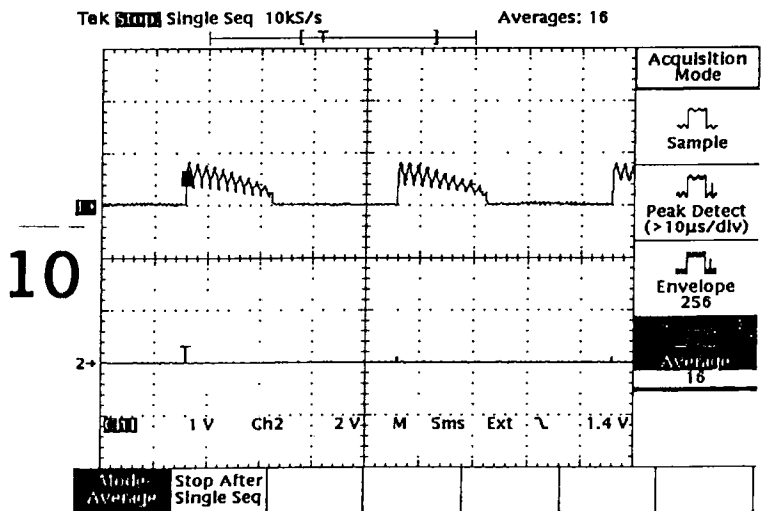
Fot.7 jak Fot.6, ale  
przebieg został uśred-  
niony z 256 przebiegów



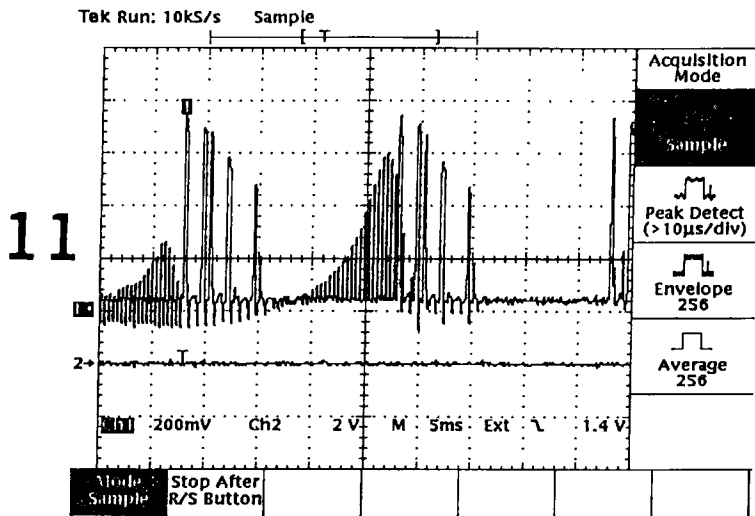
Odpowiedź liniżki na oświetlenie światłem ciągłym przy podstawie czasu 5ms/dz. Zapis pojedynczego przebiegu w trybie pracy oscyloskop "Sample". Głęboka modulacja przebiegu to efekt oscyloskopu cyfrowego.



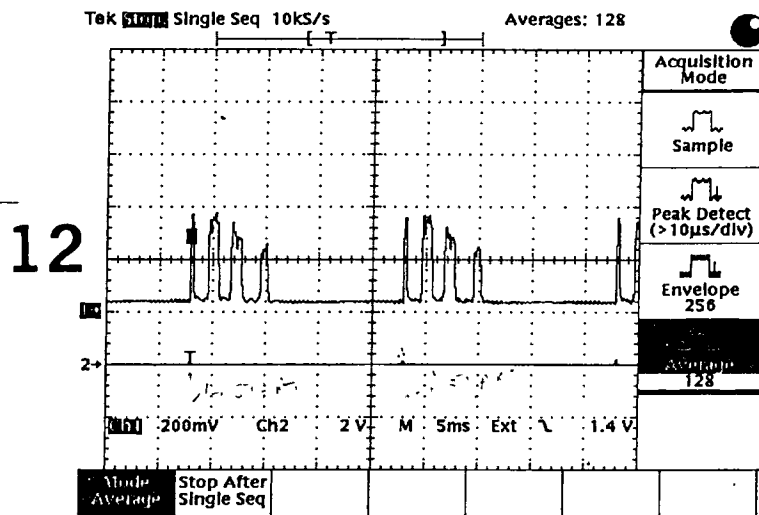
Fot.9 i 10, jak Fot.8, tylko z większą ilością przebiegów uśrednionych



Nr arch. 7670

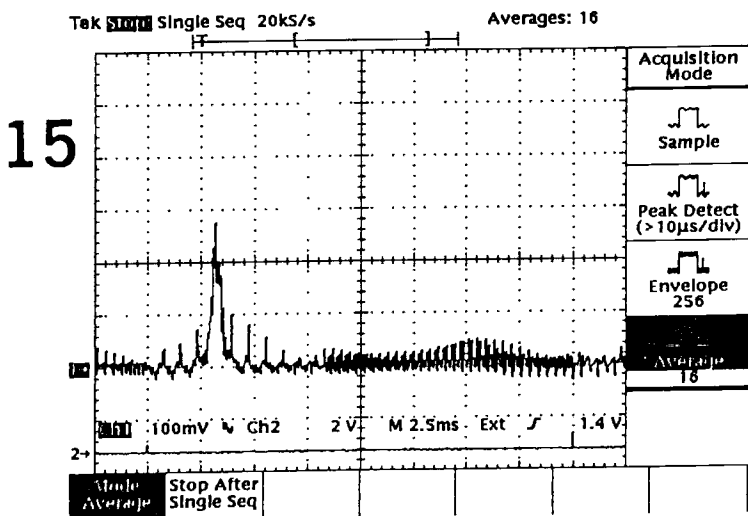
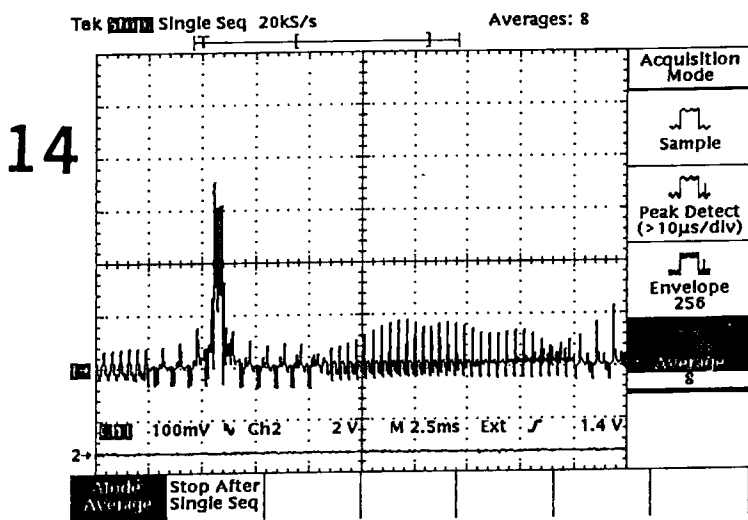
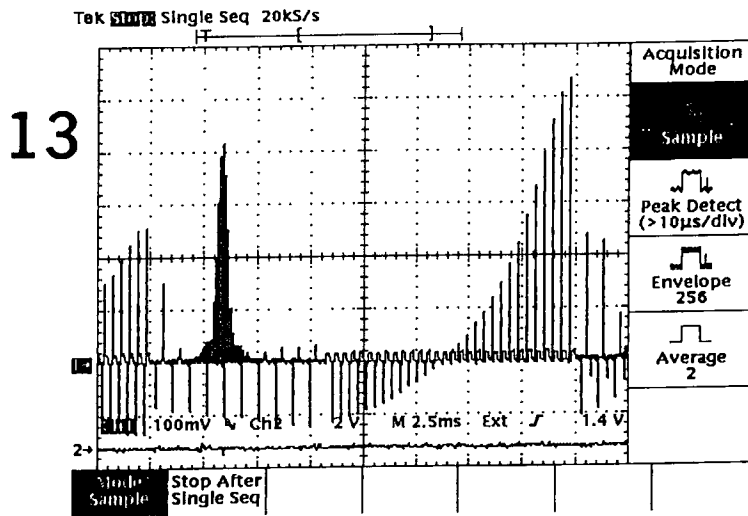


Odpowiedź linijki na oświetlenie jej światłem zmodulowanym przestrzennie. Zarejestrowano pojedynczy przebieg.

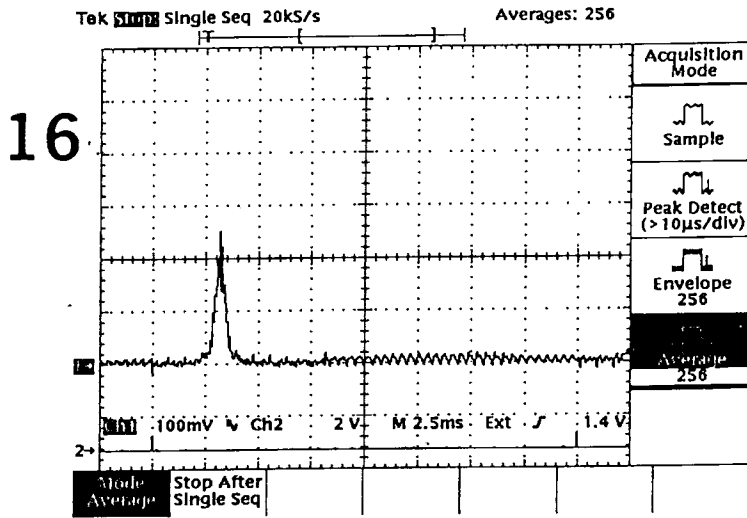


Fot.12 - jak Fot.11, zapis jest uśredniony po 128 przebiegach.

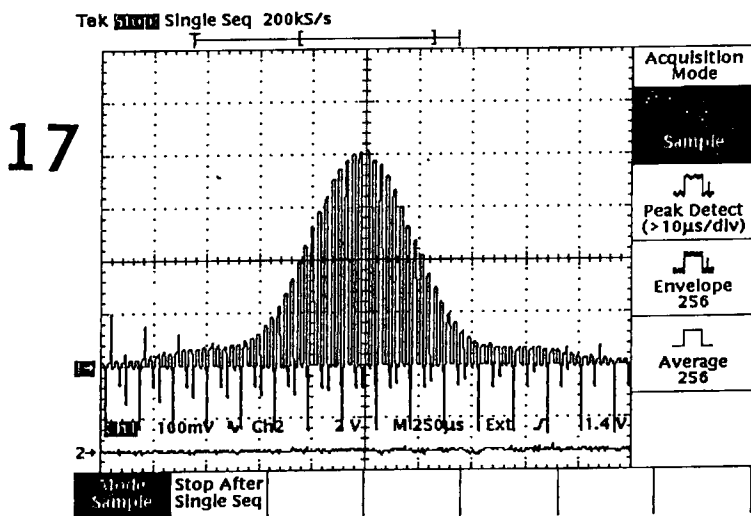
Nr arch. 7670



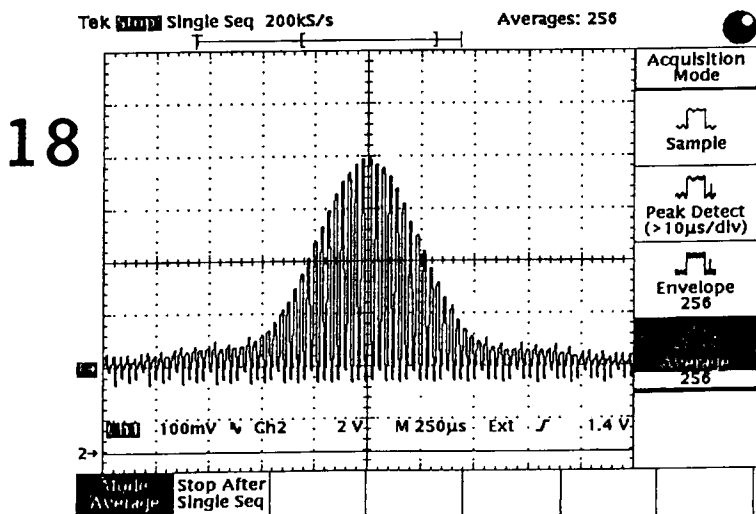
Na Fot. 13 + 15 wiązka światła lasera półprzewodnikowego  $\lambda = 670\text{nm}$  jest analizowana w różnych warunkach. Zwykle lasery nie mają stabilności kierunku wiązki. Na Fot. 13 + 15 nie widać efektów uśredniania przebiegów.



Wiązka światła lasera półprzewodnikowego.

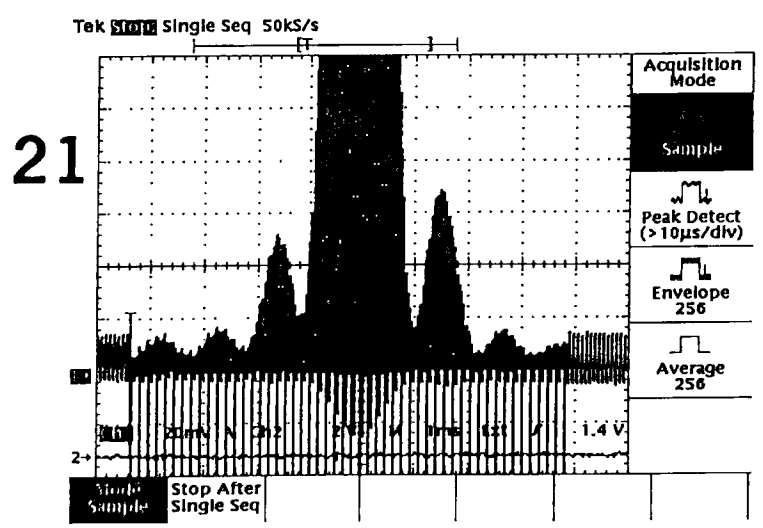
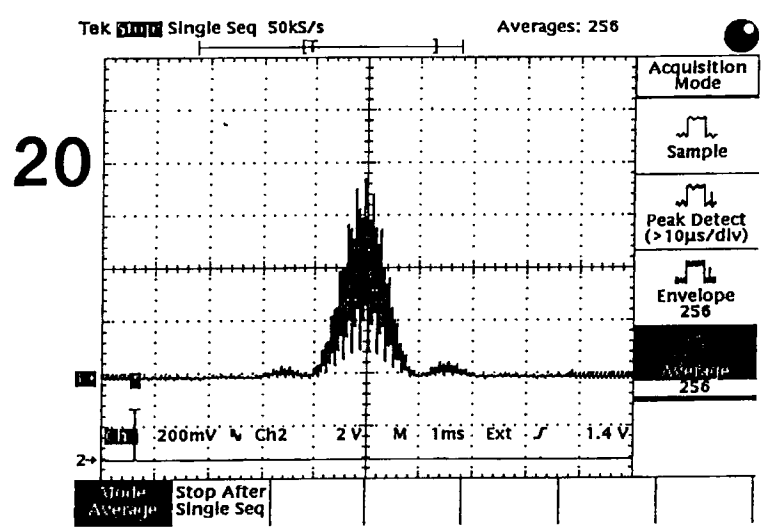
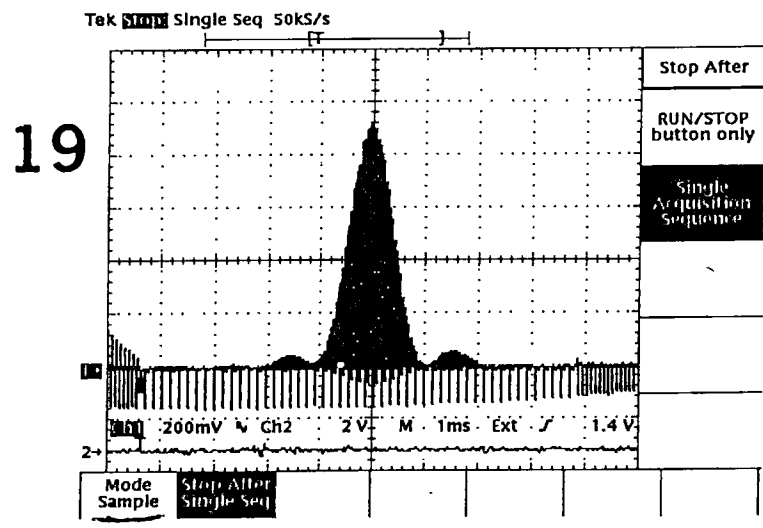


Przy dużym rozciągnięciu przebiegu widoczny jest gaussowski przekrój wiązki oraz dyfrakcja na aperturze obudowy lasera.



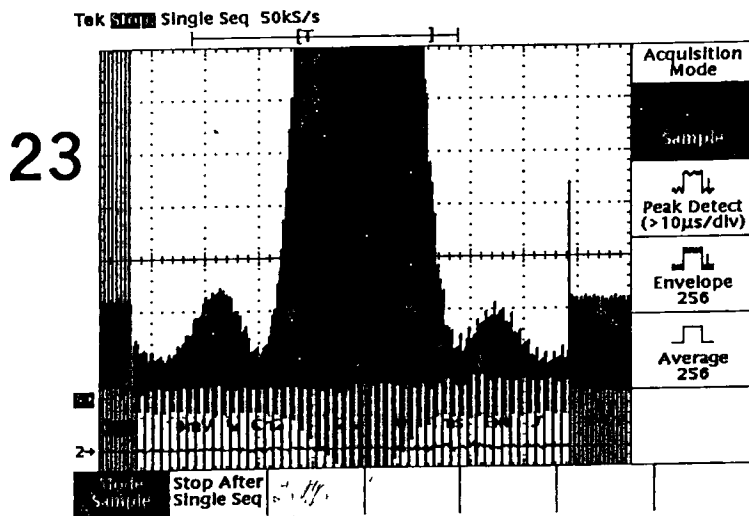
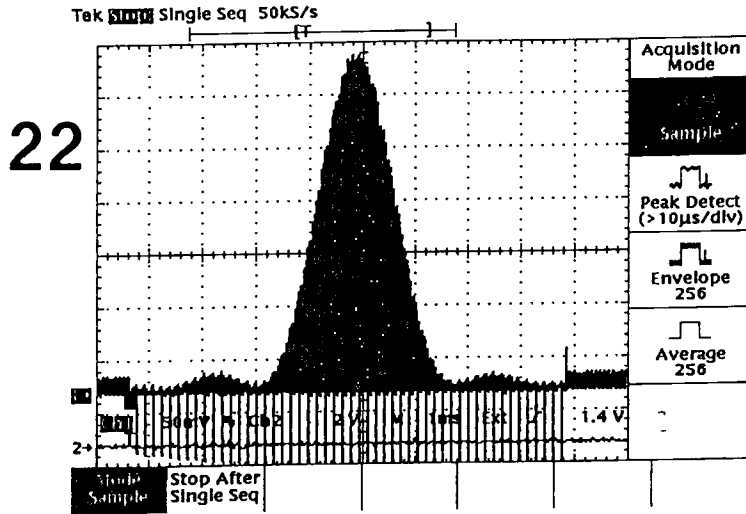
Nr arch. 7670

22



Na Fot.19, 20, 21 przedstawiono różne sposoby rejestracji ugięcia /dyfrakcji/ wiązki lasera półprzewodnikowego na szczelinie 0,5 mm.

Nr arch. 7670

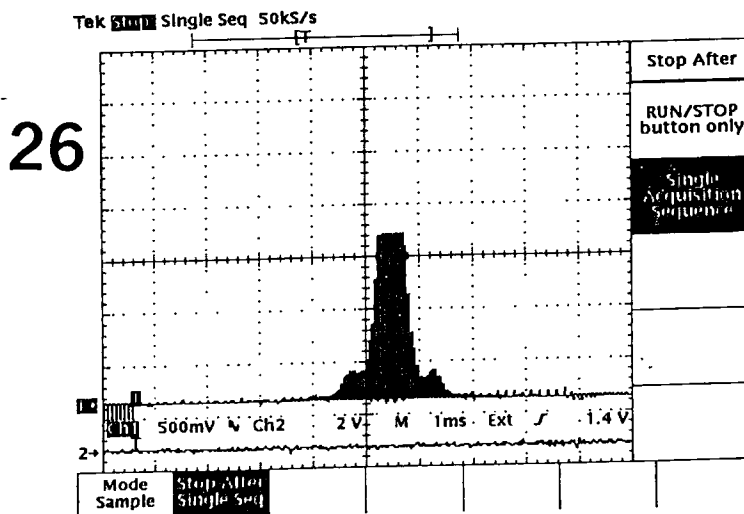
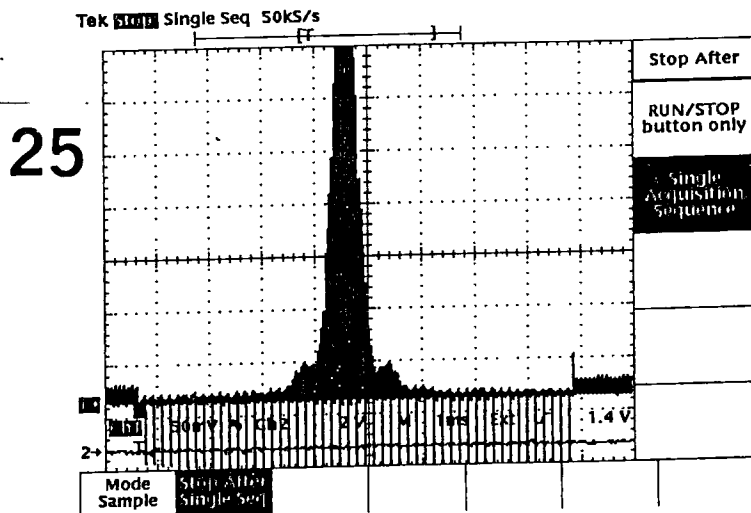
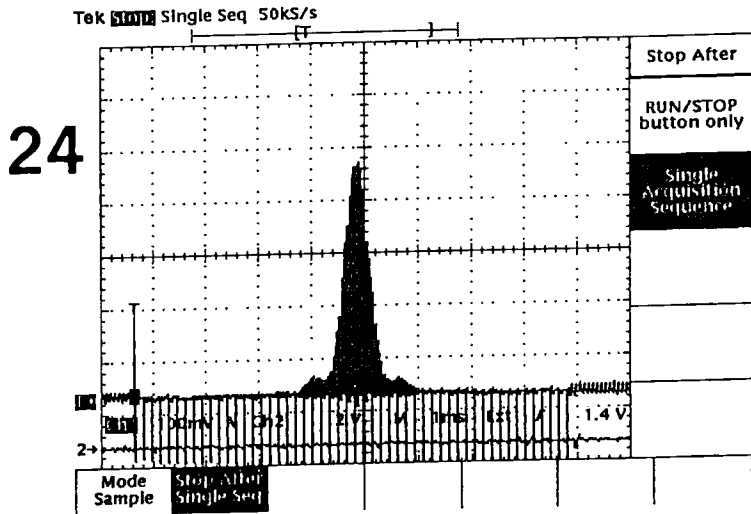


Na Fot. 22 i 23 przedstawiono ugięcie /dyfrakcję/ wiązki światła lasera półprzewodnikowego na szczelinie 0,25mm.

Nr arch. 7670

24





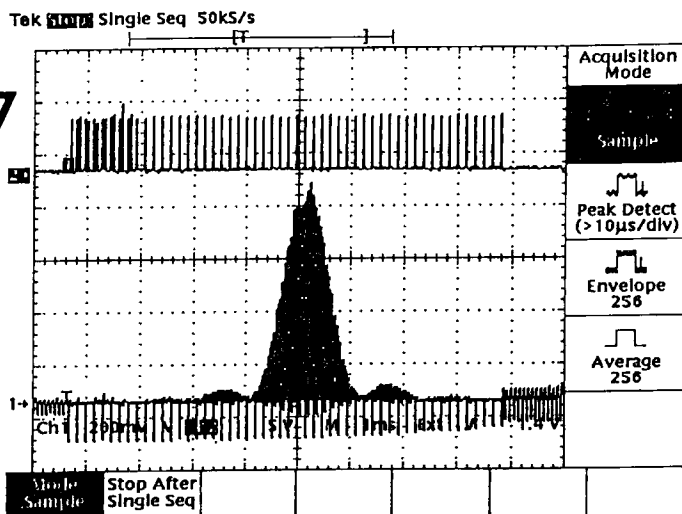
Na Fot. 24, 25 i 26 przedstawiono różne sposoby rejestracji ugięcia wiązki lasera półprzewodnikowego na szczelinie 1mm.

Na Fot. 26 widoczne jest nasycenie linijek przy sygnale większym niż 1,7 V.

Nr arch. 7670

8

27

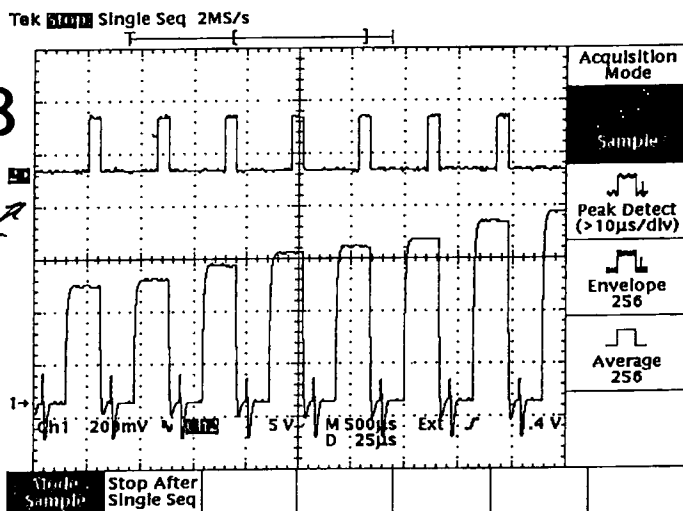


Kanał 2 zarejestrował startowe impulsy sterujące linijki.

Kanał 1 oscyloskopu zarejestrował ugięcie wiązki lasera półprzewodnikowego na szczeliny 0,5 mm.

28

TRIGGER OUT

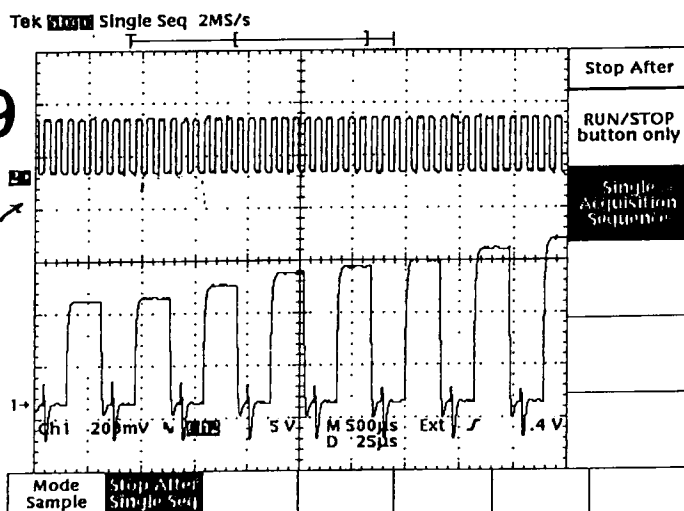


Kanał 2 przedstawia startowe impulsy sterujące.

Kanał 1 przedstawia sygnał Video /ugięcie na szczeliny 0,5mm - widoczny fragment widma blisko pikę głównego.

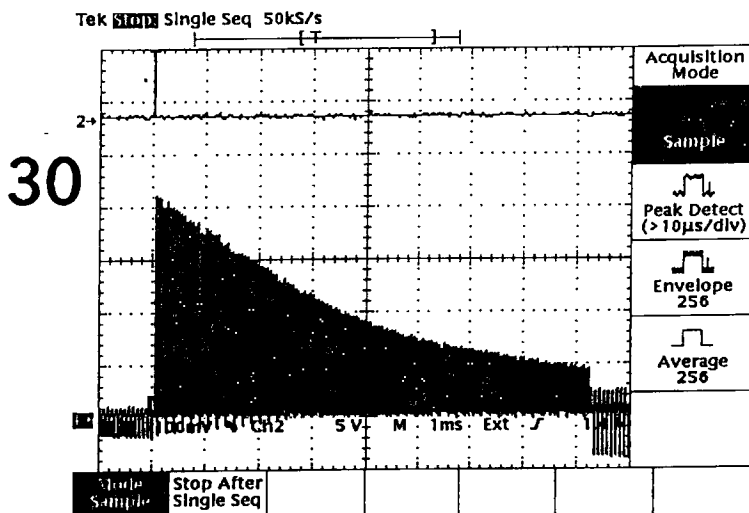
29

CLOCK

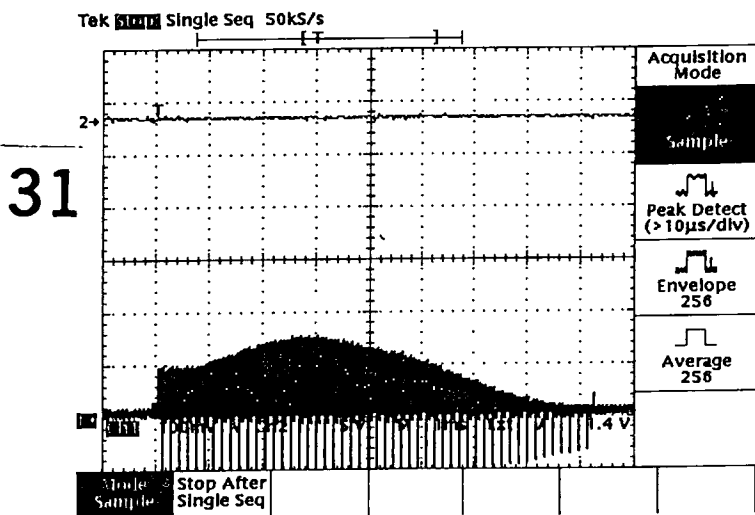


Kanał 2 przedstawia zegarowe impulsy sterujące.

Kanał 1 przedstawia sygnał Video /ugięcie na szczeliny 0,5mm/. Widoczna jest częstotliwość zegara 6 razy większa niż częstotliwość impulsów startowych.



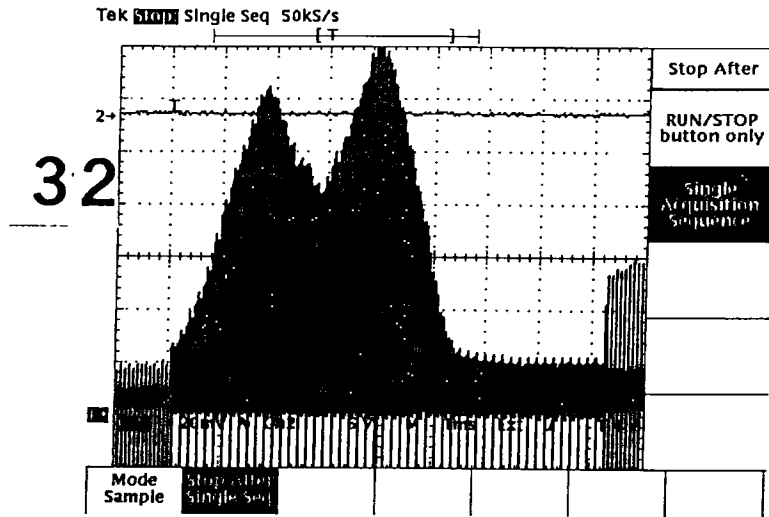
Widmo ciągłe lasera półprzewodnikowego /po lewej stronie fotografii światło czerwone/.



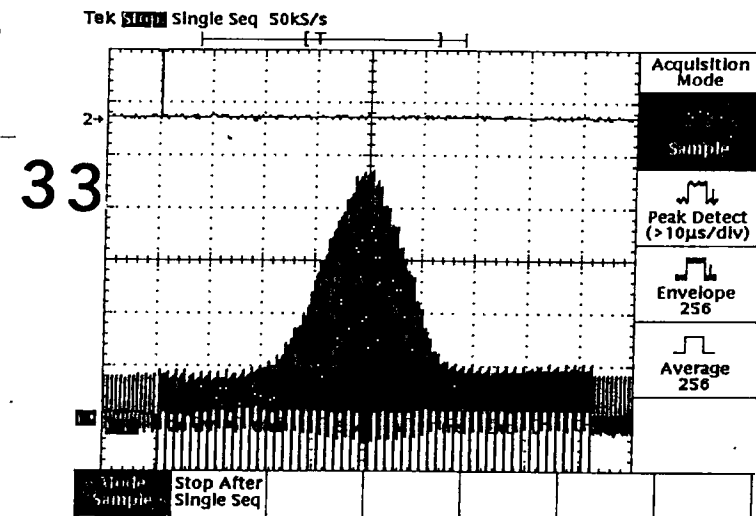
Widmo jak na Fot.30 ale z filtrem 546 nm.

Nr arch. 7670

27

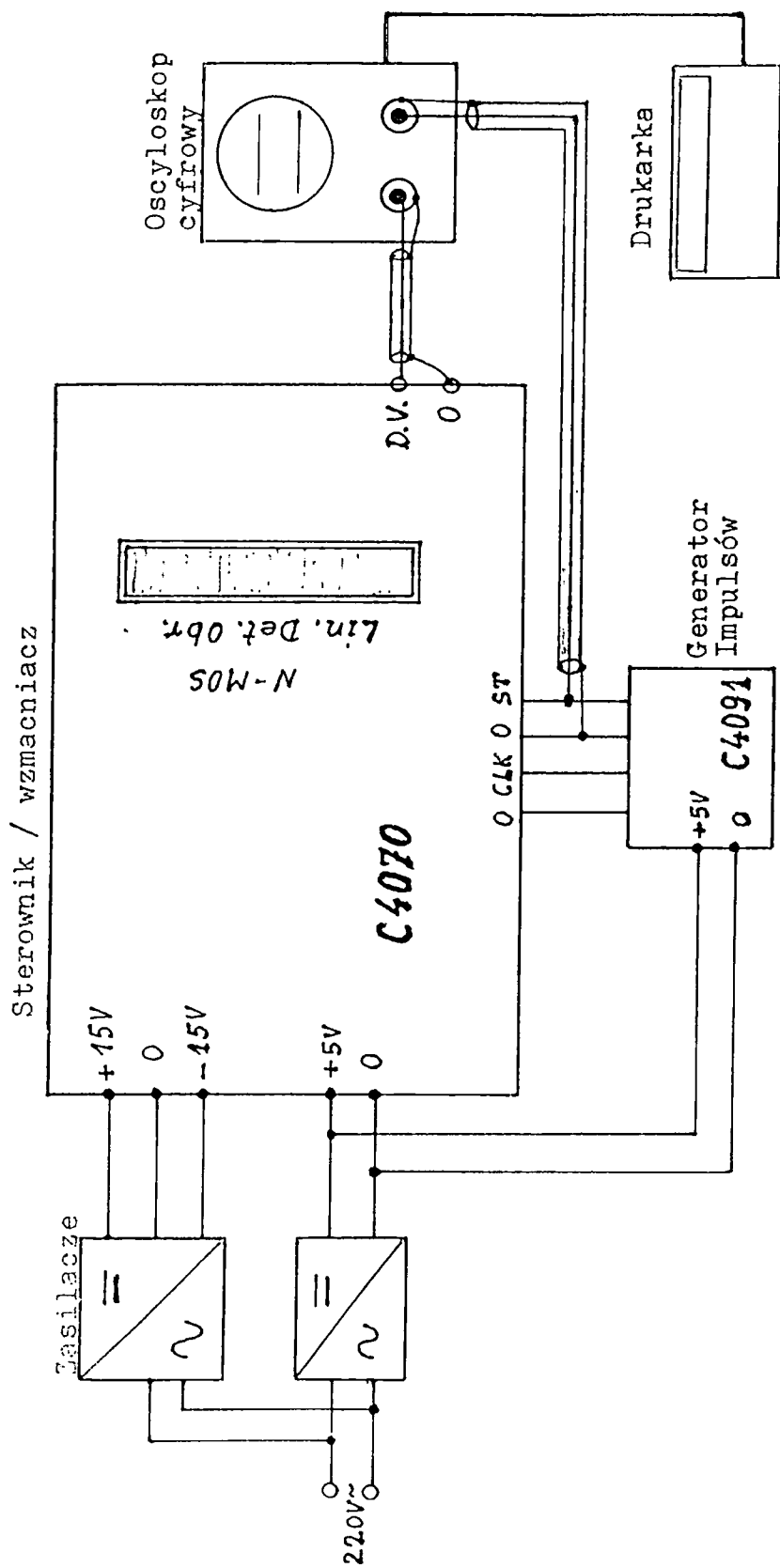


Widmo ciągłej lampy rtęciowej /Hg/ /po lewej stronie fotografii światło czerwone.

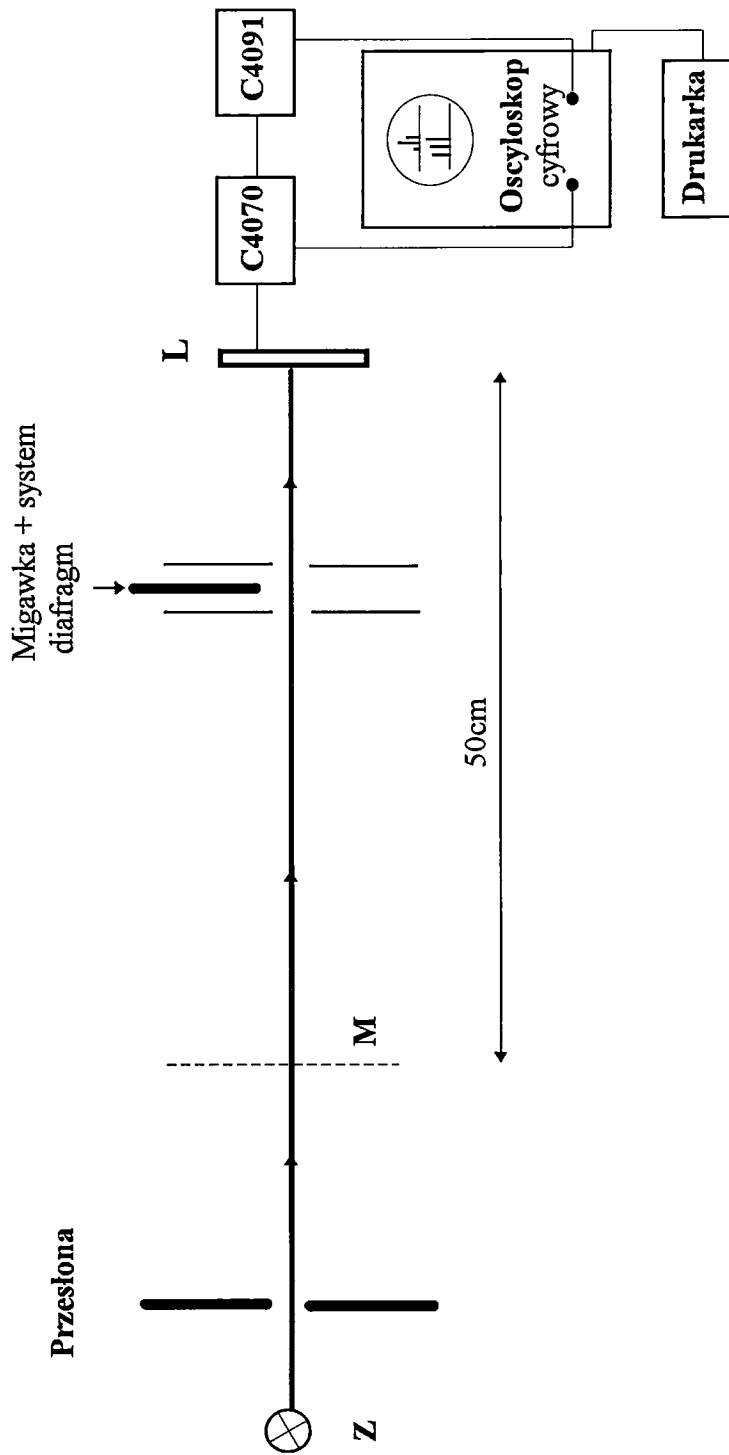


Widmo jak na Fot. 32, tylko z filtrem 546nm.

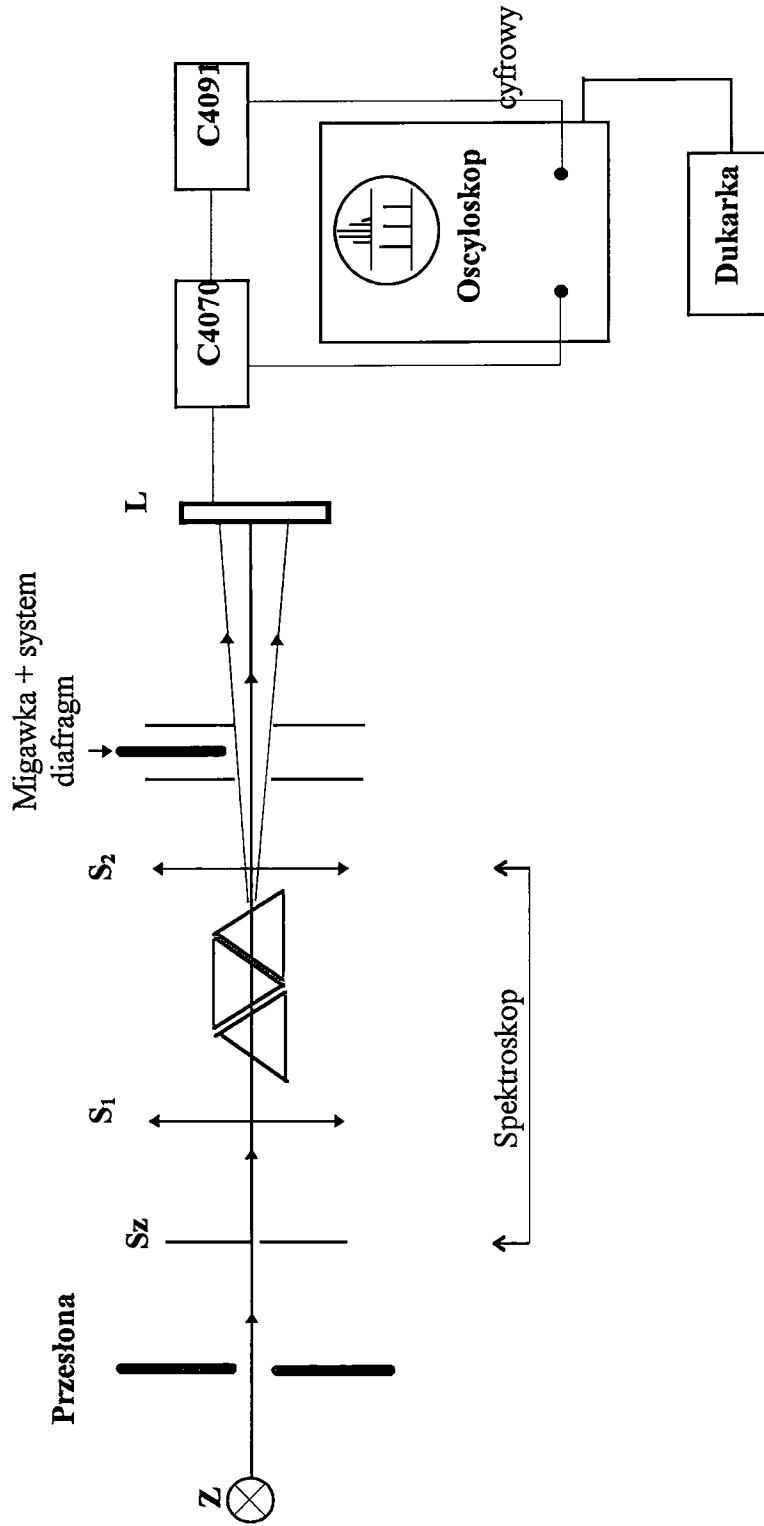
Nr arch. 7670



Rys. 2. Schemat blokowy linijkowego detektora obrazowego do badań monochromatycznych.



Rys.3. Układ doświadczalny do badania własności liniowego detektora obrazowego  
Z - źródło światła, M - modulator przestrzenny, L - linijka detektora.



Rys.4. Układ doświadczalny do badań spektroskopowych z użyciem liniowego detektora obrazowego. Z - źródło światła, L - linijka soczewki, S<sub>z</sub> - Szczelina wejściowa spektroskopu, S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> - soczewki.

## PUBLIKACJE z roku 1999

wykonane w ramach Projektu Badawczego  
Nr 5 P06F 016 11

pt. „**Metody oceny intensywności procesów metabolicznych  
w przechowywaniu zbóż**”

1. W. Gudaczewski, Ł. Fornal, A. Kobosko: *Jakość technologiczna ziarna pszenicy przechowywanej w warunkach wysokiej wilgotności*, Biuletyn Wydziału Nauki o Żywności Katedry Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie nr 5 1999r., przewidziany do publikacji również w Dodatku do Przeglądu Zbożowo - Młynarskiego w 1999r.,
2. M. Wiewiórkowska, E. Kamiński, H. Jeleń, A. Kobosko: *Ocena mikrobiologiczna ziarna zbóż dostarczonego do punktów skupu w latach 1996, 1997 i 1998*, Biuletyn Instytutu Żywności Pochodzenia Roślinnego Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, przewidziany do publikacji również w Dodatku do Przeglądu Zbożowo - Młynarskiego w 1999r.,
3. M. Wiewiórkowska, E. Kamiński, H. Jeleń, A. Kobosko: *Badanie składu mikroflory ziarna zbóż podczas przechowywania*, Biuletyn Instytutu Żywności Pochodzenia Roślinnego Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, przewidziany do publikacji również w Dodatku do Przeglądu Zbożowo - Młynarskiego w 1999r.,
4. A. Kobosko: *Systemy monitoringu przeznaczone do obiektów przechowywania produktów zbożowych z zagrożeniem wybuchowym*, referat wygłoszony i opublikowany w materiałach z Konferencji KNT „AUTOMATION 99”, Warszawa, str.69-81, 1999r.,
5. A. Kobosko: *Monitoring procesów termicznych w składowanych materiałach sypkich*, referat wygłoszony i opublikowany w materiałach z IV Szkoły-Konferencji MWK`99 (WAT), Rynia k/Warszawy, str. 209 - 216, 1999r.,
6. A. Kobosko: *Optoelectronic sensors for protection against grain dust explosions*, Proceedings of XV IMEKO World Congress, CD-ROM, Osaka, Japonia, 1999r.,
7. A. Kobosko: *Zasady projektowania systemów monitoringu do elewatorów zbożowych*, praca habilitacyjna przygotowywana do publikacji w 1999r.(praca przygotowana do recenzji),





# BIULETYN

Wydziału Nauki o Żywności  
Katedry Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych  
Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie

Nr 5

1999 r.

ROK V

WITOLD GUDACZEWSKI  
ŁUCJA FORNAŁ  
ANDRZEJ KOBOSKO\*

## Jakość technologiczna ziarna pszenicy przechowywanej w warunkach wysokiej wilgotności

### Cz. I. Jakość technologiczna

Straty przechowalnicze ziarna pszenicy, mimo rozwoju coraz doskonalszych technik i technologii, są stosunkowo duże. Najlepiej opisane i znane praktykom są straty wynikające z akumulacji ciepła i migracji wody w czasie przechowywania ziarna suchego oraz wzrostu temperatury ziarna o wysokiej wilgotności. O konieczności ciągłego pomiaru temperatury ziarna i systemach pomiarowych nie trzeba przekonywać specjalistów – przechowalników (Kobosko, 1996). Jednak, powszechne jest przechowywanie ziarna przez producentów w magazynach podłogowych lub silosach metalowych o małej pojemności. Jednym z zagrożeń przechowywania ziarna w magazynach podłogowych może być miejscowy wzrost wilgotności ziarna na skutek przenikania wody np.: z nieuszczelnionego podłoża, dachu. Natomiast w silosach o małej pojemności z powodu niewłaściwie stosowanej aktywnej wentylacji również mogą powstawać warstwy o wyższej wilgotności. Podjęto zatem badania, których celem było zwrócenie uwagi na związki między wilgotnością ziarna pszenicy, jego temperaturą a jakością technologiczną. Jakie mogą być zagrożenia obniżenia jakości ziarna?

#### Materiał badań i metody

Materiałem badań było ziarno pszenicy nawilżone do wilgotności 21–22% przechowywane w pojemniku o wysokości warstwy 0,5 m (eksperyment I).

W eksperymencie II przechowywano ziarno bezpośrednio po zbiorze kombajnowym o wilgotności 21–22% w warstwie o wysokości 0,5 m.

W czasie 35–56-dniowego przechowywania mierzono temperaturę ziarna oraz jego wilgotność, zawartość białka, liczbę opadania wg obowiązujących norm. Analizowano również cechy geometryczne ziarna, zmiany barwy oraz gęstości optycznej przekroju poprzecznego (Gudaczewski i in. 1996).

#### Wyniki

##### Wilgotność ziarna i temperatura

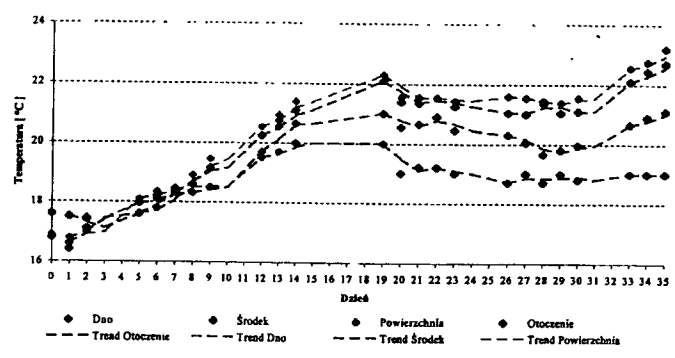
Wilgotność ziarna nawilżonego i naturalnie wilgotnego po zbiorze w czasie 35–56 dni przechowywania nie zmieniała się i wynosiła ok. 21–22% (tab. 1). Z kolei

Tabela 1

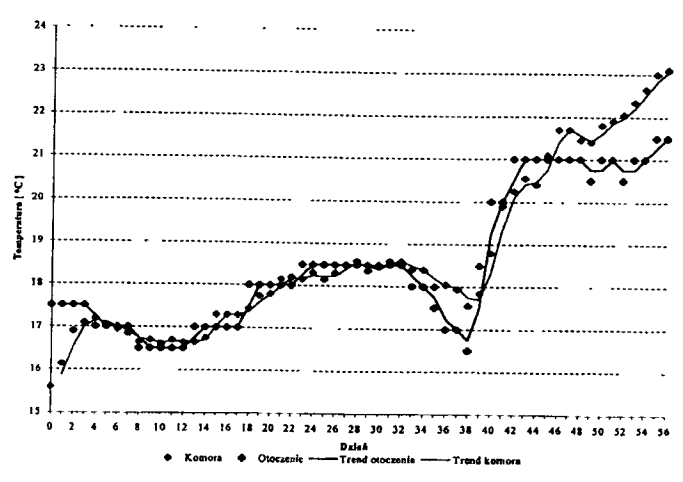
Wilgotność ziarna w czasie przechowywania [%]

Eksperyment	Czas przechowywania [dni]							
	0	7	14	21	28	35	42	56
I	22,30	22,60	–	22,13	–	21,59	–	–
II	20,99	21,34	21,59	21,93	21,69	21,91	21,06	21,04

temperatura ziarna miała różny przebieg w dwóch badanych eksperymentach (rys. 1, 2). W przypadku ziarna nawilżonego do 14 dnia przechowywania temperatura ziarna wzrosła od 17°C do 22°C, po tym czasie utrzymywała się na tym samym poziomie. Należy jednak zwrócić uwagę na różnicę w przebiegu temperatury ziarna i powietrza zewnętrznego. Od 14 dnia przechowywania przy stałej temperaturze powietrza zewnętrznego utrzymuje się wyższa o około 3°C temperatura ziarna, która wyraźnie zwiększa się od 32 dnia przechowywania. Wynika z tego, że źródłem ciepła w tak przechowywanym ziarnie są procesy metaboliczne głównie mikroflory ziarna. Zjawisko to można porównać z procesami zachodzącymi w warstwie ziarna, w której



Rys. 1. Przebieg zmian temperatury w czasie przechowywania pszenicy. Eksperyment I.



Rys. 2. Przebieg zmian temperatury w czasie przechowywania pszenicy. Eksperyment II.

wzrosła miejscowo wilgotność na skutek podmoknięcia od podłoża, zadeszczenia lub migracji wody.

Zmiany temperatury ziarna o wilgotności po zbiorze 21–22% miały inny przebieg. Temperatura ziarna zmieniała się w takim samym stopniu jak temperatura powietrza zewnętrznego (rys. 2). Po 44 dniach przechowywania wzrost temperatury ziarna był większy w stosunku do temperatury powietrza zewnętrznego.

Wyniki tych badań wskazują na złożoność związków między wilgotnością, a temperaturą ziarna. Niewielkiemu wzrostowi temperatury ziarna towarzyszy intensywny rozwój pleśni przy jego wilgotności 20–22%, a ziarno ze względu na zapach jest dyskwalifikowane pod względem jakości technologicznej (Kamiński i in. 1998).

#### Jakość technologiczna

Jakość technologiczną oceniano poprzez wyznaczenie zawartości białka i aktywności  $\alpha$ -amylazy (tab. 2). Zawartość białka ogółem nie zmieniała się w czasie przechowywania ziarna wilgotnego w warunkach zmiennej temperatury. Zawartość białka ogółem może nie odpowiadać rzeczywistej zawartości białek zbożowych ze względu na wysoki stopień porażenia grzybami, których biomasa jest również źródłem białka.

Aktywność  $\alpha$ -amylazy ziarna przed przechowywaniem zarówno w eksperymencie I jak i II była niska i nie zwiększała się wyraźnie w czasie przechowywania (tab. 2). Zależność ta może być korygowana innymi cechami biochemicznymi i chemicznymi ziarna. Wskazywałyby na to, między innymi, krzywe amylograficzne (Konopka i Rotkiewicz, 1998).

#### Cechy geometryczne i barwa ziarna

Wielu doświadczonych pracowników magazynów zbożowych lub elewatorów obserwuje zjawisko zlegiwania masy zbożowej lub przylegania ziarna do ścian komór przechowalniczych. Zlegiwanie ziarna i obniżanie się porowatości ma związek z cechami geometrycznymi przechowywanego ziarna o podwyższonej wilgotności. Pomiar podstawowych cech geometrycznych takich, jak długość; szerokość; obwód i pole powierzchni rzutu wyraźnie wskazuje na zwiększenie się dwóch wymiarów ziarniaków pszenicy, długości i szerokości od 14 dnia przechowywania w dwóch badanych eksperymentach (tab. 3). Zwiększenie się wymiarów ziarna od 14 dnia przechowywania w stanie wilgotnym ma związek z przebiegiem temperatury ziarna,

która rośnie również od 14 dnia przechowywania (rys. 1, 2). Można zatem twierdzić, że wzrostowi temperatury ziarna wilgotnego powyżej 20°C towarzyszy obniżenie porowatości i zlegiwanie ziarna. Z kolei Kusińska (1998) zwraca uwagę na zwiększony napór na boczne ściany silosu warstwy ziarna o podwyższonej wilgotności.

Zmiany barwy są jednym z często stosowanych wyróżników jakości technologicznej przechowywanego ziarna pszenicy. Najczęściej zmiany barwy informują o stopniu zanieczyszczenia ziarna grzybami, co wiąże się ze zjawiskiem wzrostu temperatury ziarna wilgotnego.

Barwa ziarniaków pszenicy (gęstość optyczna powierzchni całkowitej) wyznaczona obiektywnie stosując technikę cyfrowej analizy obrazu wykazała szereg zmian w porównaniu z ziarnem suchym (tab. 4). Ziarno nawilżone do wilgotności 20–22% (eksperyment I) charakteryzowały najliczniej występujące pasma poziomów szarości 41–60 i 61–80 (rys. 3, 4). Z kolei ziarno wilgotne bezpośrednio po zbiorze (eksperyment II) pasma 61–80 i 81–100 (rys. 5, 6). Pomiędzy 14 a 21 dniem przechowywania w barwie ziarna pszenicy nawilżonej zwiększa się udział pasma 81–100 a maleje liczebność występowania pasma 61–80 (rys. 3, 4). W przypadku ziarna naturalnie wilgotnego maleje liczebność występowania pasma 61–80 a zwiększa się liczebność pasma 81–100 i 101–120 (rys. 5, 6). Można zatem stwierdzić, że rozwój pleśni a także inne przemiany składników chemicznych okrywy nasiennej wilgotnego ziarna pszenicy powodują zwiększenie udziału wyższych poziomów szarości.

#### Barwa przekroju poprzecznego ziarna pszenicy

Barwa przekroju poprzecznego ziarna pszenicy jest tradycyjnie oceniana jako szklistość lub mączystość bielma. Pomiar rozkładu poziomów szarości przekroju poprzecznego może być wykorzystany do oceny klasy jakościowej pszenicy (Guda-czewski i Fornał, 1998). Zmiana rozkładu poziomów szarości przekroju ziarna wskazuje najczęściej na pogorszenie się jego jakości technologicznej.

a 2

#### Zawartość białka i liczba opadania przechowywanego ziarna pszenicy

Oznaczenie	Eksperyment	Czas przechowywania [dni]							
		0	7	14	21	28	35	42	50
Zawartość białka [% s.m.]	I	11,10	11,85	–	11,61	–	11,81	–	–
	II	11,87	12,07	11,96	11,53	11,40	11,90	12,13	12,18
Liczba opadania [sek.]	I	341	352	–	330	–	347	–	–
	II	378	–	348	357	–	348	317	323

Tabela 3

#### Cechy geometryczne ziarna pszenicy w czasie przechowywania (wartości średnie)

Cecha geometryczna	Eksperyment	Czas przechowywania [dni]					
		0	7	14	21	28	35
Długość [mm]	I	6,83	6,85	–	6,98	–	7,10
	II	7,37	7,35	7,41	7,77	–	–
Szerokość [mm]	I	4,38	4,41	–	4,51	–	4,64
	II	4,39	4,40	4,45	4,59	–	–
Obwód [mm]	I	26,28	26,38	–	26,84	–	27,28
	II	28,10	27,94	28,28	29,70	–	–
Pole powierzchni [mm <sup>2</sup> ]	I	20,26	20,26	–	21,13	–	21,80
	II	22,43	22,18	22,89	25,11	–	–
$W_1 = \frac{S}{O^2}$	I	0,029	0,029	–	0,029	–	0,029
	II	0,028	0,028	0,028	0,028	–	–

Barwę (gęstość optyczną) przekroju poprzecznego ziarna nawilżonego (zerowy dzień przechowywania) charakteryzują dwa najliczniej występujące pasma 61–80 i 81–100 (rys. 7). Natomiast ziarno naturalnie wilgotne – pasma poziomów szarości 81–100 i 101–120 (rys. 9). Od 7 dnia przechowywania, niezależnie od eksperymentu (rys. 7, 9), maleje liczebność występowania pasma 61–80 a zwiększa się pasma 101–120 (tab. 5). Barwa bielma ziarna nawilżonego charakteryzuje zwiększająca się, w czasie 21-dniowego przechowywania, liczebność pasma 81–100, po czym maleje (rys. 7, 8). W rozkładzie poziomów szarości przekroju poprzecznego ziarna naturalnie wilgotnego (rys. 9, 10) zwiększa się liczebność pasma 101–120, 121–140 i 141–160. Im większa liczebność występowania pasm większych od 81–100, tym większa mączystość bielma. Taka tendencja w ziarnie przechowywanym wskazuje na niekorzystne pod względem jakości technologicznej przemiany struktury bielma pszenicy.

#### Podsumowanie

Wzrost temperatury ziarna pszenicy o wilgotności 20–22% przechowywanej przez 56 dni w warstwie o wysokości 0,5 m jest kilkustopniowy (2–6°C), a temperatura nie jest wyższa niż 20–24°C. Zmiany temperatury są w większym stopniu związane z rozwojem pleśni niż aktywnością enzymów amylolitycznych. W czasie przechowywania w takich warunkach, stosunkowo niska temperatura ziarna, już po 14

Tabela 4

#### Zmiany gęstości optycznej powierzchni całkowitej ziarna w czasie przechowywania. Liczebność [%] występowania różnicy pomiędzy max. i min. poziomem szarości

Różnica pomiędzy max-min poziomem szarości	Eksperyment	Czas przechowywania [dni]							
		0	7	14	21	28	35	42	56
41–60	I	21	22	–	12	–	10	–	–
	II	12	12	12	10	–	5	–	–
61–80	I	61	62	–	60	–	41	–	–
	II	40	50	50	12	8	40	–	12
81–100	I	12	12	–	27	–	38	–	–
	II	42	31	36	60	42	45	8	52
101–120	I	5	5	–	–	–	8	–	–
	II	5	5	2	20	35	8	35	28
121–140	I	–	–	–	–	–	–	–	–
	II	–	–	–	–	15	2	50	5
141–160	I	–	–	–	–	–	–	–	–
	II	–	–	–	–	–	–	–	–

34.

# Jakość technologiczna ziarna pszenicy przechowywanej w warunkach wysokiej wilgotności

## Cz. II. Przemiany lipidów a cechy reologiczne ciasta

### Wstęp

W czasie przechowywania składnikiem ziarna, który najszybciej ulega przemianom hydrolytycznym, są lipidy. Hydrolyza lipidów zbożowych zachodzi już przy wilgotności 12–14%, a jej tempo uzależnione jest od aktywności lipaz endogennych. Przy wyższej wilgotności w przemianach lipidów uczestniczą także enzymy pochodzenia mikrobiologicznego. Rozwijająca się na ziarnie zbroń mikroflora, grzybowa i bakteryjna, zawiera bardzo aktywne enzymy lipolityczne (Barnes, 1983; Galliard, 1986; Ryniecki, 1998a, b).

Celem pracy jest określenie zakresu przemian lipidów w ziarnie pszenicy przechowywanym w stanie wilgotnym oraz oszacowanie ich wpływu na cechy reologiczne mąki uzyskanej z takiego ziarna.

### Organizacja doświadczenia

Szczegółowy opis materiału badawczego zamieszcza część I pracy (eksperyment II) (Gudaczewski i in., 1999). Podczas przechowywania w odstępach tygodniowych pobierano około 1 kg próby ziarna i suszono do wilgotności 13–14% w temperaturze poniżej 50°C. Wysuszone ziarno poddawano przemiałowi w młynie Brabender quadrumat Junior. Uzyskane mąki i otręby stanowiły materiał do analiz, w którym oznaczano zawartość i stopień rozkładu lipidów oraz badano cechy fizyczne mąki (ocena amylograficzna oraz wytłaczanie ciasta).

Oznaczenia wilgotności przeprowadzono wg PN-91/A-74010, tłuszczu wolnego i związanego wg Thomasa (1979), liczbę kwasową wg AACC (White i in., 1992) i nadlenkową (PN-ISO-3960) w tłuszczu wolnym, wyekstrahowanym eterem nadtowym zgodnie z PN-73/R-66164. Oznaczenie liczby opadania w mące wyciągowej wykonano wg Pertena-Hagberga wg ISO Standard No. 3093, w aparacie Falling Number 1600. Badanie wiskozymetryczne mąki wykonano za pomocą amylografu Brabendera (Mod. No. 800145). Pomiar właściwości reologicznych ciasta wykonano w komorze OTMS na urządzeniu UMT Instron 4301. Parametry testu były następujące:

- pojemność głowicy – 1000 N,
- powierzchnia przekroju komory OTMS – 50 cm<sup>2</sup>,
- prędkość wytłaczania – 50 mm/min,
- odkształcenie – 50 mm,
- dno perforowane,
- masa kęsa ciasta 250 g (wydajność ciasta 150%).

### Omówienie i dyskusja wyników

#### Wyciąg mąki

Wyciąg mąki z analizowanej pszenicy wahał się w granicach od 75,3% na początku okresu przechowywania do 78,4% po 8 tygodniach przechowywania (tab. 1). Wskazywać to może na stopniowe rozluźnienie sił łączących okrywy ziarniaków z bielmem właściwym, prawdopodobnie w wyniku reakcji hydrolytycznych oraz naruszenie struktury bielma i wzrost jego mączystości, potwierdzone wynikami badań z części pracy (Gudaczewski i in., 1999). Nie znaczy to, że wzrost wyciągu mąki należy traktować jako cechę korzystną. Głównym kryterium jest bowiem jakość technologiczna mąki otrzymanej z takiego ziarna.

#### Zawartość lipidów wolnych i związanych w mące i otrębach

Zawartość lipidów wolnych w wyjściowej próbce mąki była kilkakrotnie niższa niż w próbce otręb, co jest zgodne z wynikami badań szeregu autorów (Barnes, 1983; Simmonds, 1989; Konopka, 1997). Zachodzące podczas przechowywania procesy hydrolytyczne prowadziły do stopniowego wzrostu udziału lipidów wolnych: w mące z 1197 mg/100 g s.m. w próbce przed przechowywaniem do 2248 mg/100 g s.m. po 8 tygodniach przechowywania, co jest równoznaczne z 89% zwiększeniem ich ilości [rys. 1]. W otrębach ilość lipidów wolnych zwiększyła się po 8 tygodniach przechowywania o 53%. Wzrostowi udziału tej frakcji tłuszczu towarzyszył ubytek lipidów związanych, wchodzących w skład struktur membranowych, kompleksów ze skrobią oraz agregatów białkowych. Wzrost ilości lipidów wolnych, nie bilansujący się z ubytkiem lipidów związanych, mógł być spowodowany rozwojem pleśni, które prowadzą syntezę lipidów własnych, a ponadto dzięki swym bardzo aktywnym lipazom [Barnes 1983], mogą powodować hydrolyzę kompleksów i uwolnienie tych lipidów, których nie dało się oznaczyć w próbach mąki niezhydrolyzowanej.

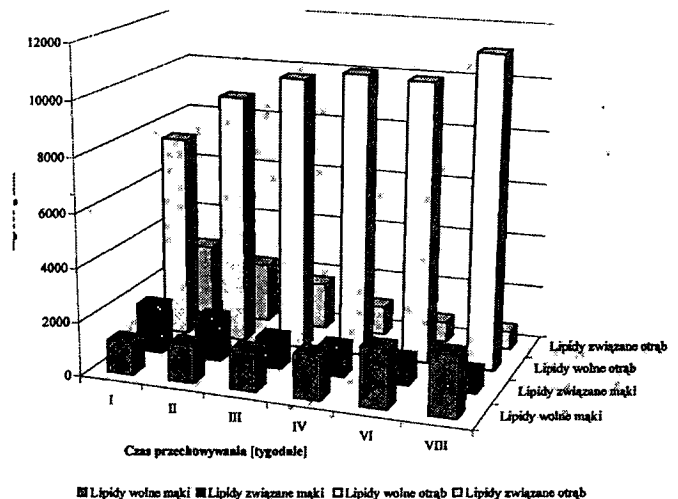
#### Zawartość wolnych kwasów tłuszczowych i nadlenków w ziarnie i mące

Obserwowane podczas przechowywania zwiększenie się liczby kwasowej lipidów wolnych ziarna, z 15,84 do 81,39 mg KOH/l g, wskazuje na ich postępującą hydrolyzę, a tym samym na zwiększanie zawartości wolnych kwasów tłuszczowych (tab. 1). Liczba kwasowa lipidów wolnych mąki otrzymanej z ziarna przed przechowywaniem była o 5 jednostek wyższa od liczby kwasowej lipidów ziarna, co może wskazywać na wyższą koncentrację wolnych kwasów tłuszczowych w bielmie niż w częściach zewnętrznych ziarniaków pszenicy. Po 3 tygodniach przechowywania różnica wielkości liczby kwasowej w mące wyciągowej i ziarnie zmalała, a po 8 tygodniach przechowywania wyższą wartością liczby kwasowej cechowały się lipidy ziarna (tab. 1). Dane literaturowe (Konopka i Rotkiewicz, 1997; Moltenberg i in., 1995) wskazują, że szczególnie łatwo uwalniane są kwasy wielonienasycone. Mogą one początkowo

Tabela 1

Stopień hydrolyzy i utlenienia lipidów wolnych ziarna i mąki wyciągowej

Wyróżniki	Czas przechowywania ziarna w stanie wilgotnym [tygodnie]					
	I	II	III	IV	VI	VIII
Wilgotność ziarna [%]	20,99	21,34	21,59	21,93	21,91	21,04
Wyciąg mąki [%]	75,3	76,6	77,4	77,3	77,4	78,4
Liczba kwasowa ziarna [mg KOH/g lipidów wolnych]	15,84	–	36,57	–	–	81,39
Liczba kwasowa mąki wyciągowej [mg KOH/g lipidów wolnych]	20,59	–	38,53	–	–	77,89
Liczba nadlenkowa ziarna [milirównoważniki/kg]	4,49	–	5,57	–	–	3,94
Liczba nadlenkowa mąki wyciągowej [milirównoważniki/kg]	8,25	–	9,14	–	–	5,23



Rys. 1. Przemiany lipidów wolnych i związanych mąki i otręb.

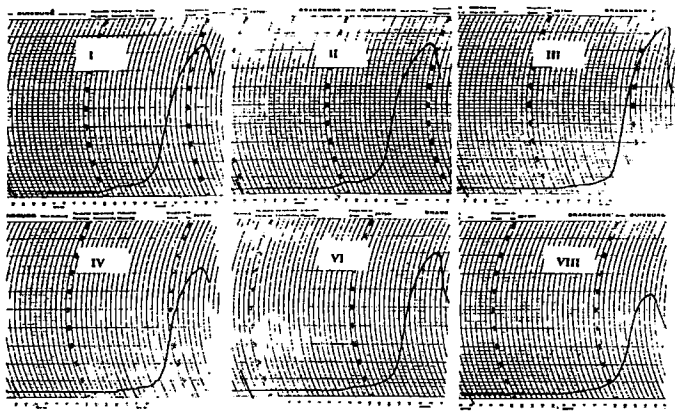
Tabela 2

Ocena amylograficzna mąki i cechy reologiczne ciasta

Wyróżniki	Czas przechowywania ziarna w stanie wilgotnym [tygodnie]					
	I	II	III	IV	VI	VIII
Ocena amylograficzna:						
$T_p$ [°C]	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0
$T_s$ [°C]	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5	88,5
Lepkość maksymalna $\eta$ [J.B.]	840	840	960	720	800	580
Liczba opadania [s]	365	361	338	344	302	309
Reologia ciasta:						
Maksymalna siła wytłaczania [N]	440	406	463	446	363	258
Energia wytłaczania ciasta [J]	13,3	11,7	13,2	12,0	11,3	8,2

obniżyć wartość wypiekową mąki, jednak w obecności aktywnej lipooksygenazy utleniane są do szeregu związków pochodnych [Tait i Galliard, 1988], które w pewnym zakresie wpływają polepszająco na jakość mąki.

Nadtlenki są pierwotnymi i nietrwałymi produktami oksydacji, a więc liczba nadlenkowa charakteryzuje stopień utlenienia tłuszczu tylko w początkowym etapie oksydacji. Liczby nadlenkowe lipidów wolnych ziarna i mąki wyciągowej różniły się



Rys. 2. Amylogramy mąki z I, II, III, IV, VI i VIII tygodnia przechowywania ziarna.

od siebie w próbach wyjściowych (tab. 1). Prawie 2-krotnie wyższa liczba nadlenkowa tłuszczu mąki wskazuje na znaczny stopień jego utlenienia w bielmie analizowanej pszenicy. Podczas 3 tygodniowego przechowywania stwierdzono niewielki przyrost ilości nadlenków, zbliżony do 1 milirównoważnika/kg, zarówno w ziarnie jak i w mące wyciągowej (tab. 1). Analiza zawartości nadlenków w próbach tłuszczu po 8 tygodniach przechowywania wskazuje na ich znaczny ubytek, do wartości niższych od stwierdzonych w próbach przed przechowywaniem. Należy sądzić, że zmniejszenie ilości nadlenków świadczy o ich szybszym przekształcaniu w produkty wtórne, bądź wskazuje na ich interakcje z innymi składnikami ziarna.

#### Ocena kompleksu amylazowo-skrobiowego

Na zakres temperatur kleikowania skrobi wpływają zarówno czynniki genetyczne i agrotechniczne, jak i stopień jej uszkodzenia: mechanicznego podczas przemiału ziarna oraz enzymatycznego w wyniku działania amylaz.

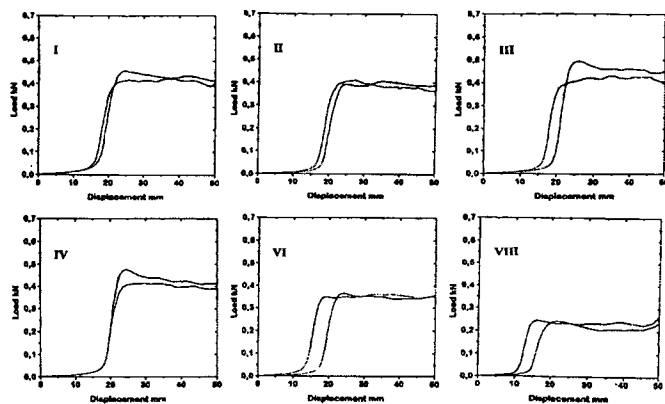
Aktywność  $\alpha$ -amylazy w przechowywanej pszenicy była stosunkowo niska, gdyż w wyjściowej próbie mąki liczba opadania wynosiła 365 s (tab. 2). W miarę wydłużania czasu przechowywania liczba opadania obniżała się, osiągając 309 s po 8 tygodniach. Dane literaturowe (Jankowski, 1981) wskazują, że w ziarnie zbóż przechowywanym poniżej wilgotności krytycznej liczba opadania stopniowo zwiększa się. Mają na to wpływ procesy utleniania, w których biorą udział enzymy oksydoredukcyjne obecne w ziarniakach oraz tworzące się nadlenki tłuszczowe. W omawianym doświadczeniu nie stwierdzono takiego zjawiska, gdyż inna była, jak należy sądzić, intensywność procesów, która zależy w dużej mierze od temperatury i wilgotności przechowywanego ziarna. Najbardziej stabilizująco na trwałość ziarna wpływa wyrównana w całej masie zawartość wody w zakresie 11–13% (Jankowski, 1981). Dolna granica wilgotności stanowi próg dla zmian oksydacyjnych, górna natomiast jest progiem aktywności hydrolytycznej oraz biologicznej drobnoustrojów. Stosunkowo wysoka wilgotność przechowywanego ziarna spowodowała niski, w porównaniu z oczekiwaniem, wzrost aktywności  $\alpha$ -amylazy, co również tłumaczyć należy występowaniem stanu spoczynkowego ziarna.

Wyniki oznaczeń amylograficznych kleikowania mąki z ziarna pszenicy przedstawiono w tab. 2 i na rys. 2. Zakres zmian lepkości maksymalnej aż do 6 tygodnia przechowywania jest niewielki, gdyż waha się w przedziale 800–860 j.B, przy czym najwyższą lepkością charakteryzowała się mąka po 4 tygodniach przechowywania. Dopiero analiza amylograficzna próby ziarna przechowywanego 8 tygodni wskazała na bardzo wyraźny spadek lepkości, który można wiązać ze wzrostem temperatury ziarna (cz. I, rys. 1), rosnącą aktywnością enzymów amylolitycznych (tab. 2) oraz uwalnianiem lipidów związanych z połączeń ze skrobią (wzrost ilości lipidów wolnych) (rys. 1). Wydają się na to wskazywać wyniki badań Kroga (cyt. przez Takahashi i Seib, 1988), który stwierdził, że rozpad kompleksów amylozy z kwasem palmitynowym i izoleucyną obniża temp. kleikowania i lepkość skrobi pszennej. Uwolnienie lipidów ze skrobi pszennej zwiększa ponadto jej rozpuszczalność, a amylogramy takiej skrobi nie mają charakterystycznego piksu spadku lepkości, cechują się niższymi wartościami lepkości maksymalnej oraz niższymi, o około 15°C, wartościami początkowej temp. kleikowania (Takahashi i Seib, 1988).

#### Ocena cech reologicznych ciasta

W ocenie jakości ciasta stosowane są metody oparte na jego deformacji [Redlinger i in., 1985]. W przypadku ciasta pszennego zastosowano do tych pomiarów metodę wylączania ciasta w komorze OTMS UMT Instron 4301.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów zauważono, że max. siła wylączania  $[F_{max}]$  oraz energia wylączania  $[E_w]$  były najwyższe w wyjściowych próbach pszenicy (tab. 2, rys. 3), co wskazuje na ciasto o najwyższej sprężystości, a tym samym o najwyższej „mocy” glutenu. Podobnie jak i w przypadku wcześniej omówionych wyróżników, nie zaobserwowano pogorszenia właściwości reologicznych ciasta w czasie początkowych czterech tygodni przechowywania, a nawet wprost przeciwnie – najlepsze właściwości ( $F_{max} = 463$  N i  $E = 13,2$  J) stwierdzono dla ziarna po 3 tygodniach przechowywania. Na utrzymanie stabilnej charakterystyki ciasta mogły mieć wpływ tworzące się w mące nadlenki tłuszczowe, które na skutek utleniania wiązań -SH białek stabilizują ich strukturę. Rola nadlenków polega również na hamowaniu aktywności enzymatycznej ziarna. Dalsze przechowywanie ziarna spowodowało jednak daleko idące zmiany we właściwościach białek glutenowych potwierdzone wyraźnym, około 2-krotnym, spadkiem wartości maksymalnej siły i energii wylączania ciasta.



Rys. 3. Krzywe wylączania ciasta w Komorze OTMS Instron 4301 (I, II, III, IV, VI i VIII – tygodnie przechowywania ziarna).

Właściwości reologiczne glutenu, czyli zespół jego cech lepkości, spistości i elastyczności, są pochodną struktury cząsteczkowej białek, szczególnie HMW glutenu. Utrata korzystnych cech ciasta z analizowanego ziarna była prawdopodobnie spowodowana hydrolizą składników białkowych oraz rozpadem ich agregatów z lipidami (głównie glikolipidami), dzięki którym ciasto wykazuje większą elastyczność i miękkość (Bekes i in., 1986).

Korzystne cechy reologiczne ciasta do 4 tygodnia przechowywania mogą być pozorną. Nie można ich rozumieć tak, że ziarno pszenicy przechowywane w warunkach wysokiej temperatury i wilgotności można wysuszyć i przekazać do przetwórstwa (np. tworzyć mieszanin z ziarnem suchym). Wyniki tych badań wskazują na złożoność przemian i interakcji między lipidami, skrobią i białkami w czasie przechowywania ziarna wilgotnego w warunkach wzrastającej jego temperatury.

#### Podsumowanie badań

W podsumowaniu badań można stwierdzić, że przemiany lipidów w ziarnie pszenicy przechowywanym w stanie wilgotnym wyprzedzają te, które prowadzą do pogorszenia cech fizycznych mąki. Wśród przemian lipidów dominuje hydroliza, która prowadzi do wzrostu ilości lipidów wolnych, w tym również zawartości wolnych kwasów tłuszczowych. Przemiany oksydacyjne tłuszczu są w warunkach wilgotności ziarna w zakresie 21–22% ograniczone i nie powodują znaczącej kumulacji nadlenków. Można więc przyjąć, że podwyższona zawartość produktów hydrolytycznego rozpadu lipidów jest dobrym wskaźnikiem złej jakości przechowywanego ziarna.

Niezależnie od wyników jakości technologicznej przechowywanego ziarna pszenicy (cz. I i II) zawsze o jego przydatności do przetwórstwa decyduje jakość mikrobiologiczna i higieniczna. W praktyce jest ona najczęściej określona przez zmianę barwy i zapachu ziarna. Zapach stęchły lub fermentacyjny dyskwalifikuje ziarno do jakiegokolwiek wykorzystania.

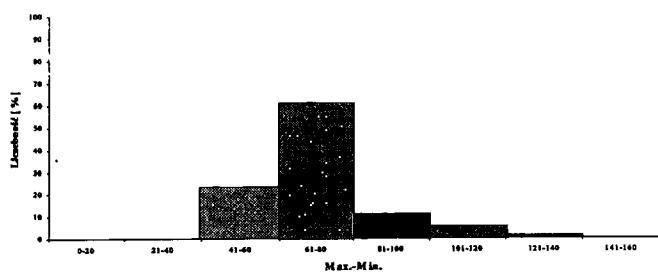
#### Literatura

- (1) Barnes P. J., 1983, Lipids in cereal technology. Academic Press, London.
- (2) Bekes F., U. Zawistowska, R. R. Zillman, W. Bushuk, 1986, Relationship between lipid content and composition and loaf volume of twenty-six common spring wheats. Cereal Chem., 63(4): 327–331.
- (3) Galliard T., 1986, Hydrolytic and oxidative degradation of lipids during storage of wholemeal flour: effects of bran and germ components. J. Cereal Sci., 4: 180–192.
- (4) Gudaczewski W., E. Fornal, A. Kobosko, 1999, Jakość technologiczna pszenicy przechowywanej w warunkach wysokiej wilgotności. Cz. I. Jakość technologiczna.
- (5) Jankowski S., 1981, Zarys technologii kaszarstwa i młynarstwa. WN-T, Warszawa.
- (6) Jurga R., 1994, Przetwórstwo zbóż. Cz. I. WSiP, Warszawa.
- (7) Konopka I., 1997, Badania technologicznych skutków stosowania oleju rzepakowego do ograniczania emisji pyłów zbożowych. Rozprawa doktorska, Olsztyn.
- (8) Konopka I., D. Rotkiewicz, 1997, Zmiany przechowalnicze tłuszczowców a wartość wypiekowa mąki żytniej. Przeg. Zboż.-Młyn., 6 (Biuletyn nr 3): 23–25.
- (9) Moltenberg E.L., G. Vogt, A. Nilsson, W. Frolich, 1995, Effect of storage and heat processing on the content and composition of free fatty acids in oats. Cereal Chem., 72 (1): 88–93.
- (10) Redlinger P. A., C. S. Setser, A. D. Dayton, 1985, Measurements of bread firmness using the Instron universal testing instrument: differences resulting from test conditions. Cereal Chem., 62 (3): 223–226.
- (11) Ryńiecki A., 1998b, Warunki bezpiecznego przechowywania ziarna. Przeg. Zboż.-Młyn., 10: 31–32.
- (12) Ryńiecki A., 1998a, Automacyjne wyznaczanie dopuszczalnego czasu konserwacji ziarna. Przeg. Zboż.-Młyn., 2: 16–19.
- (13) Simmonds D. H., 1989, Wheat and wheat quality in Australia. Chapter 11. Fundamental aspects of wheat quality: the lipid fraction. CSIRO Australia.
- (14) Tait S. P. C., T. Galliard, 1988, Oxidation of linoleic acid in doughs and aqueous suspensions of wholemeal flours: Effects of storage. J. of Cereal Sci., 8: 55–67.
- (15) Takahashi S., P. A. Seib, 1988, Paste and gel properties of prime corn and wheat starches with and without native lipids. Cereal Chem., 65(6): 474–483.
- (16) Thomas W., 1979, Phospholipide in Stärke-kleber. Stärke, 31 (2): 54–57.
- (17) White N. D. G., D. S. Jayas, J. T. Mills, B. L. Dronzek, 1992, Effect of canola oil or white mineral oil at dust suppressant levels on the storage characteristics of wheat. Cereal Chem., 69 (2): 182–187.

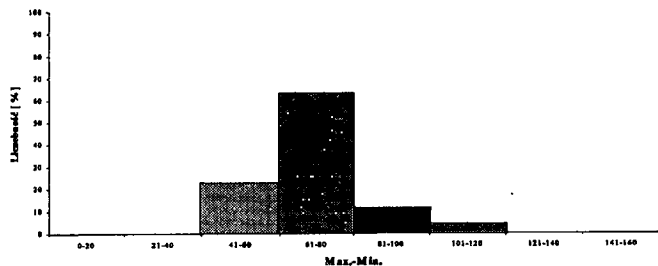
Barwa przekroju poprzecznego ziarna.  
Liczebność [%] występowania różnicy pomiędzy max. i min. poziomem szarości

Różnica pomiędzy max-min poziomem szarości	Eksperyment	Czas przechowywania [dni]							
		0	7	14	21	28	35	42	56
41-60	I	10	-	-	4	-	-	-	-
	II	-	-	-	-	-	-	10	-
61-80	I	35	12	-	10	-	-	-	-
	II	18	5	-	-	5	-	5	5
81-100	I	50	70	-	71	14	-	-	-
	II	40	30	15	30	5	10	5	10
101-120	I	5	15	-	15	64	-	-	-
	II	45	58	80	48	40	47	65	65
121-140	I	-	-	-	-	23	-	-	-
	II	-	10	5	20	45	38	10	20
141-160	I	-	-	-	-	-	-	-	-
	II	-	-	-	5	5	10	5	-

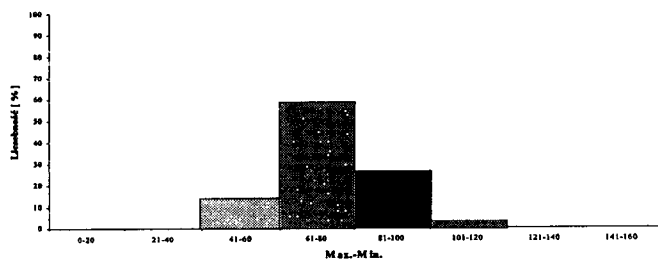
0 dni przechowywania



7 dni przechowywania

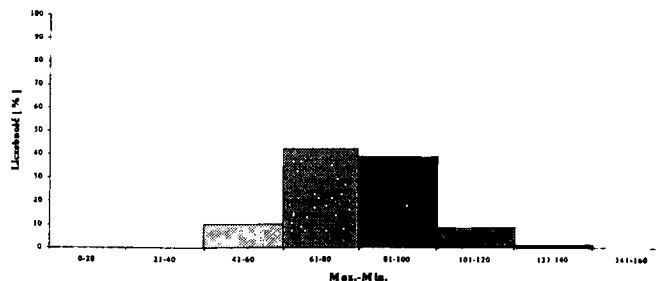


21 dni przechowywania



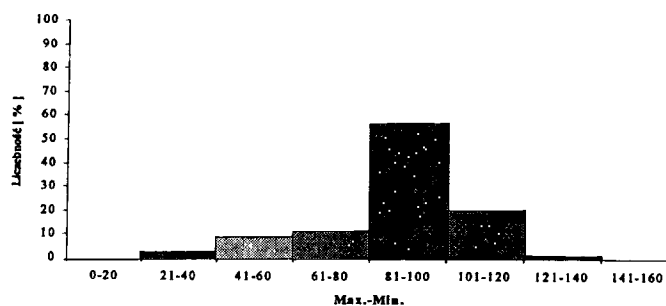
Rys. 3. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarna pszenicy (barwa).  
Eksperyment I.

35 dni przechowywania

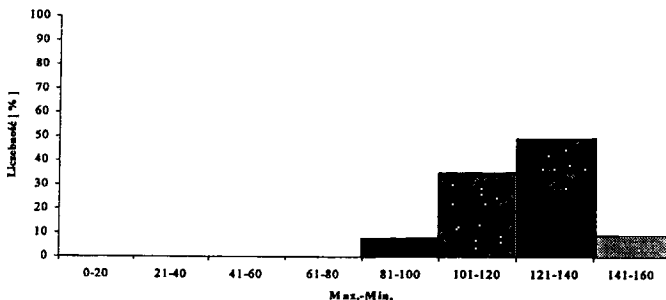


Rys. 4. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarna pszenicy (barwa).  
Eksperyment I.

21 dni przechowywania



42 dni przechowywania



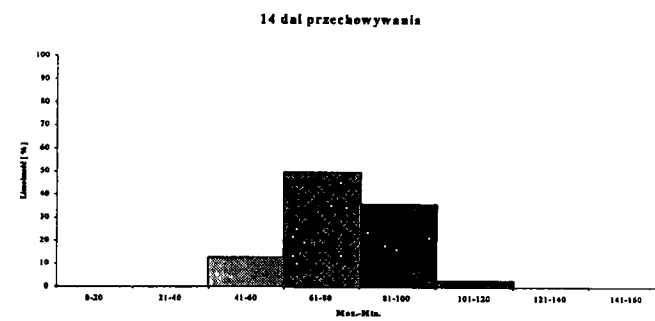
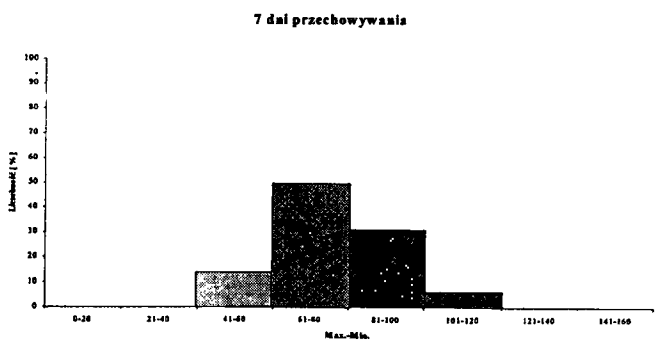
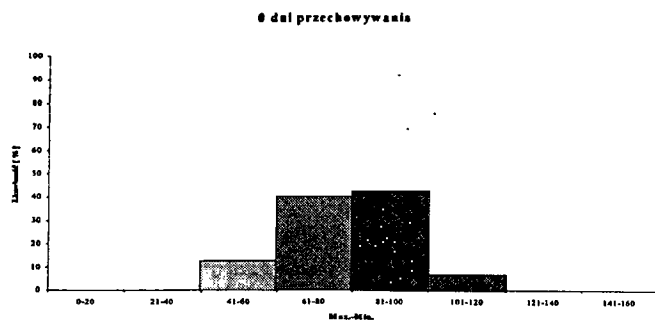
Rys. 5. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarna pszenicy (barwa).  
Eksperyment II.

dniach zmienia się barwa ziarna a bielmo traci charakterystyczną dla struktury bielma szklistego gęstość optyczną. Należy zatem stwierdzić, że wzrost temperatury ziarna pszenicy od 16°C do 20°C o wilgotności 20-22% powoduje wyraźne obniżenie jakości ziarna pszenicy. Szczególnie krytyczny jest okres przechowywania dłuższy niż 7-14 dni.

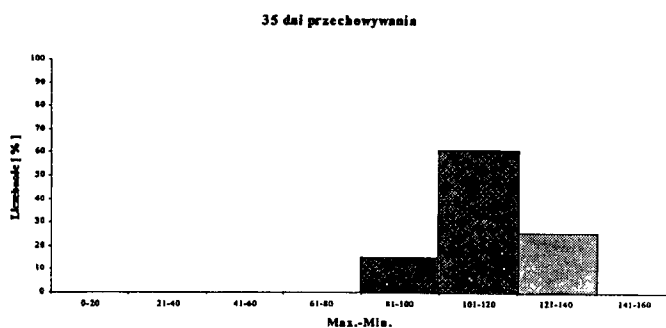
\* *Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie, Badania finansowane przez KBN, grant nr 5P06F01611.*

#### Literatura

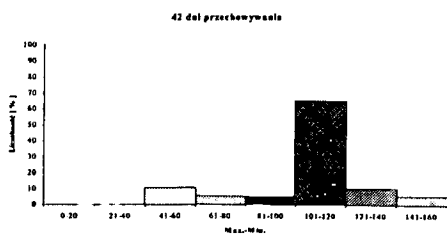
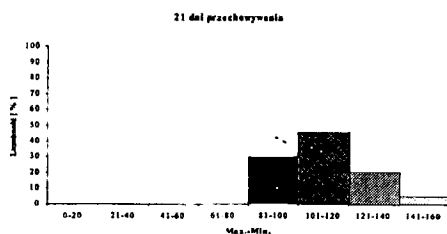
- (1) Gudaczewski W., Ł. Fornal, 1998, Surface and Cross-Sectional Optical Density of Wheat Grain as a Discriminant of Wheat Variety Classification. Proceedings of the Conference „Structure and Functionality of Food Products” Mrągowo, Poland, Pol. J. Food Nutr. Sci. Vol. 7/48, No 2(S) 131-136.
- (2) Gudaczewski W., Ł. Fornal, A. Kubiak, 1996, Cechy geometryczne i jakość powierzchni jęczmienia browarnego i kaszarskiego. Przegl. Zb. Młynarski XL (6): 28-30.
- (3) Kamiński E., M. Wiewiórowska, H. Jeleń, 1998, Zmiany mikrobiologiczne i lotnych związków w pszenicy przechowywanej o różnej wilgotności w warunkach laboratoryjnych. Raport z badań Grant KBN P06F01611, kierownik grantu dr inż. A. Kobosko PIAP.
- (4) Kobosko A., 1996, Systemy pomiarowo-kontrolne stosowane w magazynach sypkich i ziarnistych. Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów. Praca monograficzna.
- (5) Konopka I., D. Rotkiewicz, 1998, Jakość technologiczna ziarna pszenicy przechowywane w warunkach wysokiej wilgotności. Cz. II. Przemiany lipidów a cechy reologiczne ciasta. Biuletyn



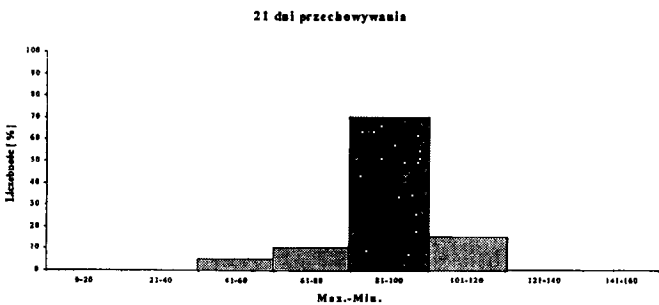
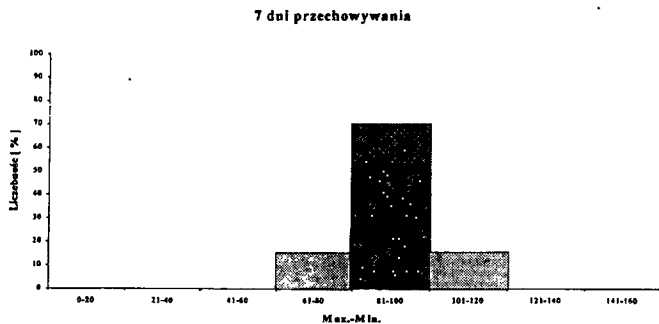
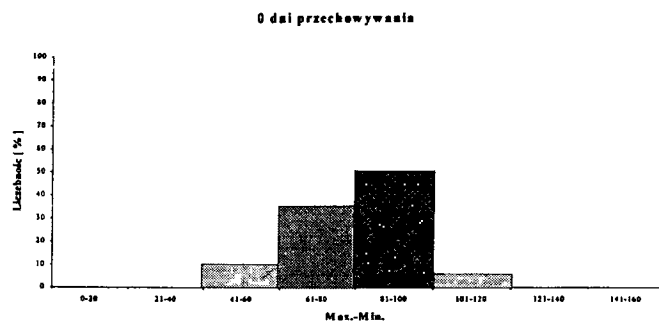
Rys. 6. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarna pszenicy (barwa). Eksperyment II.



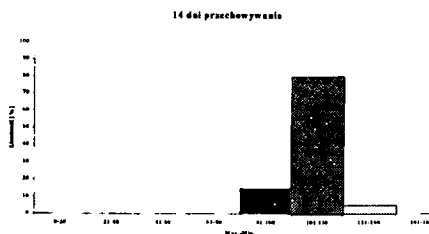
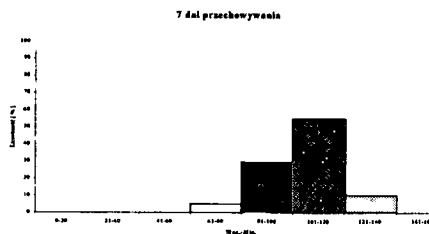
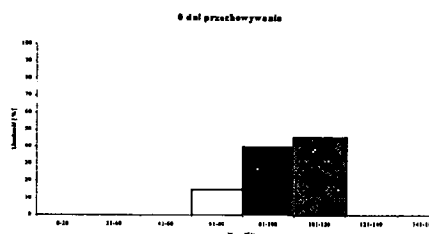
Rys. 8. Gęstość optyczna przekroju poprzecznego ziarna pszenicy (szklistość, mączystość). Eksperyment I.



Rys. 10. Gęstość optyczna przekroju poprzecznego ziarna pszenicy (szklistość, mączystość). Eksperyment II.



Rys. 7. Gęstość optyczna przekroju poprzecznego ziarna pszenicy (szklistość, mączystość). Eksperyment I.



Rys. 9. Gęstość optyczna przekroju poprzecznego ziarna pszenicy (szklistość, mączystość). Eksperyment II.

Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie. Przegl. Zb. Młynarski XLII (nr 6).  
 (6) Kusińska E., 1998, Effect of moisture content of cereal grains layer on pressure distribution on silo walls. Int. Agrophysics 12: 199-204.

## Jęczmień browarny – barwa

W gospodarce zbożowej szczególną uwagę poświęca się produkcji i ocenie jakości ziarna pszenicy i jęczmienia browarnego. Znaczenie innych gatunków, takich jak jęczmień, żyto lub owies wynika z potrzeb regionalnych lub kształtowania dobrych zasad żywienia. Szeroko związki te opisuje Gąsiorowski (1996, 1998).

W europejskiej i światowej ekonomii jęczmień browarny jest dobrym przykładem konkurencyjności pod względem jakości. Jakość jęczmienia browarnego określają standardy EBC (European Brewery Convention) uwzględniające jednolitość odmianową, wyrównanie, zawartość białka, wrażliwość na wodę, energię kielkowania. Jednym z wyróżników „zdrowego” ziarna i jego jakości technologicznej jest barwa. Pożądana jest barwa jasnożółta. Odbarwienia lub plamy na powierzchni ziarniaków wskazują na zbiór ziarna w niesprzyjających warunkach pogodowych lub zanieczyszczenia ziarna przez pleśń lub bakterie. Barwa ziarna ma również związek z jakością piwa (Anderson i in., 1967). Najczęściej barwę jęczmienia ocenia się wizualnie porównując ze wzorcem. Ocena wizualna jest często subiektywna. Opracowywane są różnorodne metody oceny instrumentalnej. Etchevers i in. (1976) opisali możliwość zastosowania do pomiaru barwy trzech spektrometrów mierzących ilość światła odbitego. Dwa z nich opierały się na zasadzie pomiaru jasności w skali od 0–100 oraz trzech innych parametrów barwy. Trzeci ze spektrometrów mierzył światło odbite przy filtrach zielonym, niebieskim, żółtym i czerwonym. Znane są również techniki wyznaczania barwy przy zastosowaniu wizyjnej analizy obrazu (Kubiak i Fornal, 1995). Z dotychczasowych badań barwy/gęstości optycznej jęczmienia browarnego o nie ustalonej odmianie wynika możliwość wpływu miejsca uprawy na zróżnicowanie barwy (Gudaczewski i in., 1996). W większym stopniu na barwę jęczmienia wpływają warunki zbioru, wstępna konserwacja i suszenie. Jednym z podstawowych kryteriów jakości jęczmienia browarnego jest tożsamość odmianowa >95%. Powstaje pytanie, czy barwa/gęstość optyczna całkowitej powierzchni jest cechą odmianową.

### Materiał badań

Materiałem badań było ziarno odmian krajowych: Mobek, Atol i Orlik, odmiany niemieckie Maresi i Polo, i 4 odmiany francuskie Scarlett, Prisma, Nevada i Tremois.

Tabela 1  
 Liczebność występowania różnicy pomiędzy maksymalnym i minimalnym poziomem szarości [%]

Odmiana	Liczebność poziomów szarości [%]					
	41-60	61-80	81-100	101-120	121-140	141-160
Orlik (1996)*	~1	52	24	~1	-	-
Orlik (1998)	-	-	5	60	30	-
Mobek (1996)*	10	60	10	-	-	-
Atol (1996)*	8	48	22	2	-	-
Atol (1998)**	-	~1	50	48	~1	-
Maresi (1998)**	-	-	10	65	20	-
Polo (1998)**	-	-	5	32	50	10
Nevada***	-	-	~1	30	20	4
Tremois***	-	-	10	40	30	~1
Prisma***	-	-	5	40	30	2
Scarlett***	-	-	10	50	20	-

\* próby ze Stacji Hodowli Roślin, wyrównanie nie standaryzowane

\*\* próby ze Stacji Hodowli Roślin, wyrównanie >90%

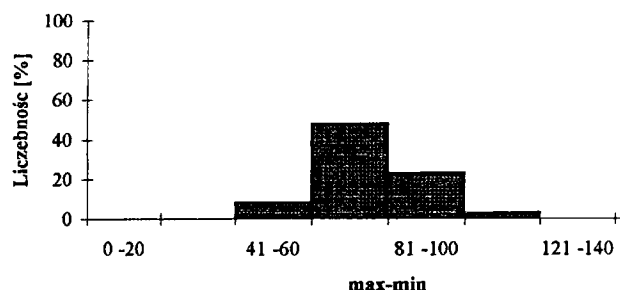
\*\*\* próby udostępnione przez EPIS CENRE, Bourges, Francja

Pomiar gęstości optycznej wykonano wg metodyki opisanej przez Fornal i Kubiak (1995) i Gudaczewski i in. (1996).

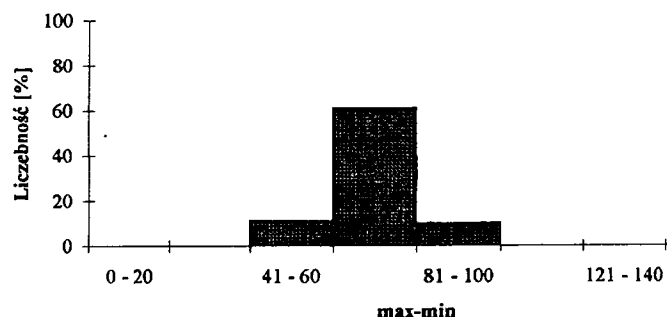
### Wyniki

Wyznaczone histogramy poziomów szarości od 0–255 poddano analizie zależności pomiędzy różnicą maksymalnego i minimalnego poziomu szarości, a liczebnością występowania (rys. 1, 2, 3). Z rozkładu występowania różnic pomiędzy max. a min. poziomem szarości wynikają różnice w gęstości optycznej powierzchni (barwą) między odmianami polskimi a odmianą Maresi i odmianami polskimi i francuskimi (tab. 1).

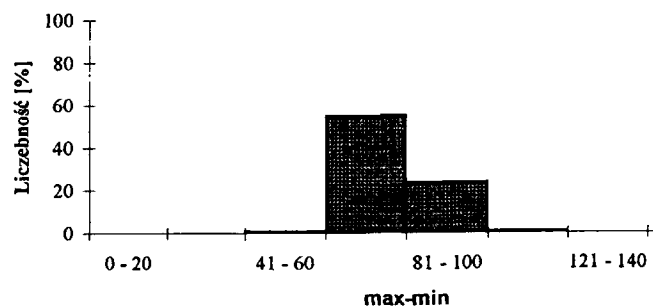
#### ATOL (1996)



#### MOBEK (1996)

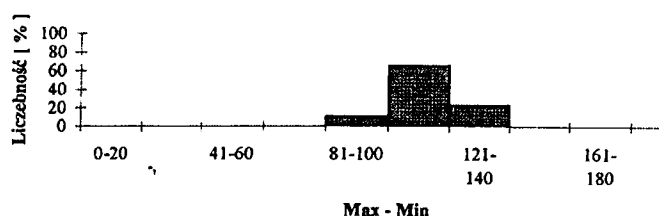


#### ORLIK (1996)

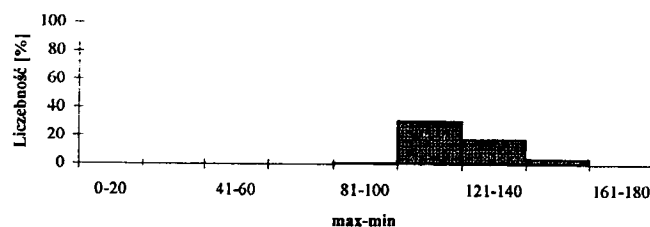


Rys. 1. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarniaków jęczmienia odmian: Atol (1996), Mobek (1996), Orlik (1996).

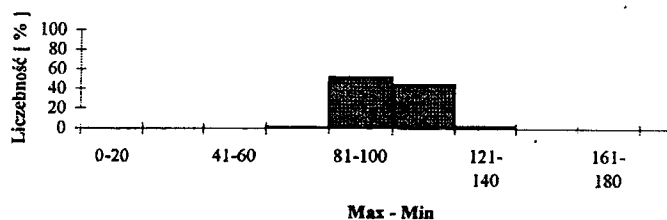
### MARESI (1998)



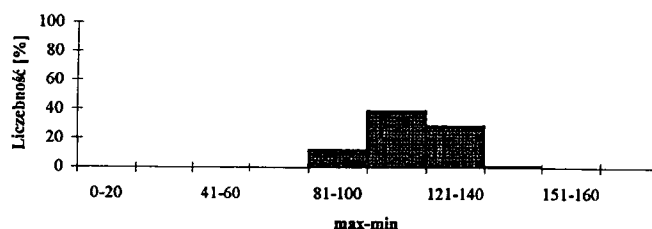
### NEVADA



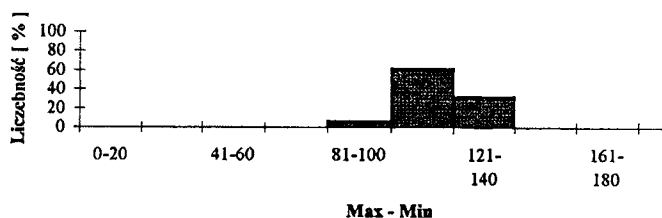
### ATOL (1998)



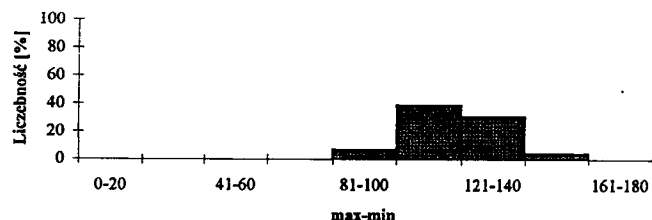
### TREMOIS



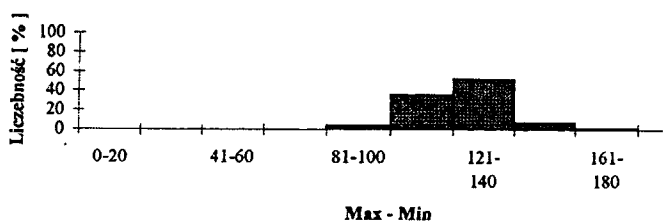
### ORLIK (1997)



### PRISMA



### POLO (1998)



### SCARLETT



Rys. 3. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarniaków jęczmienia odmian: Nevada, Tremois, Prisma, Scarlett.

Rys. 2. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarniaków jęczmienia odmian: Maresi (1998), Atol (1998), Orlik (1997), Polo (1998).

Za barwę wzorcową, ocenianą wizualnie uznano barwę odmiany Maresi i czterech badanych odmian francuskich. Odmiany te charakteryzowało najliczniej występująca różnica pomiędzy max. a min. poziomem szarości 101–120 i 121–140 (tab. 1, rys. 1, 2, 3). Wskazuje to na następujące związki: akceptowaną i preferowaną przez słodowników jasnożółtą i wyrównaną barwę jęczmienia opisują dwa najliczniej występujące pasma różnicy max. i min. poziomu szarości 101–120 i 121–140. Odmiany francuskie mają zbliżoną i stałą gęstość optyczną powierzchni całkowitej.

W charakterystyce gęstości optycznej ziarniaków jęczmienia browarnego odmian polskich Orlik, Mobek i Atol (1997) dominują pasma 61–80 i 81–100 (tab. 1, rys. 1, 2). Jedynie rozkład poziomów szarości odmiany Orlik (1998) jest zbliżony do przyjętego wzorca. Tak wyrażona różnica między gęstością optyczną przyjętego wzorca a gęstością optyczną polskich odmian może wskazywać na ich mniejszą, mniej preferowaną przez słodowników jakość technologiczną. Barwa jęczmienia browarnego odmian uprawianych w Polsce może być również związana z warunkami klimatycznymi w czasie zbioru, regionem uprawy i starannością konserwacji poźniwej.

## Podsumowanie

Barwa jęczmienia browarnego, od dziesiątków lat stosowana przez słodowników jako cecha jakościowa ziarna może być obiektywnie wyznaczona przy zastosowaniu systemów wizyjnej analizy obrazu. Gęstość optyczna/barwa jest cechą odmianową, a jej zmiany mogą być spowodowane najczęściej warunkami pogodowymi i stosowaną techniką późniwej konserwacji.

## Literatura

- (1) Gąsiorowski H., 1998, Jęczmień, chemia i technologia, PWRiL.
- (2) Gąsiorowski H., 1995, Owies, chemia i technologia, PWRiL.
- (3) Anderson K., P. Gjersten, B. Trolle, 1967, The microflora of barley and its effects on wort and beer. Brew. Dig. 42(8): 76–82.
- (4) Etchevers G.G., O.J. Banasik, C.A. Watson, 1976, A method for instrumental measurement of barley colour. Cereal Chem. 53(6): 846–853.
- (5) Kubiak A., Ł. Fornal, 1995, Komputerowe systemy analizy obrazu w przemyśle spożywczym. Rozpoznawanie ziarna zbóż i nasion. Przemysł Spożywczy 49(5): 164–166.
- (6) Gudaczewski W., Ł. Fornal, A. Kubiak, 1996, Cechy geometryczne i jakość powierzchni jęczmienia browarnego i kaszarskiego. Biuletyn Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie Nr 2, Przgl. Zb. Młyn. 110(6): 28–30.
- (7) Fornal Ł., A. Kubiak, 1995, Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu do pomiaru cech geometrycznych i oceny wyrównania ziarna. Biuletyn Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie Nr 1, Przgl. Zb. Młyn. 109(6): 22–25.

410



# Ocena mikrobiologiczna ziarna zbóż dostarczanego do punktów skupu w latach 1996, 1997 i 1998.

Wiewiórowska M., E. Kamiński, H. Jeleń, A. Kobosko\*

Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

\*Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa

## Wstęp

Ziarno dostarczane do punktów skupu po zbiorze zawiera różną wilgotność w zależności od pogody w okresie żniw. W latach suchych wilgotność ziarna nie przekracza 15-16%, natomiast w latach mokrych wilgotność ziarna dostarczanego do punktów skupu przewyższa często 20%.

Każde ziarno dostarczane do punktów skupu po żniwach jest zasiedlone mikroflorą grzybową i bakteryjną. Duże niebezpieczeństwo stanowią grzyby polowe z rodzajów *Fusarium* i *Alternaria*, które w sprzyjających warunkach - podwyższona wilgotność powyżej 15% i temperatura powyżej 20°C - szybko się rozwijają i mogą produkować charakterystyczne dla siebie toksyczne metabolity (fuzariotoksyny i alternariotoksyny). Toksyny te stanowią zagrożenie dla zdrowia ludzi i zwierząt. W artykule podano rodzaj występującej mikroflory grzybowej na ziarnie zbóż dostarczonego do punktów skupu w latach 1996-1998.

## Material

Material do badań stanowiły próby ziarna zbóż, głównie pszenicy i żyta, pobrane w następujących punktach skupu:

- elewator w Czerwonaku k/Poznań
- elewator w Gądkach k/Poznań
- elewator w Wągrowcu, woj. Wielkopolskie

Ziarno dostarczane do punktów skupu w roku 1996 posiadało bardzo zróżnicowaną wilgotność w zależności od terminu zbioru i dostawy. Według danych otrzymanych z laboratorium elewatorów zbożowych w województwie Wielkopolskim, wilgotność zboża dostarczanego do punktów skupu wynosiła w granicach:

w sierpniu 1996:

pszenica	14,5-18,0%
żyto	14,0-20,0%
jęczmień	12,8-16,0%

we wrześniu 1996:

pszenica	16,0-18,0%
----------	------------

żyto	20,0-21,0%
pszenżyto	21,0-22,8%
jęczmień	14,0-22,0%

W roku 1997 zbiór ziarna odbywał się przeważnie przy suchej pogodzie. Wilgotność ziarna dostarczanego do punktów skupu kształtowała się w następujących granicach;

pszenica	12,0-14,5%
żyto	11,8-15,0%
jęczmień	12,5-14,5%

Wilgotność ziarna dostarczanego do punktów skupu w województwie Wielkopolskim w roku 1998 była w podobnych granicach jak w roku 1997. Były też dostawy zawilgoconego ziarna w przypadku zbiorów w okresie deszczu.

### Metoda

W celu określenia procentu ziarniaków porażonych powierzchniowo zarodnikami grzybów wykonano posiew w następujący sposób. Z każdej próby ziarna zbóż wyłożono losowo 100 ziarniaków (niejałowionych powierzchniowo) po 10 sztuk na płytkę Petriego z pożywką brzezkową o gęstości 8°Błg z dodatkiem 7% NaCl, zestaloną 2% agaru. Płytki inkubowano w cieplarni w temperaturze 26°C. Po 4-5 dniach inkubacji liczono ziarniaki, przy których wyrosły kolonie grzybów, a po 7-14 dniach określono rodzaj wyrosłych grzybów wykonując preparaty mikroskopowe.

### Wyniki

Wyniki badań zebrano w tabelach i przedstawiono również graficznie.

### MIKROFLORA ZIARNA ZBÓŻ Z PUNKTÓW SKUPU W 1996 ROKU

W 1996 roku wilgotność ziarna wynosiła od 14,0% dla próby ziarna jęczmienia z elewatora w Czerwonaku do 19,5% dla prób ziarna żyta i pszenicy z elewatora w Gądkach. We wszystkich badanych próbach ziarna pszenicy ze zbiorów w 1996 roku, pochodzących z punktów skupu, występowały grzyby należące do rodzajów *Fusarium*, *Penicillium* i *Alternaria*, które porażały odpowiednio: 53-94%, 1-92% i 13-93%. Grzyby z rodzaju *Mucor* wykryto w pięciu próbach na 1-80% ziarniaków. Grzyby z rodzaju *Aspergillus* wykryto w czterech próbach (do 9% ziarniaków porażonych). Pozostałe grzyby spotykano sporadycznie: w trzech próbach wykryto *Humicola* - do 2% i *Epicoccum* - do 17%, w dwóch: *Drechslera* - do 4% ziarniaków, w jednej *Cladosporium* - 2% porażonych ziarniaków pszenicy z elewatora w Czerwonaku (tabela 1, rys. 1). Stopień porażenia ziarna grzybami był tym wyższy im wyższa była jego wilgotność. Spośród grzybów polowych zagrożenie stworzyły grzyby z rodzaju *Fusarium*, które w ziarnie pszenicy o wilgotności powyżej 15% zasiedlały ponad 80% ziarniaków.

## MIKROFLORA ZIARNA PSZENICY I ŻYTA Z PUNKTÓW SKUPU 1997 ROKU

Wilgotność badanych prób ziarniaków przy skupie w 1997 roku wahała się w granicach od 11 do 20% dla ziarna pszenicy i od 11 do 16,0% dla ziarna żyta.

We wszystkich przebadanych próbach ziarna pszenicy i żyta wykryto grzyby należące do rodzajów *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium* i *Penicillium* (tab. 2 i 3, rys. 2, 3).

Grzyby "polowe" z rodzaju *Alternaria* występowały w granicach od 57 do 98% ziarniaków pszenicy i od 20 do 97% ziarniaków żyta, a z rodzaju *Fusarium* - od 36 do 71% ziarniaków pszenicy i od 8 do 68% ziarniaków żyta. Grzyby "przechowalniane" z rodzaju *Aspergillus* porażały od 2 do 48% ziarniaków pszenicy oraz od 1 do 100% ziarniaków żyta, natomiast z rodzaju *Penicillium* - od 2 do 20% ziarniaków pszenicy i od 1 do 92% ziarniaków żyta. Na ziarniakach badanych zbóż sporadycznie występowały: *Gilmaniella* - w 4 próbkach pszenicy (do 15% porażonych ziarniaków) i 4 próbkach żyta (do 10% ziarniaków), *Mucor* - w 3 próbkach pszenicy (do 36% ziarniaków) i 1 próbce żyta (3% ziarniaków) oraz *Cladosporium* w 1 próbce pszenicy (2% ziarniaków).

We wszystkich próbkach ziarna pszenicy oraz w pięciu próbkach ziarna żyta występowały grzyby, których nie zidentyfikowano, gdyż nie wytwarzały zarodników (tab. 2 i 3 oraz rys. 2 i 3).

Wśród grzybów należących do rodzaju *Aspergillus* zidentyfikowano sześć gatunków. Są to: *A. flavus*, *A. candidus*, *A. glaucus*, *A. niger*, *A. ochraceus* i *A. versicolor*. Najczęściej izolowano grzyby *A. glaucus* (w 14 próbkach) i *A. candidus* (w 11 próbkach), mniej często *A. flavus* (w 5 próbkach), *A. versicolor* (w 3 próbkach), *A. ochraceus* (w 1 próbce) i *A. niger* (w 1 próbce). Grzyby toksynotwórcze *A. flavus*, *A. ochraceus* i *A. versicolor* wykryto tylko na pojedynczych ziarniakach (do 4%). Ziarno zbóż, w którym stwierdzono obecność zarodników grzybów toksynotwórczych tuż po zbiorze, powinno być przechowywane w warunkach niskiej wilgotności ziarna (poniżej 15%) i w temperaturze ok. 10°C aby zapobiec rozwojowi grzybów i tworzeniu mikotoksyn.

## MIKROFLORA ZIARNA PSZENIC Z PUNKTÓW SKUPU 1998 ROKU.

W 1998 roku do badań mikrobiologicznych pobrano trzy próby ziarna pszenicy dostarczonego do punktów skupu w Skokach, Gołańczy i Wągrowcu (województwo Wielkopolskie).

W badanych próbkach aż 87-98% ziarniaków zasiedlały grzyby z rodzaju *Alternaria*. Grzyby z rodzaju *Penicillium* występowały na 8-37% ziarniaków, *Aspergillus* na 6-27% ziarniaków i *Fusarium* na 3-21% ziarniaków. Wśród grzybów z rodzaju *Aspergillus* dominował gatunek *A. glaucus*, a z rodzaju *Fusarium* - gatunek *F. poae*. Grzyby z innych rodzajów porażały do 10% ziarniaków. Na 17-39% ziarniaków stwierdzono obecność grzybów trudnych do zidentyfikowania, gdyż nie wytworzyły zarodników (tab. 4, rys. 4).

Na ziarniakach pszenicy odmiany "Almari" poza grzybami z rodzaju *Alternaria* najczęściej rosły *Penicillium* (37%) i bakterie (9%), na ziarniakach odmiany "Kobra 1" dominowały *Fusarium* (21%), *Cladosporium* (9%) oraz *Aspergillus* i *Penicillium* (po 8%), a na ziarniakach odmiany

"Kobra 2" - *Aspergillus* (27%) i *Penicillium* (20%). We wszystkich odmianach pszenicy występowały grzyby niezarodnikujące, których nie udało się zidentyfikować.

Wysoki procent ziarniaków zasiedlonych grzybami z rodzaju *Alternaria* świadczy o tym, że ziarno jest świeże. Jednak obecność kilkudziesięciu procent ziarniaków, na których powierzchni są obecne zarodniki grzybów *Aspergillus* (27%), *Penicillium* (37%) i *Fusarium* (21%) jest sygnałem, że w tym ziarnie podczas wielomiesięcznego przechowywania mogą gromadzić się toksyny grzybowe w ilościach o znaczeniu toksykologicznym.

### Podsumowanie

Każda badana próba ziarna miała swoją mikroflorę grzybową, w której często dominowały grzyby należące do jednego lub kilku rodzajów. W niektórych próbkach dominował tylko jeden rodzaj a nawet jeden gatunek grzyba.

Ziarno zbóż pochodzące z punktów skupu w roku 1996 zawierało od 14,0 do 19,5% wody i dominowały w nim grzyby polowe z rodzajów *Fusarium* (do 94% ziarniaków) i *Alternaria* (do 93% ziarniaków) oraz przechowalniane z rodzajów *Penicillium*, *Mucor* i *Aspergillus*, które porażały do 92%, 80% i 9% ziarniaków, odpowiednio.

W latach 1997 i 1998 wilgotność większości prób ziarna pszenicy i żyta nie przekraczała 16,0%. W składzie mikroflory badanego ziarna dominowały grzyby polowe z rodzaju *Alternaria* (do 98% ziarniaków) i *Fusarium* (do 71% ziarniaków), a grzyby przechowalniane z rodzajów *Aspergillus*, *Penicillium* i *Mucor* porażały do 48% ziarniaków. Wyjątek stanowiły dwie próby żyta ze zbioru w 1997 roku. W jednej z nich 100% ziarniaków zasiedlał *A. glaucus*, w drugiej - 92% ziarniaków porażały grzyby z rodzaju *Penicillium*.

### Wnioski

1. Ziarno dostarczane do punktów skupu po zbiorach zawiera głównie mikroflorę polową (grzyby z rodzajów *Fusarium* i *Alternaria*), która zasiedlała do 98% ziarniaków. Wśród nich są gatunki zdolne tworzyć fuzariotoksyny i alternariotoksyny.
2. W ziarnie przyjmowanym w punktach skupu jest obecna również mikroflora przechowalniana. Grzyby z rodzaju *Penicillium* zasiedlały nawet ponad 90% ziarniaków. Grzyby z rodzaju *Aspergillus* porażały przeważnie do 50% ziarniaków; wśród nich zidentyfikowano gatunki toksynotwórcze jak *A. ochraceus*, *A. versicolor* i *A. flavus*.
3. Sprzyjające warunki dla szybkiego rozwoju mikroflory grzybowej i produkcji toksyn to: wilgotność ziarna 18-20% i temperatura 20-30°C. Taka wilgotność i temperatura przyjmowanego do punktów skupu ziarna zbóż występuje w latach wilgotnych w czasie żniw. Do magazynów zatem powinno być przyjmowane ziarno zbóż dobrze oczyszczone i wysuszone do wilgotności poniżej 15%

HH

(najlepiej poniżej 13%). Zabiegi te zabezpieczają ziarno przed rozwojem mikroflory i tworzeniem toksyn w czasie wielomiesięcznego przechowywania.

Tabela 1.

Procentowy udział ziarniaków porażonych grzybami w wybranych próbach ziarna zbóż pobranych z punktów skupu w 1996 roku

Rodzaj grzyba	symbol próby					
	Z 13	Z 16	Z 17	Z 49	Z 58	Z 124
	wilgotność prób ziarna w %					
	19,5	19,5	18,9	14,0	15,9	16,5
	procent ziarniaków porażonych grzybami					
<i>Fusarium</i>	89	94	80	53	80	55
<i>Penicillium</i>	73	91	92	1	9	29
<i>Alternaria</i>	17	13	77	93	76	69
<i>Mucor</i>	60	80	1	2	10	
<i>Aspergillus</i>	3	3	2			9
<i>Humicola</i>	1				2	1
<i>Epicoccum</i>				5	3	17
<i>Cladosporium</i>						2
<i>Drechslera</i>				4	1	
inne	5	1	1	8	3	1

Rys. 1.

Procent porażonych grzybami ziarniaków prób ziarna zbóż pobranych z punktów skupu w 1996 roku

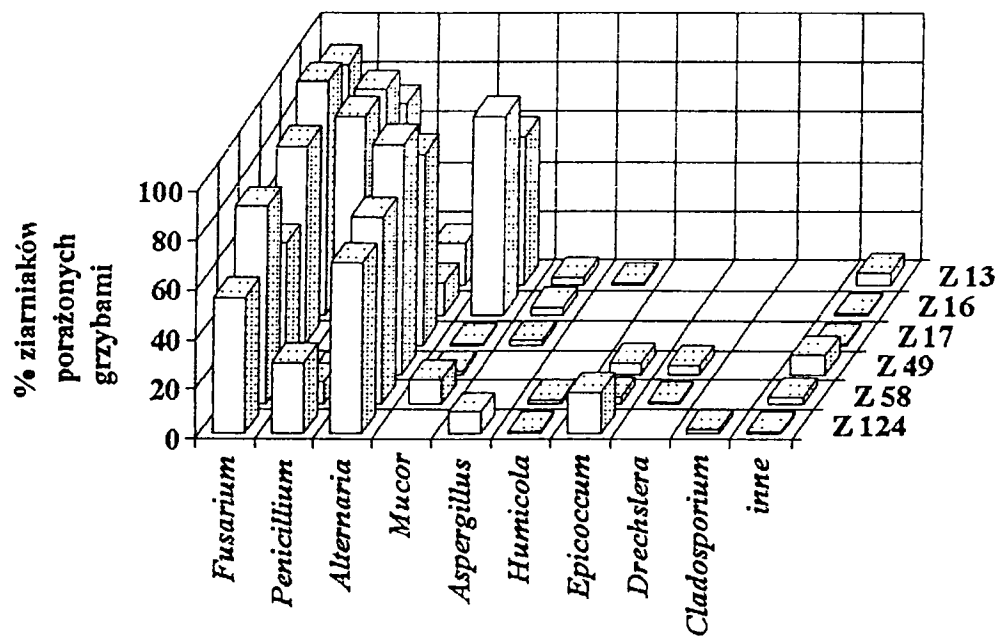


Tabela 2.

Procentowy udział ziarniaków porażonych grzybami w wybranych próbach ziarna pszenicy pobranych z punktów skupu w 1997 roku

Rodzaj grzyba	symbol próby pszenicy							
	203	204	205	208	210	220	223	233
	wilgotność prób ziarna w %							
	11,0	11,5	12,5	14,5	14,0	13,2	11,7	20,0
	procent ziarniaków porażonych grzybami							
<i>Alternaria</i>	96	57	80	85	92	98	87	91
<i>Aspergillus</i> ogółem	7	33	3	7	13	17	48	2
<i>A. flavus</i>	4	1		2				
<i>A. candidus</i>		5	1	1	2	14	32	
<i>A. glaucus</i>	3	27	2	4	11	2	11	2
<i>A. niger</i>							1	
<i>A. ochraceus</i>						1		
<i>A. versicolor</i>							4	
<i>Fusarium</i>	43	36	45	40	38	66	61	71
<i>Penicillium</i>	5	8	14	14	5	4	20	2
<i>Mucor</i>		36		16			2	
<i>Gilmaniella</i>	15					5	6	14
<i>Cladosporium</i>				2				
inne ogółem	3	1	24	6	10	9	4	14



Rys. 2.  
 Mikroflora grzybowa ziarniaków prób pszenicy pobranych  
 z punktów skupu w 1997 roku

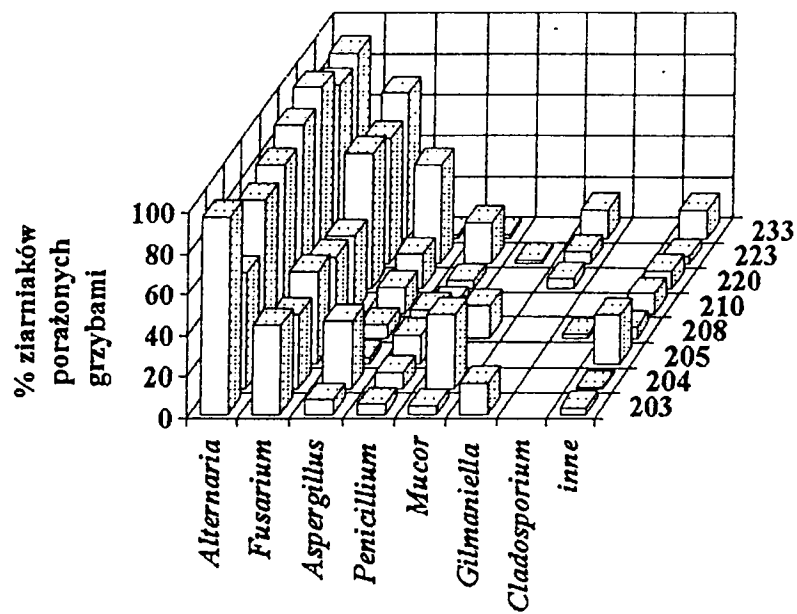


Tabela 3.

Procentowy udział ziarniaków porażonych grzybami w wybranych próbach ziarna żyta pobranych z punktów skupu w 1997 roku

Rodzaj grzyba	symbol próby żyta						
	211	213	214	215	217	218	234
	wilgotność prób ziarna w %						
	14,5	16,0	11,0	11,5	14,3	12,8	15,5
	procent ziarniaków porażonych grzybami						
<i>Alternaria</i>	94	20	96	95	97	68	96
<i>Aspergillus</i> ogółem	14	100	1	46	24	21	5
<i>A. flavus</i>	2				1		
<i>A. candidus</i>			1	1	17	5	1
<i>A. glaucus</i>	12	100		44	6	16	3
<i>A. versicolor</i>				1			1
<i>Fusarium</i>	32	8	68	38	54	54	59
<i>Penicillium</i>	1	22	3	2	10	92	10
<i>Mucor</i>							3
<i>Gilmaniella</i>			6		10	3	4
inne ogółem	7		4	8	3		12

Rys. 3.  
 Mikroflora grzybowa ziarniaków prób żyta pobranych z punktów  
 skupu w 1997 roku

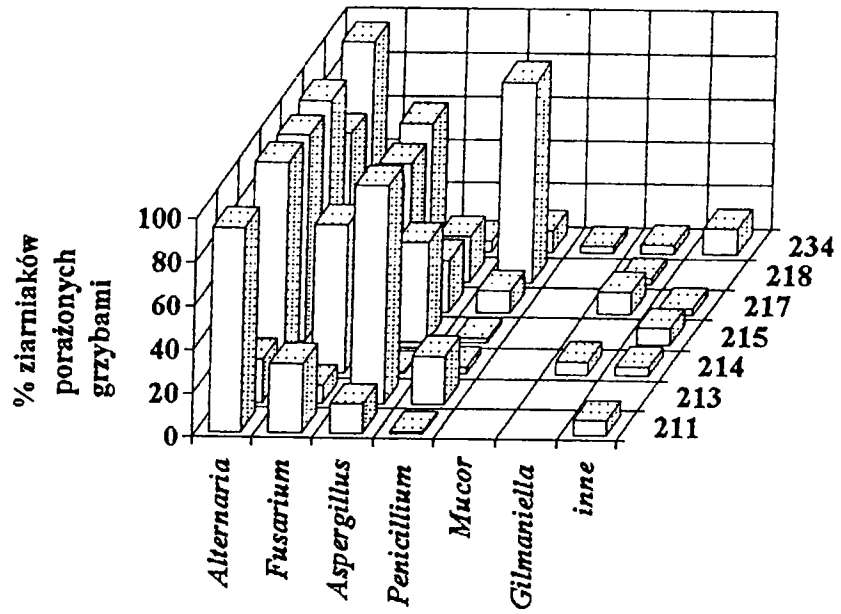
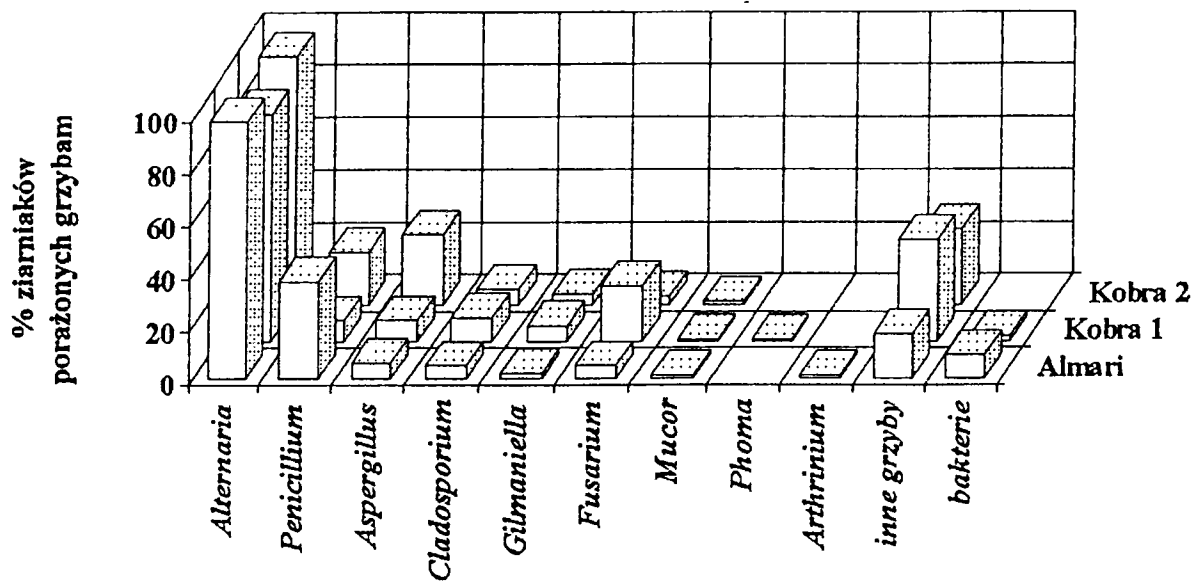


Tabela 4.

Procentowy udział ziarniaków porażonych grzybami w próbach ziarna pszenicy pobranych z punktów skupu w 1998 roku

Drobnoustroje	Odmiana ziarna pszenicy		
	Almari	Kobra 1	Kobra 2
	wilgotność prób ziarna w %		
	13,6	14,2	14,0
	procent ziarniaków porażonych grzybami		
<i>Penicillium</i>	37	8	20
<i>Alternaria</i>	98	87	95
<i>Aspergillus</i> ogółem	6	8	27
<i>A. glaucus</i>	4	6	18
<i>A. versicolor</i>	2	1	8
<i>A. candidus</i>	0	1	1
<i>Cladosporium</i>	5	9	6
<i>Gilmaniella</i>	2	6	7
<i>Fusarium</i>	5	21	3
<i>Mucor</i>	1	1	1
<i>Phoma</i>	0	1	0
<i>Arthriniium</i>	1	0	0
inne grzyby	17	39	29
bakterie	9	2	0

Rys. 4.  
 Mikroflora grzybowa ziarniaków prób pszenicy pobranych  
 z punktów skupu w 1998 roku



# Badanie składu mikroflory ziarna zbóż podczas przechowywania

Wiewiórowska M., E. Kamiński, H. Jeleń, A. Kobosko\*

Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu

\*Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa

## Wstęp

Psucie się ziarna po zbiorach jest powodowane głównie rozwojem mikroflory. W skład mikroflory ziarna zbóż dostarczanych do punktów skupu wchodzi grzyby polowe z rodzajów *Fusarium* i *Alternaria* oraz grzyby przechowalnicze z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium*, które w czasie przechowywania, w warunkach podwyższonej temperatury i wilgotności, mogą wytwarzać charakterystyczne dla siebie toksyczne metabolity (fuzariotoksyny, alternariotoksyny, ochratoksyna A i wiele innych).

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań mikrobiologicznych przeprowadzonych dla prób ziarna pobieranych z różnych typów magazynów oraz dla prób ziarna o podwyższonej wilgotności przechowywanego w warunkach laboratoryjnych.

## CZĘŚĆ PIERWSZA

### MIKROFLORA ZIARNA ZBÓŻ PRZECHOWYWANEGO W RÓŻNYCH MAGAZYNACH

#### Material

Material badawczy stanowiły próby ziarna pszenicy, jęczmienia i żyta ze zbioru 1996 roku przechowywane w:

- magazynach podłogowych Rolniczych Zakładów Doświadczalnych AR w Poznaniu
- spichlerzu podłogowym z zasiekami w Gubinie
- binach
- oraz w elewatorze przemysłowym w Szymanowie.

Ziarno pszenicy i jęczmienia z małych magazynów charakteryzowało się wysoką wilgotnością (16-17,7%). Ziarno ze spichlerza podłogowego w Gubinie miało bardzo wysoką wilgotność (16,2-19,5%). Z elewatora w Szymanowie pochodziły próby ziarna pszenicy krajowej o wilgotności 14-16,5% i ziarna pszenicy importowanej o wilgotności około 13%.

W tab. 1 podano pochodzenie, miejsce pobrania i wilgotność prób ziarna zbóż badanego w tej części doświadczeń. Do badań pobierano próbki ziarna z górnej i dolnej warstwy.

## Metoda

Z prób ziarna zbóż pobranego z różnych magazynów wybierano losowo po 100 ziarniaków i układano po 10 sztuk na płytkach Petriego z pożywką brzeczkową (8°Błg, 7% NaCl, 2% agaru) i inkubowano 7-10 dni w temperaturze 26°C. Po tym czasie obliczono procent ziarniaków, przy których wyrosły grzyby oraz przeprowadzono identyfikację mikroskopową grzybów. Wszystkie doświadczenia prowadzono w trzech powtórzeniach.

## Wyniki

### ZIARNO Z MAŁYCH MAGAZYNÓW

W tab. 2 i na rys. 1 przedstawiono wyniki dotyczące występowania mikroflory grzybowej w ziarnie zbóż pobranych z małych magazynów. Mikroflora ziarniaków poszczególnych prób różniła się znacznie.

W ziarnie pszenicy z magazynu w Gorzynie 100% ziarniaków zasiedlały grzyby z rodzaju *Penicillium*, *Aspergillus* (wśród nich gatunek *A. glaucus* opanował 90% ziarniaków) oraz *Alternaria* (na 22% ziarniaków). W ziarnie jęczmienia z Gorzyna najczęściej identyfikowano grzyby z rodzaju *Penicillium*, *Aspergillus* i *Mucor* (na 77%, 100% i 59% ziarniaków, odpowiednio). W tej próbie dominowały gatunki *A. glaucus*, *A. candidus* i *A. flavus* (61%, 79% i 99% ziarniaków, odpowiednio).

W ziarnie pszenicy z gospodarstwa chłopskiego głównie występowały grzyby z rodzaju *Penicillium* i *Aspergillus* (na 98%, 100% ziarniaków, odpowiednio).

W mikroflorze pszenicy z magazynu podłogowego w Brodach dominowały grzyby polowe z rodzaju *Alternaria* (100% ziarniaków), natomiast grzyby przechowalnicze *Aspergillus* i *Penicillium* występowały tylko na powierzchni 33% ziarniaków tej próby.

Grzyby z rodzaju *Fusarium* wykryto tylko w jednej próbie pszenicy i w jednej próbie jęczmienia (do 4% ziarniaków).

W badanych próbach ziarna zbóż pochodzących z małych magazynów występowały grzyby posiadające zdolności toksynotwórcze. Należą do nich gatunki *A. flavus*, próbach stwierdzono obecność zarodników grzyba *A. ochraceus* i *A. versicolor* (tab. 2 i rys. 1). Przy dłuższym przechowywaniu tych prób może dojść do nagromadzenia się znacznych ilości toksyn.

### SPICHLERZ PODŁOGOWY W GUBINIE.

W tab. 3 i na rys. 2 zaprezentowano wyniki analizy składu mikroflory prób ziarna pszenicy i żyta pochodzących ze spichlerza podłogowego w Gubinie pobranych z warstwy górnej i dolnej. Wilgotność warstwy górnej ziarna pszenicy sięgała prawie 20%, dolnej około 16%. Wilgotność obydwu warstw ziarna żyta wynosiła 17%.

Skład mikroflory ziarna pszenicy i żyta pobranego z warstwy górnej i dolnej przy wysokim zakażeniu nie różnił się znacząco. W ziarnie pszenicy i żyta występowały grzyby przechowalnicze głównie z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium* (100% i do 97% ziarniaków, odpowiednio). W ziarnie żyta oprócz wyżej wymienionych grzybów były obecne grzyby z

rodzaju *Mucor* (do 41% ziarniaków). Kilka procent ziarniaków zasiedlały grzyby z rodzaju *Fusarium*.

#### ELEWATOR PRZEMYSŁOWY W SZYMANOWIE.

Wyniki analizy mikrobiologicznej ziarna pszenicy z elewatora w Szymanowie zebrano w tab. 4 i przedstawiono na rys. 3. We wszystkich próbach, bez względu na miejsce pobrania, stwierdzono obecność grzybów z rodzaju *Aspergillus* (100% ziarniaków) i *Penicillium* (5-89% ziarniaków). W próbie jednej z pszenic importowanych pobranej z dolnej warstwy wykryto 42% ziarniaków porażonych przez grzyb z rodzaju *Mucor*. Grzyby z rodzaju *Fusarium* były obecne we wszystkich próbach pszenic pobranych z górnej warstwy (do 44% ziarniaków pszenicy krajowej i 30% ziarniaków pszenicy importowanej). Natomiast w ziarnie pszenicy krajowej pobranej z dolnej warstwy grzyby z rodzaju *Fusarium* wyrosły przy 7% ziarniaków. We wszystkich próbach pszenicy z elewatora w Szymanowie występował gatunek *A. flavus*. Procent ziarniaków nim porażonych był znacznie wyższy w próbach pobranych z warstwy dolnej (tab. 4, rys. 3).

#### Podsumowanie:

W ziarnie przechowywanym kilka miesięcy po zbiorze we wszystkich magazynach dominowały grzyby przechowalnicze z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium* (do 100% ziarniaków) oraz *Mucor* (do 59% ziarniaków).

Na uwagę zasługuje obecność *A. flavus*, który był obecny we wszystkich próbach pochodzących z elewatora przemysłowego w Szymanowie (do 66% ziarniaków pszenicy krajowej), we wszystkich próbach pszenicy i żyta ze spichlerza w Gubinie (do 26% ziarniaków) oraz w jednej próbie jęczmienia z Gorzyna (aż 99% ziarniaków).

W ziarnie pszenicy przechowywanej w magazynie podłogowym w Brodach 100% ziarniaków porażały grzyby polowe z rodzaju *Alternaria*, a jego zakażenie grzybami przechowalniczymi nie przekraczało 33%. Obecność grzybów z rodzaju *Alternaria* jest uznane jako wskaźnik zdrowotności ziarna w odróżnieniu od ziarna zakażonego grzybami przechowalniczymi z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium*.



## CZĘŚĆ DRUGA

### MIKROFLORA SKŁADOWANEGO W WARUNKACH LABORATORYJNYCH ZIARNA PSZENICY NAWILŻONEGO DO 18% I 23%

Celem badań laboratoryjnych było wykazanie w jakim stopniu na rozwój mikroflory wpływa powtórne nawilżenie ziarna

#### **Material**

Materiałem badawczym było ziarno pszenicy o wilgotności 12% ze zbioru w 1997 roku, zakupione w Centrali Nasionnej. Dla celów doświadczenia dwie 25 kg próby umieszczono w pojemnikach stalowych (poj. 50 kg), nawilżono do 18 i 23% zawartości wody i przechowywano przez dwa miesiące w temperaturze pokojowej. Trzecią próbę stanowiło ziarno suche. Próbkę do posiewu mikrobiologicznego pobrano po 7 dniach, po 1 i 2 miesiącach.

#### **Metoda**

Z prób ziarna zbóż pobranego z pojemników wybierano losowo po 100 ziarniaków i układano po 10 sztuk na płytkach Petriego z pożywką brzeckową (8°Blg, 7% NaCl, 2% agaru) i inkubowano 7-10 dni w temperaturze 26°C. Po tym czasie obliczono procent ziarniaków, przy których wyrosły grzyby oraz przeprowadzono identyfikację mikroskopową grzybów. Wszystkie doświadczenia prowadzono w trzech powtórzeniach.

Wyniki uzyskane w tym doświadczeniu zebrano w tab. 5 oraz przedstawiono na rys. 4 i 5.

#### **Wyniki**

Analiza mikrobiologiczna wykazała, że wszystkie ziarniaki bez względu na wilgotność próby i czas przechowywania były zakażone grzybami. W czasie przechowywania niektóre grzyby traciły zdolność wzrostu (np. *Alternaria*), a rozwinęły się te, które szybko opanowują środowisko (głównie różne gatunki *Aspergillus*, *Penicillium* i *Fusarium*).

Na suchym ziarnie pszenicy dominowały grzyby z rodzaju *Alternaria*, należące do typowej mikroflory polowej. Grzyby te wyrastały z 86% ziarniaków. Na ziarnie kontrolnym stwierdzono też obecność grzybów przechowywanych z rodzajów *Penicillium* (na 24% ziarniaków) i *Aspergillus* (na 33% ziarniaków). Grzyby z rodzaju *Fusarium* wykryto na 2% ziarniaków.

Na ziarnie pszenicy o podwyższonej wilgotności do 18%, niezależnie od długości czasu przechowywania, grzyby przechowywane z rodzajów *Penicillium* i *Aspergillus* były obecne na wszystkich ziarniakach. Na tym ziarnie ilość ziarniaków porażonych grzybami z rodzaju *Fusarium* była niska (do 11% porażonych ziarniaków).

Na ziarnie nawilżonym do 23% wilgotności dominowały grzyby z rodzajów *Fusarium* i *Penicillium* (do 100% ziarniaków) oraz drożdże, które 2 miesiącach przechowywania opanowały 100% ziarniaków.

W ziarnie o wyższej wilgotności bardzo szybko rozwijały się grzyby z rodzaju *Fusarium*. Po dwóch miesiącach przechowywania w ziarnie o wilgotności 23% zasiedliły 96% ziarniaków, podczas gdy w ziarnie o wilgotności 18% ich obecność wykryto tylko na 3% ziarniaków.

W czasie przechowywania obserwowano zanik grzybów z rodzaju *Alternaria*.

W czasie wzrostu na ziarnie grzyby z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium* wytwarzają silny zapach stęchlizny, którego nie można się pozbyć nawet przez mycie ziarna przed przemiałem. Wśród grzybów najczęściej występujących w badanych próbach ziarna zbóż są gatunki takie jak *A. flavus*, *A. ochraceus* i *A. versicolor* i wiele gatunków z rodzaju *Fusarium*, które mogą wytwarzać toksyny.

## Wnioski

1. W elewatorach przemysłowych i różnego typu magazynach gospodarskich w czasie przechowywania ziarna następuje rozwój mikroflory przechowalniczej głównie należącej do rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium*. Rozwój tej mikroflory zależy od wilgotności ziarna. W ziarnie o wilgotności powyżej 18% silny wzrost grzybów następuje już po 1 tygodniu przechowywania.
2. Grzyby przechowalnicze z rodzaju *Aspergillus* i *Penicillium* w czasie wzrostu powodują stęchły zapach ziarna, a niektóre gatunki mogą tworzyć toksyczne metabolity.
3. Przy bardzo wysokiej wilgotności ziarna 23%, do której nawilżono ziarno w doświadczeniu laboratoryjnym, wykazało powtórny szybki wzrost grzybów z rodzaju *Fusarium*. Zjawisko takie może zaistnieć w przypadku zamoczenia ziarna zarówno podczas dostaw jak i w czasie przechowywania w magazynach rolniczych.

Tabela 1.

Wykaz prób ziarna zbóż pochodzącego z różnych magazynów i elewatorów badanego na obecność grzybów w czasie przechowywania

ziarno (miejsce pobrania)	symbol	pochodzenie	data pobrania	wilgotność w %
<b>Ziarno z małych magazynów</b>				
pszenica paszowa	Z 96	Gorzyń, AR, BIN	19.04.97	17,7
jęczmień jary	Z 98	Gorzyń, AR, BIN	19.04.97	16,0
jęczmień	Z 106	gospodarstwo chłopskie, BIN	3.03.97	16,5
pszenica	Z 114	Brody, AR, magazyn podłogowy	19.04.97	16,0
<b>Ziarno ze spichlerza podłogowego w Gubinie</b>				
pszenica	Z 86	warstwa górna	23.01.97	19,5
pszenica	Z 87	warstwa dolna	23.01.97	16,2
żyto	Z 89	warstwa górna	23.01.97	17,0
żyto	Z 90	warstwa dolna	23.01.97	17,0
<b>Ziarno z elewatora przemysłowego w Szymanowie</b>				
pszenica krajowa	Z 74	warstwa górna	29.10.96	14,0
pszenica krajowa	Z 74	warstwa dolna	20.10.96	16,5
pszenica importowana	Z 100	warstwa górna	28.01.97	13,5
pszenica importowana	Z 101	warstwa dolna	28.01.97	13,0
pszenica importowana	Z 126	warstwa górna	13.05.97	13,6
pszenica importowana	Z 127	warstwa dolna	13.05.97	13,0

Tabela 2.

Mikroflora ziarna zbóż pochodzących z małych magazynów

Rodzaj grzyba	symbol próby			
	Z 96	Z 98	Z 106	Z 114
	wilgotność prób ziarna w %			
	17,7	16,0	16,0	16,5
	procent porażonych ziarniaków grzybami			
<i>Aspergillus</i>	100	100	100	33
<i>A. glaucus</i>	90	61	100	24
<i>A. candidus</i>	2	79		9
<i>A. ochraceus</i>	1	4	2	
<i>A. flavus</i>		99		
<i>A. niger</i>		1	6	
<i>A. versicolor</i>			14	
<i>Aspergillus sp.</i>			7	
<i>Penicillium</i>	100	77	98	32
<i>Alternaria</i>	22			100
<i>Fusarium</i>	3		4	
<i>Drechslera</i>	1			
<i>Mucor</i>		59		1
<i>Arthrinium</i>				6
<i>Cladosporium</i>				3
inne	2			

**Rys. 1.**  
**Mikroflora grzybowa prób ziarna zbóż pobranych z małych magazynów**

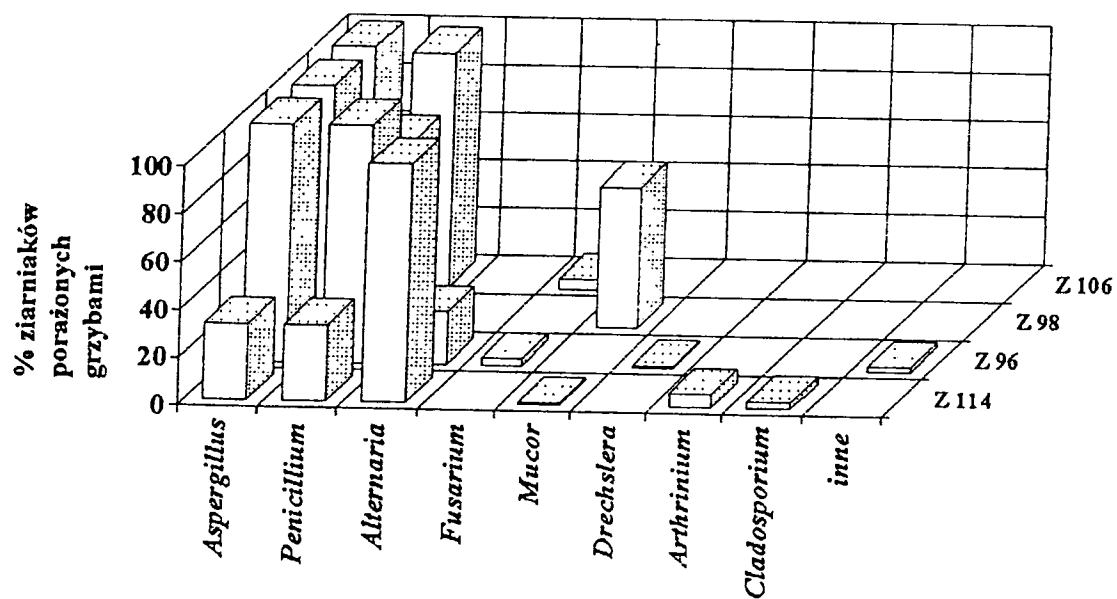


Tabela 3.

Mikroflora ziarna pszenicy ze spichlerza podłogowego w Gubinie

Rodzaj grzyba	symbol próby			
	Z 86g*	Z 87d*	Z 89g	Z 90d
	wilgotność prób ziarna w %			
	19,5	16,2	17,0	17,0
	procent porażonych ziarniaków grzybami			
<i>Aspergillus</i>	100	100	100	100
<i>A. glaucus</i>	100	98	99	99
<i>A. candidus</i>			6	30
<i>A. flavus</i>	1	2	26	20
<i>A. niger</i>			2	
<i>Penicillium</i>	92	92	97	75
<i>Alternaria</i>	2	1		4
<i>Fusarium</i>	2	1		1
<i>Mucor</i>			41	35
<i>Acremonium</i>				4
inne	4	1		

\*g - warstwa górna , d - warstwa dolna

Rys. 2.

Mikroflora grzybowa ziarniaków pszenicy i żyta ze spichlerza podłogowego w Gubinie

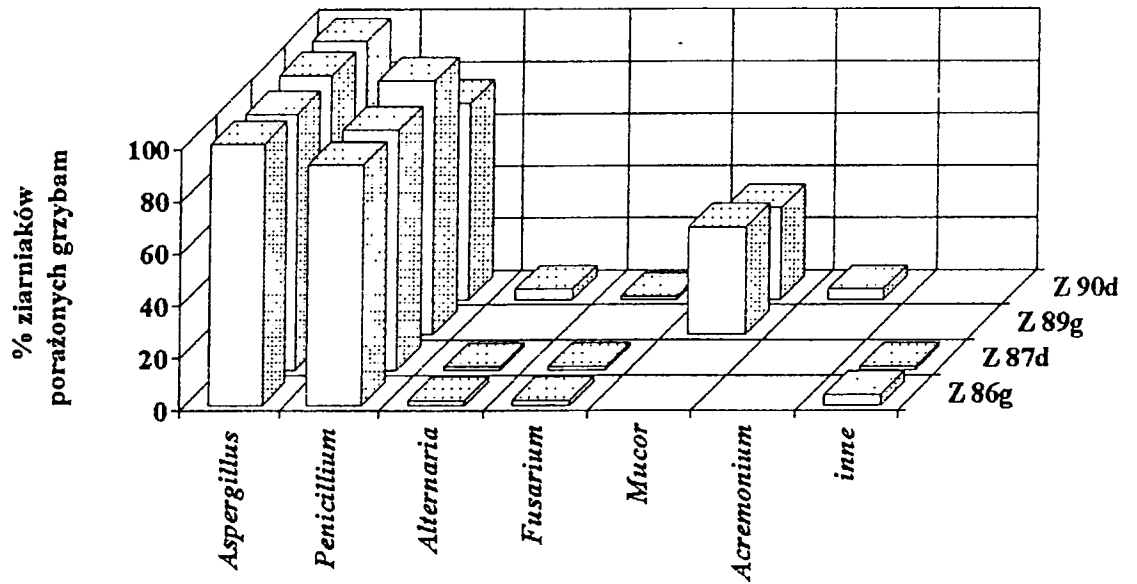


Tabela 4.

Mikroflora prób ziarna pszenicy pochodzących z elewatora przemysłowego w Szymanowie

Rodzaj grzyba	symbol próby					
	Z 74g*	Z 74d*	Z 100g	Z 101d	Z 126g	Z 127d
	wilgotność próby ziarna w %					
	14,0	16,5	13,5	13,0	13,6	13,0
	procent porażonych ziarniaków grzybami					
<i>Aspergillus</i>	100	100	100	100	100	100
<i>A. glaucus</i>	100	99	89	97	90	91
<i>A. candidus</i>	9	54	11	9	10	8
<i>A. ochraceus</i>		3		1		
<i>A. flavus</i>	2	66	6	3	8	30
<i>A. niger</i>		3		1		
<i>A. versicolor</i>				1		
<i>Aspergillus sp.</i>					1	1
<i>Penicillium</i>	20	5	54	55	89	84
<i>Alternaria</i>			3	3	17	
<i>Fusarium</i>	44	7	30		3	
<i>Mucor</i>			1		1	42
<i>Epicoccum</i>			1			

\*g - warstwa górna , d - warstwa dolna



Rys. 3.

Mikroflora grzybowa prób ziarna pszenicy pobranych z elewatora przemysłowego w Szymanowie

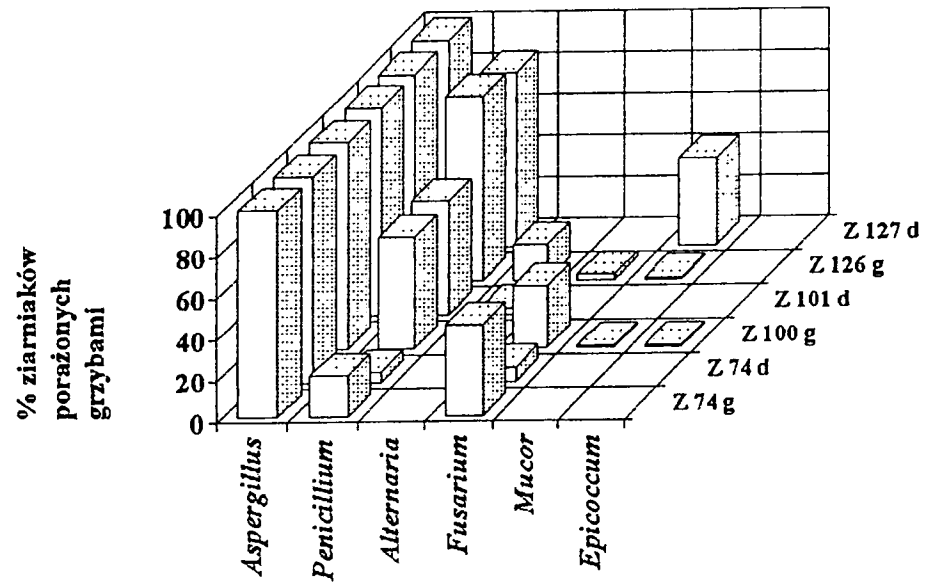


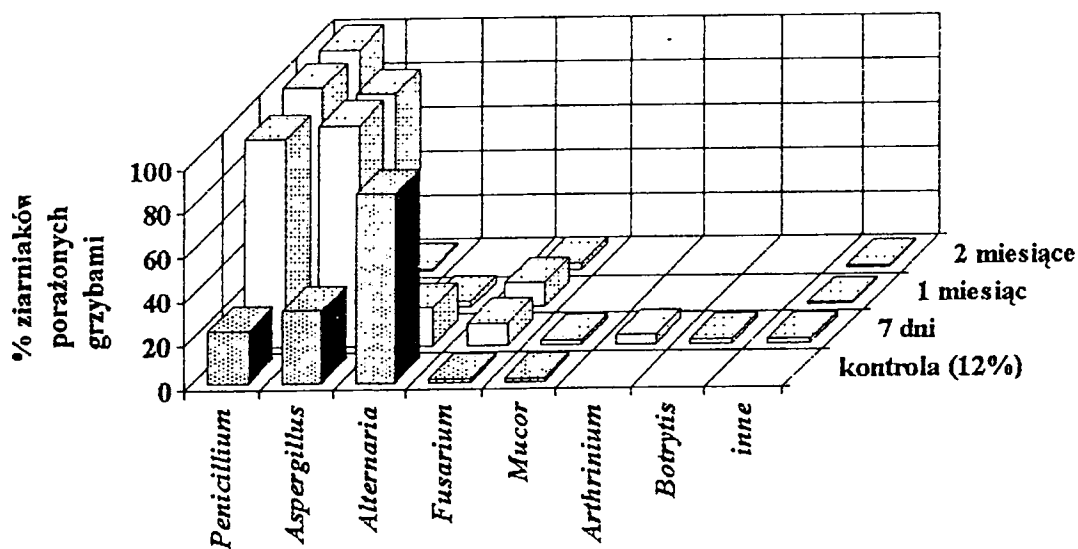
Tabela 5.

Skład mikroflory ziarna pszenicy o różnej wilgotności przechowywanej przez 2 miesiące w temperaturze pokojowej.

Rodzaj grzyba	Czas przechowywania ziarna pszenicy						
	kontrola	1 tydzień		1 miesiąc		2 miesiące	
	wilgotność ziarna pszenicy						
	12%	18%	23%	18%	23%	18%	23%
	% ziarniaków porażonych grzybami						
<i>Alternaria</i>	86	17	4	3	1		
<i>Aspergillus</i>	33	100	7	97	1	100	8
<i>A. glaucus</i>	18	96	3	93	1	100	8
<i>A. versicolor</i>	10	7		4			
<i>A. candidus</i>	5	13	3			100	
<i>A. flavus</i>			1				
<i>Penicillium</i>	24	94	92	100	100	100	55
<i>Fusarium</i>	2	10	73	11	100	3	96
<i>Mucor</i>	2	2	1				
<i>Arthriniium</i>		4					
<i>Botrytis</i>		2					
<i>Rhizopus</i>					4		
<i>Trichothecium</i>							4
drożdże					1		100
inne		2	4	1		1	

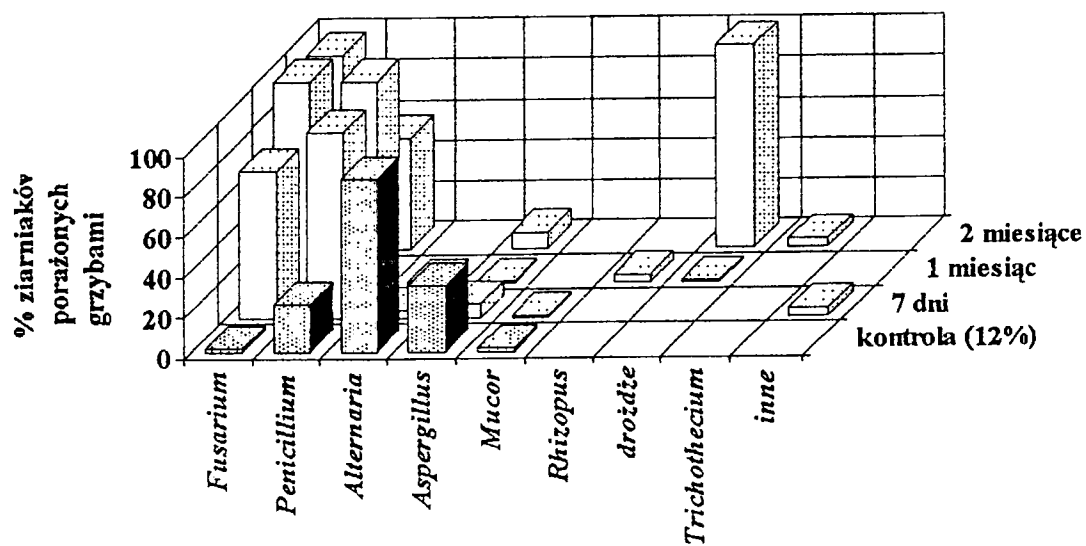
Rys. 4.

Mikroflora grzybowa ziarniaków pszenicy o wilgotności 18% ze zbioru 1997



Rys. 5.

Mikroflora grzybowa ziarniaków pszenicy o wilgotności 23% ze zbioru 1997



## Systemy monitoringu przeznaczone do obiektów przechowywania produktów zbożowych z zagrożeniem wybuchowym

### Monitoring system of the grain elevator for explosive atmosphere

There is described the most important parameters for the characteristics of the dust atmosphere in the grain elevators, as well the technical data for the intrinsically temperature cables. This cables are used in the monitoring systems for to prevent hazardous area.

#### 1. WSTĘP

Wysokie stężenie pyłu w mieszaninie z powietrzem, w magazynach zbożowych, stanowi w dużym stopniu, zagrożenie wybuchowe. Jeśli wystąpi czynnik inicjujący zapłon mieszaniny np. iskra, łuk elektryczny lub powstanie samozapłon następuje eksplozja spowodowana gwałtownym spalaniem połączonym ze wzrostem ciśnienia. Zniszczeniu ulega duży obszar magazynu, a bezpośrednim niebezpieczeństwem utraty życia lub kalectwa narażona jest obsługa. Zagrożenia są realne ponieważ wybuchy w elewatorach zbożowych, zdarzają się statystycznie raz w roku w Europie, a w USA w ciągu ostatniego dziesięciolecia było ponad 1000 eksplozji, zginęło ponad 500 osób a straty szacowane były na ponad 100 mln USD. Ostatnia, duża eksplozja w kraju zdarzyła się w elewatorze w Ujazdowie Górnym, gdzie przyczyną było zatarcie łożysk w wewnętrznym transporcie pionowym. Ryzyko wybuchu może być zmniejszone przez ciągłą kontrolę temperatur wewnątrz składowanej masy zboża oraz pomiar temperatury urządzeń technologicznych. Systemy i układy monitoringu powinny spełniać wymagania metrologiczne, a także, co jest bardzo ważne w tej atmosferze, nie powinny być same przyczyną eksplozji. Wymaga to konstrukcji iskrobezpiecznej wielu elementów tych systemów udokumentowanych odpowiednimi atestami. Do nich zaliczane są wieloczułnikowe sondy temperatury, których rezultaty badań nad ich iskrobezpieczeństwem zostaną szerzej przedstawione.

#### 2. PARAMETRY CHARAKTERYZUJĄCE ATMOSFERĘ WYBUCHOWĄ W MAGAZYNACH ZBOŻOWYCH

Podstawowe parametry charakteryzujące atmosferę w magazynach zbożowych o wysokim zapyleniu przedstawione są w normach i zarządzeniach krajowych [5-8], w monografiach [1-3] oraz w publikacji angielskiej [4] w której przedstawione są także wymagania kanadyjskie i USA dotyczące pyłów zbóż, nie uwzględnione w normach europejskich. Parametry atmosfery

przedstawione są w postaci tabelarycznej. Dla jednoznaczności terminologii podane zostaną również ważniejsze definicje.

Mieszanina wybuchowa, która jest charakterystyczna dla magazynów zbożowych, jest mieszaniną pyłów i włókien z powietrzem w odpowiednim stężeniu, która pod wpływem energii cieplnej, ulega gwałtownemu spalaniu. Towarzyszy temu gwałtowny wzrost ciśnienia. Źródłem energii cieplnej może być energia wytworzona w procesie samozagrzewania lub wyładowanie elektryczne - łukowe, iskrowe itp.

Mieszaninę wybuchową można określić przez **minimalną energię zapłonu** po przekroczeniu której wystąpi zapłon. Minimalną energię zapłonu charakteryzuje się **dolną granicą wybuchowości** i **górną granicą wybuchowości**.

**Dolna granica wybuchowości** - najniższe stężenie pyłów w mieszaninie z powietrzem powyżej którego możliwe jest samorzutne rozprzestrzenianie się płomienia w mieszaninie.

**Górna granica wybuchowości** - najwyższe stężenie pyłu w mieszaninie z powietrzem powyżej którego mieszanina przestaje być wybuchowa.

**Temperatura samozapłonu** jest najniższą temperaturą po której następuje zapalenie mieszaniny z powietrzem w sposób samorzutny.

**Minimalna temperatura zapłonu chmury** jest minimalną temperaturą przy której wybuchowa atmosfera pyłowo- powietrzna zapłonie.

**Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu** jest minimalną temperaturą powierzchni, przy której nastąpi zapłon warstwy pyłu po długim czasie.

**Strefy zagrożone wybuchem** występujące w magazynach zbożowych:

Z10 - strefa , w której mieszanina wybuchowa pyłów występuje często lub długotrwale w normalnych warunkach pracy,

Z11 - strefa, w której zalegające pyły mogą krótkotrwale stworzyć mieszaninę wybuchową wskutek przypadkowego zawirowania powietrza.

W USA rozróżnia się klasyfikację gazów i pyłów [1,4] i w ramach Klasy II dotyczącej pyłów i wprowadza się wydzieloną grupę G - pyłów zbożowych.

**Minimalne stężenie wybuchowe** jest minimalnym stężeniem pyłu palnego, który jeśli zapłonie to spowoduje wybuch o małej sile.

**Minimalna, niebezpieczna grubość warstwy pyłu** jest to grubość, która musi być przekroczona, aby była możliwa propagacja płomienia lub żaru w osiadłym pyłu.

**Pyły zbóż podobnie jak pyły węgla i metali dzieli się :**

- na bardzo drobne, od 0,1 do 1  $\mu\text{m}$  tworzące aerozole,
- drobne, od 2 do 10  $\mu\text{m}$  ,długo unoszące się w powietrzu,
- średnie, od 60 do 100  $\mu\text{m}$ ,
- grube, powyżej 100  $\mu\text{m}$ , szybko opadające

Klasyfikacja mieszanin wybuchowych gazów, pyłów i par z powietrzem zgodnie z normą IEC79-12 oznaczona jest grupą wybuchowości IIA, IIB i IIC

Tabela 1. Ważniejsze parametry pyłów zbóż [2,3]

Typ pyłu	Min. energia zapłonu [mJ]	Min. temperatura zapłonu [T]	Min. stężenie zapłonu [mg/dm <sup>3</sup> ]	Maks. ciśnienie wybuchu [Mpa]
1. pszenica	30	723	125	0,75
2. żyto	80	532	56	0,41
3. jęczmień	60	573	693	0,52
4. owies	60	623	750	0,60
5. kukurydza	60	673	60	0,78
6. ryż	40	505	60	0,60

### 3. ISKROBEZPIECZEŃSTWO APARATURY POMIAROWEJ

Aparatura pomiarowa przeznaczona do pracy w strefach o wysokim zapyleniu [1] musi mieć odpowiednią konstrukcję, która zarówno w stanie normalnej pracy jak i w stanach awaryjnych nie będzie przyczyną powstania wybuchu.

Wymaganiem jest spełnienie iskrobezpiecznej budowa aparatury kontrolno-pomiarowej oraz układów i systemów pomiarowych.

Parametrami iskrobezpieczeństwa odniesionymi do obwodów elektrycznych jest **minimalny prąd zapalający  $I_{zm}$**  oraz **minimalne napięcie zapalające  $U_{zm}$** , które charakteryzują wartości, poniżej których iskrzenie lub nagrzewanie nie spowoduje zapalenia mieszaniny wybuchowej w dowolnych stanach pracy.

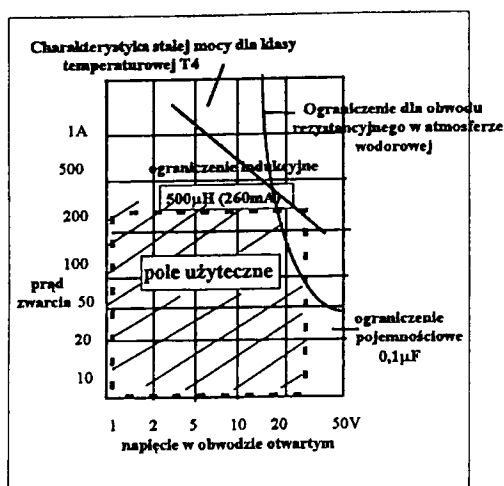
Obwody iskrobezpieczne dzieli się na trzy kategorie:  $i_a$ ,  $i_b$  oraz  $i_c$  [5]

Przynależność do odpowiedniej kategorii jest uzależniona od liczby uszkodzeń w awaryjnych stanach pracy.

**Maksymalna temperatura powierzchni** wszystkich kategorii iskrobezpiecznych badanej aparatury w stanach pracy normalnej i awaryjnej dla elementów konstrukcyjnych obwodów iskrobezpiecznych umieszczonych w przestrzeni zagrożonej wybuchem nie może przekroczyć wartości podanej w normie [6] i zaliczanej do odpowiedniej klasy temperaturowej. Dla większości zastosowań systemów monitoringu dla magazynów zbożowych jest to **klasa T4**, dla której temperatura zapalenia w [°C] jest większa od 135 do 200, a maksymalna temperatura powierzchni elementów i podzespołów aparatury wynosi 135 [°C].

Przyjmuje się jako obwód iskrobezpieczny, obwód elektryczny o parametrach do 30V i

50 mA [4]. Traci tą właściwość obwód, w którym napięcie ma wartość powyżej 50V i prąd powyżej 250 mA lub moc jest większa od 30W z ograniczeniami wynikającymi od charakteru obwodu - pojemnościowego lub indukcyjnego jak to przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Ograniczenie prądu i napięcia dla obwodu iskrobezpiecznego

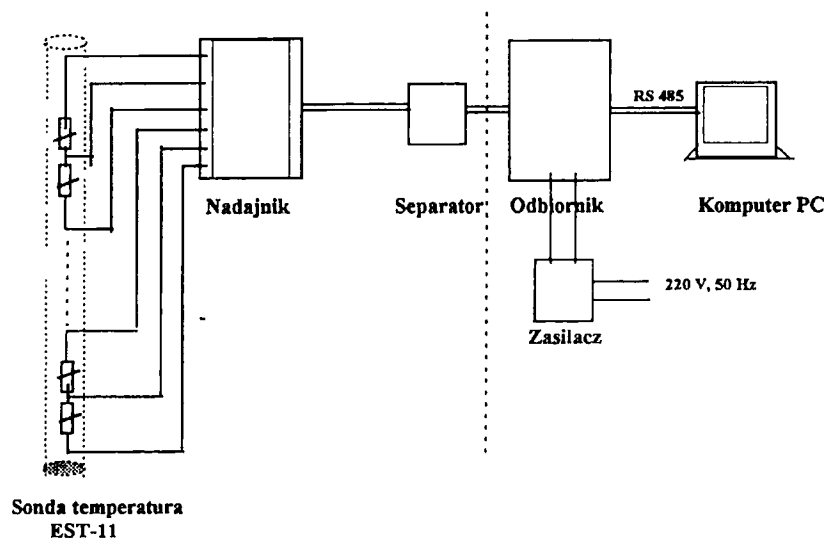
#### 4. SYSTEM MONITORINGU

Do magazynów zbożowych złożonych z baterii silosów, elewatorów i magazynów płaskich zostało opracowanych kilka układów i systemów pomiarowych wdrożonych w wielu obiektach. Początkowo były to systemy o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych, a obecnie systemy o połączeniu jednostek funkcjonalnych za pomocą magistrali komputerowej jak to przedstawiono na schemacie ideowym systemu monitoringu, na rys.2. Ze względu na silne zapylenie część systemu znajduje się w strefie niebezpiecznej. W tej strefie w komorach elewatora, silosach tam gdzie występuje największe zapylenie zainstalowane są wieloczujnikowe sondy temperatury i inne czujniki: wilgotności, wysokości zasypu itp., przetworniki, koncentratory sygnałów. Konstrukcja tych elementów systemu musi spełniać wymagania aparatury przeciwybuchowej - iskrobezpiecznej. Wymagania powinny być potwierdzone atestami. W kraju jednostką uprawnioną do wydawania atestów jest Kopalnia Doświadczalna „Barbara” - KDB, Głównego Instytutu Górnictwa. Można stosować aparaturę atestowaną przez inne jednostki zagraniczne, ale atesty muszą być również potwierdzone przez KDB. Procedura ta jest stosowana również w innych krajach europejskich. W Szwecji np. nie dopuszcza się do stosowania zagranicznej aparatury pomiarowej bez odpowiednich badań sprawdzających parametry metrologiczne, bezpieczeństwa pracy itp.

Druga część systemu monitoringu znajduje się już w strefie bezpiecznej, odległej przestrzennie od strefy dużego zapylenia nawet o kilkaset metrów. Znajduje się w niej połączona magistralą komputerową : przetworniki i sprzęt komputerowy. Tu następuje zdalny odczyt poszczególnych parametrów, archiwizacja i przetwarzanie danych, systemy alarmowe przekroczenia zadanych parametrów itp. Pomiary i kontrolę przeprowadza się z kilku tysięcy, a często i więcej, punktów pomiarowych.

#### STREFA NIEBEZPIECZNA

#### STREFA BEZPIECZNA



Rys.2. Schemat ideowy systemu monitoringu

#### 1. SONDA POMIARU TEMPERATURY

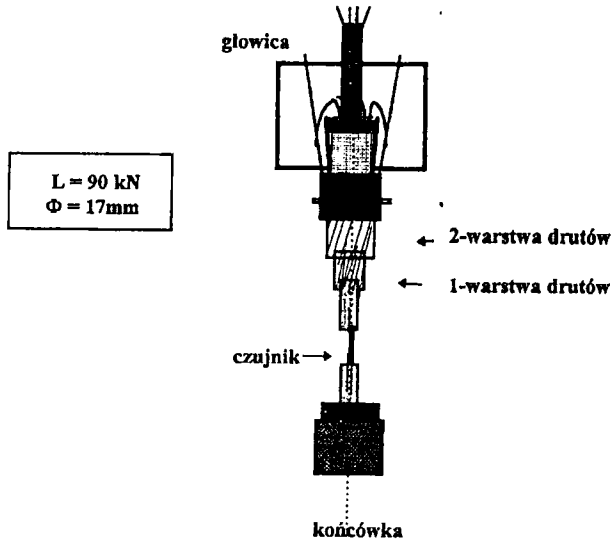
Na schemacie ideowym, rys.2., zaznaczono jedną tylko sondę wieloczułkową typu EST-11. W systemach rzeczywistych ta część z sondą i z nadajnikiem oraz odbiornikiem, jest wielokrotnie powielana w zależności od liczby sond. Budowa sondy jest przedstawiona na rys.3. Sonda jest rozbierna i składa się z dwóch części: rdzenia z czujnikami pomiarowymi i okablowania oraz z pancerza zewnętrznego.

Pancerz sondy składa się z dwóch oplotów z drutów stalowych nawiniętych lewo i prawoskrętnie na rurce wysokociśnieniowej z polietylenu. Powłoka zewnętrzna pancerza również wykonana jest z polietylenu ponieważ zapewnia on niską toksyczność pancerza z warstwą otaczającego ziarna. Rdzeń z czujnikami pomiarowymi można wsuwać do zamontowanego już w komorze elevatorskiej pancerza. Podobnie bez demontażu sondy z



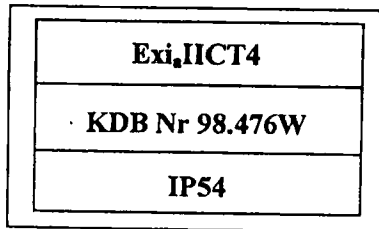
załadowanego zbiornika (komory ewлятора, silosu) można kontrolować i ewentualnie wymieniać czujniki temperatury

Dla sondy najważniejsze są: niska średnica nie przekraczająca 17 mm i wytrzymałość na siłę zrywającą, wzdłuż osi sondy. Ze względu na zjawiska dynamiczne związane z zaczopowaniem zboża i później odblokowaniem wskazane jest, aby siła zrywająca nie była niższa od 80 kN. Założoną wytrzymałość mechaniczną (90kN) udało się otrzymać, stosując w pancerzu dwie warstwy drutu. Zastosowano również drut o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej



Rys.3. Sonda temperatury typu EST-11

Sondę wykonano w technice iskrobezpiecznej. Zarówno głowica jak i końcówka sondy mają stopień obudowy IP 54. Obwód zewnętrzny sondy wraz z nadajnikiem i separatorem muszą mieć niezależne atesty KDB. Dopiero na tej podstawie przystąpiono w KDB do badań atestacyjnych iskrobezpieczeństwa sondy. Badania trwały kilka miesięcy, sonda uzyskała atest w KDB i może być oznaczana:



Badania atestacyjne poprzedzone były badaniami właściwości przeciwwybuchowych wyrobu wykonanymi również w KDB. Program badań realizowany był na podstawie kilku procedur obejmujących między innymi pomiar oporu powierzchniowego obudowy (pancerza) sondy, badania zdolności zapłonowej wyładowań elektrostatycznych itp. Określono opór powierzchniowy, opór upływu i potencjał elektrostatyczny. Na tej podstawie stwierdzono, że sonda nie ma właściwości zapalającej w atmosferze wybuchowej spowodowanej zjawiskiem rozładowania pola elektrostatycznego.

#### LITERATURA

- [1] Frączek J.: *Aparatura przeciwwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym*, ŚWT Katowice, 1995,
- [2] Kobosko A.: *Monitoring procesów termicznych w atmosferze wybuchowej obiektów przemysłu zbożowego*, PIAP Warszawa 1997,
- [3] Wolański P.: *Grain dust explosion and control* (Final Report Grant, Project) Warsaw 1993,
- [4] *A user's guide to intrinsic safety MTL - AN 9003*, England 1989,
- [5] PN-84/E-08107 *Elektryczne urządzenia przeciwwybuchowe. Urządzenia i obwody iskrobezpieczne. Wymagania i badania*,
- [6] PN-83/E-08110 *Elektryczne urządzenia przeciwwybuchowe, Wspólne wymagania i badania*,
- [7] PN-84/E-08119 *Elektryczne urządzenia przeciwwybuchowe, Mieszanki wybuchowe, Klasyfikacja i metody badań*,
- [8] PN-84/C-01200/01 *Zagrożenie pożarem i wybuchem, Parametry zapalności i wybuchowości, Nazwy i określenia*,
- [9] *Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 3 listopada 1992r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów*, Dziennik Ustaw Nr 92 z dnia 10 grudnia 1992r.

## MONITORING PROCESÓW TERMICZNYCH W SKŁADOWANYCH MATERIAŁACH SYPKICH<sup>1</sup>

dr inż. Andrzej Kobosko<sup>2</sup>

### STRESZCZENIE

W czasie składowania materiałów sypkich, a w szczególności podczas ich załadunku do zbiorników płaskich, silosów i elewatorów występuje silne stężenie pyłów. Wzrost temperatury spowodowany wadliwą pracą urządzeń technologicznych, wyładowaniami ładunków elektrostatycznych oraz samozagrzewaniem materiałów składowanych w atmosferze wysokozapylonej może być przyczyną eksplozji w magazynach.

Przedmiotem naszych prac było badanie zjawisk termicznych w elewatorach zbożowych. Wzrost temperatury, ponad wartości optymalne, prowadzi do powstania dużych strat magazynowanych, a w ekstremalnych warunkach do eksplozji w magazynie. Zagrożenie jest realne ponieważ w ostatnich 5 latach w kraju udokumentowano co najmniej 3 eksplozje w magazynach zbożowych. W skali europejskiej, statystycznie zdarza się jedna eksplozja w roku kalendarzowym.

W celu zapobieżenia nadmiernemu wzrostowi temperatury ponad wartości dopuszczalne, np. powyżej 80 °C, opracowano system monitoringu, który kontroluje kilka istotnych parametrów mikroklimatu wewnątrz magazynu. Szczególną uwagę zwrócono na opracowanie konstrukcji wieloczujnikowej, iskrobezpiecznej sondy temperatury do zdalnego pomiaru i komputerowy system monitoringu. Podano również procedurę projektowania systemów monitoringu.

### ABSTRACT

For the time of storing loose materials mainly during their loading and unloading into silos and elevators a heavy concentration of dust takes place. Hazard under abnormal condition caused explosion when temperature rise above ignition temperature. The increase in the temperature is caused by faulty function of technological equipment, discharge of electrostatical source and the heat of formation under metabolic process in materials stored (self - ignition of the grain mass) in very dusty atmosphere can be the cause of explosion in elevators. The subject of our research has been the thermal processes in grain elevators. The increase in the temperature above the optimal value can lead to loss function in materials weigh, increase bad

<sup>1</sup> Artykuł powstał w wyniku realizacji: Projektu badawczego KBN, nr 5 P06F 016 „Metody oceny intensywności procesów metabolicznych w przechowalnictwie zbożowym”, Projektu celowego KBN-PIAP nr 1731/C. T10-8/96 „Iskrobezpieczne sondy temperatury do układów kontrolno-pomiarowych stosowanych w elewatorach zbożowych

<sup>2</sup> Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów w Warszawie

quality and in extremal situation to explosion in storages. The danger of the occurrence of this phenomenon is very high. Within the last 5 years in Poland, at least 3 explosions in grain chambers of elevator have taken place. In Europe on average one explosion occurs in a year.

To prevent the excessive increase in the temperature above permissible level (e.g. above 80 °C) we have worked out a special monitoring system which controls a few parameters of microclimate inside and outside chambers of elevator. We have taken lender a special note of temperature cables designed in intrinsic safety technique. The same problem we are computers elements to hazardous area. The procedure of designing monitoring system has been also given.

## 1. WSTĘP

Składowanie materiałów sypkich jest często, złożonym procesem technologicznym. Zależy ono od rodzaju produktów, ich aktywności termicznej, budowy magazynów, itp. Ze względu na duże ilości przechowywanych produktów i ich szczególne znaczenie dla gospodarki żywnościowej, przedstawione zostaną ważniejsze problemy związane ze składowaniem ziarna zboż. Są one składowane w magazynach płaskich (poziomych) i pionowych: w silosach i ewalatorach. Podczas załadunku i rozładunku ziarna, jego wewnętrznego transportu i wielu procesów technologicznych wytwarza się silne zapylenie, które stanowi zagrożenie wybuchowe. Wystarczy niewielka inicjacja termiczna, przypadkowe zajarzenie łuku itp., aby nastąpiła eksplozja. Zagrożenie wybuchem jest realne ponieważ w ostatnich 5 latach w kraju udokumentowano co najmniej 3 eksplozje w magazynach zbożowych [6]. W skali europejskiej, statystycznie zdarza się jedna eksplozja w roku kalendarzowym.

Podczas przemian metabolicznych w ziarnie zbóż wydziela się CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O i energia cieplna [2-5]]. Intensywność procesów metabolicznych i straty jakościowe i ilościowe w ziarnie zbóż, w funkcji temperatury i wilgotności, były badane w ramach ww. grantu. Analiza została ogłoszona w kilku publikacjach specjalistycznych. Wydzielona wartość energii cieplnej zależy od temperatury początkowej i przyrostów temperatury ziarna. Może być tak intensywna, że doprowadzi do samozapłonu ziarna, a następnie do wybuchu. Znając intensywność zachodzących procesów można nimi sterować zwiększając przewietrzanie, czyszczenie ziarna i wprowadzając inne zabiegi technologiczne. Wymaga to stałej kontroli temperatury i wilgotności w masie ziarna i kontroli w atmosferze mikroklimatu magazynu.

Systemy monitoringu stosowane w magazynach zbożowych umożliwiają zdalny pomiar i kontrolę tych parametrów na podstawie wyników otrzymanych z dużej liczby czujników pomiarowych rozmieszczonych przestrzennie i sięgających często kilkudziesięciu sztuk. Czujniki i elementy systemu monitoringu muszą spełniać dodatkowe wymagania wynikające z niebezpiecznej atmosfery pracy. Z jednej strony muszą posiadać dobre parametry metrologiczne z drugiej, zapewnić iskrobezpieczeństwo pracy, aby swoim działaniem nie spowodować wybuchu. Przedmiotem ww. projektu celowego było opracowanie iskrobezpiecznych wieloczujnikowych sond temperatury przeznaczonych do zawieszania w komorach ewalatora.

## 2. PARAMETRY WYBUCHOWE

Mieszanka wybuchowa, charakterystyczna dla magazynów zbożowych, jest mieszaniną pyłu z włókien organicznych z powietrzem w odpowiednim stężeniu, która pod wpływem energii cieplnej, ulega gwałtownemu spalaniu. Towarzyszy temu gwałtowny wzrost ciśnienia. Parametry wybuchowe zdefiniowane są w normach krajowych i międzynarodowych oraz w

ważniejszych publikacjach [1,7]. W normach USA, w stosunku do normalizacji europejskiej, rozszerzone są klasyfikacje pyłów i wydzielono grupę pyłów zbożowych. W tabeli 1 przedstawiono ważniejsze parametry pyłów zbożowych [2,3].

Tabela 1.

Typ pyłu	Min. energia zapłonu [mJ]	Min.temperatura zapłonu [T]	Min. stężenie zapłonu [mg/dm <sup>3</sup> ]	Maks. ciśnienie wybuchu [Mpa]
1. pszenica	30	723	125	0,75
2. żyto	80	532	56	0,41
3. jęczmień	60	573	693	0,52
4. owies	60	623	750	0,60
5. kukurydza	60	673	60	0,78
6. ryż	40	505	60	0,60

### 3. SYSTEMY MONITORINGU

W systemy pomiarowo - kontrolne wyposażonych jest zaledwie 30 % magazynów krajowych. W pozostałych magazynach systemy muszą być zainstalowane ponieważ nie zostaną one dopuszczone do obrotu towarowego z Unią Europejską.

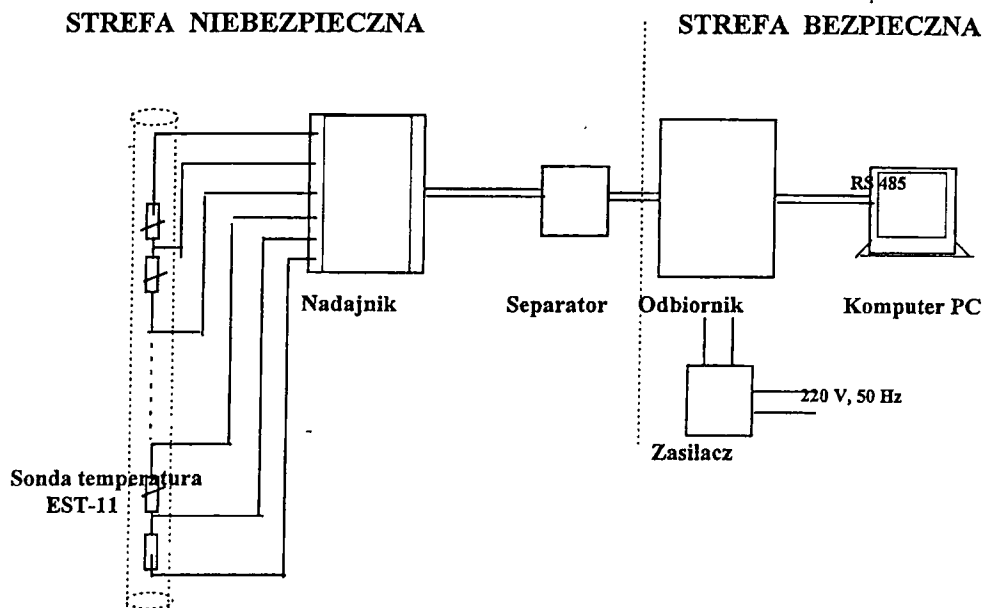
Systemy pomiarowo-kontrolne w magazynach zbożowych dzieli się na:

- \* specjalistyczne układy zdalnego pomiaru temperatury,
- \* systemy pomiarowe o bezpośrednim połączeniu jednostek funkcjonalnych,
- \* systemy monitoringu o magistralnym połączeniu jednostek funkcjonalnych.

Pierwsze układy przeznaczone do magazynów budowanych w latach powojennych, o znacznie mniejszej pojemności niż obecne, wykonane były w technice analogowej. Wybór czujnika temperatury lub grupy czujników, przeprowadzano ręcznie. Układy były wykonane konkretnie do określonego obiektu. Wiele układów było wykonanych z zastosowaniem aparatury przeznaczonej do zdalnego pomiaru temperatury w kopalniach węgla kamiennego. Tablica synoptyczna była duża rzędu 3m x 2m zajmując, całą ścianę w wydzielonym pomieszczeniu.

W latach 80 pojawiły się układy krajowe takie jak Teleterm MC-Polmatik, podobne do importowanych z Danii z firmy Foss El. Były to układy komputerowe wykonane w technice analogowo-cyfrowej z komutatorem elektronicznym umożliwiającym wybór określonych punktów pomiarowych i zapewniające przetwarzania danych.

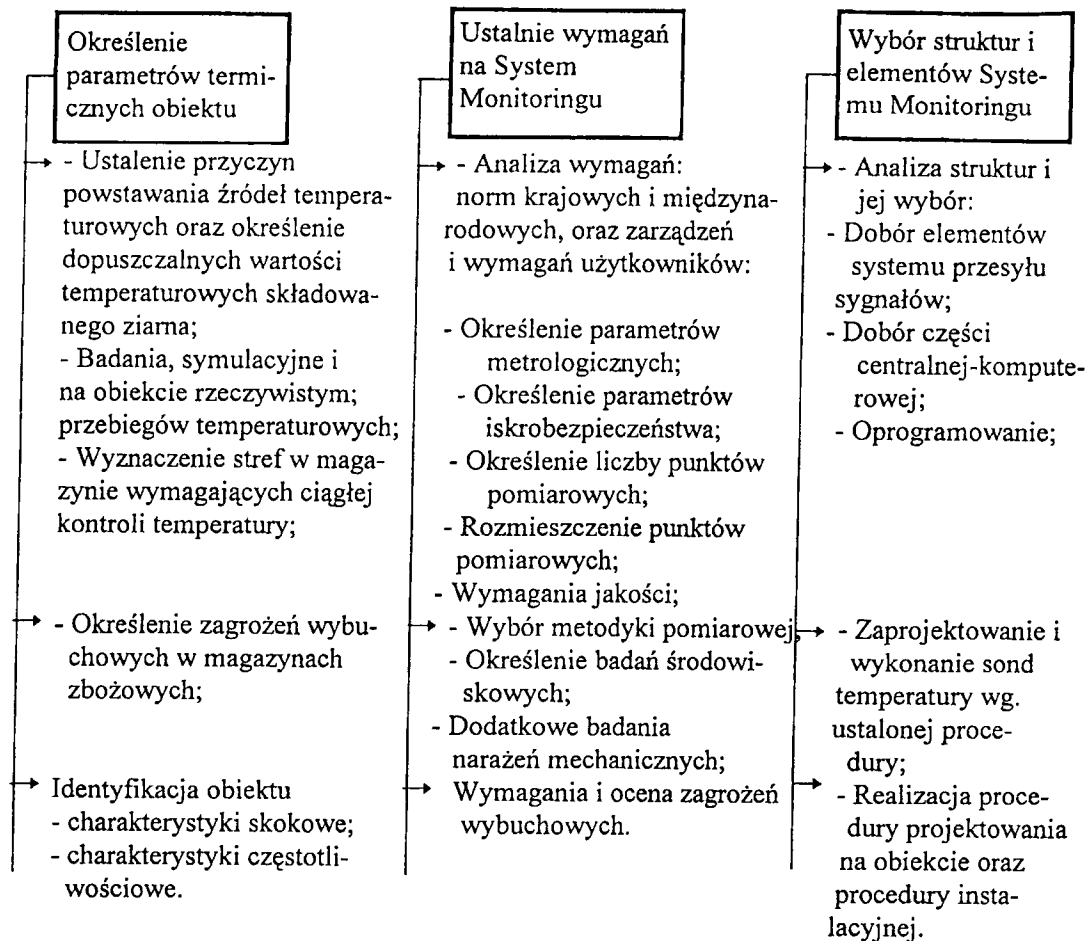
W latach 90, zapoczątkowano w kraju budowę elewatorów zbożowych o znacznie większej pojemności i wysokości. Do nich opracowano kilka systemów monitoringu takich jak Teleterm PC, Teleterm DAC 20 i Teleterm DAC 30Ex. Połączenia między jednostką centralną - PC a jednostkami funkcjonalnymi: koncentratorami sygnałów, nadajnikami i odbiornikami wykonane były magistralą sygnałową. Ostatni system oznaczony „Ex”, wykonany w ramach ww. projektu celowego, ma już certyfikaty dopuszczające do pracy w pomieszczeniach zagrożonych wybuchem. Przedstawiony jest na schemacie ideowym, rys.1.



Rys.1 Schemat ideowy systemu monitoringu

Ze względu na silne zapylenie część systemu znajduje się w strefie niebezpiecznej. W tej strefie w komorach elewatora, silosach tam gdzie występuje największe zapylenie zainstalowane są wieloczujnikowe sondy temperatury i inne czujniki: wilgotności, wysokości zasypu itp., przetworniki, koncentratory sygnałów. Konstrukcja tych elementów systemu musi spełniać wymagania aparatury przeciwwybuchowej - iskrobezpiecznej. Wymagania powinny być potwierdzone atestami. W kraju jednostką uprawnioną do wydawania atestów jest Kopalnia Doświadczalna „Barbara” - KDB, Głównego Instytutu Górnictwa. Można stosować aparaturę atestowaną przez inne jednostki zagraniczne, ale atesty muszą być również potwierdzone przez KDB. Procedura ta jest stosowana również w innych krajach europejskich. W Szwecji np. nie dopuszcza się do stosowania zagranicznej aparatury pomiarowej bez odpowiednich badań sprawdzających parametry metrologiczne, bezpieczeństwa pracy itp.

Druga część systemu monitoringu znajduje się już w strefie bezpiecznej, odległej przestrzennie od strefy dużego zapylenia nawet o kilkaset metrów. Znajduje się w niej połączone magistralą komputerową: przetworniki i sprzęt komputerowy. Tu następuje zdalny odczyt poszczególnych parametrów, archiwizacja i przetwarzanie danych, systemy alarmowe przekroczenia zadanych parametrów itp. Pomiary i kontrolę nie tylko temperatury ale również wilgotności ziarna i powietrza oraz wysokości napełnienia komory przeprowadza się za pomocą kilku tysięcy odległych punktów pomiarowych. Magistrala komputerowa wykonana jest linią czteroprzewodową. Przy zachowaniu tylko funkcji pomiarowych można ją ograniczyć do skrętki dwuprzewodowej. Najważniejsze prace związane z projektowaniem i wdrażaniem systemu monitoringu są przedstawione na rys.2.



Rys.2. Zagadnienia techniki monitoringu w magazynach zbożowych

#### 4. ISKROBEZPIECZEŃSTWO APARATURY POMIAROWEJ

Aparatura pomiarowa przeznaczona do pracy w strefach niebezpiecznych o wysokim zapyleniu [1] musi mieć odpowiednią konstrukcję, która zarówno w stanie normalnej pracy jak i w stanach awaryjnych nie będzie przyczyną powstania wybuchu.

Wymaganiem to spełnia iskrobezpieczna budowa aparatury kontrolno-pomiarowej oraz układów i systemów pomiarowych.

Parametrami iskrobezpieczeństwa odniesionymi do obwodów elektrycznych jest **minimalny prąd zapalający**  $I_{zm}$  oraz **minimalne napięcie zapalające**  $U_{zm}$ , które charakteryzują wartości, poniżej których iskrzenie lub nagrzewanie nie spowoduje zapalenia mieszaniny wybuchowej w dowolnych stanach pracy.

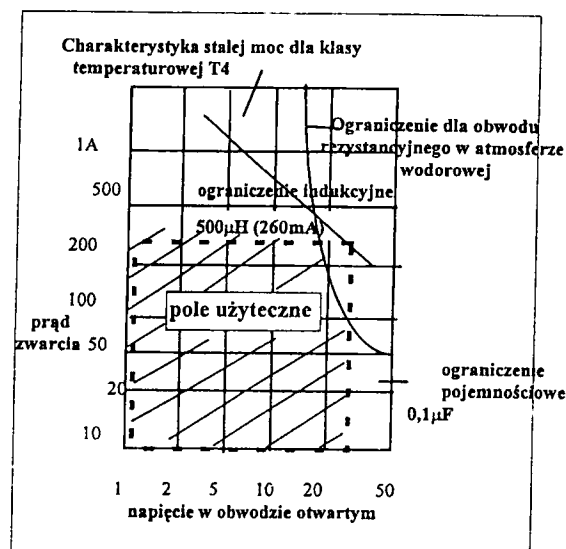
Obwody iskrobezpieczne dzieli się na trzy kategorie:  $i_a$ ,  $i_b$  oraz  $i_c$  [1]

Przynależność do odpowiedniej kategorii jest uzależniona od liczby uszkodzeń w awaryjnych stanach pracy.

**Maksymalna temperatura powierzchni** wszystkich kategorii iskrobezpiecznych badanej aparatury w stanach pracy normalnej i awaryjnej dla elementów konstrukcyjnych obwodów iskrobezpiecznych umieszczonych w przestrzeni zagrożonej wybuchem nie może przekroczyć

wartości podanej w normach i podanych w publikacji MTL[7] i zaliczanej do odpowiedniej klasy temperaturowej. Dla większości zastosowań systemów monitoringu dla magazynów zbożowych jest to klasa T4, dla której temperatura zapalenia w [°C] jest większa od 135 do 200, a maksymalna temperatura powierzchni elementów i podzespołów aparatury wynosi 135 [°C].

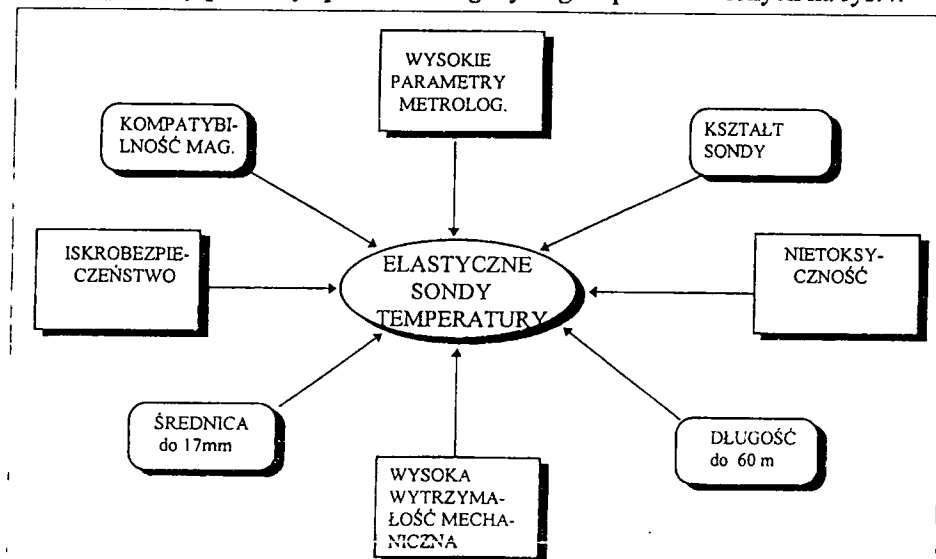
Przyjmuje się jako obwód iskrobezpieczny, obwód elektryczny o parametrach do 30V i 50 mA. Traci tą właściwość obwód, w którym napięcie ma wartość powyżej 50V i prąd powyżej 250 mA lub moc jest większa od 30W z ograniczeniami wynikającymi od charakteru obwodu - pojemnościowego lub indukcyjnego jak to przedstawiono na rys.3[7].



Rys.3. Ograniczenie prądu i napięcia dla obwodu iskrobezpiecznego

## 5. ISKROBEZPIECZNA SONDA POMIARU TEMPERATURY

Sondy temperatury powinny spełniać szereg wymagań przedstawionych na rys.4.



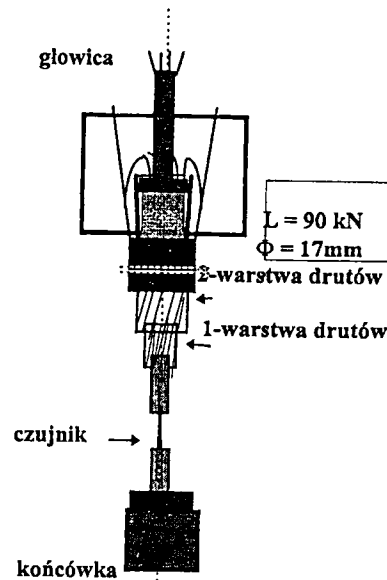
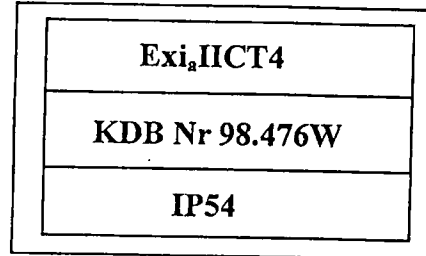
Rys.4. Wymagania stawiane sondom temperatury



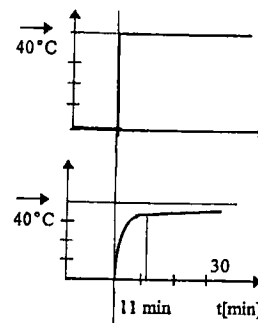
Budowa sondy jest przedstawiona na rys.5 [2]. Sonda jest rozbierna i składa się z dwóch części: rdzenia z czujnikami pomiarowymi i okablowania oraz z pancerza zewnętrznego. Pancerz sondy składa się z dwóch oplotów z drutów stalowych nawiniętych lewo i prawoskrętnie na rurce wysokociśnieniowej z polietylenu. Powłoka zewnętrzna pancerza również wykonana jest z polietylenu ponieważ zapewnia on niską toksyczność pancerza z warstwą otaczającego ziarna. Rdzeń z czujnikami pomiarowymi można wsuwać do zamontowanego już w komorze elevatora pancerza. Podobnie bez demontażu sondy z załadowanego zbiornika (komory elevatora, silosu) można kontrolować i ewentualnie wymieniać uszkodzone czujniki temperatury.

Dla sondy najważniejsze są: niska średnica nie przekraczająca 17 mm i wytrzymałość na siłę zrywającą, wzdłuż osi sondy. Ze względu na zjawiska dynamiczne związane z zaczopowaniem zboża i później odblokowaniem wskazane jest, aby siła zrywająca nie była niższa od 80 kN. Założoną wytrzymałość mechaniczną udało się otrzymać, stosując w pancerzu dwie warstwy drutu. Zastosowano również drut o podwyższonej wytrzymałości mechanicznej.

Sondę wykonano w technice iskrobezpiecznej. Zarówno głowica jak i końcówka sondy mają stopień szczelności obudowy IP 54. Obwód zewnętrzny sondy wraz z nadajnikiem i separatorem muszą mieć niezależne atesty KDB. Dopiero na tej podstawie przystąpiono w KDB do badań atestacyjnych iskrobezpieczeństwa sondy. Badania trwały kilka miesięcy, sonda uzyskała atest w KDB i może być oznaczana:



Rys.5. Sonda temperatury typu EST-11



EST-11

Rys.6. Czas odpowiedzi sondy na skokową zmianę temperatury

81

Czas odpowiedzi na skok temperatury przy błędzie dynamicznym 5% wynosił 11 min(rys.6) .  
Badania wytworzonej energii elektrostatycznej spowodowanej ruchem ziarna i tarciami o obudowę sondy wykazały, że ładunek elektrostatyczny jest dobrze odprowadzany do uziemionej obudowy i nie stanowi zagrożenia wybuchowego.

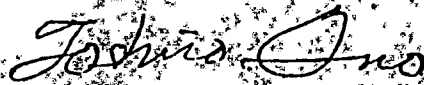
#### LITERATURA

- [1] Frączek J.; *Aparatura przeciwwybuchowa w wykonaniu iskrobezpiecznym*, ŚWT Katowice, 1995,
- [2] Kobosko A.; *Monitoring procesów termicznych w atmosferze wybuchowej obiektów przemysłu zbożowego*, PIAP Warszawa 1997,
- [3] Kobosko A.; *Systemy monitoringu przeznaczone do obiektów przechowywania produktów zbożowych z zagrożeniem wybuchowym*, Konferencja pt.AUTOMATION 99, marzec 1999, PIAP, Warszawa,
- [4] Kobosko A.; *Thermal distribution analyse on material storages realised by noncontact measurement*, Konferencja ISMT II, Hayama, Tokyo Institute of Technology-Japonia, str.113-118, 1996,
- [5] Kobosko A.; *Computer system for thermal measurement with optoelectronic sensors in grain XIV IMEKO World Congress, Tampere-Finlandia, 1997, str.185-190 T.VI, 1997, Materiały: CD-ROM i Internet,*
- [6] Wolański P.; *Grain dust explosion and control (Final Report Grant, Project) Warsaw 1993,*
- [7] Measurement Technology Limited; *A user's guide to intrinsic safety MTL - AN 9003, England 1989.*

# *Certificate of Attendance*

awarded to:

**KOBOSKO, Andrzej**



Professor Toshiro Ono

Chairman

Steering Committee

IMEKO-XV

**The Fifteenth World Congress of the  
International Measurement Confederation**

Measurement to Improve the Quality of Life in the 21st Century

- Measurement helps to Coordinate Nature with Human Activities -

**IMEKO-XV**

**June 13 - 18, 1999**

**Asia and Pacific Trade Center, ATC Hall**

**Osaka, Japan**

# Optoelectronic sensors for protection against grain dust explosions

A. Kobosko

Industrial Research Institute for  
Automation & Measurements  
Al. Jerozolimskie 202  
02-486 Warszawa, Poland  
e-mail: AKOBOSKO@sg.piap.waw.pl

**Abstract:** Industrial dust are influence of human health. In extremal condition in agricultural dust - in grain elevators cause uncontrolled blasts and explosions. In fatal dust explosion every years many people died, many injured and material and building losses.

In the paper the results of our experiments with optoelectronic sensors for temperature measurement in mass grain will be presented. We propose the optoelectronic sensors and temperature fiber cables. The new system of computer control with this sensor give also the better prevention against a hazardous increase in temperature as well as against the explosion in grain elevator.

**Keyword:** Monitoring system for grain elevator, sensors.

## 1. Introduction

The metabolic processes occurring in grain mass during storage cause the absorption of oxygen from the atmosphere, emission of CO<sub>2</sub> as well as release of many other substances. During anaerobic respiration these will include ethanol, lactic acid, aldehyd etc. These processes release some thermal energy due to the breaking of the carbon chain during the combustion of sugar or fat as well as the release of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O. This leads to physico-chemical changes and the loss of dry grain mass defined as the natural loss characterising the quantity losses in grain. The intensity of metabolic processes is determined by the respiration energy which depends on grain humidity and temperature. The respiration energy increases as the function of temperature and moisture (humidity). In some intervals this is an intensive exponential

increase (Fig.1). Above 20°C and moisture exceeding 14% each temperature increment by 10°C, the amount of CO<sub>2</sub> and the related loss in dry grain mass increases by the order of magnitude. In the temperature interval 30°C to 40°C the emission of CO<sub>2</sub> and the generation of thermal energy increase even more.

The FAO report [5] includes the chart of temperature and moisture as well as their impact on the processes occurring in the stored grain. The best storage conditions occur in the ranges of temperature below 20°C and humidity lesser than 16% (zone 1 in Fig. 2.) The increase of temperature and humidity also favours the growth of microbes, bacteria etc. which by themselves may generate thermal energy and may also contribute to bad quality of grain and its germination power as well as losses in grain storages. They also depend on the time of grain storage at given parameters of humidity and temperature. In the short time of storage these conditions may be much more rigorous. The author's study [2] shows that short-term storage of grain mass with higher moisture and temperature is possible, but this cannot be the case for the periods of several weeks or months. The best storage conditions occur in the range of temperature below 20°C and moisture lower than 6% (zone 1 in Fig. 1).

Higher temperatures and moisture lead to the development of a number of other processes which result in disadvantageous phenomena in grain mass and in decreasing its utility value. The research in the experimental chamber of a typical grain elevator [3] on the intensity of metabolic processes comprised also chromatographic research.

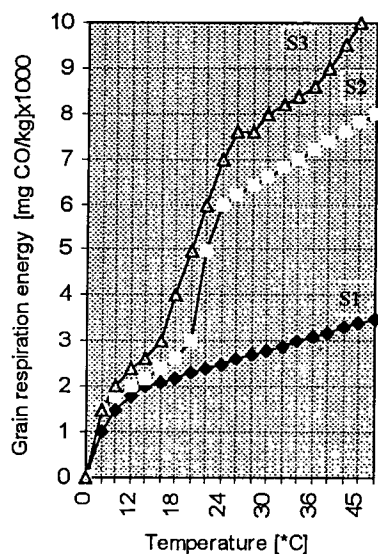


Fig.1. Influence on of temperature the energy of rye grain respiration with moisture: S1 = 12.8%, S2 = 16.9%, S3 = 19.8% after [1]

Samples were taken from the lower and upper layer of the prism (Fig. 3) having the same temperature.

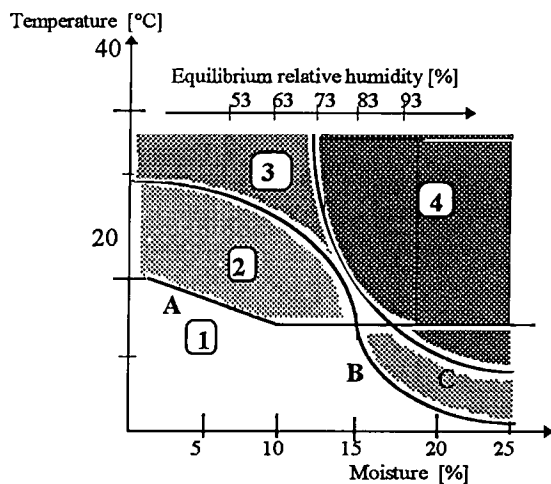


Fig. 2. Values of temperature, relative humidity and moisture content for safe storage, insect and fungal heating and fall in germination

1. Safe
2. Insect heating
3. Fall in germination
4. Fungal heating

A. Lower limit for insect heating  
 B. Lower limit for germination  
 C. Lower limit for fungal heating, from [5]

In the lower layer, having poor natural aeration, the number of micro-organisms was much lower than in the upper layer in which moisture was higher. In the temperatures lower than 10°C the number of micro-organisms decreased. In the present paper only the methods of temperature measurement were presented, since they are specially important in the industrial grain storage and are most frequently used to control metabolic processes.

## 2. Temperature distribution in grain mass

Metabolic processes occur in the whole grain mass but due to heterogeneity of grain (impurities, moisture etc.) there are the areas of considerably higher temperature than that of the surrounding layers. Such areas, called sources of self-heating, reach higher temperatures due to poor carrying away of heat from the grain. Thermal conductivity of grain is very low and can be compared to that of asbestos, which is considered as a perfect insulator. When studying temperature distribution in grain mass, zones of hazardous temperature increments can be found; if the limits of temperature values are exceeded appropriate technological measures can be applied. The purpose of analytical research started by Sergunow [4] was to determine

temperature distribution caused by the sources of local self-heating with model geometrical shapes: plane of the sphere and cylinder. Differences in the courses appeared to be small and that is why the simulation experiments focused on plane sources. The increase of temperature from such a source can be observed in the distance of up to  $\pm 1.5$  m. (Fig. 4). Three days after the appearance of the source, temperature increase is insignificant, but already after 8 days grain temperature in this area may reach  $50^{\circ}\text{C}$  and its further increase becomes hazardous. That is why temperature is needed by use of temperature sensors distributed in grain mass.

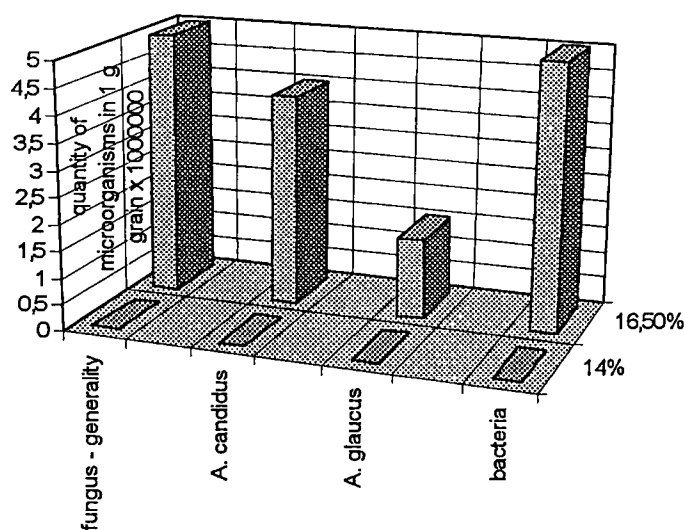


Fig. 3. Surface infection of wheat grain with moisture: 14% - for a sample from the lower layer of the prism and 16.5% - for a sample from the upper layer, stored at  $10^{\circ}\text{C}$

### 3. Monitoring system

In grain storages the monitoring system „SM” permits a control of the following parameters: temperature and moisture of grain and degree of loading (filling of the elevator chamber). In addition, measurements of microclimate as well as atmospheric parameters (outside, inside the storage) are made. This is of special importance in case of enforced ventilation.

For most of the measurements universal sensors and industrial converters are used. Temperature measurements inside grain mass are made by use of specialist multi-sensors measuring temperature cables resembling power cables.

In chambers where temperature cables are placed there is a high concentration of grain dust. Thus, the explosive atmosphere arises.

Boundary values of grain dust concentration, moisture being 13%, for wheat, rice and corn amount to 2500, 29000 and  $19\ 000\text{mg}/\text{m}^3$ .

87

In constructing the elements SM, especially temperature cables and sensors, in addition to many requirements regarding metrological parameters that must be met, Due to the danger of fire, conditions of sparking safety and of electromagnetic compatibility are very important.

Compatibility is understood as the ability to work correctly in the presence of undesirable electromagnetic radiation emitted, for example, by drives and other electromechanical devices.

The signals from the sensors (Fig.5) are carried to signal concentrators and then transmitted by line RS 485 to the distant central part in which on the monitor measurement points can be found and the values of parameters can be read. In addition to the measurement of the temperature itself, temperature increments should be known for one day or one week. The system ensures the measurement even from several thousand measuring points. It is also important to have the transmission line composed of four cables, which facilitates the installation and servicing of SM. The application of the line RS 485 permits the use in SM of a number of other devices, sensors and converters which have an appropriate.

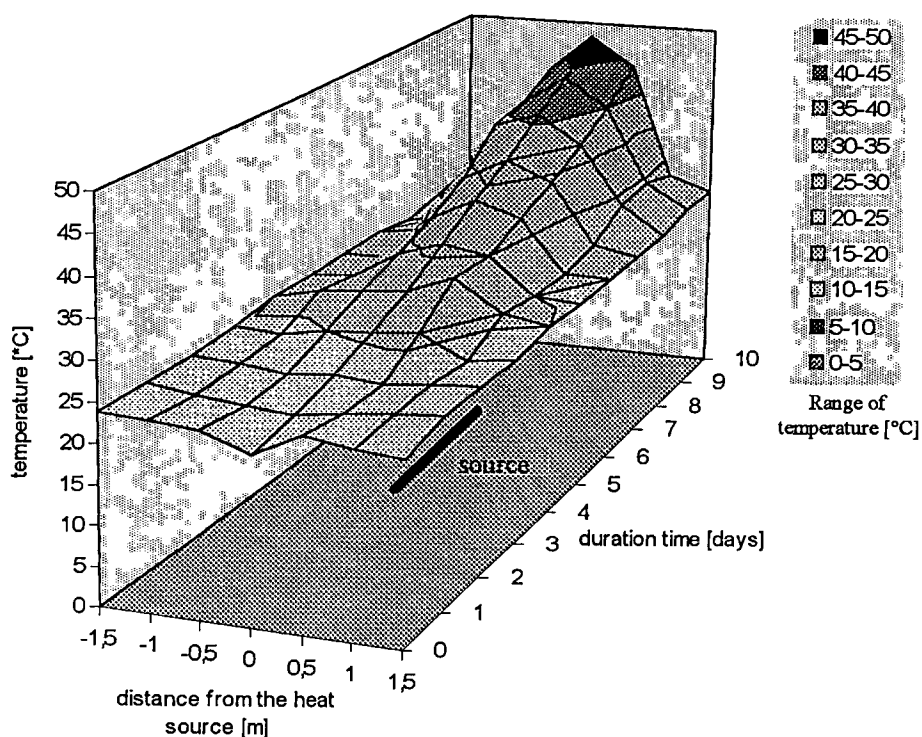


Fig. 4. The shape of temperature field in grain mass caused by the source in the base plane



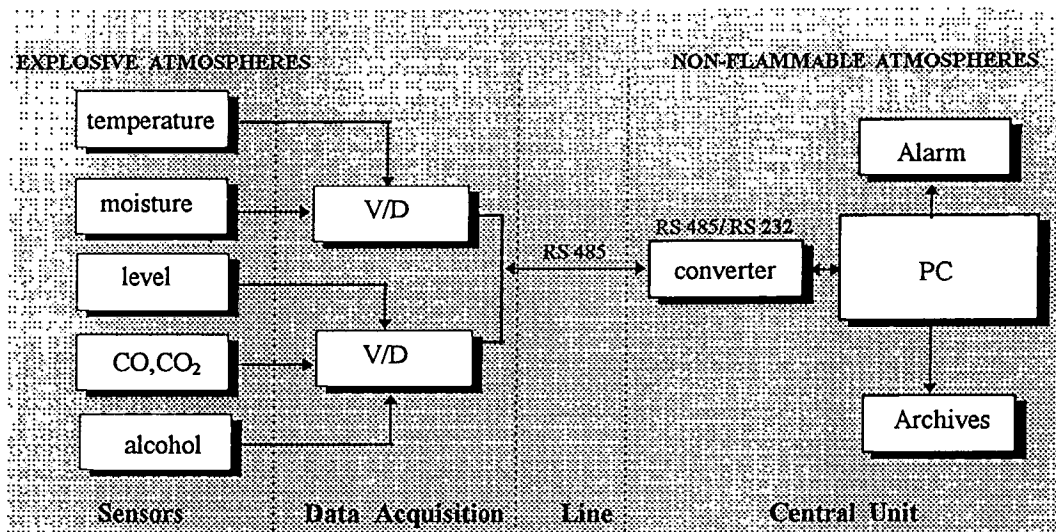


Fig. 5. Diagram of blocks of the monitoring system SM

#### 4. Elastic temperature cables

In the elevator chambers and in storage bins two types of the multi-sensors temperature measuring cables are placed:

HD - heavy duty temperature cables, used in horizontal storages (elevators), and MD - medium duty temperature cables, used in vertical storages (bins, flat storages).

The HD cables have 16 mm in diameter and mechanical resistance to breaking up to 90 kN. Initially, according to the international standards [6], the value of resistance equal to 30 kN was recommended, and in the recent edition the standards were raised to reach 50 kN. In Poland, the temperature cables are made according to the original solution [2] of 1979 and designed for loads of 30 kN, according to the first edition of the standard.

We also have a more recent construction of the cable with higher mechanical resistance sustaining a load of 80 kN, which has been undergoing long-lasting operation tests). The cable consists of a jacket into which the core is put consisting of very small sensors of temperature and connecting cables.

The jacket was made by winding around the high-pressure polyethylene pipe two braids made of steel wires with increased mechanical resistance. The direction of the winding of the layers of the braid is push-pull so that the twisting forces could be compensated. The external surface of the jacket is the polyethylene casing, which is non-toxic for the grain.

The structure of this cable permits the installation of the jacket itself in the elevator and then the inserting and pulling out of the core. This facilitates the exchange of the damaged sensor, calibration of the measurement system etc.

The heads of the cables are placed in the openings of the ceilings over the chambers. The ceilings must thus have appropriate mechanical strength, and in the bins in which the ceilings were not designed for placing the cables, an additional sustaining construction is used. The temperature cables may also be anchored by use of elastic ropes in the lower part of the chamber.

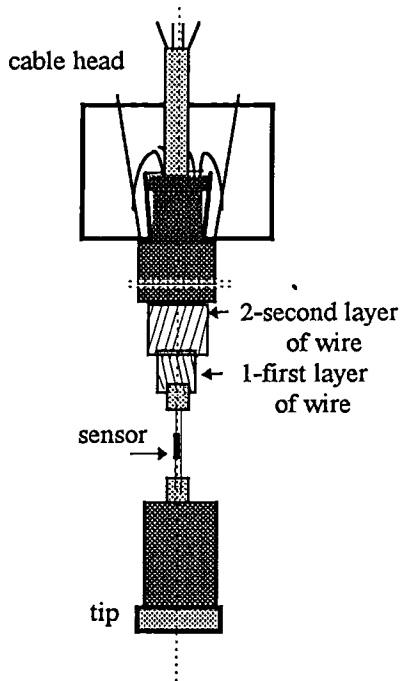


Fig. 6. The HD temperature cable

The MD cable used in the storage bins having 10 mm in diameter and mechanical resistance up to 10 kN is shown in Fig. 6. It is equipped with several sensors. The cable is not dismountable.

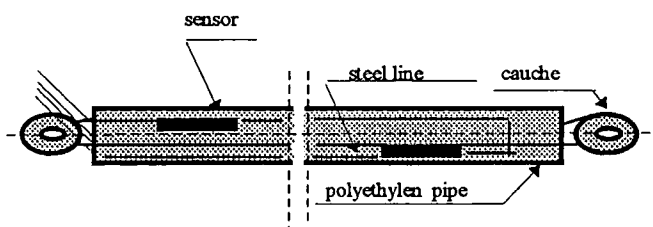


Fig. 7. MD temperature cable

The construction of the cables has been tested during long-lasting operation in storage bins containing cocoa flour as well as in grain storage bins.

The construction of elastic cables must meet a number of specific requirements shown in Fig. 7. In addition to relevant small diameter and high mechanical resistance, it should be nontoxic for grain.

## 5. Optoelectronic sensors

Idea of temperature measure on fibro cables are base on Ramana theory [ 2] Last time in medicine area and farther in industrial applications confirm this optoelectronic method. On Fig.8 and Fig.9 show probe of fibro cable with one for example temperature fibro sensor.

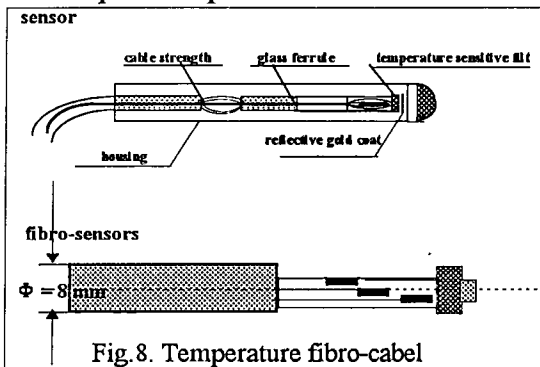


Fig. 8. Temperature fibro-cable

In compare classic heavy duty temperature cable fibro cable has lower dimension (8mm) and the same will be load (suffice 30kN instead 80kN). Now it is under the test especially intrinsic safety, after this will be tested during normaly exploitation.

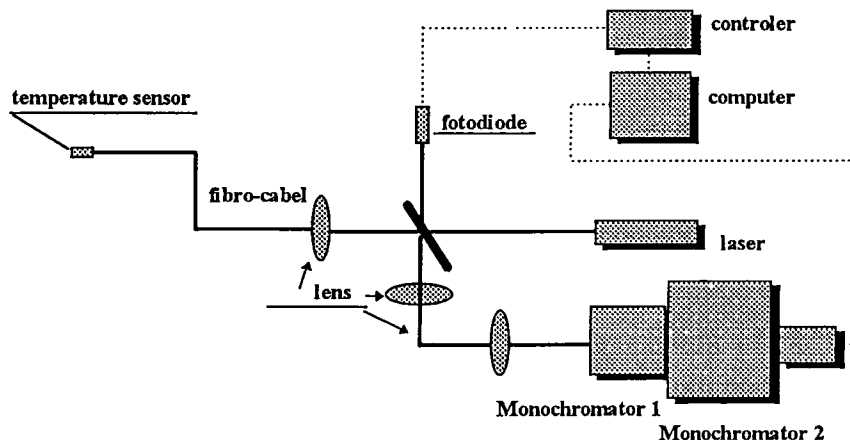


Fig. 9. Measuring system

## Bibliography

1. Jankowski St.: Outline of technology of cereals and edible pulses (in Polish). Published by PWN, 1967.
2. Kobosko A.: Measuring and monitoring systems used in storages of grain (in Polish). Published by PIAP, pp. 88, 1996.
3. Kobosko A., Leńkiewicz H., Fornal L., Kamiński E.: Methods of evaluation of intensity of metabolically processes in storage of cereals (in Polish), Published for KBN- State Committee for Scientific Research of Poland, Research Project no 5-P06F01611, 1996.
4. Sergunow E.: Distance of temperature measuring system for grain elevators (in Russian). Published by Kołos, Moskwa, 1977.
5. FAO Agricult. Dev. Paper No.90.: Handling and storage of food grains.
6. ISO 4112: Cereal and pulses - Guidance on measurement of the temperature of grain stored in bulk. Second edition, 1990.

June 17 (Thu.)

Room CR2

10:20-11:20

Oral Session ST-1 Environmental measurement

Chair: A. Kobosko, K. Noda

- ST.1.1 Designing G.I.S. for Sustainable Environmental Management  
L. Van Biesen, T. K. Yamba, T. Ghebrezgiabebber, Z. Cisneros
- ST.1.3 Quantitative Evaluation of Temporal Changes in Liaodong Bay Areas, North-Eastern China by Remotely Sensed Images  
S. Ogata, S. Takata, M. Hashimoto, K. Mine
- ST.1.4 Underwater Optical Transfer Function as a Parameter of Water Clarity in Lake Biwa  
Y. Itakura, H. Hara, N. Matsubara

15:20-17:20

Oral Session ST-2 Applications of measurement

Chair: O. Aumala, K. Kariya

- ST.2.1 Process-oriented quality management  
T. Pfeifer, K. Hofmann v. Kap-herr
- ST.2.2 Mathematical Modelling of Torque Motor Actuators Used in Instrumentation  
S. H. Khan, L. Finkelstein, K. T. V. Grattan
- ST.2.3 Recursive Filters and DGPS/INS/Wheel Sensor Integration  
Y. Kubo, T. Kindo, S. Sugimoto, H. Kumagai, K. Kokue, O. Sakamoto
- ST.2.4 Development of Portable Wireless Data Acquisition System using Optical Power Supply and Optical Communication  
T. Nakashima, M. Shikai, K. Madono, K. Takashima, A. Tochio
- ST.2.5 Flicker Measurement of Combustion Flames  
Y. Yan, Y. Huang, G. Lu, A. R. Reed
- ST.2.6 Automobile Speed Measurement on TV Picture  
T. Nakanishi, D. Tokura, K. Kariya

17  
Thu.

June 17 (Thu.)

Room B1

10:20-12:00

Oral Session 12.1 Industrial heat and temperature measurement

Chair: G. Betta, M. Gotoh

- 12.1.1 Ecological aspects in energy efficiency testing of household appliances  
G. Begeš, I. Pušnik, J. Bojkovski, J. Dmrošek
- 12.1.2 Multi-channel Fibre-optic Fluorescence Thermometer for Microwave Ovens Characterisation  
V. C. Ferriccola, R. Galeano, M. J. Swain
- 12.1.3 A safety thermal environment in a bathroom and a dressing room  
M. Nomura, Y. Tochiohara
- 12.1.4 Thermal imager calibration and human face measurement  
F. Sakuma, L. Ma
- 12.1.5 Fuzzy Logic based evaluation of the thermal behaviour of a heating system for energy management aspects  
R. Talebi-Daryani, M. Olbring

15:20-16:40

Oral Session 12.2 Calibration of temperature and humidity

Chair: R. Talebi-Daryani, F. Sakuma

- 12.2.1 The True Temperature Measurement of Materials in the Condensed Phase and the Possibility of Realization a Thermodynamic Temperature Scale Their Self Radiation.  
D. Y. Svet
- 12.2.2 Fast Measurement of Soil Thermal Properties by Spherical Probe  
S. Milun, O. Bego, T. Kilić
- 12.2.3 Experimental Design Techniques for Optimising Psychrometric Humidity Sensor Calibration  
G. Betta, M. Dell'isola, A. Frattonillo
- 12.2.4 Test Methods for Thin Film Platinum Resistance Thermal Sensors  
M. Gotoh, K. Ikegami, M. Ogawa, J. Ode

17  
Thu.

- P.17.2 Kinematics Analysis of a New Type of Parallel Manipulator  
M. Kubotera, K. Kobayashi, K. Watanabe, T. Nanya, K. Suzuki
- P.17.3 State Variable Measurement for Transmission Time Delay System Using a Kalman Filter with Dual Models  
N. Tamaru, Y. Nakano, J. Yamaguchi, K. Kaneko
- P.17.4 Measurement Principle of Both the Direction of Acceleration and Azimuth Utilizing Permanent Magnet Floating in a Spherical Vessel  
T. Okada, S. Sugito, N. Mimura
- P.17.5 A Multilayer Architecture for Sensor-Based Control of Intelligent Autonomous Mobile Robots  
G. Yasuda
- P.17.6 Tactile Transducer for Pressure Distribution Measurement and Its Practical Tests  
J. Volf, H. Stanislav, P. Stanislava, J. Vlček
- P.17.7 Position Measurement with Infrared Markers in a Regular Space  
S. Takayama, S. Iwahashi, K. Kariya
- P.17.8 Detection of Grasping Force and Slip Using Quartz Resonators  
S. Muraoka
- 18.P Measurement of Human Functions**
- P.18.1 Multi-Sensor Data Fusion for Modeling Human Interaction with Environmental Objects  
V. A. Golemba, A. U. Botchkaryov
- ST.P Special Topics for IMEKO-XV in Osaka**
- P.ST.1 Development of Trichloroethylene Detector using QCM  
K. Noda, R. Naganawa, H. Tao, M. Tomimaga
- P.ST.2 Evaluating Residential Environment with Comfort Degrees and a Method for Placement of Urban Facilities Using Genetic Algorithm  
T. Yanagimoto, K. Inoue, K. Oba
- P.ST.3 Optoelectronic sensors for protection against grain dust explosions  
A. Kobosko
- P.ST.4 A Financial Analysis System on Optimistic-Pessimistic Axis  
K. Tani, K. Kamel
- P.ST.5 Particle Analyzer Based on Microwave Induced Plasma Technology  
H. Takahara, T. Suzuki

**Member Organizations of IMEKO**

- |                           |                                                                                             |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Australia:                | Metrology Society of Australia                                                              |
| Austria:                  | OVE Österreichische Gesellschaft für Mess- und Automatisierungstechnik                      |
| Belgium:                  | Belgian Measurement Confederation-BEMEKO                                                    |
| Brazil:                   | Brazilian Society of Metrology                                                              |
| China:                    | Chinese Society for Measurement                                                             |
| Croatia:                  | Croatian Society for Communications, Computing, Electronics, Measurement and Control-KOREMA |
| Czech Republic:           | Association of Scientific-Technical Societies IMEKO Committee                               |
| Denmark:                  | The Danish Society for Engineering Metrology                                                |
| Egypt:                    | Egyptian Organization for Standardization and Quality Control                               |
| Finland:                  | Finnish Society of Automation                                                               |
| France:                   | College Métrologie                                                                          |
| Germany:                  | VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik                                      |
| Hungary:                  | Scientific Society of Measurement, Automation and Informatics                               |
| Italy:                    | National Research Council                                                                   |
| Japan:                    | The Society of Instrument and Control Engineers                                             |
| Korea(Republic of):       | Korea Association of Standards and Testing Organizations-KASTO                              |
| Mexico:                   | Mexican Society for Instrumentation, C.C.                                                   |
| The Netherlands:          | Royal Institution of Engineers Div. for Automatic Control                                   |
| New Zealand:              | The Institute of Measurement and Control, Inc.                                              |
| Poland:                   | Polish Soc. for Measurement, Autom. Control and Robotics                                    |
| Portugal:                 | RELACRE-Portuguese Association of Accreditation Laboratories                                |
| Romania:                  | Romanian Measurement Society                                                                |
| Russia:                   | International Scientific-Technical Society of Instrument Engineers and Metrologists         |
| Singapore:                | Instrumentation and Control Society                                                         |
| Slovakia:                 | Slovak Metrological Society                                                                 |
| Slovenia:                 | Slovenian Society for Process Control and Measurements                                      |
| Spain:                    | Spanish Assoc. for Quality Control, Comm. for Metrology                                     |
| Sweden:                   | Instrument Society of Sweden                                                                |
| Switzerland:              | Schweizerische Gesellschaft für Automatik                                                   |
| Turkey:                   | Marmara Research Centre National Metrology Institute                                        |
| United Kingdom:           | The Institute of Measurement and Control                                                    |
| United States of America: | Instrument Society of America-ISA                                                           |

**IMEKO Officers 1997-2000**

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| President:                | K. Iizuka (JAPAN)      |
| Immediate Past President: | O. Aumala (FINLAND)    |
| President Elect:          | M. Peters (GERMANY)    |
| Secretary General:        | T. Kemény (HUNGARY)    |
| Treasurer:                | P. H. Osanna (AUSTRIA) |

## Sprawozdanie

*z badań pt.: „Analiza jakości technologicznej ziarna pszenicy  
przechowywanego w różnych warunkach wilgotności i temperatury”.*

Projekt badawczy: Metody oceny intensywności procesów metabolicznych  
w przechowalnictwie zbożowym.

Nr 5PO6F01611

Kierownik projektu: dr inż. Andrzej Kobosko, Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów w Warszawie.

Wykonawcy: prof. dr hab. Łucja Fornal  
mgr inż. Witold Gudaczewski  
dr inż. Katarzyna Majewska

Sprawozdanie opracowały: prof. dr hab. Łucja Fornal  
mgr inż. Anna Filipowicz

## Wstęp

Rozwój nauk biologicznych, a w szczególności genetyki i hodowli roślin zbożowych, umożliwił wzrost produkcji ziarna zbóż. O światowym obrocie ziarnem zbóż i niezbędnymi zapasami w dużym stopniu decydują techniki i technologie zbioru oraz techniki i technologie przechowywania. Straty przechowalnicze, ilościowe i jakościowe, zależą od procesów biologicznych przechowywanego ziarna i systemów ich kontroli. Do procesów biologicznych ważnych w przechowalnictwie należą procesy oddechowe wszystkich składników masy zbożowej: ziarna podstawowego gatunku, nasion obcouprawnych i zanieczyszczeń mikrobiologicznych. Ze względu na biochemiczny charakter oddychania ziarna do jego minimalizacji wykorzystuje się sterowanie parametrami oddziaływującymi na kinetykę aktywności enzymów tj.: wilgotnością, temperaturą lub pH ziarna. Można oszacować, że około 90 % zbiorów ziarna zbóż przechowuje się w stanie suchym o wilgotności niższej niż wilgotność równowagowa przy określonych parametrach powietrza zewnętrznego, a ściślej powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych. Jednym z dotychczas najlepiej poznanych systemem kontroli jakości przechowywanego ziarna są systemy ciągłego pomiaru jego temperatury ( Kobosko 1996 ). Wzrost temperatury ziarna przechowywanego może być spowodowany miejscowym wzrostem wilgotności ziarna lub oddziaływaniem parametrów powietrza zewnętrznego oraz nagrzaniem ścian komór na skutek radiacji słonecznej ( Fornal i in. 1982 ). W klimacie umiarkowanym lub chłodnym powstanie gradientu temperatury może wynikać również z zasypywania do komory ziarna o nie wyrównanej temperaturze. Powstanie gradientu temperatury pomiędzy warstwami ziarna w komorze przechowalniczej lub silosach metalowych jest siłą napędową do migracji wody z ośrodka cieplejszego do chłodniejszego, jej kondensacji, wzrostu wilgotności ziarna, intensyfikacji procesów oddechowych i rozwoju pleśni co zawsze prowadzi do całkowitego zepsucia ziarna. Ciągłe kontrolowanie temperatury ziarna jest jedynym sposobem obniżania strat przechowalniczych ( Wierzbicki i in.1996, Wierzbicki i Hoszcz 1990 ).

Hipoteza badań była następująca: system monitorowania temperatury ziarna w czasie przechowywania ogranicza straty przechowalnicze, technologiczne i ekonomiczne poprzez ograniczanie wielokrotności przesywania komór.

### **Założenia badawcze:**

- ocena jakości technologicznej ziarna pszenicy przechowywanej w temperaturze 14 – 15 °C w komorach o pojemności 250 ton,
- ocena jakości technologicznej ziarna pszenicy o podwyższonej wilgotności i wzrastającej temperaturze.

### **Metodyka badań**

Metodyka badań obejmowała:

- wyznaczenie cech geometrycznych ziarna,
- oznaczanie jakości technologicznej ziarna: zawartość białka, test sedymentacyjny, aktywność  $\alpha$  - amylazy,
- wyznaczenie gęstości optycznej powierzchni całkowitej i przekroju poprzecznego.

### **Materiał badań**

Materiałem badań było:

- ziarno pszenicy niejednolitej odmianowo górnej i dolnej warstwy komory przechowalniczej o pojemności 250 ton (eksperyment a).
- ziarno pszenicy kanadyjskiej z pięciu warstw komory przechowalniczej o pojemności 250 ton (eksperyment b\* - zasyp komory, b\*\* - opróżnienie po sześciu miesiącach przechowywania).
- ziarno pszenicy nawilżane do wilgotności 20 – 21 % przechowywane w zbiorniku o wysokości 50 cm (eksperyment c\*).
- ziarno pszenicy bezpośrednio po zbiorze o wilgotności 20 – 22 % przechowywane w zbiorniku o wysokości 50 cm (eksperyment c\*\*).

### **Metody analityczne**

Cechy geometryczne i gęstość optyczną powierzchni całkowitej i przekroju poprzecznego wyznaczono przy pomocy cyfrowej analizy obrazu (Kubiak i Fornal 1994, Gudaczewski i Fornal 1998).



Zawartość białka metodą Kjehdahla, liczbą sedimentacji wg Zeleny'ego ( PN-93/A-74019 ), liczbą opadania wg Hagberga ( PN-ISO 3093:1996 ).

Twardość ziarna oznaczono testem PSI wg Williamsa i Soberinga ( 1986 ).

Temperaturę ziarna przechowywanego w komorze przechowalniczej o pojemności 250 ton mierzono przy zastosowaniu systemu typ METROTERM DAC-20 opracowanego w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów w Warszawie. Temperatura ziarna warstwy dolnej komory wynosiła 21,3 °C, górnej 14,7 °C.

W badaniach przechowywania ziarna wilgotnego do pomiaru temperatury stosowano sondę stacjonarną typ SZJ-1,5 konstrukcji opracowanej w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów w Warszawie.

## **Wyniki i ich omówienie**

### **I. Jakość technologiczna ziarna pszenicy przechowywanego w stanie suchym.**

#### **1. Cechy geometryczne ziarna.**

Wielkość ziarna, zakres występujących wielkości, ma duże znaczenie w segregacji ziarna w czasie zasypu komory i jej opróżniania. W pierwszym eksperymencie ( a ) stwierdzono większe wymiary ziarna warstwy dolnej w porównaniu z warstwą górną (tab. 1). W warstwie dolnej większy procentowy udział miały frakcje o większych wymiarach (tab. 2). Różnice w wymiarach ziarna mogą mieć również wpływ na wielkość przestrzeni międzyziarnowych. Teoretycznie w systemach pomiaru temperatury ziarna powstaje pytanie czy dokonuje się pomiaru temperatury powierzchni czy powietrza zawartego w przestrzeniach międzyziarnowych. Praktycznie uważa się, że pomiar temperatury jest wypadkową złożoności zjawiska akumulacji ciepła i przewodności cieplnej masy zbożowej, i powietrza w przestrzeniach międzyziarnowych.

W drugim eksperymencie ( b ), w czasie którego wyznaczono cechy geometryczne ziarna pszenicy zasypywanego do komory i po sześciomiesięcznym przechowywaniu. Zarówno przy zasypie, jak i opróżnianiu komory próby pobierano co 50 ton.

W eksperymencie tym komorę zasypywano pszenicą kanadyjską o wyraźnie mniejszej szerokości niż szerokość odmian krajowych ( Kubiak i Fornal 1994 ). Między badanymi umownie warstwami dla frakcji > 3,2 mm x 25 mm szerokość wynosiła od 4,15 mm do 4,31 mm. Dla kolejnej frakcji (2,5 mm x 25 mm) od 3,93 mm do 4,15 mm i frakcji

< 2,5 mm x 25 mm od 3,62 mm do 3 73 mm (tab.1). Zmienność cech geometrycznych ziarna w czasie zasypywania komory najlepiej charakteryzowały współczynniki kształtu od 0,028 do 0,025 (tab.1). Po sześciomiesięcznym przechowywaniu wśród badanych cech geometrycznych w największym stopniu zmieniała się szerokość ziarniaków wszystkich badanych warstw i frakcji (tab. 1). Na zmiany szerokości ziarniaków wskazywały również wyniki procentowego udziału frakcji stanowiących zlot lub przesiew z określonych sit (tab. 2). Zwiększył się udział dwóch frakcji > 2,5 mm x 25 mm i < 2,5 mm x 25 mm (tab.2). Zmiany szerokości ziarniaków po opróżnieniu komory mogą być wynikiem tarcia wewnętrznego. Każde opróżnianie lub przesypywanie komory obniża wyrównanie ziarna, generuje pyły i zwiększa udział ziarniaków uszkodzonych mechanicznie. Stosowanie systemów ciągłego pomiaru temperatury zmniejsza potrzebę nieuzasadnionego przesypywania komór w czasie przechowywania ziarna, przynosi zatem wymierne korzyści ekonomiczne.

## 2. Jakość technologiczna.

W ocenie jakości technologicznej uwzględniono takie wyróżniki, jak wilgotność, twardość (test PSI), wyciąg mąki, popiołowość mąki, test sedymentacyjny i liczbę opadania.

Wilgotność ziarna była niska i wynosiła około 13 % w eksperymencie ( a ) lub około 11 % w eksperymencie ( b\* ) i ( b\*\* ) (tab. 3). Nie stwierdzono zmian wilgotności ziarna pomiędzy warstwa górną i dolną komory, a także między badanymi frakcjami i warstwami komory (tab.3). W eksperymencie ( b\* ) i ( b\*\* ) niska wilgotność ziarna w czasie przechowywania wskazuje na zminimalizowane procesy oddechowe co uzasadnia również stała temperatura ziarna w czasie przechowywania 15 – 21 °C ( warstwa górną – warstwa dolna eksperyment ( a )) lub 15 – 17,5 % w czasie przechowywania w eksperymencie ( b\* ) i ( b\*\* ).

Twardość ziarna mierzona indeksem granulacji ( PSI ) również nie zmieniała się we wszystkich badanych eksperymentach (tab.4). Wskazuje to na bardzo dobre warunki przechowywania i niezmienny układ: białka glutenowe – proteiny ziarna. Potwierdzają to także wysokie wyciągi mąki i niska jej popiołowość. Niezmienny układ: białka glutenowe – proteiny potwierdzają wielkości testu sedymentacyjnego (tab.5), które były stałe w czasie przechowywania. Zwraca jedynie uwagę wyższa liczba sedymentacji pomiędzy warstwa górną i dolną oraz frakcji o większych wymiarach (tab.5). Te różnice są wynikiem składu chemicznego ziarna, koncentracji białka i skrobi, a nie oddziaływania temperatury ziarna lub generalnie warunków przechowywania.

Z kolei liczba opadania informująca o aktywności  $\alpha$ - amylazy była wysoka i charakterystyczna dla ziarna w poszczególnych eksperymentach. W eksperymencie ( b\* ) i ( b\*\* ) komorę zasypiano pszenicą kanadyjską, średnio twardą o naturalnie wysokiej liczbie opadania w porównaniu z ziarnem eksperymentu ( a ), prawdopodobnie odmian krajowych. Niemniej stwierdzono, że liczba opadania malała wraz ze zmniejszeniem się wymiarów ziarniaków (tab.5). Nie wskazuje to na wzrost aktywności  $\alpha$ - amylazy w czasie przechowywania, a raczej na większą koncentrację białek enzymatycznych w ziarniakach małych ( Kubiak i Fornal 1994 ).

## II. Jakość technologiczna ziarna pszenicy przechowywanego w stanie wilgotnym.

### 1. Temperatura ziarna.

Celem dwóch eksperymentów z ziarnem nawilżonym do wilgotności 22 % ( c\* ) i naturalnie wilgotnym 21 % ( c\*\* ) było wykazanie związków między procesami metabolicznymi mierzonymi akumulacją ciepła a cechami geometrycznymi i jakością ziarna. Temperatura ziarna wzrastała od 16-17 °C do 23 °C w ciągu 35 dni przechowywania ( c\* ) lub 56 dni ( c\*\* ) (tab. 6). Ziarno nawilżone zgromadziło ciepło oddychania najintensywniej pomiędzy 7 a 14 dniem przechowywania (tab. 6). W ziarnie wilgotnym bezpośrednio po zbiorze akumulacja ciepła była wolniejsza. Z analizowanych badań wynika, że akumulacja ciepła jest procesem wolnym, jeśli początkowa temperatura ziarna wynosi około 16-17 °C, a temperatura otaczającego powietrza jest < 20 °C. Wskazywałoby to na minimalny wpływ warunków zewnętrznych na wzrost temperatury ziarna. Ciepło w ziarnie gromadziło się jedynie w wyniku procesów oddechowych. W tych eksperymentach nie uwzględniano wpływu energii cieplnej i radiacji słonecznej co jest szczególnie ważne w czasie przechowywania ziarna w wolno stojących, nieosłoniętych silosów metalowych.

### 2. Cechy geometryczne ziarna

Wymiary ziarniaków pszenicy przechowywanych w stanie wilgotnym nie były stałe. Systematycznie zwiększały się dwa podstawowe wymiary, długość i szerokość, niezależnie od eksperymentu (tab.7, rys. 1, 2). Zmiany cech geometrycznych są, między innymi, wynikiem pęcznienia substancji hydrofilnych ziarna, a w przechowywaniu są przyczyną zmniejszania się porowatości masy zbożowej i jej zlegiwania. W czasie trwania eksperymentów, od 14 do 21 dnia przechowywania wbijanie sondy do pomiaru temperatury było utrudnione.

### 3. Jakość białek glutenowych i aktywność $\alpha$ - amylazy.

Wilgotność ziarna pszenicy powyżej 15 % i wzrost temperatury ziarna powoduje uaktywnienie się amylaz i proteinaz, a także lipaz i lipooksygenazy. Jednak wyniki testu sedymentacyjnego nie wskazywały na niekorzystne zmiany białek glutenowych pszenicy (tab.8). Jest to niezgodne z dotychczasową wiedzą o przemianach białek glutenowych w czasie przechowywania wilgotnego ziarna. Podobnie liczba opadania nie malała, co świadczyłoby o niskiej aktywności  $\alpha$  - amylazy, co również nie jest prawdopodobne przy przechowywaniu ziarna wilgotnego. Można zatem przypuszczać, że stosowanie takich wyróżników jakości, jak test sedymentacyjny, zawartość białka a nawet liczba opadania do oceny jakości ziarna wilgotnego może dostarczać informacji niezgodnych z rzeczywistą jakością ziarna.

Potwierdzeniem tej tezy są zmiany barwy ziarna, gęstości optycznej przekroju poprzecznego. Największe zmiany barwy ziarna obserwowano po 21 i 35 dniu przechowywania ( $c^*$ ) (rys. 3).

Wzrastała czterokrotnie liczebność występowania pasma 81-100, tj. różnicy pomiędzy maksymalnym i minimalnym poziomem szarości. Podobnie zmieniała się barwa ziarna wilgotnego ( $c^{**}$ ) (rys.4). Zmiany barwy wskazują na jakość mikrobiologiczną ziarna. Ziarno dwóch badanych eksperymentów miało widoczne porażenie zarodków przez pleśnie.

Również gęstość optyczna przekroju poprzecznego wskazywała na wyraźne zmiany struktury bielma wskazując na wzrost mączystości (rys. 5,6,7) (Gudaczewski i Fornal 1998). Dowodzą tego zwiększające się liczebności występowania różnic pomiędzy maksymalnym i minimalnym poziomem szarości 101-120 i 121-140 (rys. 5). Podobnie w czasie przechowywania ziarna wilgotnego ( $c^{**}$ ) zmieniał się rozkład poziomów szarości. Dominującymi pasmami różnicy pomiędzy maksymalnym i minimalnym poziomem szarości były 101-120 i 121-140 (rys. 6,7). Wzrastająca mączystość struktury bielma wskazuje na niekorzystne zmiany jakości technologicznej ziarna.

### Podsumowanie

Ziarno pszenicy o wilgotności  $< 15\%$  zachowuje stałą jakość technologiczną a jego temperatura wynosi 14-17 °C. Natomiast wzrost temperatury ziarna pszenicy o wilgotności 20 – 22 % przechowywanej przez 56 dni w warstwie o wysokości 0,5 m jest kilkustopniowy (2 – 6 °C), a temperatura nie jest wyższa niż 20 – 24 °C. Zmiany temperatury są w większym

stopniu związane z rozwojem pleśni niż aktywnością enzymów amylolitycznych. W czasie przechowywania w takich warunkach, stosunkowo niska temperatura ziarna, już po 14 dniach zmienia się barwa ziarna a bielmo traci charakterystyczną dla struktury bielma szklatego gęstość optyczną. Należy zatem stwierdzić, że wzrost temperatury ziarna pszenicy od 16 °C do 20 °C o wilgotności 20 – 22 % powoduje wyraźne obniżenie jakości ziarna pszenicy. Szczególnie krytyczny jest okres przechowywania dłuższy niż 7 – 14 dni.

## Piśmiennictwo

- Kobosko A., 1996, Systemy pomiarowo – kontrolne stosowane w magazynach materiałów sypkich i ziarnistych. Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów. Praca monograficzna.
- Fornal Ł., D.J. Greig, G. Michuri, 1982, The effect of climatic condition on heat and moisture migration in maize stored in metal silo. Proceedings of 7<sup>th</sup> World Cereal and Bread Congress, Prague 1982.
- Kubiak A., Ł. Fornal, 1994, Interaction between geometrical features and technological quality of wheat grains. Pol. J. Food Nutr. Sci. 3/44, no. 4: 75 – 85.
- Williams P.C., D.C. Sobering, 1986, Attempts at standarization of hardness testing of wheat. The grinding/siewing ( Patrical Size Index )method. Ceral Foods World 31 ( 5 ): 359 – 364.
- Wierzbicki K., D. Choszcz, S. Konopka, 1996, Wstępne badania nad rozwarstwieniem się mieszanin ziarnistych w silosach cylindrycznych. Acta Acad. Agricult. Tech. Ols. Aedificatio et. Mechanica, no. 28: 153 – 161.
- Wierzbicki K., D. Choszcz, 1990, Zagadnienia rozwarstwiania się mieszanin ziarnistych podczas magazynowania i transportu. Biul. Naukowy ART. Olsztyn, 1 ( 6 ): 135 – 147.
- Gudaczewski W., Ł. Fornal, 1998, Surface and cross – sectional optical density of wheat grain as a discriminant of wheat variety classification. Pol. J. Food Nutr. Sci. 7/48, No.2: 131 – 136.

Tab. 1. Cechy geometryczne ziarna pszenicy.

Frakcja	Eksperyment, warstwa nr	Długość L [ mm ]	Szerokość S [ mm ]	Obwód O [ mm ]	Pole powierzchni rzutu P [ mm <sup>2</sup> ]	Współczynnik P/O <sup>2</sup> W <sub>i</sub> [ - ]
> 3,2 mm x 25 mm	1a	7,40	4,66	28,23	23,90	0,030
	5a	7,26	4,65	27,26	23,50	0,030
	1b*	6,62	4,15	25,22	18,17	0,028
	1b**	6,69	3,98	25,52	17,71	0,027
	2b*	6,67	4,12	25,65	18,35	0,028
	2b**	6,73	4,03	25,71	17,59	0,027
	3b*	7,06	4,23	26,77	12,99	0,028
	3b**	6,68	3,92	25,42	17,37	0,027
	4b*	6,84	4,31	26,27	19,46	0,028
	4b**	6,64	3,93	25,38	17,28	0,027
	5b*	6,62	4,21	25,13	18,05	0,028
5b**	6,69	3,99	25,58	17,03	0,027	
> 2,5 mm x 25 mm	1a	7,26	4,36	27,39	21,62	0,029
	5a	6,96	4,27	26,43	20,43	0,029
	1b*	6,22	3,97	23,62	15,89	0,028
	1b**	6,33	3,68	24,15	15,09	0,026
	2b*	6,84	4,10	25,74	18,02	0,027
	2b**	6,39	3,71	24,35	15,15	0,026
	3b*	6,72	4,15	25,39	17,63	0,027
	3b**	6,31	3,74	24,03	14,97	0,026
	4b*	6,47	4,05	24,79	17,07	0,028
	4b**	6,25	3,68	23,87	14,71	0,026
	5b*	6,32	3,93	23,89	16,07	0,028
5b**	6,28	3,79	24,02	15,03	0,026	
< 2,5 mm x 25 mm	1a	6,93	4,15	25,81	18,54	0,028
	5a	6,52	4,02	24,69	17,38	0,028
	1b*	5,96	3,71	22,56	13,57	0,026
	1b**	5,77	3,40	22,17	12,27	0,025
	2b*	6,33	3,84	23,95	14,82	0,026
	2b**	5,85	3,37	22,32	12,36	0,025
	3b*	6,17	3,73	23,52	13,88	0,025
	3b**	5,82	3,37	22,28	12,16	0,024
	4b*	5,89	3,68	22,44	13,53	0,027
	4b**	5,89	3,40	22,55	12,49	0,025
	5b*	5,80	3,62	21,98	13,01	0,027
5b**	5,86	3,26	22,42	12,23	0,024	

a, b\*, b\*\* - rodzaj eksperymentu

- 1 - warstwa dolna,
- 2 - warstwa,
- 3 - warstwa,
- 4 - warstwa,
- 5 - warstwa górna

**Tab. 2. Udział badanych frakcji [ % ].**

Frakcja	Numer warstwy											
	1 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	1 <sup>b*</sup>	1 <sup>b**</sup>	2 <sup>b*</sup>	2 <sup>b**</sup>	3 <sup>b*</sup>	3 <sup>b**</sup>	4 <sup>b*</sup>	4 <sup>b**</sup>	5 <sup>b*</sup>	5 <sup>b**</sup>
> 3,2 mm x 25 mm	41,55	55,24	3,90	-	-	-	-	-	-	-	5,03	-
> 2,5 mm x 25 mm	33,47	27,33	31,50	43,10	-	-	-	42,42	-	-	33,85	39,81
< 2,5 mm x 25 mm	23,93	17,34	64,36	56,94	-	-	-	57,82	-	-	61,05	60,00

a, b\*, b\*\* - rodzaj eksperymentu

1 – warstwa dolna,  
 2 – warstwa,  
 3 – warstwa,  
 4 – warstwa,  
 5 – warstwa górną

**Tab. 3. Jakość technologiczna ziarna pszenicy – wilgotność [ % ].**

Frakcja	Numer warstwy											
	1 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	1 <sup>b*</sup>	1 <sup>b**</sup>	2 <sup>b*</sup>	2 <sup>b**</sup>	3 <sup>b*</sup>	3 <sup>b**</sup>	4 <sup>b*</sup>	4 <sup>b**</sup>	5 <sup>b*</sup>	5 <sup>b**</sup>
> 3,2 mm x 25 mm	13,05	13,60	11,88	-	-	-	-	-	-	-	11,82	-
> 2,5 mm x 25 mm	12,99	13,30	11,76	10,84	-	-	-	10,84	-	-	11,37	10,84
< 2,5 mm x 25 mm	13,22	12,96	11,81	10,82	-	-	-	10,82	-	-	11,77	10,82

a, b\*, b\*\* - rodzaj eksperymentu

1 – warstwa dolna,  
 2 – warstwa,  
 3 – warstwa,  
 4 – warstwa,  
 5 – warstwa górną

104



Tab. 4. Jakość technologiczna – PSI, wyciąg mąki, popiołowość.

Fracja	Numer warstwy											
	1 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	1 <sup>b*</sup>	1 <sup>b**</sup>	2 <sup>b*</sup>	2 <sup>b**</sup>	3 <sup>b*</sup>	3 <sup>b**</sup>	4 <sup>b*</sup>	4 <sup>b**</sup>	5 <sup>b*</sup>	5 <sup>b**</sup>
PSI ( Patricle Size Index ) [ % ]												
> 3,2 mm x 25 mm	51,70	47,78	52,23	-	-	-	-	-	-	-	55,66	-
> 2,5 mm x 25 mm	47,47	44,28	57,03	49,04	-	-	-	-	-	-	54,07	51,07
< 2,5 mm x 25 mm	48,01	46,53	52,52	49,03	-	-	-	-	-	-	56,74	52,03
Wyciąg mąki [ % ]												
> 3,2 mm x 25 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 2,5 mm x 25 mm	-	-	78,99	80,02	-	-	-	79,31	-	-	79,66	82,13
< 2,5 mm x 25 mm	-	-	78,04	77,62	-	-	-	79,25	-	-	77,82	80,02
Popiołowość mąki [ % s.m. ]												
> 3,2 mm x 25 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 2,5 mm x 25 mm	-	-	-	0,68	-	-	-	-	-	-	-	0,67
< 2,5 mm x 25 mm	-	-	-	0,69	-	-	-	-	-	-	-	0,68

a, b\*, b\*\* - rodzaj eksperymentu

1 – warstwa dolna,  
2 – warstwa,  
3 – warstwa,  
4 – warstwa,  
5 – warstwa górna

Tab. 5. Jakość technologiczna – test sedymentacyjny, liczba opadania.

Fracja	Numer warstwy											
	1 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	1 <sup>b*</sup>	1 <sup>b**</sup>	2 <sup>b*</sup>	2 <sup>b**</sup>	3 <sup>b*</sup>	3 <sup>b**</sup>	4 <sup>b*</sup>	4 <sup>b**</sup>	5 <sup>b*</sup>	5 <sup>b**</sup>
Test sedymentacyjny [ cm <sup>3</sup> ]												
> 3,2 mm x 25 mm	20	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
> 2,5 mm x 25 mm	24	33	40	36	-	-	-	38	-	-	38	35
< 2,5 mm x 25 mm	21	32	39	41	-	-	-	40	-	-	38	40
Liczba opadania [ s ]												
> 3,2 mm x 25 mm	316	311	503	-	-	-	-	-	-	-	355	-
> 2,5 mm x 25 mm	334	308	502	341	-	-	-	-	-	-	440	499
< 2,5 mm x 25 mm	272	253	396	470	-	-	-	-	-	-	547	591

a, b\*, b\*\* - rodzaj eksperymentu

1 – warstwa dolna,  
2 – warstwa,  
3 – warstwa,  
4 – warstwa,  
5 – warstwa górna

**Tab. 6. Temperatura przechowywanego ziarna.**

Czas przechowywania [ dni ]	Średnia temperatura dobową [ °C ]			
	ziarna		otoczenia	
	C*	C**	C*	C**
0	16,90	15,60	17,5	17,5
7	18,40	16,80	17	18
14	21,40	16,75	20	17
21	21,55	18,15	19	18
28	21,35	18,60	19	18,5
35	23,20	18,00	19	17,5
42	-	20,25	21	21
49	-	21,40	20,5	20,5
56	-	23,10	21,5	21,5

C\* – ziarno wilgotne ( nawilżone )

C\*\* – ziarno wilgotne ( bezpośrednio po zbiorze ).

**Tab. 7. Cechy geometryczne ziarna pszenicy w czasie przechowywania.**

Eksperyment, czas przechowywania [ dni ]		Długość L [ mm ]	Szerokość S [ mm ]	Obwód O [ mm ]	Pole powierzchni rzutu P [ mm <sup>2</sup> ]	Współczynnik $P/O^2$ $W_1$ [ - ]
Ziarno suche		6,69	4,30	25,60	19,21	0,029
C*		6,83	4,38	26,28	20,26	0,029
C**		7,37	4,39	28,10	22,43	0,028
C*	7	6,85	4,41	26,38	20,26	0,029
C**		7,35	4,40	27,94	22,18	0,028
C*	14	7,10	4,45	28,28	22,89	0,028
C**		7,41	4,45	28,28	22,89	0,028
C*	21	6,98	4,51	26,84	21,13	0,029
C**		7,77	4,59	29,70	25,11	0,028
C*	28	7,10	4,52	29,44	24,64	0,028
C**		7,69	4,52	29,44	24,64	0,028
C*	35	7,10	4,64	27,28	21,80	0,029
C**		7,60	4,52	28,98	23,92	0,028
C*	42	7,10	4,68	29,40	24,87	0,029
C**		7,70	4,68	29,40	24,87	0,029
C*	56	7,73	4,53	29,63	24,35	0,028
C**		7,73	4,53	29,63	24,35	0,028

C\* – ziarno wilgotne ( nawilżone )

C\*\* – ziarno wilgotne ( bezpośrednio po zbiorze ).

**Tab.8. Jakość technologiczna ziarna pszenicy w czasie przechowywania.**

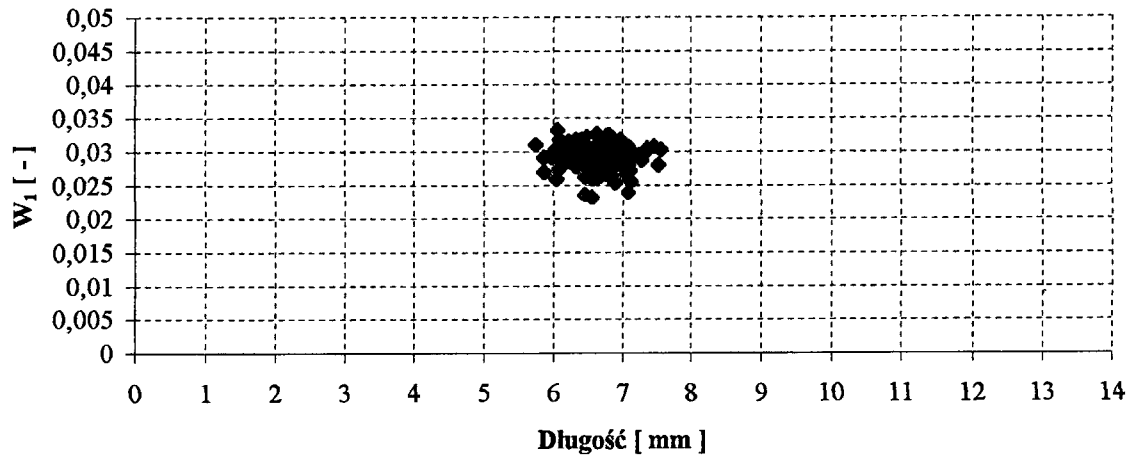
Czas przechowywania [ dni ], eksperyment		Wilgotność [ % ]	Test sedymentacyjny [ cm <sup>3</sup> ]	Liczba opadania [ s ]	Zawartość białka [ % s.m. ]
Ziarno suche		12,49	28	310	11,72
C*		22,30	27	302	11,16
C**		20,99	46	378	11,87
7	C*	22,60	31	352	11,85
	C**	21,34	45	382	12,07
14	C*	-	-	-	-
	C**	21,59	47	348	11,96
21	C*	22,13	34	330	11,61
	C**	21,93	45	383	11,53
28	C*	-	-	-	-
	C**	21,69	45	383	11,40
35	C*	21,59	33	347	11,81
	C**	21,91	46	348	11,90
42	C*	-	-	-	-
	C**	21,06	43	317	12,13

C\* – ziarno wilgotne ( nawilżone )

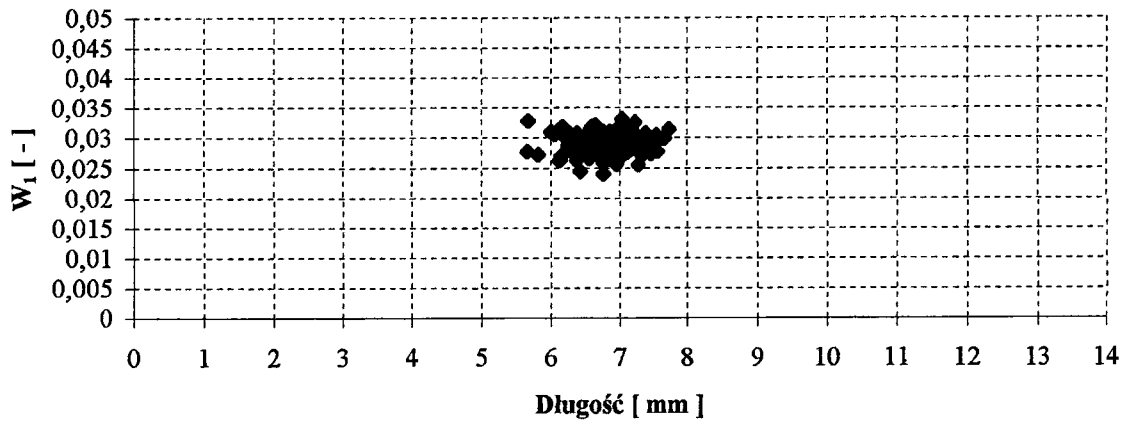
C\*\* – ziarno wilgotne ( bezpośrednio po zbiorze ).

Rys. 1. Cechy geometryczne ziarna pszenicy. Eksperyment C\*.

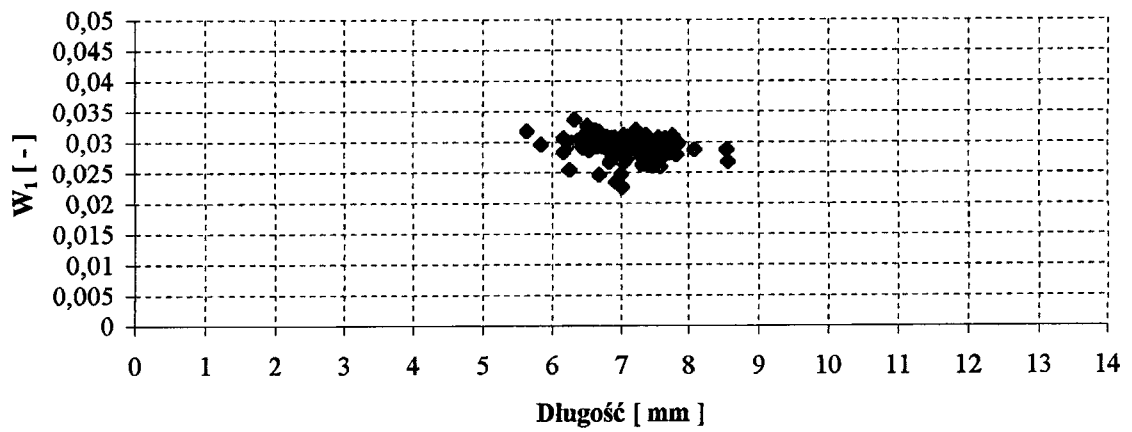
Próba sucha



Dzień 0.

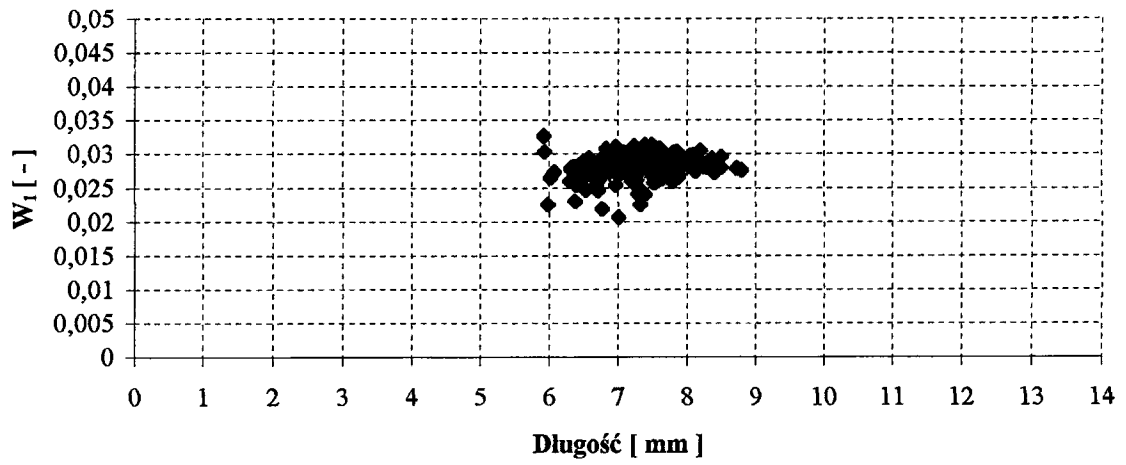


Dzień 35.

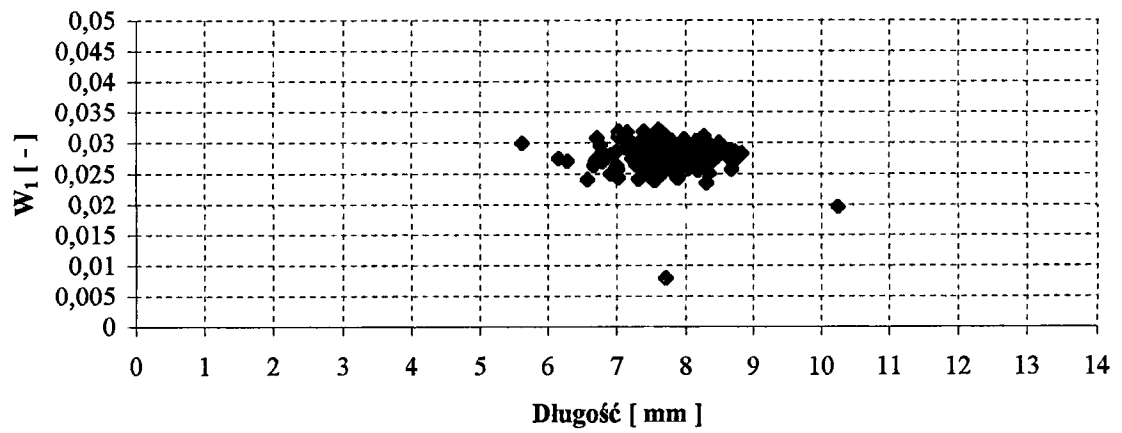


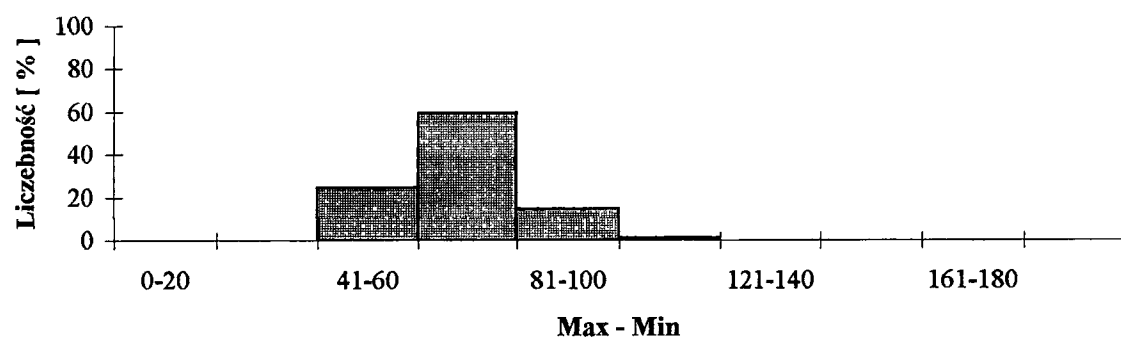
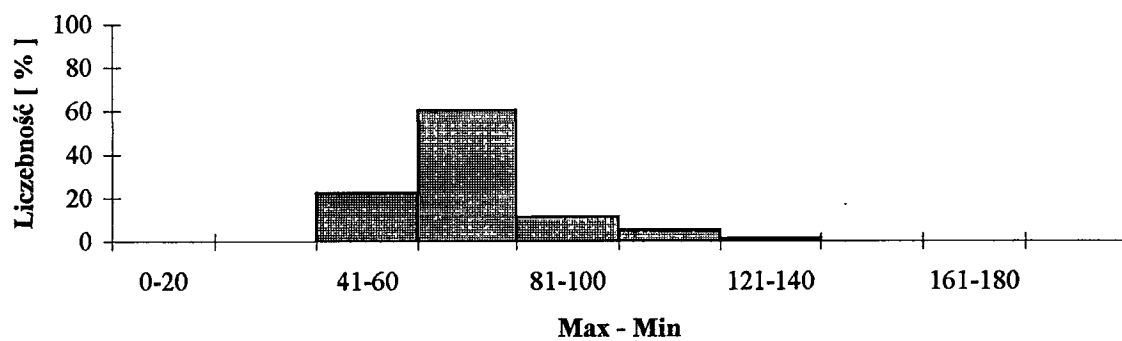
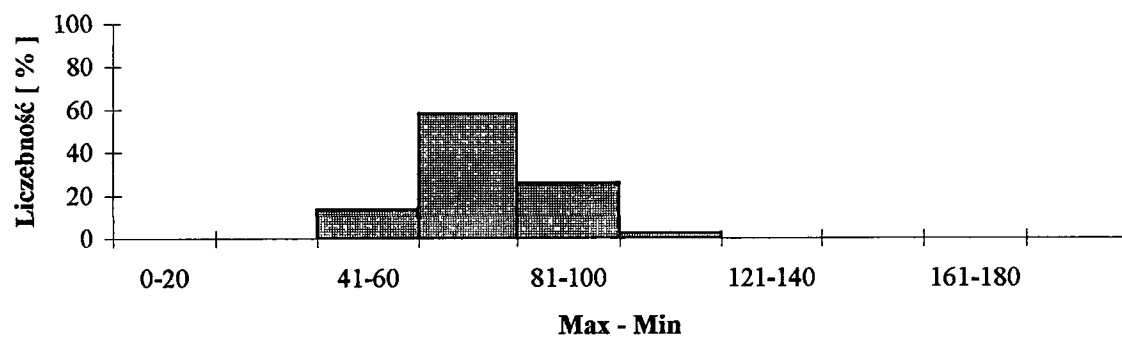
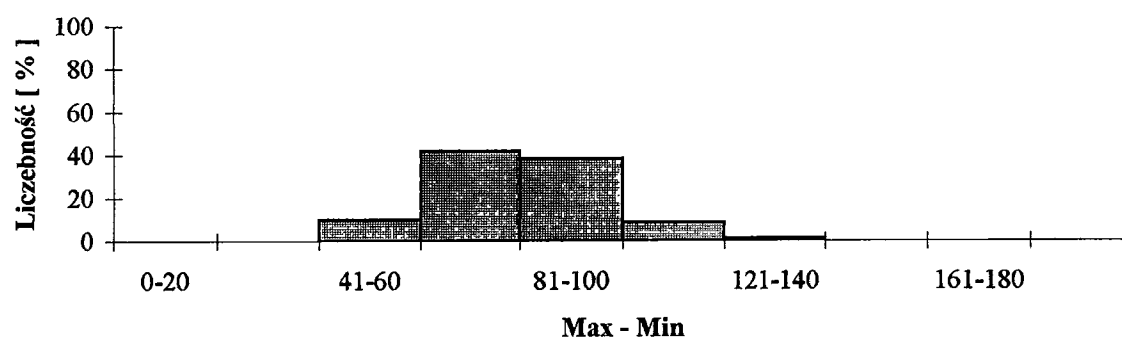
Rys.2. Cechy geometryczne ziarna pszenicy. Eksperyment C\*\*.

Dzień 0.



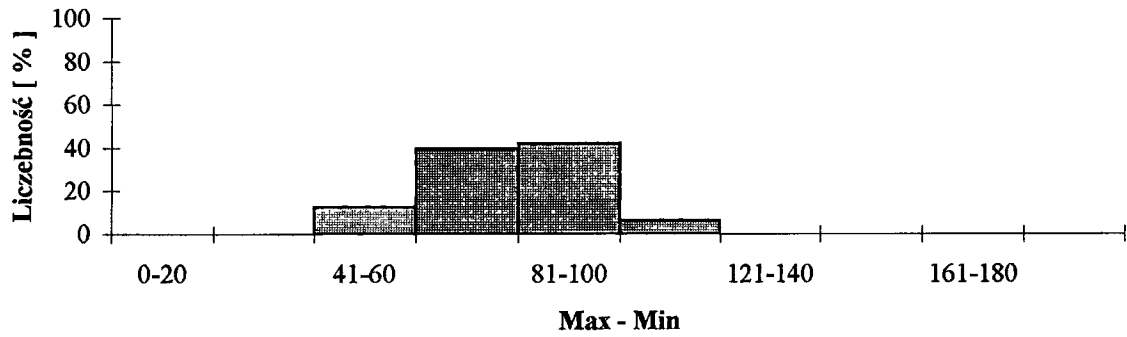
Dzień 56.



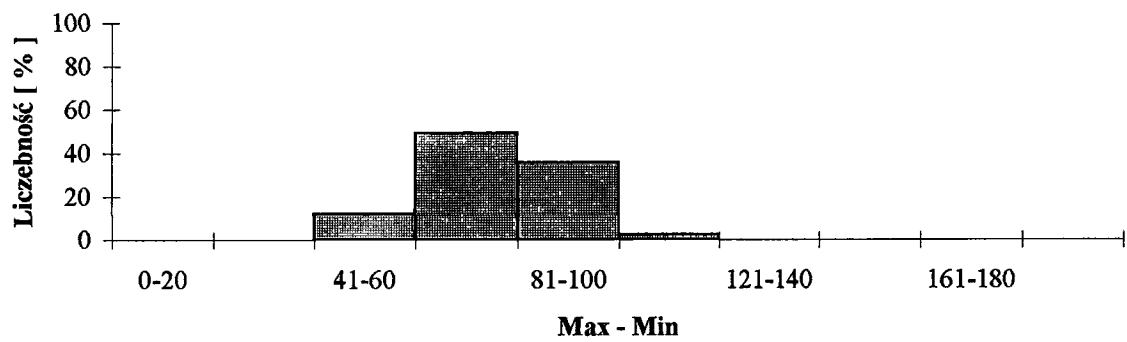
Próba suchaDzień 0.Dzień 21.Dzień 35.

Rys.4. Gęstość optyczna całkowitej powierzchni ziarna pszenicy. Eksperyment C\*\*.

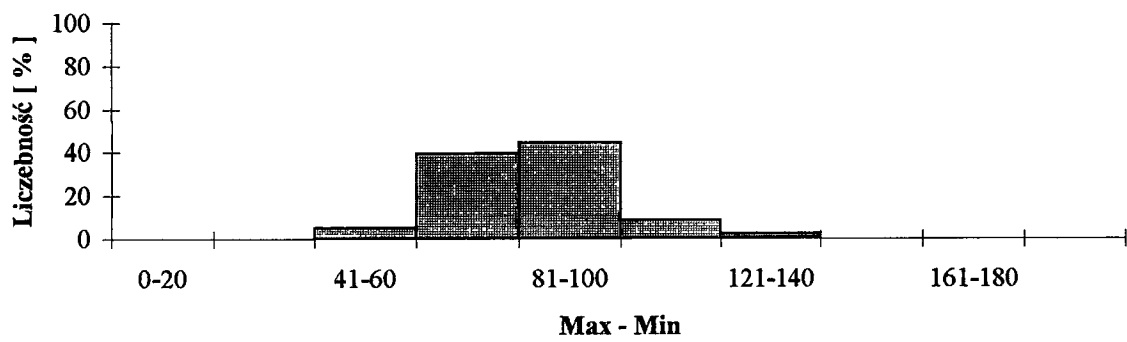
Dzień 0.



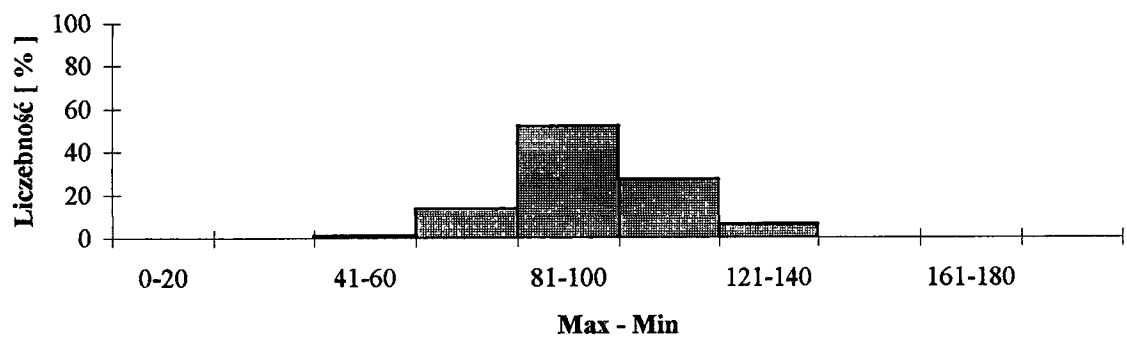
Dzień 14.



Dzień 35.



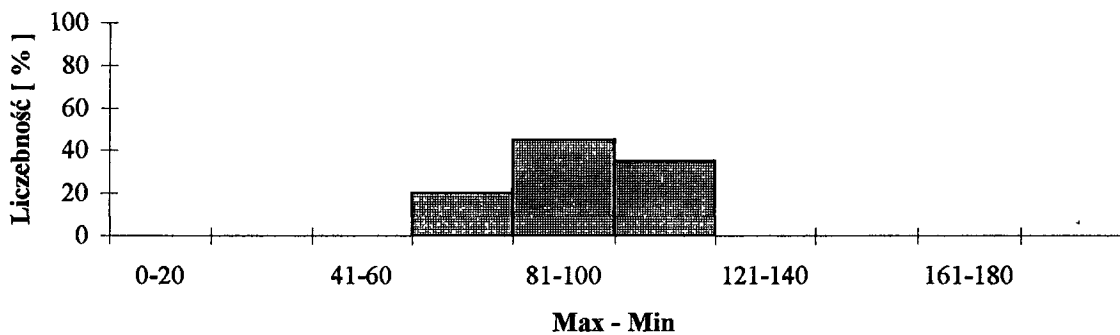
Dzień 56.



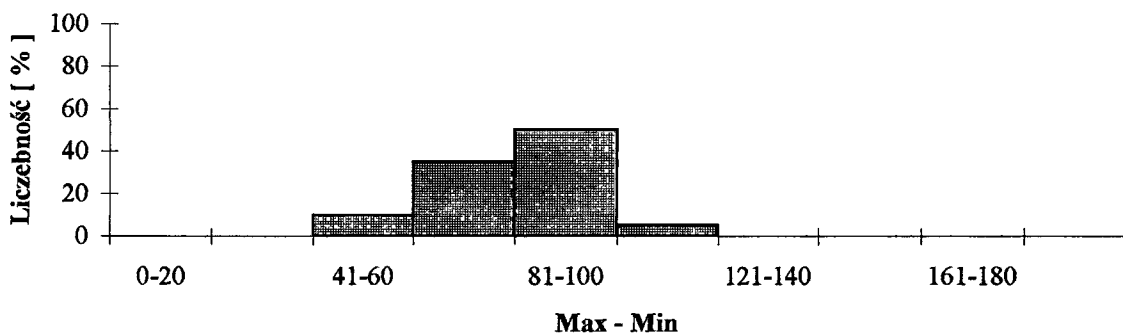
MM

Rys.5. Gęstość optyczna powierzchni przekroju poprzecznego ziarna pszenicy. Eksperyment C

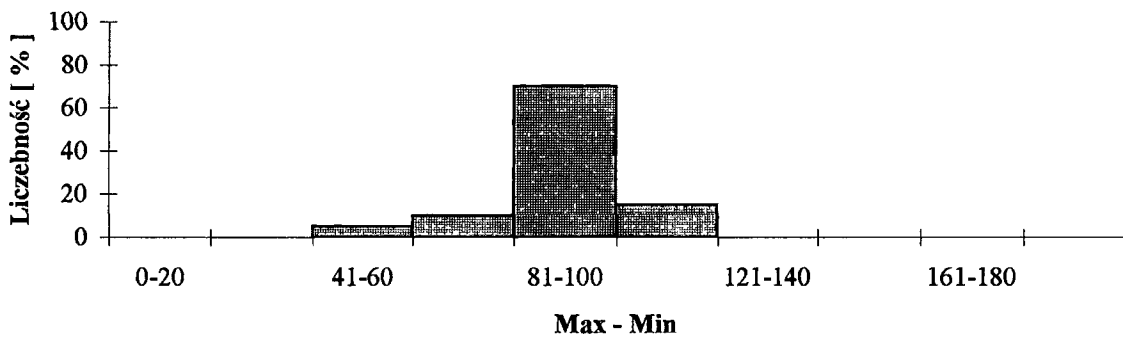
Próba sucha



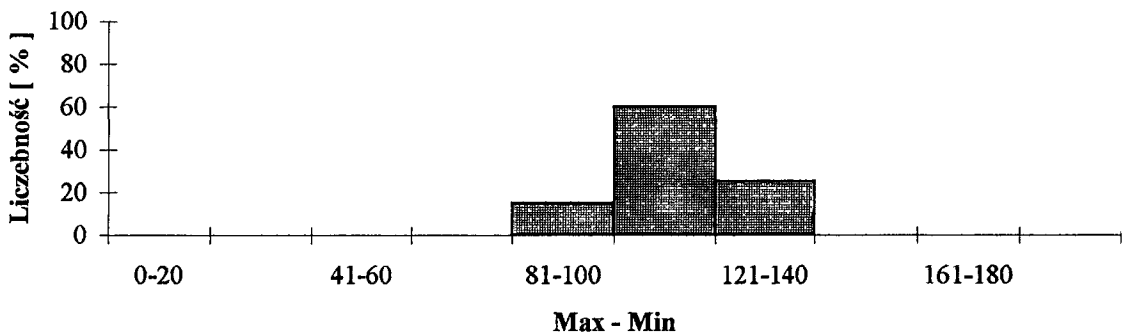
Dzień 0.



Dzień 21.



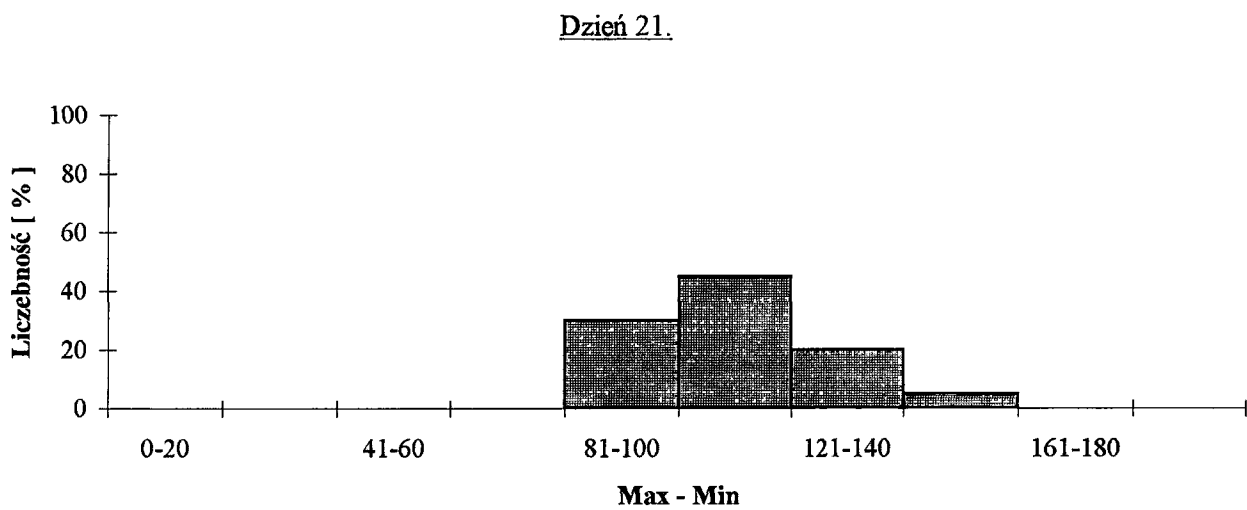
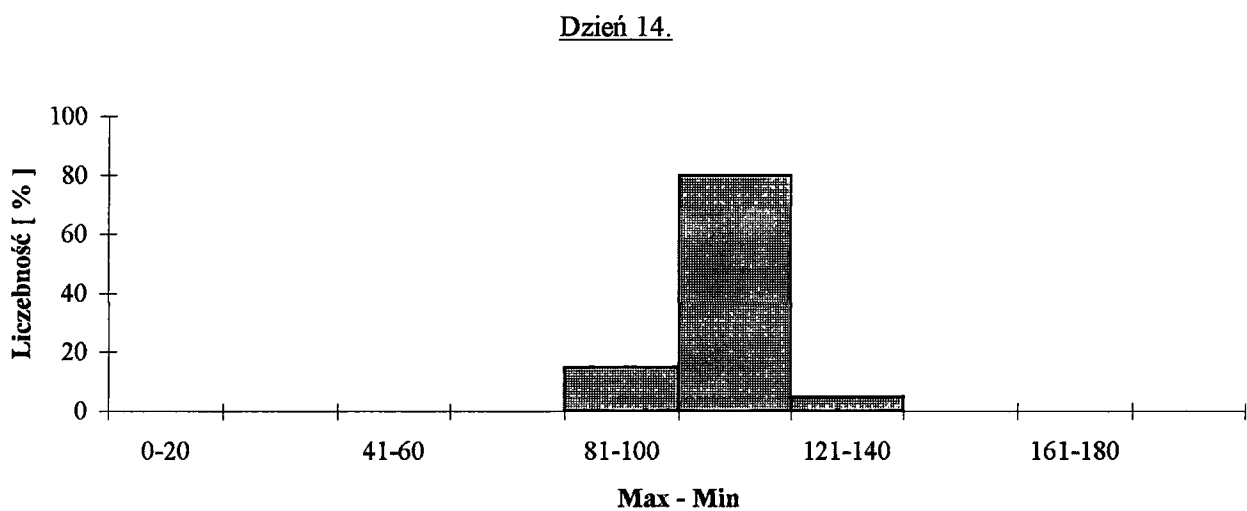
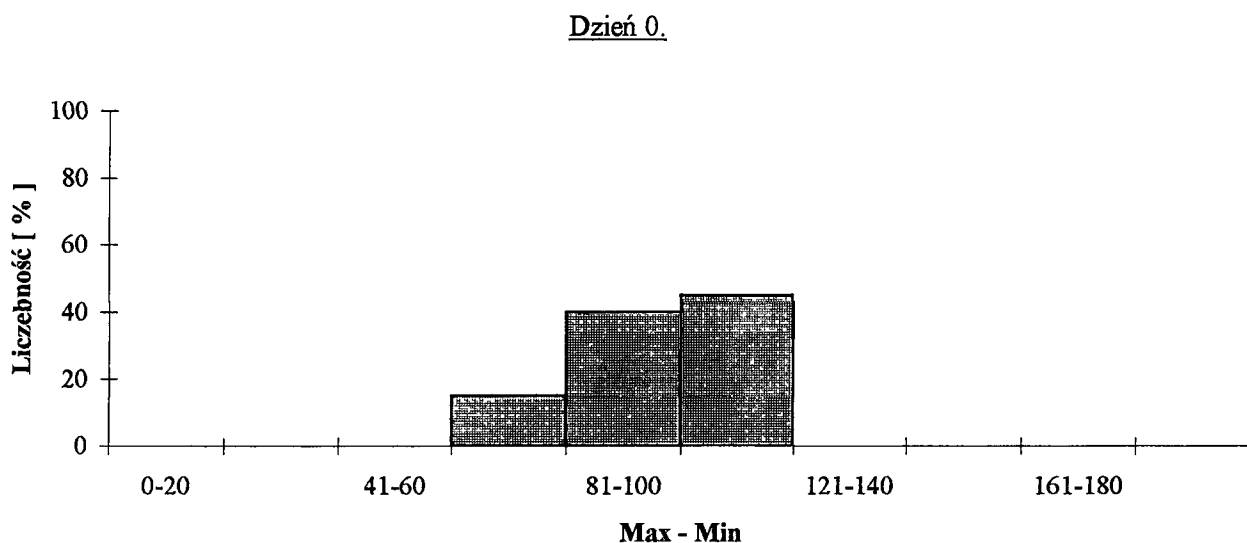
Dzień 35.



112



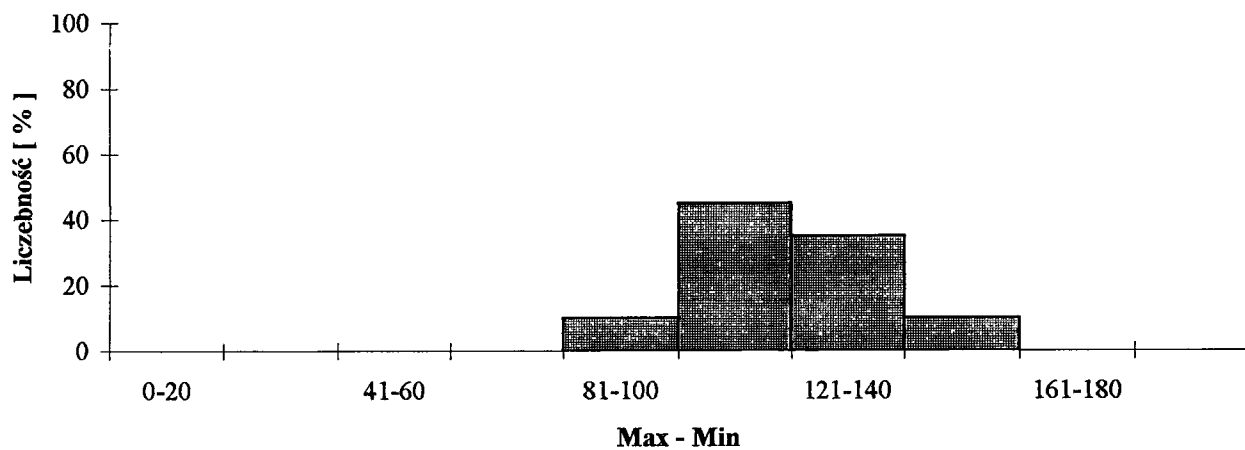
Rys.6. Gęstość optyczna powierzchni przekroju poprzecznego ziarna pszenicy. Eksperyment C\*\*.



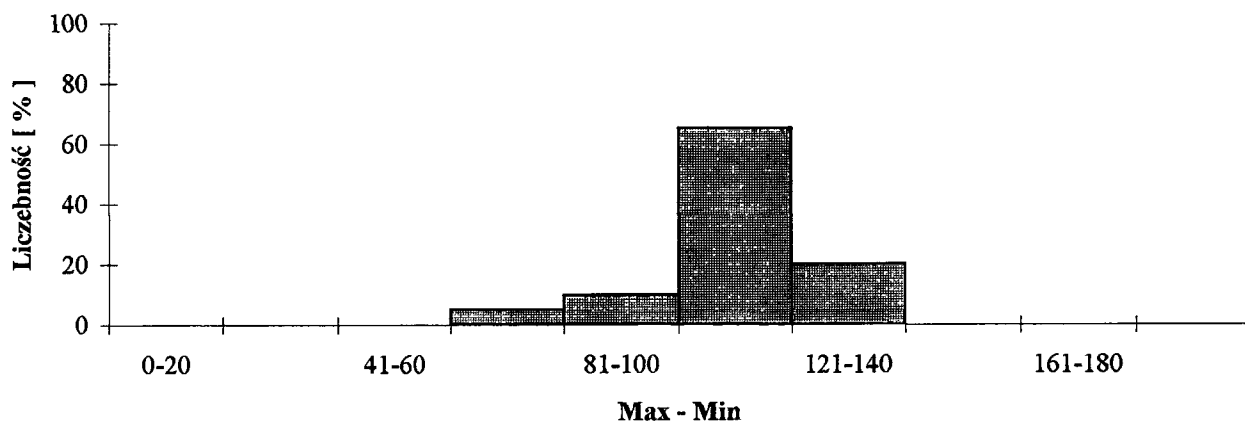
113

Rys.7. Gęstość optyczna powierzchni przekroju poprzecznego ziarna pszenicy. Eksperyment C\*\*.

Dzień 35.



Dzień 56.



9

AAH