

Instytut Agrofizyki  
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
w Lublinie

ACTA AGROPHYSICA

27

Grzegorz Szwed

**KSZTAŁTOWANIE FIZYCZNYCH  
I TECHNOLOGICZNYCH CECH NASION  
RZEPAKU W MODELOWANYCH  
WARUNKACH PRZECHOWYWANIA**

Monografia

Lublin 2000

### **Komitet redakcyjny**

Redaktor Naczelny - prof. dr hab. Jan Gliński, czł. koresp. PAN

Z-cy Redaktora Naczelnego:

prof. dr hab. Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN - fizyka środowiska

prof. dr hab. Bogusław Szot - fizyka materiałów roślinnych

prof. dr hab. Ryszard Dębicki - gleboznawstwo

Redaktor tomu - dr inż. Grzegorz Szwed

### **Opiniował do druku**

prof. dr hab. Józef Fornal

prof. dr hab. Jan Gieroba

### **Adres redakcji**

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN

ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27

tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: [fundacja@demeter.ipan.lublin.pl](mailto:fundacja@demeter.ipan.lublin.pl)

Publikacja indeksowana przez

Polish Scientific Journals Contents - Agric. & Biol. Sci.

w sieci Internet pod adresem <http://saturn.ci.uw.edu.pl/psjc/>

lub <http://ciuw.warman.net.pl/alf/psjc>

© Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2000

ISBN 83-87385-41-7

ISSN 1234-4125

Wydanie I. Nakład 150 egz. Ark. wyd. 8,7

Skład komputerowy: Wojciech Olech

Druk: Zakład Usług Poligraficznych TEKST s.c., ul. Wspólna 19, 20-344 Lublin

## SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ . . . . .	4
1. WSTĘP . . . . .	5
2. UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU I CEL PRACY . . . . .	9
3. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA . . . . .	12
3.1. Budowa anatomiczna i skład chemiczny nasion rzepaku . . . . .	12
3.2. Uwarunkowania klimatyczne i technologiczne zapewniające wysoką jakość nasion rzepaku . . . . .	13
3.3. Właściwości mechaniczne nasion rzepaku . . . . .	19
4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ . . . . .	25
4.1. Ogólna charakterystyka materiału . . . . .	25
4.2. Przygotowanie nasion do badań . . . . .	26
4.3. Warunki przechowywania . . . . .	27
4.4. Opis stanowisk przechowalniczych . . . . .	30
4.4.1. Aparatura kontrolno-pomiarowa . . . . .	35
4.5. Pomiar wartości cech jakościowych nasion rzepaku . . . . .	38
4.5.1. Pomiar cech fizycznych nasion . . . . .	38
4.5.2. Pomiar cech technologicznych . . . . .	41
4.6. Założenia do analizy wyników i rozważań teoretycznych . . . . .	42
5. WYNIKI BADAŃ . . . . .	44
5.1. Przebieg wilgotności i temperatury przechowywanych nasion rzepaku . . . . .	44
5.2. Analiza zmian cech jakościowych nasion rzepaku . . . . .	50
5.2.1. Wartości cech fizycznych . . . . .	64
5.2.1.1. Ilość nasion uszkodzonych podczas testów dynamicznych . . . . .	64
5.2.1.2. Ilość nasion uszkodzonych pod wpływem warunków przechowywania . . . . .	69
5.2.2. Zbrylanie nasion podczas przechowywania . . . . .	72
5.2.3. Wartości cech technologicznych . . . . .	76
5.2.3.1. Liczba kwasowa . . . . .	76
5.2.3.2. Liczba nadtlenkowa . . . . .	80
5.2.3.3. Zawartość chlorofilu . . . . .	83
6. MODEL OCENY STANU PRZECHOWYWANYCH NASION . . . . .	87
7. DYSKUSJA . . . . .	96
8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI . . . . .	104
9. PIŚMIENICTWO . . . . .	108
Summary . . . . .	115

## WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ

<i>ch</i>	– zawartość chlorofilu	[mg·kg <sup>-1</sup> ]
<i>cz</i>	– ciśnienie w komorze	[Pa]
<i>iz</i>	– ilość zanieczyszczeń	[%]
<i>LK</i>	– liczba kwasowa	[-]
<i>LN</i>	– liczba nadtlenkowa	[-]
<i>m</i>	– masa nasienia	[g]
<i>mi</i>	– ilość nasion uszkodzonych (mikrouszkodzenia)	[%]
MTN	– masa 1000 nasion	[g]
<i>P</i>	– siła oddziaływania	[N]
PVC	– polichlorek winylu	[-]
<i>r</i>	– współczynnik korelacji	[-]
<i>R</i> <sup>2</sup>	– współczynnik determinacji	[-]
<i>s.m.</i>	– sucha masa	[g]
<i>s.s.</i>	– sucha substancja	[g]
<i>S<sub>gr</sub></i>	– stan graniczny nasion	[-]
<i>S<sub>p</sub></i>	– stan początkowy nasion	[-]
<i>S<sub>zm</sub></i>	– zmierzona wartość stanu nasion	[-]
<i>t, t<sub>s</sub></i>	– temperatura przechowywanych nasion	[°C]
WKT	– wolne kwasy tłuszczowe	[-]
<i>w<sub>n</sub></i>	– wilgotność nasion	[%]
<i>ud</i>	– ilość nasion uszkodzonych w trakcie testów dynamicznych	[%]
<i>X</i>	– wskaźnik opisujący stan nasion	[-]
<i>λ</i>	– współczynnik intensywności zmian	[dzień <sup>-1</sup> ]
<i>σ</i>	– naprężenie ściskające	[Pa]
<i>τ</i>	– czas przechowywania	[dni]
<i>ω</i>	– prędkość kątowa	[min <sup>-1</sup> ]

## 1. WSTĘP

W gospodarce żywnościowej istotne znaczenie ma produkcja i przechowywanie ziarna zbóż i nasion roślin uprawnych. Wymagane jest zatem ciągle udoskonalanie techniki przechowywania w istniejących silosach i elewatorach, jak również przygotowanie założeń inżynierskich do projektowania nowych, bardziej efektywnych obiektów przechowalniczych.

Literatura przedmiotu dotycząca doboru warunków przechowywania nasion różnych gatunków roślin jest dość bogata, a jej monografię przedstawił Bass [2]. W opracowaniach wielu autorów rozważane są możliwości uogólnień dotyczących warunków przechowywania przez ujęcie we wzorach matematycznych przewidywanego okresu przechowywania tego materiału w zależności od zadanych warunków. Możliwość opracowania uogólnień dla poszczególnych gatunków musi być jednak oparta na wynikach wielostronnie przeprowadzonych eksperymentów [76, 77].

Już od dawna znane są ogólne zasady przechowywania nasion, a w ostatnim czasie na całym świecie coraz szerzej prowadzone są badania w tej dziedzinie. Można je sformułować bardzo prosto – sucho i chłodno. W licznych publikacjach [1, 17, 46, 86, 115, 122], dotyczących wyników poszczególnych doświadczeń podaje się, że determinującymi czynnikami w przechowywaniu nasion roślin uprawnych są: odpowiednio dobrany stan wilgotności nasion, warunki przechowywania oraz wyjściowa jakość materiału. Powstaje jednak pytanie – przy jakiej wilgotności i w jakiej temperaturze, można efektywnie przechowywać coraz większą masę nasion poszczególnych gatunków roślin [122, 123].

Różne ośrodki badawcze zajmujące się problematyką przechowalnictwa, dużo uwagi poświęcają określaniu wpływu stanu wilgotności nasion i wilgotności powietrza w magazynach, a więc czynników, które w naszych warunkach technicznego wyposażenia magazynów nasiennych można by stosunkowo najłatwiej regulować. Podkreśla się rolę wilgotności nasion przeznaczonych do przechowywania ich bez dostępu powietrza w warunkach naturalnie zmiennej i obniżonej temperatury, a także możliwość przechowywania nasion w atmosferze dwutlenku węgla [19, 58, 59, 67].

Intensyfikacja procesów produkcyjnych powoduje, że magazyny przechowalnicze nasion (silosy, elewatory) mają coraz większe wysokości, a więc i naprężenia między nasionami znajdującymi się w ich wnętrzu mogą osiągać wartości krytyczne – co ma istotne znaczenie dla procesu przechowalniczego.

Prezentowane przez wielu autorów metodyki badań dotyczące warunków przechowywania nasion nie uwzględniają tych zależności [13, 14, 17, 81, 123]. Dynamiczny rozwój badań nad właściwościami fizycznymi nasion roślin uprawnych [41, 51, 88, 89, 101] wykazał między innymi, że nasiona rzepaku znacznie różnią się swoimi właściwościami mechanicznymi od ziarna zbóż. Nasiona rzepaku, potocznie nazywa się nasionami „miękkimi” czyli podatnymi na oddziaływanie obciążeń pochodzących od sił zewnętrznych zależnych np. od wysokości warstwy nasion w silosie. Toteż doświadczenia przeniesione z magazynowania zbóż do magazynowania rzepaku są w niewielkim stopniu przydatne, a istniejące w dostępnej literaturze wiadomości teoretyczne i praktyczne przydatne dla personelu obsługującego magazyny są niewystarczające.

Magazynowanie wrażliwego surowca jakim jest rzepak odbywa się z większym ryzykiem niż magazynowanie zbóż. Jeśli na przykład wysokiej jakości zboże (np. jęczmień browarny) nie jest przechowywane należyście, to nastąpi jedynie zmniejszenie zysku, gdyż można je jeszcze przeznaczyć do celów paszowych. Natomiast w przypadku rzepaku szkody powstałe podczas magazynowania prowadzą do całkowitej straty surowca.

Według Grzesiuka i innych [39], różnice we właściwościach rzepaku i zbóż wynikają między innymi z budowy morfologicznej i ze zróżnicowanej zawartości poszczególnych składników nasion.

Udział węglowodanów w ziarnie zbóż wynosi około czterech piątych ziarniaka, podczas gdy w rzepaku wynosi tylko jedną piątą nasienia. Zawartość tłuszczu jest odwrotna: nasiona rzepaku składają się prawie w połowie z tłuszczu, podczas gdy w ziarnie zbóż zawartość tłuszczu wynosi tylko około 2%. Duże istotne różnice występują również we właściwościach fizycznych porównywanego materiału. Zawartość wody odpowiadająca wilgotności granicznej, rzepak osiąga już na poziomie połowy wilgotności granicznej zbóż. Różnica pomiędzy nasionami rzepaku a zbożem wynika również ze zdolności wiązania wody: podczas gdy jeden kilogram rzepaku może wchłonąć 147 g wody, to zdolność jej wchłonięcia przez ziarna zbóż jest mniej więcej dwukrotna [84].

Należy również zwrócić uwagę na porowatość i opór przepływu powietrza, gdyż te czynniki odgrywają ważną rolę w procesie magazynowania z uwagi na możliwość przemieszczania się gazów w przestrzeni międzyziarnowej [12]. W przypadku nasion rzepaku, parametry porowatości i opory przepływu mogą się zmieniać zależnie od naprężeń między nasionami (wysokość usypu nasion w magazynie) oraz temperatury i ich wilgotności [9, 104].

Skriegen podaje [85, 86], że w przypadku nasion rzepaku opór przepływu może być nawet pięciokrotnie większy od oporu jaki stawia warstwa pszenicy tej samej wysokości.

Odształcone i uszkodzone nasiona, a także zanieczyszczenia, mogą lokalnie tak znacznie zmniejszyć objętość wolnej przestrzeni w warstwie nasion, że staje się ona nieprzepuszczalna dla powietrza. Takie obszary nie mogą być przewietrzane, co sprzyja występowaniu lokalnych dużych gradientów temperatury i wilgotności w obrębie tych nasion. Taki stan warunków przechowywania nasion doprowadza do szybkiego rozwoju bakterii i grzybów.

Mikroorganizmy wywierają istotny wpływ na przebieg magazynowania nasion [3, 4, 105]. Nie ma bowiem nasion, które dostarczane z pola do magazynów nie byłyby porażone przez mikroorganizmy. Rodzaj i ilość tych mikroorganizmów jest zależny od klimatu, położenia geograficznego, terenu uprawy. Jest przy tym rzeczą interesującą, że w nasionach zebranych prosto z pola znajdują się gatunki właściwe dla danego terenu, natomiast po ich zmagazynowaniu ustala się inny skład mikroorganizmów. Jak wynika przy tym z literatury na całym świecie występują te same grzyby magazynowe [84].

Podczas gdy wirusy i bakterie mają w naszej strefie klimatycznej małe znaczenie dla procesów magazynowania, to drożdże i grzyby wywierają znaczny wpływ na jakość magazynowanego materiału w zależności od czasu przechowywania [9]. W przypadku rzepaku wzrost temperatury w warstwie usypowej przyspiesza utlenienie tłuszczów, a tym samym obniżenie jakości surowca [119]. Dlatego też temperaturę nasion rzepaku o wartości 25°C uważa się już za krytyczną, gdyż w tym momencie mogą wystąpić pierwsze objawy intensywnego utleniania tłuszczów, które obniżają jakość surowca. Wzrost temperatury nasion powoduje również przyspieszenie przemian biochemicznych i sprzyja wytworzeniu wilgoci i ciepła oraz szybkiego wzrostu wolnych kwasów tłuszczowych. Towarzyszy tym procesom aktywne rozmnażanie się mikroorganizmów, co prowadzi do szybkiego obniżenia wartości technologicznej nasion rzepaku. Zjawiskiem towarzyszącym opanowaniu nasion przez grzyby jest tworzenie się groźnych dla zdrowia mykotoksyn [39]. Mogą one zagrażać zdrowiu personelu w magazynie, a poprzez jakość produktu końcowego – zdrowiu ludzi i zwierząt. Bardziej podatne na rozwój grzybów są nasiona niedojrzałe. Przy świeżo zebranych z pola i naturalnie suszonym rzepaku należy uwzględnić fakt, że nawet mała ilość zebranych niedojrzałych nasion rzepaku sprzyja rozwojowi pleśni i związanym z tym zjawiskiem strat ilościowych w zainfekowanej partii nasion. Wiąże się to z nierównomiernością

dojrzewania rzepaku w łanie oraz wcześniejszym jego zbiorem (przed dojrzałością pełną w przypadku zbioru jednoetapowego, albo przed dojrzałością techniczną w przypadku zbioru dwuetapowego). Przy składowaniu rzepaku w silosach popełnia się również błędy polegające na tym, że przechowuje się rzepak w magazynach zbożowych w tak wysokich warstwach jak zboże. W przypadku nasion rzepaku, posiadających gorsze właściwości mechaniczne, prowadzi to do ich odkształceń (wartość naprężeń między nasionami zależna od wysokości usypu) i powstawania groźnego zjawiska „zlegiwania” masy nasiennej, a tym samym utraty porowatości, obniżenie przewodności cieplnej, co w konsekwencji prowadzi do samozagrzewania się nasion. Jak podaje Bulsiewicz [9] zjawisku temu sprzyja niewątpliwie wysoka wilgotność, temperatura oraz czas przechowywania nasion. Zjawisko to, w przypadku nasion rzepaku nie jest wystarczająco opisane w dostępnej literaturze. Znane są natomiast w praktyce przypadki „zawieszania” się pewnej warstwy przechowywanego rzepaku w silosie, a jego dalsze opróżnienie normalnym sposobem z komory silosu jest niemożliwe. Dochodzi w tym przypadku do konieczności rozbijania zbrylonych nasion i usuwania ich za pomocą dźwigu przez otwór zasypowy lub stosując nawet niewielkie ładunki wybuchowe [9].



## 2. UZASADNIENIE PODJĘCIA TEMATU I CEL PRACY

Nasiona rzepaku przechowywane w silosach i innych pomieszczeniach magazynowych są w dalszym ciągu organizmami żywymi i tworzą pewien system otwarty, reagujący na otoczenie przez co i otoczenie i nasiona ulegają zmianom pod wpływem wzajemnego – dynamicznego oddziaływania. Analiza przebiegów poszczególnych procesów pozwala na systemowe modelowanie i ujmowanie ilościowe pewnych zależności ogólnych. W nasionach, od momentu zbioru poprzez obróbkę pozbiorową i przechowywanie następuje intensyfikacja lub spowolnienie w nich procesów starzenia biologicznego i fizycznego. Na skutek tych procesów w dłuższym okresie przechowywania następuje obniżanie jakości technologicznej nasion. Jakość tę możemy odnieść do zmian chemicznych zawartego w nich oleju – jako czynnika oceny bezpośredniej nasion oraz do zmian właściwości mechanicznych nasion – czynnika pośrednio wpływającego na spadek jakości. Jak potwierdzają wyniki badań przedstawione przez wielu autorów, intensywność procesów starzenia się nasion (prędkość zachodzących w nich zmian odniesiona do czasu ich przechowywania) uzależniona jest od stanu początkowego nasion (dojrzałość, odmiana, ilość zanieczyszczeń itp.) oraz warunków ich przechowywania (temperatura, wilgotność, obciążenia nasion).

Zmiana parametrów opisujących jakość przechowywanych w silosach nasion rzepaku nie może być uchwycona w naturalnych warunkach przechowywania, tzn. w silosach i elewatorach przemysłowych, ze względów organizacyjnych i możliwości technicznych.

Podjęte badania mają na celu opracowanie rozwiązań metodycznych, które poprzez realizację doświadczeń na specjalnych stanowiskach modelowych umożliwiają symulowanie warunków przechowywania nasion w silosach i ocenę zmian ich cech w sposób ciągły lub dyskretny.

Głównym celem badań było określenie wpływu modelowych warunków przechowywania na wartość technologiczną nasion określaną wielkością podstawowych wyróżników oleju oraz ich jakość fizyczną mierzoną podatnością na uszkodzenia pod wpływem obciążeń zewnętrznych (dynamicznych i statycznych).

Cel główny realizowano poprzez następujące cele cząstkowe:

– określenie zmian właściwości mechanicznych nasion powodowanych warunkami przechowywania;

- określenie zmian podstawowych wyróżników oleju (chlorofil, *LK*, *LN*) powodowanych warunkami przechowywania nasion rzepaku;
- określenie wpływu parametrów opisujących stan wyjściowy nasion (odmiana, dojrzałość, ilość zanieczyszczeń, wilgotność) na zmiany ich cech jakościowych zachodzących podczas procesu przechowywania;
- określenie głównych przyczyn powodujących zbrylanie się nasion rzepaku podczas ich przechowywania;
- określenie wpływu odmian i dojrzałości na przebieg zmian fizycznych i technologicznych przechowywanych nasion;
- wyznaczenie charakterystyk cech fizycznych i technologicznych przechowywanych nasion będących podstawą do utworzenia teoretycznego modelu pozwalającego prognozować jakość przechowywanych nasion.

W realizacji celów cząstkowych przyjęto następujący zakres prac o charakterze technicznym:

- projekt i wykonanie pięciu stanowisk z możliwością symulowania w nich ciśnienia w zakresie 0–400 kPa;
- oprzyrządowanie trzech stanowisk w instalację ocieplającą wraz z izolacją termiczną, umożliwiając utrzymanie stabilnej, żądanej, temperatury w ich wnętrzu w zakresie od 20°C do 40°C;
- oprzyrządowanie jednego stanowiska w instalację schładzającą z możliwością obniżenia i utrzymania temperatury w jej wnętrzu do 0°C;
- projekt i wykonanie aparatury kontrolno-pomiarowej pozwalającej na monitorowanie temperatury i wilgotności atmosfery otaczającej przechowywane nasiona rzepaku;
- wykonanie odpowiednich głowic niezbędnych do przechowywania i monitorowania pojedynczych próbek nasion;
- połączenie stanowisk badawczych z odpowiednio oprogramowanym komputerem w celu monitorowania zmian zachodzących w badanych próbkach nasion.

Realizacja przyjętego celu wymagała sprawdzenia następujących hipotez roboczych:

1. Nasiona różnych odmian rzepaku w zróżnicowany sposób reagują na analogiczne warunki przechowywania.
2. Stan wyjściowy nasion (dojrzałość, ilość zanieczyszczeń) ma wpływ na dynamikę zmian cech jakościowych przechowywanych nasion.
3. Warunki przechowywania mają wpływ na właściwości mechaniczne nasion, poprzez:
  - zwiększenie ilości uszkodzeń podczas testów dynamicznych;

– zwiększenie ilości uszkodzeń nasion wywołanych warunkami przechowywania;

– zmiany nasion odkształconych w okresie przechowywania.

4. Wartości mierzonych doświadczalnie parametrów nasion w określonych warunkach przechowywania ujęte w formie modelu matematycznego mogą być podstawą do przewidywania zachowania się nasion w czasie przechowywania i prognozowania maksymalnego okresu ich przechowywania.

Analiza zmian cech jakościowych nasion rzepaku, wywołanych warunkami przechowywania, stanowi podstawę do opracowania modelu zachowania się nasion w silosach i elewatorach przemysłowych. Pozwoli to na zoptymalizowanie procesu magazynowania nasion rzepaku wpływając na podwyższenie jakości produktów finalnych.

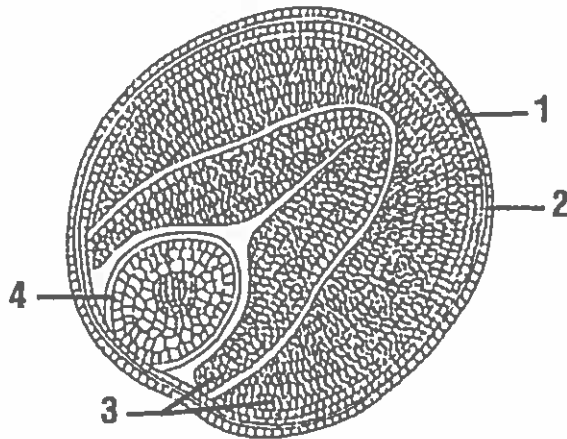
### 3. PRZEGLĄD PIŚMIENICTWA

#### 3.1. Budowa anatomiczna i skład chemiczny nasion rzepaku

Nasiona rzepaku mają kształt elipsoidalnie kulisty o średnicy 1,5–3 mm, barwy brunatno-czarnej do czarnej. Schemat budowy anatomicznej nasienia rzepaku przedstawiono na Rys. 1. Na przekroju poprzecznym wyraźnie widoczna jest zewnętrzna okrywa nasienna, rzeźbiona, nazwana potocznie łupiną. Pod nią znajdują się resztki jednowarstwowego bielma, wypełnionego ziarnami aleuronowymi. Wnętrze nasienia wypełnia duży zarodek o dwóch nierównomiernych liścieniach, z których zewnętrzny prawie całkowicie obejmuje wewnętrzny. Zakrzywiona oś środkowa składająca się z korzenia zarodkowego i hipokotylu, nieznacznie uwypukła się na zewnątrz i nie wpływa zasadniczo na kulisty kształt nasienia. Olej zgromadzony jest głównie w komórkach parenchymy liścieni w formie kropli wypełniających komórki [39].

Składniki chemiczne nie są równomiernie rozdzielone pomiędzy poszczególne części nasienia. Pomiędzy łupiną a zarodkiem istnieją znaczne różnice, łupina ma dużo więcej błonnika a mniej białka i tłuszczu. Badania wskazują na wysoki udział masy łupiny (14–15% masy nasienia), który jest wynikiem małych rozmiarów nasion. Odmienna budowa i skład chemiczny łupiny zabezpiecza zarodek przed drobnoustrojami oraz uszkodzeniem.

Zawartość białka i tłuszczu jest na ogół wyższa w nasionach rzepaku



Rys. 1. Budowa nasienia rzepaku [39]

1 – łupina, 2 – warstwa bielma, 3 – liścienie, 4 – korzonek zarodkowy.

Fig. 1. Structure of the rape seed [39]

1 – seed layer, 2 – endosperm layer, 3 – leaflets, 4 – embryo root.

ozimego niż jarego, chociaż odmiany „bezerukowe” nie różnią się zwykle poziomem tych składników. W przypadku zwiększonej ich zawartości, maleje ilość błonnika. Więcej substancji wyciągowych jest w formach jarych, natomiast zawartość popiołu utrzymuje się na tym samym poziomie 7,0 do 8,4% s.m. odłuszczonej we wszystkich odmianach i formach [70].

W zależności od warunków klimatycznych i przyzwyczajenia producentów w poszczególnych regionach kraju uprawiany jest rzepak jary względnie ozimy. O ile zagadnienie plonu i uprawy jest ważne dla producenta, o tyle skład chemiczny odgrywa zasadniczą rolę w technologii przemysłowego przetwarzania rzepaku. Różnice dotyczą przede wszystkim składu kwasów tłuszczowych oleju i zawartości glukozyolanów. Rzekpak jest bowiem wykorzystywany w przetwórstwie spożywczym, chemicznym i paszowym. Do celów spożywczych wymagana jest najniższa zawartość kwasu erukowego, do chemicznych – jak najwyższa.

Wymagania jakościowe nasion rzepaku podwójnie ulepszanego, przeznaczonego do przetwórstwa na cele spożywcze i paszowe, reguluje obecnie norma PN-90 R-66151. Wymagania tej normy są następujące:

- liczba kwasowa tłuszczu – do 3 LK;
- zawartość kwasu erukowego w tłuszczu – do 2%;
- zawartość glukozyolanów alkenowych w suchej masie beztłuszczowej – do 25  $\mu\text{M/g}$ ;
- zawartość zanieczyszczeń użytecznych – do 4%;
- zawartość zanieczyszczeń nieużytecznych – do 1%.

### **3.2. Uwarunkowania klimatyczne i technologiczne zapewniające wysoką jakość nasion rzepaku**

Okres sprzętu rzepaku jest znacznie ograniczony warunkami klimatycznymi. Przyspieszenie powoduje obniżenie plonu nasion i zawartości otrzymanego z nich oleju. Opóźnienie powoduje straty przez osypywanie.

Zbiór rzepaku można wykonywać w sposób jedno- i dwuetapowy. W zbiorze dwuetapowym koszenie roślin na pokosy rozpoczyna się, gdy łan rzepaku przybiera barwę zielono-żółtą, a nasiona w łuszczynach mają wilgotność w granicach 25–35%. Na nasionach z bocznych rozgałęzień pojawiają się brunatniejące przebarwienia, a rozcierane na dłoni nie rozpadają się na połowy. Nasiona zebrane w tej fazie są już dobrze wypełnione, czarno-brunatne lub czarne z odcieniem niebieskim.

Do zbioru bezpośredniego (jednoetapowego) kombajnem przystępuje się, gdy nasiona osiągnęły dojrzałość pełną. Na pędzie głównym nasiona mają

wilgotność około 15%, są czarne z połyskiem, a na pozostałych rozgałęzieniach w 90–95% całkowicie wybarwione. Posiadają twardą okrywę i łatwo się osypują wskutek pęknięcia łuszczyń. Technologicznym wskaźnikiem dojrzałości nasion rzepaku jest zawartość w nich chlorofilu poniżej 25 mg/kg nasion, natomiast praktycznym wskaźnikiem optymalnego terminu zbioru jest stopień ich zbrunatnienia i wilgotność [117].

Desykacja (np. preparatem Reglone) przyspiesza sprzęt o 7–10 dni i obniża wilgotność o 3–9%, ale ma niekorzystny wpływ na pęknięcie łuszczyń. Krajowe badania nad zastosowaniem desykantów Reglone i Sandovit wykazały, że w przypadku użycia mieszaniny obu tych preparatów zawartość tłuszczu w nasionach zwiększyła się o 3,0–5,2%, natomiast nie wywierają one wpływu na skład kwasowy [70]. Badania prowadzone w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie [106, 107] wykazały, że stosowanie preparatu Reglone wywoływało nieznaczny spadek zawartości tłuszczu w nasionach, jak również pogorszenie się badanych wyróżników oleju (*LK*, *LN*, zawartość chlorofilu). Zbyt wczesne zastosowanie desykacji powoduje obniżenie plonu i zawartości oleju, przy tym wzrost ilości chlorofilu w oleju powiększa straty rafinacyjne. Zawartość chlorofilu jest tak charakterystyczna, że np. we Francji i Szwecji stosuje się jego oznaczenie do ścisłego określenia momentu optymalnej dojrzałości, istotnego przy sprzęcie jednoetapowym [107].

Wyniki badań nad jakością nasion w zależności od sposobu zbioru są w wielu pracach rozbieżne, co prowadzi do zróżnicowanych wniosków. Panuje jednak całkowita zgodność, że terminy zbioru mają znaczny wpływ nie tylko na wielkość plonu, lecz również na jakość nasion, a więc i wytwarzanego z nich oleju. Mechaniczny zbiór uszkadza część nasion, są one wówczas ciemniejsze, a olej trudniej się odbarwia. Poza tym szybciej przebiega samoutlenianie (m.in. wzrost zawartości WKT), co w sumie obniża jakość białka i tłuszczu, a tym samym wzrost strat rafinacyjnych [24, 26, 27, 70].

Przeprowadzone w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie w latach 1988–1992 badania na 5 odmianach rzepaku potwierdziły wpływ zbioru jedno- i dwuetapowego na ostateczną jakość technologiczną nasion. Poszczególne odmiany, jak i lata oraz terminy zbioru wpływały różnicująco na badany skład chemiczny zebranych nasion [107].

Terminy zbioru miały znaczny wpływ zarówno na zawartość tłuszczu w nasionach jak i na wartości *LK*, *LN*, a szczególnie na zawartość chlorofilu. Nasiona wcześniej zbierane charakteryzują się zawsze podwyższoną zawartością chlorofilu.

Daun [15], na podstawie wieloletnich badań stwierdził, że zawartość chlorofilu w nasionach rzepaku zależy głównie od odmiany i roku uprawy. Uzyskane nasiona o zawartości chlorofilu poniżej 24 mg/kg ocenił jako surowiec dobrej jakości. Bratkowska i Niewiadomski [7, 69] zajmowali się rozkładem chlorofilu w oleju o różnej zawartości WKT. Autorzy sugerują jednak, że celowym byłoby określenie zawartości chlorofilu w końcowym stadium dojrzewania nasion, aby wykazać, czy zawartość tego składnika jest cechą odmianową, czy wynika z nierównomiernego dojrzewania nasion, bądź niewłaściwego terminu ich sprzętu.

W czasie 6-miesięcznego przechowywania nasion rzepaku w workach, tłuszcz pochodzący z nasion ze zbioru bardzo wczesnego i wczesnego, charakteryzuje się już wyraźnie większą liczbą kwasową, a szczególnie nadtlenkową. Różnica pomiędzy skrajnymi stopniami dojrzałości w *LN* dochodzi do 15 jednostek [107]. Podobną tendencję można zauważyć w przypadku zbyt wczesnego koszenia roślin na pokosy lub zbyt wczesnego ich młócenia podczas zbioru dwuetapowego.

Niewiadomski [70] za Zemanem i Holovlaskym porównuje wpływ sposobu zbioru na jakość nasion i skład kwasowy oleju. Uzyskane wyniki prowadzą do niejednoznacznych wniosków. Pod niektórymi względami lepszy jest zbiór jednoetapowy przeprowadzony kombajnem, ale niekiedy dobre wyniki przynosi zbiór wykonany metodą dwuetapową. Różnice mogą wynikać również z niewłaściwie dobieranych dni zbioru. Wyniki wskazują jednak, że zawartość oleju jest większa w nasionach zbieranych jednoetapowo, przy mniejszej ilości WKT. Celowe jest więc dokładne określenie terminu i sposobu zbioru z uwzględnieniem wyników ekonomicznych rolnictwa i przemysłu olejarskiego [10].

Zagadnieniu zanieczyszczeń nasion rzepaku poświęca się dużo uwagi, ponieważ mają one szczególnie negatywny wpływ na technologię pozyskiwania oleju oraz jego jakość. Występujące w rzepaku nasiona chwastów zawierają duże ilości chlorofilu, co utrudnia rafinację, a niektóre z nich – zawierają również substancje trujące, niedopuszczalne w paszy. Mają one również najczęściej wyższą wilgotność od nasion rzepaku i mogą stanowić ogniska samozagrzewania w przypadku wystąpienia samosortowania nasion [70]. Czyszczenie nasion rzepaku jest bardziej utrudnione niż w przypadku zbóż ze względu na ich małe wymiary. Zanieczyszczenia mogą miejscami tak znacznie zmniejszyć objętość wolnej przestrzeni w silosie, że staje się ona miejscami nieprzepuszczalna dla powietrza. Pył i domieszki wzmagają rów-

niez procesy biochemiczne i przyspieszają zmiany w tłuszczu składowanych nasion rzepaku [84].

Innym groźnym zanieczyszczeniem bardzo trudnym do usunięcia są fragmenty grzyba *Sclerotinia sclerotiorum* [105]. Grzyb ten atakuje łodygi i liście szczególnie przy zbyt intensywnej uprawie i niekorzystnych warunkach pogodowych. Oczyszczanie nasion ma więc na celu nie tylko usuwanie grubych zanieczyszczeń, ale również drobnych nasion chwastów, które obniżają jakość oleju.

Suszenie nasion powoduje znaczną zmianę ich mechanicznej odporności, a transport po suszeniu może spowodować do 50% ogólnej ilości uszkodzeń występujących w procesie zbioru i obróbki pozbiorowej [90]. Uszkodzalność nasion nabiera istotnego znaczenia w kontekście badań Franzkego i wsp. [28], którzy wykazali, że przechowywanie nasion o znacznej ilości uszkodzeń obniża wydajność procesu ekstrakcji i znacznie pogarsza jakość oleju mierzoną wartościami liczb kwasowej i nadtlenkowej. Jak przedstawiają w swoich badaniach Fornal i in. [25], podczas suszenia obserwuje się silniejszy skurcz liścieni niż łupiny (wynikający głównie z odmiennej zawartości wody w tych częściach nasienia) co powoduje powstanie pomiędzy nimi wolnej przestrzeni wypełnionej powietrzem. Obserwuje się denaturacyjną zmianę struktur białkowych pod wpływem jednoczesnego oddziaływania ciepła i wody. Ich skutkiem jest kurczenie się treści komórki i powstawanie wolnych przestrzeni, które przed odwodnieniem nasienia wypełnione były tłuszczem. Kropelki tłuszczu na skutek działania temperatury tracą fosfoproteinowe otoczki i zlewają się w większe skupiska. Zjawiskom tym towarzyszą (zależnie od temperatury oddziaływującej i wilgotności wstępnej nasion) rozpad małych kulistych ciał białkowych i powstawanie w ich miejsce włóknistych form częściowo połączonych ze ścianami komórkowymi. Tak więc w przesuszonych nasionach o wysokiej wilgotności początkowej obserwuje się tworzenie struktur włókniasto-granularnych [25].

Prezentowane przez różnych autorów badania wykazują, że również temperatura suszenia w istotny sposób wpływa na jakość technologiczną nasion rzepaku i otrzymywanego z nich oleju [25, 68, 70, 73, 78]. Wartości *LK* przekraczały granice dopuszczalne dla oleju surowego w przypadku nasion wilgotnych, suszonych w temperaturze wyższej od 140°C. Liczby nadtlenkowe *LN* dla oleju wyekstrahowanego ze wszystkich przesuszonych nasion były wyższe (w porównaniu z nasionami niesuszonymi), a gwałtowny, przekraczający dopuszczalne granice wzrost tej wartości zaobserwowano w przypadku nasion suszonych w temperaturze powyżej 140°C, co autorzy tłumaczą, m.in.



wysoką początkową zawartością wody w nasionach. Suszenie powietrzem o temperaturze 75°C nie wpływa na żywotność nasion, jeżeli ich wilgotność początkowa nie przekracza 11,5%.

Porównanie różnych metod suszenia pod względem ich wpływu na jakość nasion wykazało [11, 70], że najkorzystniejsze jest stosowanie chłodnego powietrza. Nie wpływa ono na podwyższenie *LK*, która poza tym pozostaje niezmienną w czasie późniejszego składowania. Inne metody, jak przewietrzanie i międzykomorowe przesypywanie pogarszają jakość nasion. Przewietrzanie powoduje wyraźny wzrost zawartości WKT i spadek zdolności kiełkowania, choć jednocześnie obniża się zawartość chlorofilu. Przesypywanie działa podobnie.

Podczas maszynowego zbioru i obróbki pozbiorowej rzepaku możliwe jest uszkodzenie nasion. Ich stopień, w związku z intensyfikacją poziomu mechanizacji, osiągnął w ostatnich latach znaczne wartości [31, 32, 92, 93, 95]. Ocenia się, że uszkodzenia nasion rzepaku w procesie oddziaływań mechanicznych, mogą sięgać nawet 20%. Jest to wynikiem nakładania się ujemnych efektów oddziaływania na nasienie obciążeń mechanicznych, pochodzących od elementów roboczych maszyn w całym ciągu technologicznym zbioru, transportu, suszenia i przechowywania.

Złagodzenie ujemnych efektów wywołanych uszkodzeniami mechanicznymi możliwe jest na drodze zabiegów hodowlanych, agrotechnicznych i technicznych. Pierwsze z nich wiążą się z problemem wyhodowania odmian rzepaku o takich właściwościach mechanicznych nasion, które gwarantowałyby ich wysoką odporność na oddziaływania mechanicznych obciążeń zewnętrznych. Natomiast zabiegi agrotechniczne odnoszą się przede wszystkim do wyboru odpowiedniego terminu i sposobu zbioru nasion, rzadziej do siewu i uprawy. Decydujące jednak znaczenie miały i mają dotychczas wszelkie poczynania techniczne w kierunku wyboru odpowiednich technik zbioru i obróbki pozbiorowej oraz parametrów regulacyjnych i konstrukcyjnych maszyn, uwzględniających podatność nasion na uszkodzenia mechaniczne uzależnione od wilgotności zbieranych nasion, odmiany, czasu i warunków przechowywania itp. [20, 87, 91, 93, 94].

Spoczynek nasion może być względny (płytki i nietrwwały), czyli wymuszony warunkami zewnętrznymi (np. niską temperaturą, małą zawartością wody lub tlenu, itp.) lub bezwzględny. Dla przechowalnictwa znacznie cenniejszy jest spoczynek bezwzględny (głęboki, polegający na spowolnieniu całego metabolizmu ich organów i tkanek). Mechanizm tego spoczynku polega przede wszystkim na inhibicji tj. zatrzymaniu wzrostu tkanek twórczych przez

bezpośrednie lub pośrednie działanie inhibitorów wzrostu, jak: kwas abscy-synowy, etylen, niektóre związki fenolowe, glikozydy cyjanowodorowe, itp. Inhibitory wzrostu roślin mogą wywołać regresję informacji genetycznej, inaktywować liczne enzymy lub neutralizować stymulatory wzrostu. W efekcie takich działań tkanki twórcze nasion wprowadzone zostają w stan uspienia, co zmniejsza poziom ich przemiany materii i umożliwia względnie długie przechowywanie. Spoczynek głęboki może polegać też na nieprzepuszczalności okryw nasiennych lub owocowo-nasiennych dla wody i gazów, jak np. u pewnej części nasion roślin strączkowych i dyniowatych, zbóż itp. [36, 53].

Przechowywanie nasion wiąże się nieuchronnie ze zmianą ich składu chemicznego i starzeniem [79, 82, 83, 121]. Proces ten charakteryzuje się osłabieniem procesów życiowych i prowadzi do naturalnego zamierania. W następstwie starzenia nasiona tracą wigor, obniżają się też ich walory technologiczne. Czas zachowania żywotności nasion w stanie anabiozy jest odmienny dla różnych gatunków i zmienia się zależnie od warunków, w jakich nasiona te powstawały oraz były przechowywane (temperatura, wilgotność powietrza) w warunkach magazynowych. Długość życia nasion zależy również od właściwości genetycznych i od czynników siedliskowych, jak: woda, temperatura, zasiedlenie drobnoustrojami itp. Reasumując, na żywotność nasion wpływają czynniki wewnętrzne i zewnętrzne.

Spośród czynników zewnętrznych wywierających wpływ na długość życia i trwałość nasion mają [39]:

- a) warunki, w których nasiona dojrzewają;
- b) kompleks warunków, w których nasiona przebywają po zbiorze.

Warunki dojrzewania nasion wpływają na potencjalny wigor i żywotność. Nasiona o wysokim wigorze i dużej żywotności uzyskanej podczas dojrzewania mają później najdłuższy okres życia w dobrych warunkach przechowalniczych. Wiele przykładów wskazuje, że nasiona tego samego gatunku i odmiany roślin zebrane w różnych warunkach siedliskowych (klimatycznych, glebowych, nawożeniowych) charakteryzują się bardzo zróżnicowanym wigorem i żywotnością [23, 39].

Wilgotność nasion (jako ciał kapilarno-koloidalno-porowatych) nie jest cechą stałą, lecz zależną od wilgotności atmosfery otaczającej. Znajomość wilgotności kondycjonalnej dla nasion poszczególnych gatunków i odmian ma duże znaczenie w celu określenia warunków ich przechowywania [21, 44, 104].

Duża zawartość tlenu w powietrzu wpływa ujemnie na długość życia nasion. Ograniczenie dostępu tlenu do mas nasiennych powoduje nagro-

madzenie się dużych ilości CO<sub>2</sub> i wprowadza je w stan anabiozy niepełnej, który przedłuża okres życia [37, 38, 56, 57].

Nasiona składowane zasiedlane są głównie przez drobnoustroje saprofityczne (grzyby, bakterie, promieniowce). W jakościowo dobrych partiach nasion przeważają bakterie, w gorszych dominują grzyby [9].

Nasiona rzepaku, podobnie jak większość nasion roślin oleistych, są w czasie magazynowania dlatego bardziej narażone na zepsucie niż ziarno zbóż, gdyż zawierają one dużą ilość tłuszczu, który szczególnie w nasionach wilgotnych i uszkodzonych ulega rozkładowi pod wpływem enzymów (lipaz) i tlenu z powietrza [39, 116]. W następstwie takich procesów powstają wolne kwasy tłuszczowe (WKT) i zwiększa się kwasowość nasion. W pewnym zakresie hydrolizie ulega też fityna (pod wpływem fitazy) i białka (pod wpływem proteaz). W wyniku tych procesów gromadzą się w nasionach: kwas ortofosforowy i fitynowy oraz wolne aminokwasy, a także bardzo reaktywne substancje (wolne rodniki) o właściwościach toksycznych, które deformują komórki tak pod względem strukturalnym, jak i funkcjonalnym [39, 56].

Ważne jest, aby okrywa nasienna przechowywanych nasion rzepaku była nieuszkodzona. Gdy w masie nasiennej znajdują się, oprócz nasion niedojrzałych, nasiona uszkodzone i pogniecione, wówczas ulegają szybkiemu zepsuciu całe partie nasion. Nasiona dojrzałe zawierają więcej związków wysokopolimeryzowanych i przez to są trwalsze od niedojrzałych. Nasiona niedojrzałe są również bardziej higroskopijne i stanowią dobre podłoże dla rozwoju drobnoustrojów i szkodników. Jak wspomniano już wcześniej, nasiona roślin oleistych szybko psują się już przy zawartości wody przekraczającej 10%, a więc znacznie niższej niż w przypadku ziarna zbóż. Ta niska zawartość wody w nasionach oleistych jest jednak pozorna, ponieważ żywe tkanki nasion, poza liścieniami zawierającymi tłuszcze zapasowe, są higroskopijne i mogą wchłaniać dużo wody. Na przykład, gdy wilgotność nasion rzepaku wynosi 15%, wówczas przy zawartości 40% tłuszczu ilość wody w częściach beztłuszczowych stanowiących 60% nasion, wynosi 25%. Dlatego nasiona rzepaku przeznaczone do przechowywania nie powinny zawierać więcej wody niż 7–9% [9].

### 3.3. Właściwości mechaniczne nasion rzepaku

Skuteczne zapobieganie stratom w wyniku uszkodzeń nasion możliwe jest dopiero przez poznanie fizycznych właściwości nasienia, decydujących o jego zachowaniu się pod działaniem obciążeń mechanicznych. W praktyce mamy do czynienia z obciążeniami *quasi*-statycznymi i dynamicznymi, często wielo-

krotnymi, o różnej wartości, działające w poszczególnych stadiach obróbki nasion z różnymi prędkościami i orientacji nasienia względem elementu oddziaływującego.

Pod działaniem sił zewnętrznych, zależnie od budowy, składu chemicznego, wilgotności nasienia i wielkości obciążenia nasienie zachowuje się jak ciało sprężyste lub lepko-sprężyste [6, 63].

Niektórzy autorzy [29, 89, 91] dość często wprowadzają podczas badań właściwości mechanicznych materiałów roślinnych określenie „odkształcenie plastyczne”. Określenie to zostało przeniesione z techniki badań nad materiałami konstrukcyjnymi (ciałami krystalicznymi i bezpostaciowymi) i mechanizm odkształcenia plastycznego tych materiałów nie ma żadnego podobieństwa do mechanizmu odkształcenia „plastycznego” przebiegającego w odkształconych (deformowanych) na skutek oddziaływań mechanicznych np. ziarniakach zbóż czy też nasionach rzepaku.

W zakresie odkształceń lepko-sprężystych występuje płynięcie materiału w czasie, co związane jest ze zniszczeniem mikrostruktury, a następnie makrostruktury nasienia. Zjawiska odkształceń sprężystych i niesprężystych są w tego typu materiałach ściśle ze sobą związane, a budowa wielowarstwowa nasion powoduje, że podczas odkształcenia niektóre obszary nasienia ulegają odkształceniu sprężystemu, podczas gdy inne uległy w tym samym czasie zniszczeniu (utrata spójności tkanek).

Opisane zachowanie się nasienia, związane z odkształceniem i płynięciem, określa jego właściwości reologiczne. Nasiono rzepaku, jako obiekt biologiczny, przedstawia bardzo skomplikowany układ reologiczny ze względu na złożoność i niejednorodność struktury wewnętrznej oraz kształtu. Jego części składowe: okrywa nasienna, liściec zewnętrzny, liściec wewnętrzny i korzonek zarodkowy (Rys. 1), stanowią różną i nierównomiernie rozłożoną masę w łupinie i są ponadto wielofazowymi układami składającymi się z różnych ilości białek, tłuszczów, substancji mineralnych itd. [70]. Z tego względu trudno jest przypisać nasieniu znany dotychczas teoretyczny model reologiczny, który z zadowalającą dokładnością opisowałby jego zachowanie pod działaniem obciążeń statycznych czy dynamicznych. Eksperymenty zmierzające do ustalenia zgodności wyników empirycznych z teorią napotykały i napotykają w dalszym ciągu duże trudności, zwłaszcza natury matematycznej [29, 49].

Wspomniana niejednorodność budowy nasienia i związana z tym jego anizotropowość komplikują też eksperymenty zmierzające do wyznaczenia takich jego właściwości mechanicznych jak: twardość, sprężystość, m.in. ze

względu na trudności w sprecyzowaniu stanu naprężeń i odkształceń [51]. Eksperymenty, które zmierzają do opisu tych stanów, opierają się na uproszczeniach zakładających regularność kształtu i izotropowość oraz zwartość materiału badanego, jak to się praktykuje przy stosowaniu teorii Hertza o naprężeniach kontaktowych do stanów odkształceń wywołanych obciążeniem statycznym [41, 90, 98].

Poziom uszkodzeń nasion wyrażony liczebnością uszkodzeń w masie oraz charakter tych uszkodzeń, zależy od ich odporności na powstanie uszkodzeń, a także od rodzaju obciążenia, jakie działa na nasienie. Do czynników decydujących w dużej mierze o odporności nasienia na powstanie uszkodzeń, oprócz jego budowy anatomicznej i morfologicznej (rozmiar i kształt nasienia, dojrzałość), należy czas i warunki jego przechowywania oraz miejsce przyłożenia siły [89, 96, 97, 98, 99, 110]. Odporność na uszkodzenie nasion rzepaku zależy również od ich wilgotności [92, 112, 113]. Zawartość wody w nasionach ma istotny wpływ na kształtowanie ich fizycznych właściwości uzależnionych od stanu koloidalno-chemicznego: białek, węglowodanów i innych związków chemicznych nasienia [33]. Większa zawartość wody wpływa na zwiększenie elastyczności (zdolności do odkształceń). Przy niskiej wilgotności nasienie staje się twarde i kruche, a obciążenia zewnętrzne przyczyniają się do powstawania pęknięć i połówkowania nasion.

Mniejsze komplikacje napotyka się podczas badań uszkodzeń nasion w warunkach działań statycznych obciążeń mechanicznych. Eksperymenty tego rodzaju znacznie wyprzedziły poszukiwania modelu reologicznego dla nasienia i odnosiły się do prób laboratoryjnych przeprowadzonych dla obciążeń o różnym charakterze: dla pojedynczego nasienia i dla masy nasion [40, 50]. Celem tych badań było m.in. ustalenie wpływu niektórych czynników decydujących o uszkodzeniu nasion. Odporność na uszkodzenia nasion jest cechą zarówno natury biologicznej jak i fizycznej.

Zmienność wskaźników oceny odporności nasion na uszkodzenia waha się w szerokim zakresie. Należy więc sądzić, że masowość badań może zdecydować o możliwości reprezentatywnego ustalenia zakresu tej zmienności. Wyniki odporności nasion na uszkodzenie mogą być wykorzystane w porównawczych ocenach, w których wskaźniki oceny można podawać w jednostkach umownych, przez co znacznie upraszcza się metodyki pomiaru.

W warunkach rzeczywistych procesów oddziaływań sił na nasiona, na ogół o nieustalonym charakterze, ocena odporności nasion na uszkodzenia jest niedogodna ze względu na trudności w sprecyzowaniu stanu obciążeń. Ocena taka jest niekiedy możliwa w warunkach laboratoryjnych, na stanowiskach o

kontrolowanym stanie obciążeń. Eksperymenty tego rodzaju, obok czysto poznawczej strony w sensie wzbogacenia ogólnej wiedzy o właściwościach mechanicznych nasion, mogą mieć także wiele aspektów praktycznych. Na podstawie takich badań można m.in. przeprowadzić testowanie nowych odmian pod względem podatności nasion na uszkodzenia, a zarazem określić ich cechy anatomiczno-morfologiczne decydujące o przydatności rzepaku do zmechanizowanych procesów zbioru i obróbki pozbiorowej. Można również określić termin mechanicznej gotowości rzepaku do zbioru, w sensie ustalenia zakresów wilgotności nasienia przy których straty wynikłe z ich uszkodzeń będą najmniejsze. Ponadto można wyznaczyć zakresy zmienności parametrów oceny odporności nasion na uszkodzenia oraz ich graniczne wielkości. Może to stanowić w przyszłości podstawę do takiego określenia parametrów regulacyjnych i konstrukcyjnych maszyn oraz warunków przechowywania dla których uszkodzenia będą minimalizowane.

Rozwiązanie przedstawionych problemów może wnieść wiele informacji do praktyki inżynierskiej, co umożliwiłoby bardziej efektywne poszukiwanie sposobów zapobiegania nadmiernym uszkodzeniom, którym ulegają nasiona podczas procesów zbioru, przechowalnictwa, aż do ostatecznego ich przetworzenia w gotowy produkt.

Ocenę odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne możemy więc przeprowadzić poddając je uprzednio testom mechanicznym. Badania takie pozwalają poznać zachowanie się nasion pod wpływem działania sił stałych (badania statyczne) oraz zmiennych w czasie (badania dynamiczne).

Dzięki badaniom statycznym poznajemy takie właściwości fizyczne nasion jak: sprężystość, wartości sił niszczących, lepkość i inne cechy decydujące o ich wytrzymałości.

Badaniami wytrzymałościowymi płodów rolnych zajmowało się od lat wielu autorów. W zależności od potrzeb stosowano różnego rodzaju metody badań. Najczęściej dotyczą one badania wytrzymałości okrywy owocowo-nasiennej bądź całych nasion. Większość autorów ustaliła przebieg zależności siły od odkształceń stosując próby ściskania (np. dla ziarna zbóż i nasion innych roślin uprawnych) [5, 29, 66]. Prowadzono też próby rozciągania, jak testował ziarna pszenicy Staszczak [88]. Kolowca [49, 50] zajmował się badaniami wytrzymałościowymi ziarna pszenicy pod wpływem obciążeń *quasi*-statycznych ściskając pojedyncze ziarno pomiędzy dwoma płytkami stalowymi z ustaloną prędkością. Podobne badania na nasionach rzepaku realizował Stępniewski [91] uzyskując odpowiednie charakterystyki zależności odkształceń od naprężeń przy różnej wilgotności nasion. Sposób rejes-

tracji i dokładność wyników pomiaru uzależnione są głównie od wyposażenia laboratoryjnego, którym dysponuje eksperymentator.

Badając w ten sposób nasiona roślin uprawnych obliczono stałe materiałowe: moduł Younga, współczynnik Poissona dla wybranych odmian, wilgotności i dojrzałości nasion. Stosując podczas ściskania nasion odpowiednie penetratory otrzymano wyniki świadczące o twardości okryw i całych nasion [66].

Odrębną grupę stanowią badania określające właściwości reologiczne nasion. Dotyczą one zależności pomiędzy naprężeniem i odkształceniem oraz ich zmianami w czasie. Jak już wcześniej wspomniano, ze względu na złożoną budowę oraz niejednorodność struktury i kształtu nasion, przedstawiają one wysoce skomplikowany układ reologiczny. Dlatego też do opisu mechanicznych właściwości materiałów roślinnych można (w pewnym przybliżeniu) stosować modele reologiczne określone na podstawie charakterystyk reologicznych. W reologii budowę modeli oparto na parametrach odpowiadających właściwościom podstawowym i opisującym ciała jednorodne – nie występujące w materiałach roślinnych [6, 18, 62, 75].

Badania właściwości mechanicznych nasion określane metodami dynamicznymi są mniej rozpowszechnione i mają swoją krótszą historię. Wynika to z ograniczonej ilości rozwiązań teoretycznych w dostępnej literaturze oraz trudności w opracowaniu metody i aparatury badawczej.

Z punktu widzenia uszkodzeń nasion na skutek oddziaływań sił pochodzenia dynamicznego, najbardziej interesujące są procesy uderzeniowe, gdyż w większości przypadków w ciągu technologicznym od zbioru do przerobu nasion mamy do czynienia z takimi oddziaływaniami [87, 94, 100, 101].

Proces uderzenia charakteryzuje się występowaniem takich sił oddziaływania, które są źródłem propagacji fali naprężeń. Fala ta rozprzestrzenia się po całej objętości zderzających się obiektów, po czym ulega wielokrotnym odbiciom od powierzchni granicznych. Z teoretycznego punktu widzenia można więc wyodrębnić tzw. efekty lokalne, które powstają w obszarze bliskim miejsca zderzenia dwóch obiektów i dość istotnie różnią się od zachowania pozostałych części tych obiektów oddalonych od miejsca zderzenia. W związku z tym w procesie zderzenia mamy do czynienia z odkształceniami lokalnymi i ogólnymi [31, 35].

Odkształceniom lokalnym towarzyszą stosunkowo duże naprężenia powierzchniowe, których wypadkową jest tzw. siła uderzenia. Siła ta, oddziałująca w krótkim czasie, osiąga wartości bardzo duże w porównaniu

do pozostałych działających na nasienie, (np. grawitacji, tarcia). Podczas kontaktu nasienia z przeszkodą, zależnie od energii uderzenia, powstają w nim odkształcenia sprężyste lub trwałe – wynikłe z utraty spójności jego tkanki. I tak dla przykładu, jeśli w strefie odkształcenia lokalnego wystąpiły już odkształcenia trwałe, to pozostała strefa ulega odkształceniom sprężystym [35, 98].

W przypadku badań nasion roślin uprawnych, które są organizmami żywymi o zmieniających się właściwościach wraz z wilgotnością, temperaturą i czasem przechowywania, stanem dojrzałości, opracowanie właściwej metodyki badawczej wymaga zarówno gruntownej znajomości mechaniki jak i specyficznej budowy tych obiektów.

Dotychczas badania udarnościowe nasion roślin uprawnych wykonywane są na odpowiednich stanowiskach [29, 87, 94, 101], gdzie czynnikiem uderzającym jest wirujący element o odpowiednio dużej masie, a badany obiekt w momencie uderzenia jest nieruchomy, bądź porusza się z prędkością niewspółmiernie mniejszą od prędkości obwodowej wirującego elementu. W większości przypadków badań podczas procesu uderzenia mamy do czynienia z uderzeniem swobodnym, bez podparcia. W badaniach udarnościowych nasion najistotniejszym, i do chwili obecnej nie rozwiązany, problemem jest porównywalność sposobów obciążenia nasion.



## 4. MATERIAŁ I METODY BADAŃ

### 4.1. Ogólna charakterystyka materiału

Do badań przyjęto nasiona trzech odmian rzepaku ozimego (Bolko, Leo i Polo), pochodzących ze zbioru jedno i dwuetapowego, a więc o zróżnicowanym stanie dojrzałości.

**Bolko** – odmiana zarejestrowana w roku 1987. Charakteryzuje się najniższą wśród odmian europejskich zawartością glukozyolanów, co daje producentowi duży margines bezpieczeństwa w zakresie jakości wyprodukowanego surowca. Nasiona posiadają wysoką zawartość białka, a rośliny dużą odporność na choroby grzybowe, szczególnie suchą zgniliznę krzyżowych (*Phoma lingam*). Plon nasion i zimnotrwałość tej odmiany są średnie. Jest to odmiana średnio-późna, odporna na wyleganie, nie toleruje siewu w opóźnionym terminie.

**Leo** – odmiana zarejestrowana w roku 1992, wczesna o dobrej zimotrwałości. Wyróżnia się dużą odpornością tłuszczyn na pęknięcie i osypywanie. Jest stosowana na glebach lżejszych. Jest to odmiana odporna na suszę. Plon nasion i tłuszczu wysoki, zawartość glukozyolanów niska. Przy braku skutecznego zwalczania chowaczy łądogowych może wystąpić porażenie chorobami grzybowymi. Rośliny średniej wysokości, delikatne, o średniej odporności na wyleganie.

**Polo** – odmiana zarejestrowana w roku 1992, średnio-późna, wcześniejsza od odmiany Bolko. Wskazuje dobrą zimotrwałość i średnią odporność na choroby grzybowe, konieczne jest skuteczne zwalczanie chowaczy łądogowych. Plonuje bardzo wysoko i stabilnie. Jest tolerancyjna na suszę, wykazuje małe wymagania glebowe. Odporność na wyleganie – zadowalająca. Zawartość glukozyolanów niska, zawartość białka wysoka.

Przyjęto, że do wszelkich wariantów przechowywania wykorzystane będą nasiona o trzech poziomach wilgotności: 4, 6 i 11%. Nasiona o tych wartościach wilgotności mogą z pewnym prawdopodobieństwem występować w silosie (w wyniku przesuszenia lub niedosuszenia). Nasiona o większej wilgotności przechowuje się krótkoterminowo w przypadku niekorzystnych warunków atmosferycznych podczas zbioru.

## 4.2. Przygotowanie nasion do badań

Z uwagi na ograniczone możliwości techniczne badania laboratoryjne przeprowadzono w dwóch etapach.

W pierwszym etapie badań użyto nasion odmiany Bolko, Leo i Polo pochodzących ze zbioru jedno- i dwuetapowego. Nasiona poddano następującym zabiegom i czynnościom przygotowawczym:

- czyszczeniu;
- ustaleniu wilgotności nasion w ilości niezbędnej do przeprowadzenia doświadczenia do wartości 6 i 11% poprzez dosuszanie naturalne bądź ich nawilżanie;
- przeprowadzeniu wstępnych badań cech fizycznych i technologicznych – określenie stanu początkowego nasion (Tabela 1);
- rozważeniu nasion na próbki o masie 2,5 kg, które były poddane modelowym warunkom przechowywania.

W drugim etapie do badań użyto również nasion rzepaku odmiany Bolko, ale pochodzących ze zbioru jednoetapowego o dojrzałości pełnej.

Materiał przeznaczony do badań wymagał w tym przypadku następujących zabiegów przygotowawczych:

**Tabela 1.** Charakterystyka cech technologicznych i fizycznych nasion rzepaku wykorzystanego w obu etapach badań

**Table 1.** Characterisation of features technological and physical rape seeds used in both stages of investigations

Odmiana	Zbiór	Ilość nasion niedojrzałych [%]	Cechy technologiczne				Cechy fizyczne		MTN [g]
			Zawartość tłuszczu [%]	Ilość chlorofilu [mg/g]	Liczba kwasowa LK	Liczba nadtlenkowa LN	Ilość nasion z mikro-uszkodzeniami [%]	Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych [%]	
Bolko	1-etapowy	7	44,4	3,4	0,5	0,2	3	12	4,7
	2-etapowy	12	45,0	12,6	0,5	0,4	2	8	4,4
Leo	1-etapowy	11	44,6	6,6	0,4	0,1	2	9	4,9
	2-etapowy	28	44,2	18,8	0,7	0,2	2	10	5,1
Polo	1-etapowy	4	43,3	3,9	0,4	0,2	3	7	4,4
	2-etapowy	9	43,0	10,6	0,6	0,6	4	4	4,8

- czyszczenia;
- doprowadzenia odpowiednich ilości nasion do wilgotności 4, 6 i 11%;
- w próbkach nasion o wilgotności 4, 6 i 11% dodanie nasion uszkodzonych mechanicznie (tej samej odmiany) w takich ilościach, aby każda część nasion (o danej wilgotności) miała dwa poziomy zanieczyszczeń użytecznych (7 i 12%) z uwzględnieniem próbki kontrolnej;
- rozważenia nasion wszystkich kombinacji na porcje o masie 2,5 kg.

Tabela 1 zawiera wartości cech opisujących stan początkowy nasion (cechy technologiczne i fizyczne) przeznaczonych do pierwszego i drugiego etapu badań.

Badania cech fizycznych i technologicznych przeprowadzano dla każdej kombinacji doświadczenia przy 6% wilgotności nasion.

### 4.3. Warunki przechowywania

Nasiona w silosach i elewatorach przechowywane są w dużej masie, z tego powodu mają one małe możliwości zetknięcia się z powietrzem atmosferycznym i mniej są narażone na zmiany temperatury zewnętrznej. Takie też warunki stworzono w zaprojektowanych i wykonanych zbiornikach ciśnieniowych, przewidując również możliwości zaistnienia skrajnych warunków przechowywania (wilgotność, ilość zanieczyszczeń, temperatura przechowywanych nasion, naprężenia w nasionach).

#### **Etap I dotyczył:**

- a) zachowania się nasion testowanych odmian rzepaku w analogicznych warunkach przechowywania;
- b) określenia wpływu stanu początkowego nasion (wilgotność, dojrzałość) na zmiany cech technologicznych i fizycznych w ustalonych warunkach przechowywania;
- c) określenia wpływu naprężeń w nasionach na zmiany ich cech jakościowych w trakcie przechowywania.

Warunki przechowywania w I etapie badań były następujące:

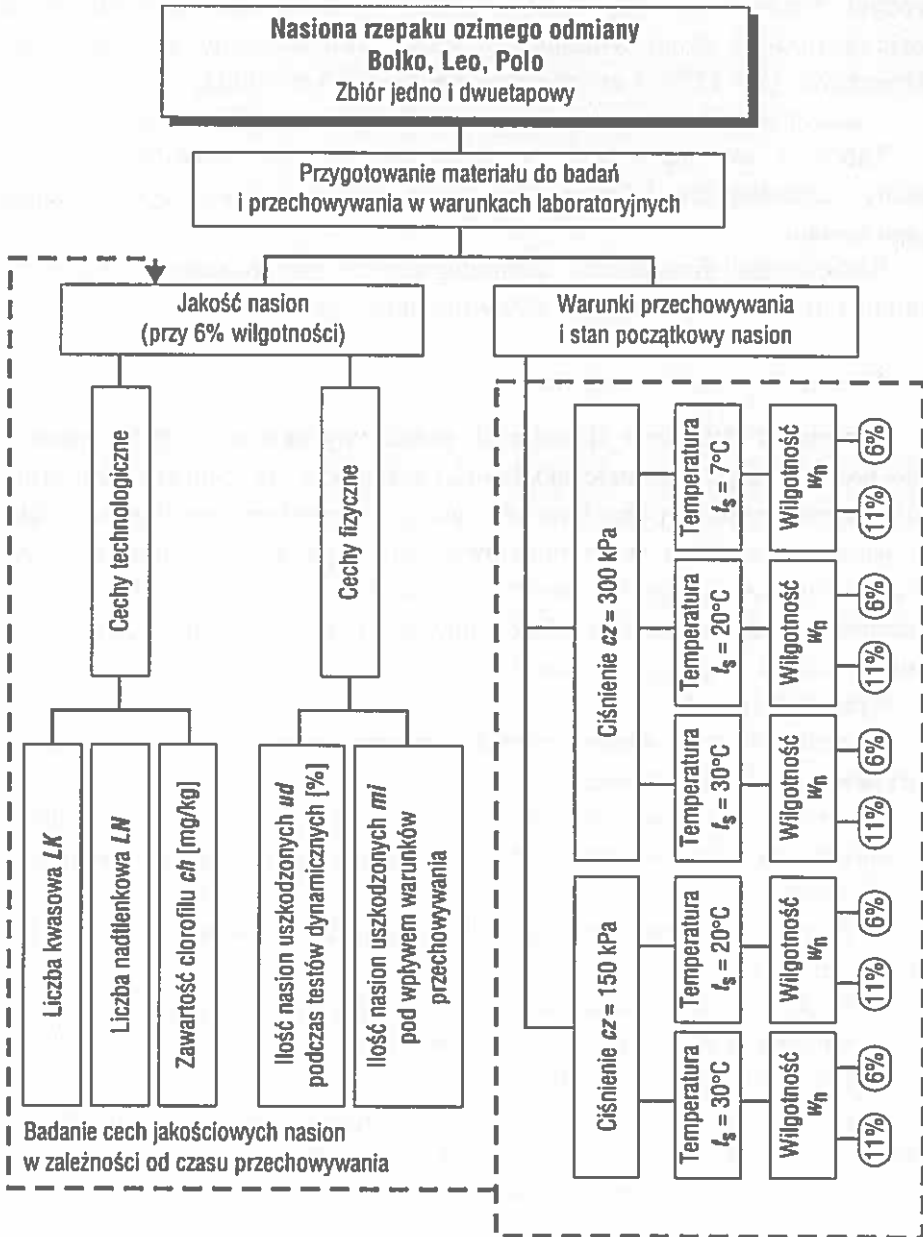
- ciśnienie w zbiorniku cz – 150 i 300 kPa;
- temperatura  $t_s$  – 7, 20, 30°C.

**Etap II dotyczył** określenia zmian cech technologicznych i fizycznych przechowywanych nasion o różnej ilości zanieczyszczeń użytecznych (0, 7 i 12%) i różnych poziomach wilgotności (4, 6 i 11%).

Warunki przechowywania:

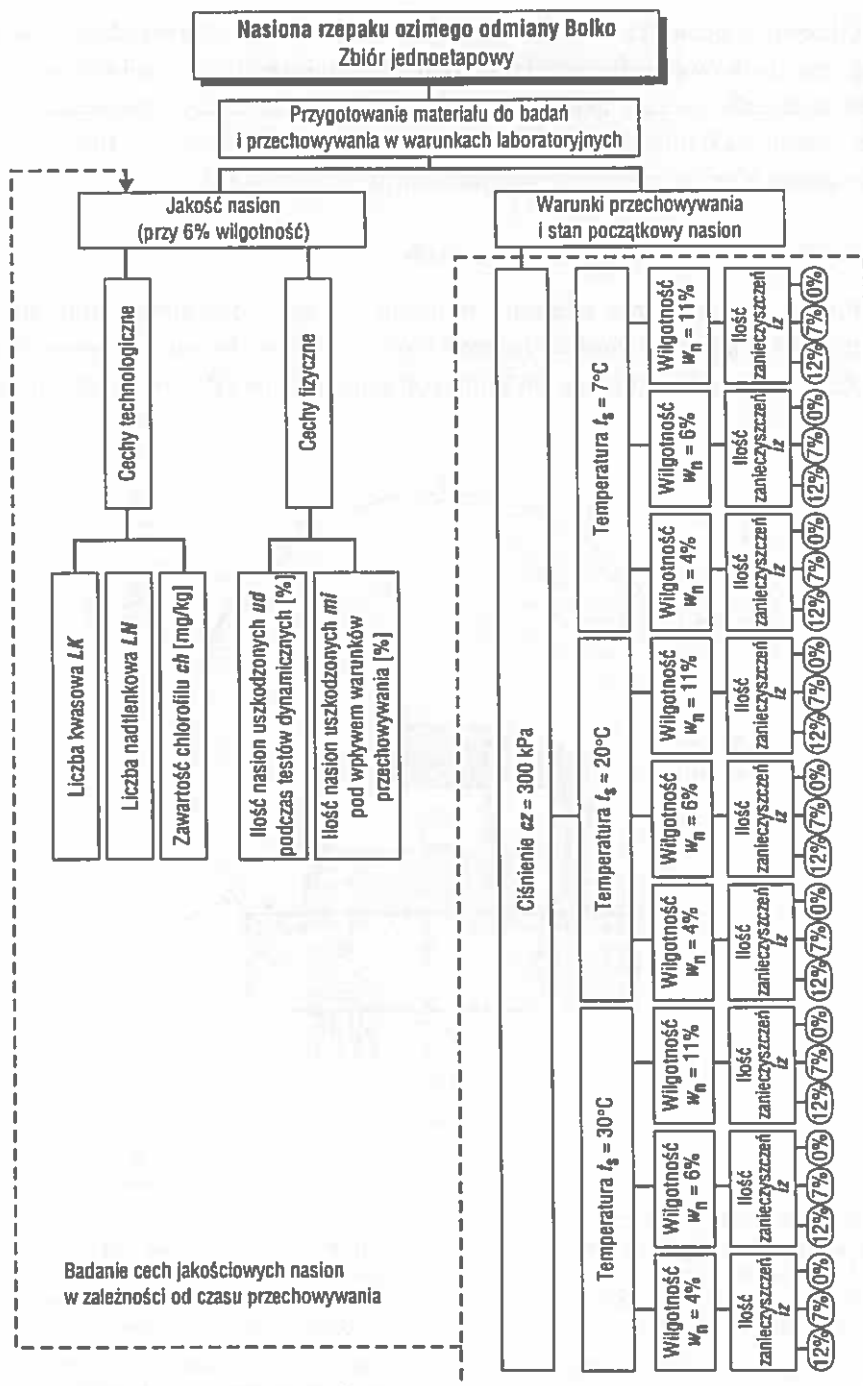
- ciśnienie w zbiorniku cz – 300 kPa;
- temperatura  $t_s$  – 7, 20, 30°C.

Ocena cech technologicznych i fizycznych przechowywanych nasion była dokonywana okresowo co 20 dni. Metodę badań oraz warunki przechowywania obu etapów badań ilustrują Rys. 2 i 3.



Rys. 2. Blokowy schemat przebiegu pierwszego etapu badań.

Fig. 2. Diagram of the first stage test.



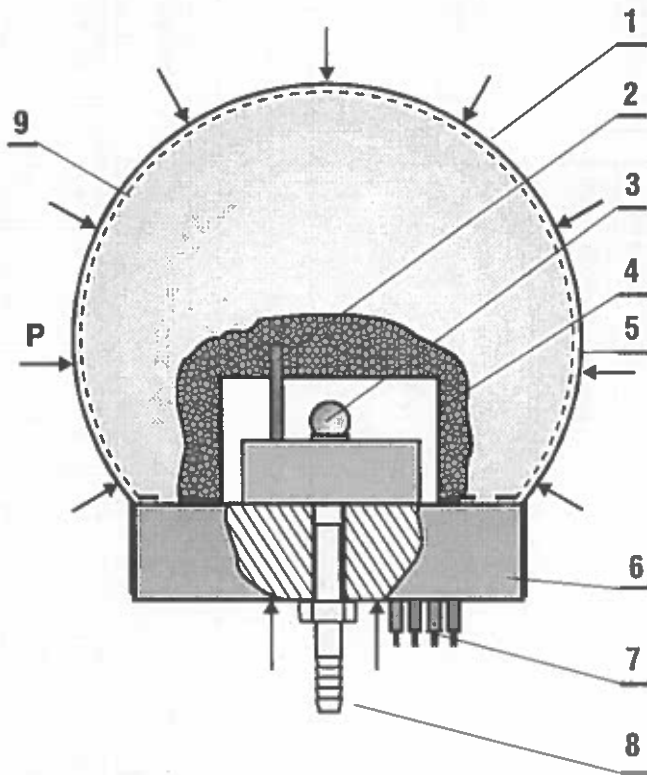
Rys. 3. Blokowy schemat przebiegu drugiego etapu badań.

Fig. 3. Diagram of the second stage test.

Okresowa ocena przechowywania nasion została przeprowadzona za pomocą wskaźników określających cechy technologiczne tj. liczba kwasowa *LK*, liczba nadtlenkowa *LN*, zawartość chlorofilu *ch* oraz cechy mechaniczne, tj. ilość nasion uszkodzonych *ud* podczas testów dynamicznych, ilość nasion uszkodzonych *mi* w zadanych warunkach przechowywania.

#### 4.4. Opis stanowisk przechowalniczych

Próbki nasion danej odmiany o masie 2,5 kg i określonej dojrzałości, wilgotności oraz ilości zanieczyszczeń umieszczano w foliowych woreczkach z PVC, a następnie wkładano do kulistych pojemników (Rys. 4.) wykonanych

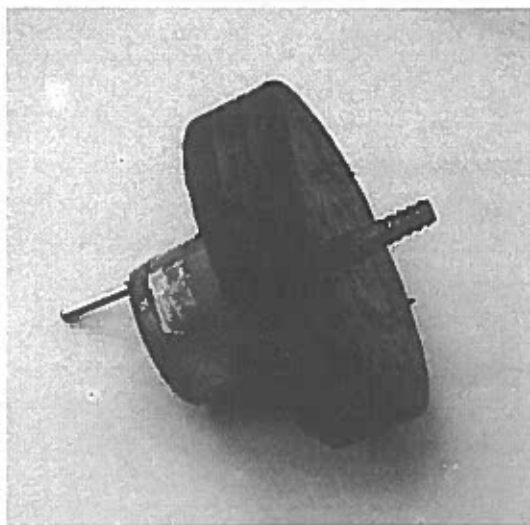


Rys. 4. Schemat próbki rzepaku z głowicą pomiarową: 1 – próbka nasion, 2 – czujnik temperatury, 3 – czujnik wilgotności, 4 – siatka osłaniająca czujniki oraz odpowietrzający dren, 5 – lateksowy pojemnik, 6 – głowica zamykająca i uszczelniająca lateksowy pojemnik, 7 – wyjścia przewodów elektrycznych, 8 – dren łączący próbkę nasion z atmosferą na zewnątrz komory, 9 – folia z PVC, P – ciśnienie oddziałujące na nasiona.

Fig. 4. Scheme of rape seed sample with measuring head: 1 – seed sample, 2 – temperature sensor, 3 – moisture sensor, 4 – sensor shield and venting pipe, 5 – latex holder, 6 – hermetic cap of holder, 7 – wire exit, 8 – pipe connecting seed sample with atmosphere outside chamber, 9 – polyethylene foil, P – pressure acting on seeds.

z cienkiej gumy lateksowej (5). Warstwa folii (9) zapobiegała chemicznym reakcjom oddziaływania lateksu z tłuszczem wydostającym się z nasion. Tak wypełnione woreczki z nasionami zamykano głowicami pomiarowymi (6). Głowice stanowiły krążki tekstolitowe o wymiarach  $\phi$  120×30 mm wyposażone w przetwornik temperatury (2) i wilgotności (3) oraz przewód (dren) (8) umożliwiający połączenie atmosfery między nasionami z atmosferą zewnętrzną komory. Po zainstalowaniu przewodów elektrycznych (7) łączących przetworniki z dalszą częścią układu pomiarowego, wszystkie powierzchnie głowicy dwukrotnie pokryto żywicą chemoutwardzalną w celu uniknięcia przenikania powietrza z komory (o wyższym ciśnieniu) do wnętrza pojemnika z nasionami (ciśnienie atmosferyczne).

Na Rys. 5 przedstawiono widok głowicy zamykającej i uszczelniającej próbkę nasion, a na Rys. 6 widok ogólny tej próbki przygotowanej do zamontowania w komorze ciśnieniowej.



Rys. 5. Głowica tekstolitowa z przetwornikami.

Fig. 5. Head with transducers.

Pojemniki wypełnione nasionami posiadały kształt kulisty, co zapewniało utrzymanie porównywalnych stałych naprężeń oddziaływujących między nasionami pochodzącymi od ciśnienia w komorze.

Tak przygotowane próbki nasion wkładano do odpowiednich stanowisk, którymi były zbiorniki ciśnieniowe w ilości 5 sztuk wykonane przez INSTAL-Lublin, według założeń konstrukcyjnych autora i nazywane też komorami (określenia takie są używane w tekście przemienne z określeniem zbiornik).



Rys. 6. Widok przygotowanej i oznaczonej próbki nasion gotowej do umieszczenia jej w komorze ciśnieniowej.

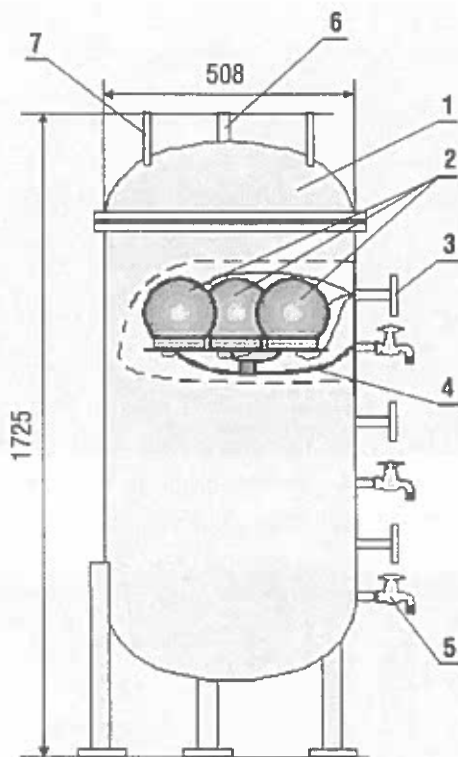
Fig. 6. View of prepared and marked seed sample ready to putting in pressure chamber.

Zbiornik z kontrolowaną temperaturą i ciśnieniem pozwala uzyskiwać i utrzymać temperaturę w przedziale od 0 do 40°C, a ciśnienie w przedziale od 0 do 400 kPa, w zależności od potrzeb wynikających z metodyki badań. Zbiornik jest wykonany w kształcie cylindra zamkniętego, o konstrukcji stalowej i ustawiony pionowo na trzech podporach (Rys. 7). Pokrywa połączona jest z płaszczem za pomocą śrub. W środkowej części pokrywy zamontowano zawór bezpieczeństwa sprężynowy średnio-skokowy (6) o zakresie ciśnienia 3,2–6 MN/m<sup>2</sup>. Do pokrywy przyspawano również dwa uchwyty (7) ułatwiające zdejmowanie i jej zakładanie. Część cylindryczna zbiornika wyposażona jest w 7 króćców z zaworami (5) i 3 króćce kołnierzowe (3) umożliwiające przekazanie sygnałów elektrycznych od wewnątrz – do zewnętrznej części zbiornika oraz po dwa króćce do zamontowania termometru i ciśnieniomierza. Króćce z nakręconymi zaworami przeznaczone są do połączenia gazowego z atmosferą zewnętrzną badanych próbek.

Dane techniczne zbiornika:

- ciśnienie maksymalne  $p_{\max} = 0,4 \text{ MPa}$  (4 atm);
- temperatura maksymalna  $t_{\max} = 313,16 \text{ K}$  (40°C);
- pojemność rzeczywista  $V = 244 \text{ dm}^3$ ;
- średnica zbiornika  $D = 508 \text{ mm}$ ;
- wysokość zbiornika  $H = 1725 \text{ mm}$ .



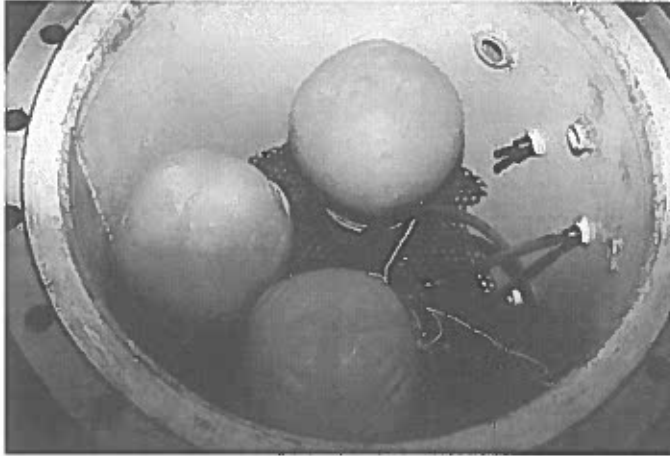


Rys. 7. Zbiornik ciśnieniowy z umieszczonymi w niej próbkami nasion: 1 – pokrywa, 2 – próbki nasion, 3 – wyjście przewodów elektrycznych, 4 – dren odpowietrzający, 5 – zawory odpowietrzające, 6 – zawór bezpieczeństwa, 7 – uchwyt pokrywy.

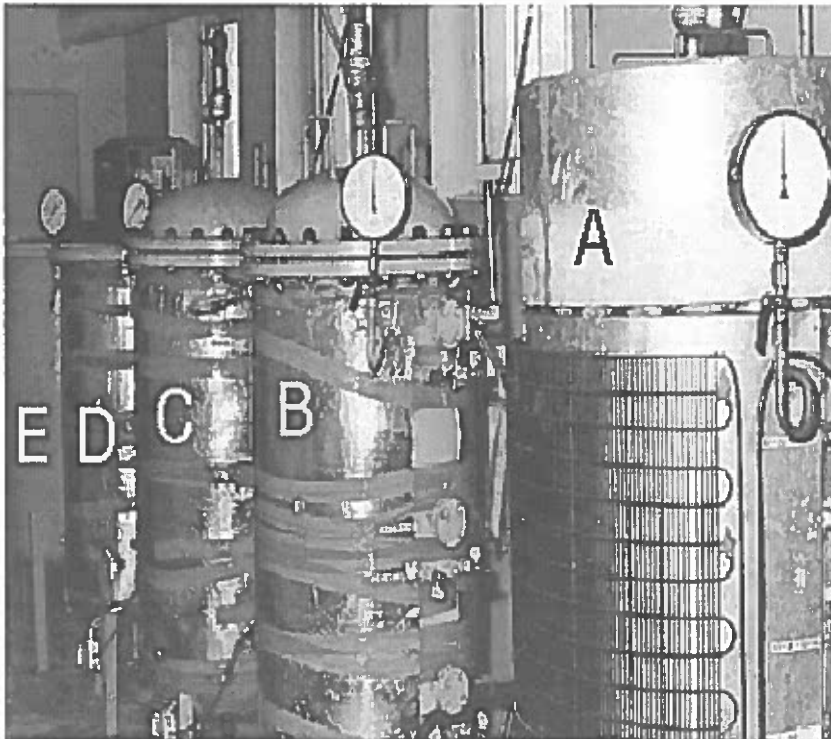
Fig. 7. Pressure chamber with rape seed samples inside: 1 – chamber, 2 – seed samples in latex holders, 3 – wires, 4 – venting pipe, 5 – venting valves, 6 – safety valve, 7 – handle of the cover.

Zbiorniki poddano próbie ciśnieniowej zgodnie z przepisami Dozoru Technicznego i zabezpieczono antykorozyjnie. Każdy zbiornik posiadał w swoim wnętrzu trzy półki, na których umieszczono po trzy próbki nasion rzepaku o ustalonych odmianach, poziomach wilgotności, stanach dojrzałości, ilości zanieczyszczeń (Rys. 8).

Zbiornik (A) widoczny na Rys. 9 posiadał instalację schładzającą z możliwością obniżenia temperatury w jego wnętrzu do  $0^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ . Trzy kolejne zbiorniki (B, C, D) posiadały instalację elektryczną umożliwiającą ich ogrzewanie do  $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Zbiornik (E) pozbawiony był instalacji termicznej umożliwiając utrzymywanie w nim temperatury otoczenia. Znajdujące się w nim pojemniki z nasionami rzepaku przebywały w temperaturze zbliżonej do temperatury pomieszczenia (około  $20^{\circ}\text{C}$ ).



Rys. 8. Wnętrze komory zbiornika z umieszczonymi próbkami nasion na jednej z półek.  
 Fig. 8. Interior of chamber with seed samples placed on the one of shelf.



Rys. 9. Bateria zbiorników ciśnieniowych w trakcie badań: A – z instalacją schładzającą;  
 B, C, D – z instalacją ogrzewającą; E – bez dodatkowego wyposażenia.

Fig. 9. Battery of pressure chambers during test: A – with cooling installation; B, C, D –  
 with heating installation; E – without additional equipment.

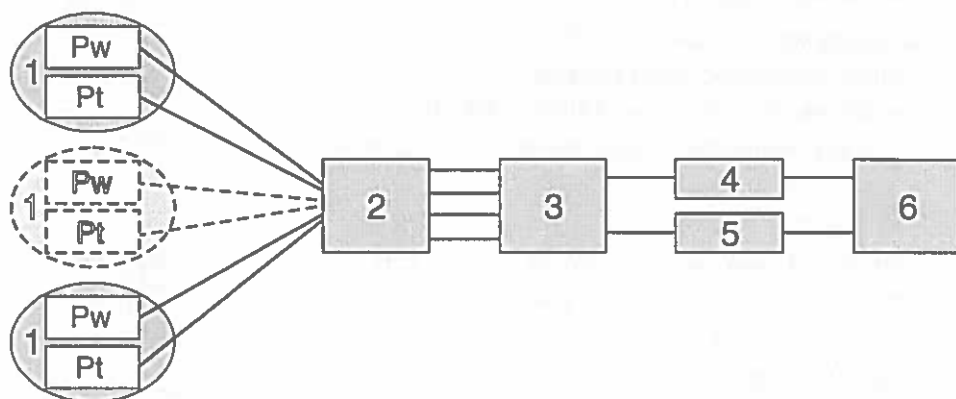
Przygotowanie zbiorników do badań polegało na:

a) sprawdzeniu szczelności – przy ciśnieniu nominalnym 400 kPa. Przyjęto, że dopuszczalny spadek ciśnienia może być nie większy niż 10% w ciągu doby, dla ciśnień aktualnie panujących w komorze;

b) ustaleniu właściwej temperatury zgodnie z podaną metodyką. Wymagało to odpowiedniego ustawienia termostatów i sprawdzenia stabilizacji temperatury. Odpowiednia izolacja termiczna komór ograniczała wahania temperatury do  $\pm 1^\circ\text{C}$  niezależnie od temperatury pomieszczenia.

#### 4.4.1. Aparatura kontrolno-pomiarowa

Aktualny stan temperatury i wilgotności rejestrowany był przez zestaw czujników pomiarowych umocowanych w głowicy pomiarowej i włączonych do układu pomiarowego przedstawionego na Rys. 10.



Rys. 10. Schemat blokowy układu pomiarowego: 1 – głowice pomiarowe przechowywanych próbek: Pw – przetwornik wilgotności RH-03, Pt – przetwornik temperatury Pt 100/s/50, 2 – płyta drukowana z wyprowadzeniem czujników; 3 – komutator (przełącznik); 4 – miernik wilgotności St-43RH, 5 – miernik temperatury St-41Pt100, 6 – zestaw komputerowy monitorujący (z drukarką).

Fig. 10. Diagram of the system measurement: 1 – measure heads for stored samples, Pw – moisture transducer RH-03, temperature transducer Pt 100/s/50, 2 – electric plate with output of detectors, 3 – commutator, 4 – moisture measuring set, 5 – temperature measuring set, 6 – monitoring computer set (with printer).

Przetwornik wilgotności względnej RH-03 jest czujnikiem pojemnościowym o zakresie pomiaru 10–95% RH w zakresie temperatur 0–80°C. Sygnałem wyjściowym jest prąd 4–20 mA. Sygnał wyjściowy posiada linearyzację charakterystyki czujnika. Czujnik jest umieszczony w pojemniku zawierającym układ elektroniczny przetwornika wilgotności na prąd 4–20 mA w systemie dwuprzewodowym. Producentem tego typu przetwornika jest Zakład

Urządzeń Elektroniki i Automatyki Przemysłowej (ZUEAP) w Warszawie. Miernik przeznaczony jest do pomiarów wilgotności powietrza.

Dane techniczne stosowanych czujników wilgotności:

- zakres pomiarowy RH – 10–95%;
- temperatura pracy – 0–80°C;
- zasilanie – 10–36 V DC;
- sygnał wyjściowy – 4–20 mA;
- dokładność pomiaru –  $\pm 3\%$ ;
- wpływ zmian zasilania –  $\pm 0,005\% / V$ ;
- czas ustalania maksymalnie – 5 min.

**Przetwornik oporowy platynowy Pt 100/s** jest czujnikiem przeznaczonym do pomiaru lub regulacji temperatury cieczy, gazów, mas półpłynnych w różnych dziedzinach techniki. Osłona czujnika wykonana jest ze stali kwasoodpornej, zaś przewód przyłączeniowy posiada izolację teflonową wytrzymującą temperaturę + 250°C.

Dane techniczne przetwornika:

- zakres pomiarowy – -100°C÷+500°C;
- maksymalne ciśnienie stosowania – 0,4 Mpa;
- materiał osłony – 1H18N9T.

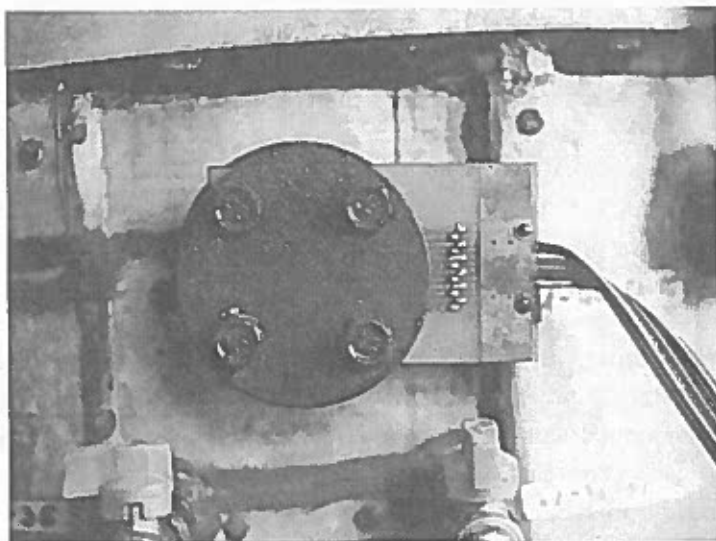
Producent – ZUEAP.

**Płytką drukowaną** stanowiła rozwiązanie techniczne pozwalające bez utraty szczelności zbiorników połączyć elektryczne przewody od przetworników znajdujących się wewnątrz komór ciśnieniowych z zewnętrzną częścią układu zasilająco-rejestrującego (Rys. 11).

**Komutator (przełącznik)** jest urządzeniem wykonanym w IA PAN specjalnie dla potrzeb pomiarowych związanych z realizacją pracy. Zadaniem komutatora jest połączenie kolejno przetworników temperatury i wilgotności z miernikami. Konstrukcja komutatora zapewnia zmianę połączenia z częstotliwością od 0–10 min<sup>-1</sup> w sposób automatyczny, umożliwia też przejście na sterowanie ręczne.

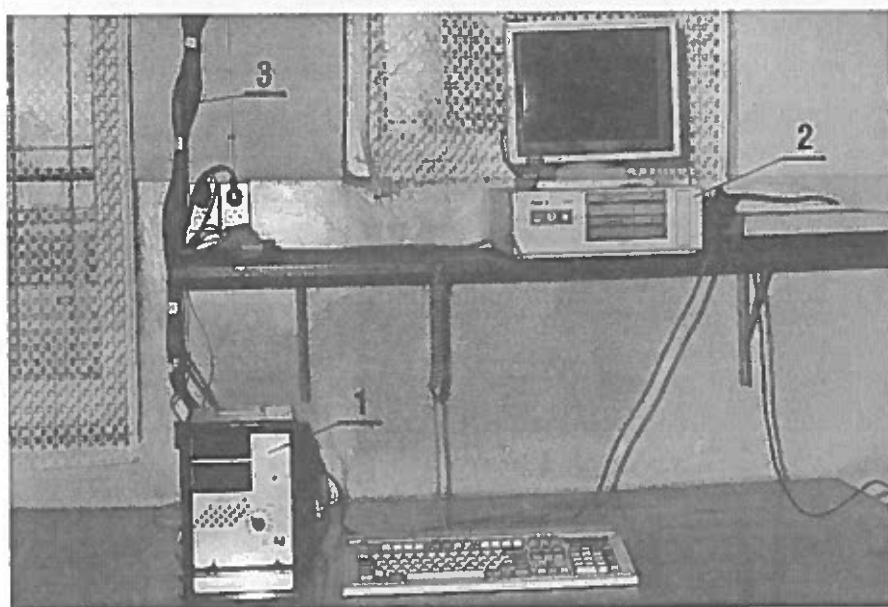
Skrzyniowa budowa komutatora pozwala na umieszczenie w jego wnętrzu mierników temperatury i wilgotności. Do komutatora można podłączyć jednocześnie 50 przetworników temperatury oraz 50 przetworników wilgotności (Rys. 12).

**Miernik wilgotności St-43 RH (4)** produkcji ZUEAP jest urządzeniem mikroprocesorowym służącym do ciągłego monitorowania stanu atmosfery poprzez standardowe sygnały zgodne z PN (tj. np. sygnały analogowe 0–20 mA, 4–20 mA).



Rys. 11. Widok połączeń elektrycznych zbiornika.

Fig. 11. View of the electric connections of the container.



Rys. 12. Zestaw sterująco-rejestrujący: 1 – komutator wraz z miernikami temperatury i wilgotności, 2 – zestaw komputerowy, 3 – przewody łączące próbki nasion z zestawem sterującym i rejestrującym.

Fig. 12. Control-record set: 1 – commutator with temperature and moisture measuring set, 2 – computer set, 3 – electrical connection seed samples with temperature and moisture measuring set.

Ważniejsze dane techniczne miernika:

- zakres pomiarowy – w zależności od rodzaju sygnału;
- zakres wyświetlania – dowolny podzakres zakresu (-999–9999);
- wyświetlacz – 4 cyfry 13 mm;
- zasilanie – 220 V AC;
- pobór mocy – 5 V A;
- temperatura pracy – 5–40°C;
- wilgotność pracy – 10–80% RH;
- masa – 400 g.

**Miernik temperaturowy St-41Pt100(5)** produkcji ZUEAP przeznaczony jest do współpracy z przetwornikami temperatury Pt100. Zastosowany w nim mikroprocesor umożliwia kontrolę i sterowanie temperatury w jednym punkcie. Dane techniczne przetwornika są identyczne jak u omawianego już przetwornika St-43 RH.

Zestaw komputerowy monitorujący zapewniał (poprzez specjalnie opracowany program) stałą rejestrację stanu temperatury i wilgotności próbek nasion w czasie ich przechowywania w komorach.

#### 4.5. Pomiar wartości cech jakościowych nasion rzepaku

Do badań okresowych (co 20 dni przechowywania) pobierano nasiona z zestawów nie wyposażonych w czujnik temperatury i wilgotności lecz o analogicznych kombinacjach (odmiana, dojrzałość, wilgotność, ilość zanieczyszczeń) jak nasiona umieszczane w zestawach pojemników wyposażonych w te urządzenia.

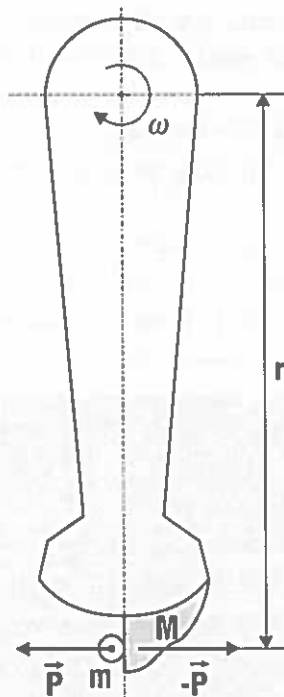
Z zestawów tych pobierano nasiona w ilości niezbędnej zarówno do badań cech fizycznych jak i technologicznych. Oba zestawy materiału doświadczalnego przechowywano w tych samych warunkach ciśnienia oraz temperatury, co pozwalało na zachowanie analogicznych warunków przechowywania.

##### 4.5.1. Pomiar cech fizycznych nasion

Badania odporności nasion na oddziaływanie obciążeń dynamicznych przeprowadzono na aparacie wykonanym w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie (patent PL. 170711B1) stosując następujące parametry uderzenia:

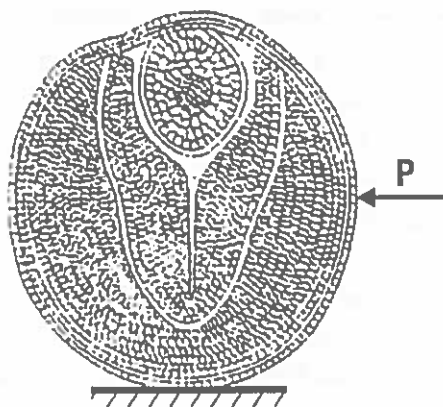
- prędkość liniowa bijaka – 22 m/s,
- energia uderzenia – 0,968–1,04  $\mu$ J.

Na Rys. 13 przedstawiono schemat kinematyczny procesu uderzenia. Elementem roboczym aparatu jest bijak, który uderza z odpowiednią prędkością w nasiona umieszczone na podajniku



Rys. 13. Schemat kinematyczny procesu uderzenia:  $M$  – masa bijaka,  $m$  – masa nasienia,  $r$  – promień bijaka,  $\omega$  – prędkość obrotowa [ $\text{min}^{-1}$ ],  $P$  – siła oddziaływania.

Fig. 13. Kinematic diagram of the stroke process:  $M$  – mass of the stroke bar,  $m$  – mass of the seed,  $r$  – radius of the stroke bar,  $\omega$  – velocity of rotation [ $\text{min}^{-1}$ ],  $P$  – reacting force.



Rys. 14. Orientacja nasion rzepaku w czasie ich uderzenia przez bijak aparatu. Strzałka oznacza miejsce przyłożenia siły  $P$ .

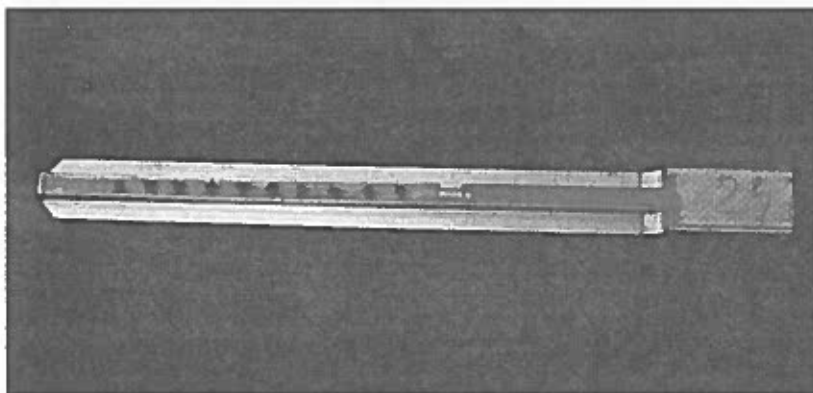
Fig. 14. Orientation of the rape seed during its stroking by the stroke bar (pointer marks place of applying power).

Procedura przeprowadzenia testu dynamicznego obejmowała:

a) pobranie ok. 10 dag nasion z pojemników i doprowadzenie ich do wilgotności 6%;

b) wydzielenie klasy wymiarowej nasion w przedziale  $2,0 \leq \phi \leq 2,1$  mm) stosując do tego celu zestaw sit o odpowiednich otworach i wyznaczenie masy 1000 nasion;

c) naklejenie ich na odpowiednim podajniku (na każdym podajniku naklejano po 10 sztuk nasion  $\times$  10 podajników = 100 szt. nasion), jak na Rys. 15. Nasiona naklejano na podajniku w ten sposób aby bijak uderzał w powierzchnię boczną liścieni (Rys. 14);



Rys. 15. Podajnik z umieszczonymi nasionami rzepaku.

Fig. 15. Hopper – type magazine with placed of rape seeds.

Nasiona uderzano przy prędkości obwodowej bijaka 22,0 m/s. Testy dynamiczne przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Po każdym teście obliczano ilość nasion uszkodzonych (makro- i mikrouszkodzenia). Wyniki badań podano w % nasion uszkodzonych (*ud*) badanej próbki.

Oznaczenie ilości nasion uszkodzonych (*mi*) pod wpływem warunków przechowywania przeprowadzono każdorazowo na 100 nasionach w trzech powtórzeniach, pobierając próbkę losowo z pojemnika. Oznaczania mikrouszkodzeń dokonywano zgodnie z opracowaną metodyką, która polegała na doprowadzeniu nasion do pęcznienia w 10% – roztworze wodnym detergentu (zmniejszającego napięcie powierzchniowe wody). Nasiona moczo w roztworze o temperaturze 20°C przez 30 minut. Pęczniejące nasiona ukazywały już nawet najdrobniejsze nieciągłości okrywy nasiennej. Miarą ilości nasion uszkodzonych była procentowa ilość nasion z uszkodzeniami mikro- w przechowywanej próbce.



#### 4.5.2. Pomiar cech technologicznych

Wartość technologiczną nasion określano na drodze pomiaru następujących wyróżników jakościowych oleju: *LK*, *LN*, *ch*.

Powyższe wskaźniki badano w nasionach uwzględniając czas i zróżnicowane warunki przechowywania. Ocenę tych parametrów dokonano za pomocą analizatora „QN 1000 OXFORD”, produkcji angielskiej (Rys. 16).



Rys. 16. Analizator QN 1000 OXFORD.

Fig. 16. Analyzer QN 1000 OXFORD.

Aparat ten jest spektrometrem bliskiej podczerwieni. Wyposażony w 10 filtrów interferencyjnych, pozwalających na rejestrację promieniowania w charakterystycznych częstotliwościach dla związków organicznych (występujących w materiałach roślinnych, spożywczych). Spektrometr poprzez łącze szeregowo współpracuje z komputerem. Dzięki firmowemu oprogramowaniu Qntools możliwe jest numeryczne wyznaczenie nowych współczynników kalibracyjnych dla danych próbek referencyjnych. Przy ustaleniu parametrów mierzonych w pracy (zawartość tłuszczu, chlorofil, liczba kwasowa, liczba nadtlenkowa) użyto próbek referencyjnych i testowych pochodzących z Laboratorium Technologii Żywności AR w Lublinie i laboratorium IHAR w Poznaniu.

Kalibracje oparte były na zestawie 30 różniących się (szerokim zakresem zmienności) próbek referencyjnych. Obliczone przez program współczynniki kalibracyjne zastosowane do pomiaru badanych parametrów zostały poddane

testowi, w którym wyniki nie odbiegały więcej niż o 5% od wartości testowanych próbek. Każdy pomiar wykonywano w trzech powtórzeniach.

#### 4.6. Założenia do analizy wyników i rozważań teoretycznych

Rozważania teoretyczne oraz uzyskane wyniki badań analizowano przy następujących założeniach:

a) badane cechy jakościowe nasion (mające wpływ np. na ich wartość technologiczną) mogą zmieniać się z różną intensywnością w czasie;

b) pomiędzy przebiegami charakterystyk mierzonych wskaźników nie musi istnieć bezpośrednia zależność. Podatność nasion na uszkodzenia (mała ich wytrzymałość mechaniczna) w małym stopniu wpływa na obniżenie cech technologicznych aktualnie przechowywanych nasion. Istotnie natomiast wpływa na dalsze każdorazowe późniejsze ich przemieszczanie, które sprzyja gwałtownemu wzrostowi ich uszkodzeń wraz z dalszymi konsekwencjami (przyspieszenie procesów metabolicznych, rozwój mikroorganizmów itp.).

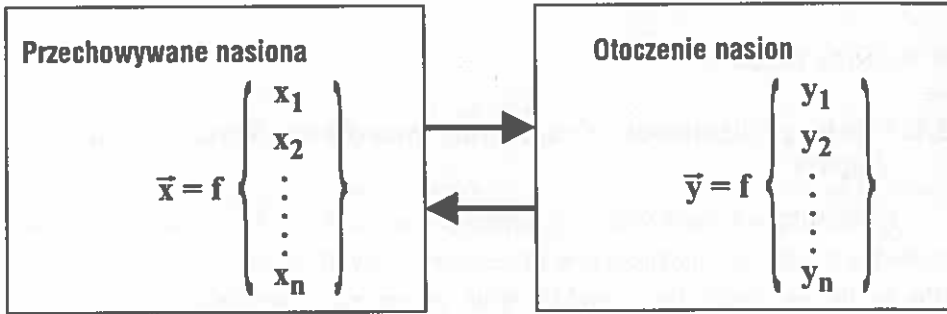
Przyjęte założenia eliminują konieczność uwzględniania wpływu zmieniających się właściwości technologicznych przechowywanych nasion rzepaku na ich odporność na uderzenie.

Analizując zmiany cech fizycznych i technologicznych przechowywanych nasion należy odnieść się każdorazowo do ich stanu początkowego (dojrzałość, wilgotność, ilość uszkodzeń, stopień oraz rodzaj zanieczyszczeń itp.) oraz warunków otoczenia w jakich są one przechowywane (temperatura, wilgotność, obciążenie).

W wyniku przechowywania nasion w określonych warunkach, ich wskaźniki jakości ulegają zmianie. Wskaźniki te mogą być ważnymi parametrami oceniającymi aktualną jakość przechowywanego materiału i w zależności od jego przeznaczenia (przerób, materiał siewny), mogą mieć różną wartość. Przebieg zmian właściwości nasion można nazwać charakterystykami ich przechowywania w określonych warunkach.

Wyznaczenie charakterystyk wybranych cech przechowywanych nasion, w aspekcie ich wzajemnego oddziaływania z otoczeniem, pozwala na wprowadzenie do rozważań nad procesami zmian jakościowych przechowywanego materiału (starzenia) przejrzystości w analizie i wnioskowaniu. Można to osiągnąć poprzez budowanie odpowiednich modeli opisujących zjawiska zachodzące w przechowywanym materiale.

Na Rys. 17 przedstawiono schemat modelu fizycznego ilustrujący przebieg zjawisk zachodzących między przechowywanym materiałem a otoczeniem.



Rys. 17. Schemat blokowy modelu przechowywanych nasion rzepaku:  $\vec{x}$  – parametry wskaźników nasion rzepaku,  $\vec{y}$  – parametry wskaźników atmosfery otaczającej nasiona.

Fig. 17. Diagram of storage model for rape seed:  $\vec{x}$  – rates parameters of rape seeds,  $\vec{y}$  – rates parameters of the seed's atmosphere.

Oddziaływanie otoczenia na przechowywane nasiona może przybierać następujące formy:

a) nawilżania przechowywanego materiału w przypadku gdy:

– wilgotność atmosfery jest większa od aktualnej (w danej temperaturze)

wilgotności równoważnej nasion,

– wahania temperatury umożliwiają wzrost wilgotności otaczającej atmosfery powodując zwiększenie jej wartości ponad wilgotność równoważną;

b) obniżenia zawartości wody w przechowywanych nasionach w przypadku gdy zawartość wilgoci w atmosferze jest mniejsza od wilgotności równoważnej nasion;

c) oddziaływań cieplnych przez co przyspiesza się lub opóźnia procesy metaboliczne zachodzące w masie nasiennej, oraz stymuluje rozwój mikroorganizmów;

d) oddziaływań substancji chemicznych zawartych w atmosferze (tlen sprzyja procesom oddychania – proces aerobowy, inne gazy stwarzają warunki anaerobowe).

Oddziaływanie nasion na otoczenie przybiera następujące formy:

a) w warunkach aerobowych wydzielania się do otaczającej atmosfery: wody, dwutlenku węgla i ciepła,

b) w warunkach anaerobowych wydzielania się do otaczającej atmosfery: alkoholu, kwasu mlekowego, kwasu octowego i in., dwutlenku węgla i ciepła.

Skutki dynamiki zmian temperatury nasion zależą od ich przewodności cieplnej, którą należy rozpatrywać osobno w odniesieniu do pojedynczego nasienia i dla utworzonej warstwy nasion [72].

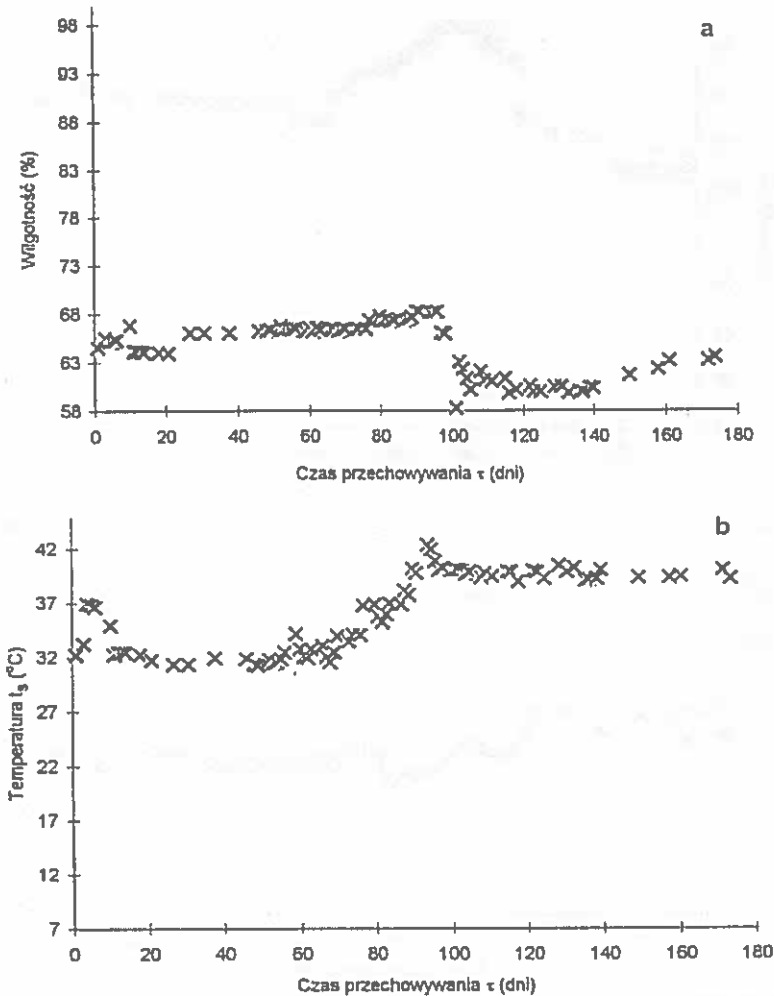
## 5. WYNIKI BADAŃ

### 5.1. Przebieg wilgotności i temperatury przechowywanych nasion rzepaku

Konstrukcja komór wraz z podłączoną aparaturą zapewniała ciągle rejestrowanie zmian zachodzących w przechowywanych próbkach nasion. Pozwoliło to na sporządzenie charakterystyk przebiegów wartości temperatury i wilgotności dla różnych kombinacji przechowywanych próbek. Każda kombinacja doświadczenia była reprezentowana przez podwójne próbki nasion. Pozwoliło to na rejestrację wyników (temperatury i wilgotności) przez cały okres trwania doświadczenia (180 dni) niezależnie od ich aktualnej jakości (zbrylania).

Porównując wyniki zmian wilgotności i temperatury przechowywanych nasion zamieszczone na Rys. 18 i 19 stwierdzono wyraźne różnice w ich przebiegu pomimo, że jest to ta sama odmiana rzepaku (Polo) lecz przechowywana w odmiennych warunkach (temperatura, wilgotność, dojrzałość). W nasionach o początkowej wilgotności 6% i dojrzałości pełnej (Rys. 18) wilgotność wzrasta w miarę systematycznie do około 90 dnia przechowywania, a następnie utrzymuje się ona przez kilka dni na stałym poziomie. Można więc przyjąć, że do 90 dnia mamy do czynienia z oddychaniem tlenowym nasion. Po tym czasie przechodzą proces oddychania mieszanego, gdzie do otaczającej nasiona atmosfery może przedostawać się więcej produktów oddychania beztlenowego (alkoholi), a znajdująca się w atmosferze woda jest usuwana na zewnątrz razem z produktami (gazami) oddychania anaerobowego. Ponieważ ilość wydzielanej energii (ciepła) podczas oddychania beztlenowego jest mniejsza, tak więc i temperatura po 90-tym dniu przechowywania ma tendencję spadkową. W tej próbce nasion, między 70 a 90 dniem przechowywania, obserwujemy znaczny wzrost temperatury przechowywanych nasion.

Charakterystyka przebiegu wilgotności dla nasion odmiany Polo – o zwiększonej zawartości wody, od 40 dnia przechowywania wyraźnie wzrasta, a między 70 a 98 dniem ulega spadkowi (Rys. 19). W omawianym przedziale czasowym zjawisku temu towarzyszy również wzrost i spadek temperatury. Przypuszcza się, że nasiona o tej dojrzałości miały większe zapotrzebowanie na tlen i po jego wyczerpaniu z przestrzeni międzynasiennej szybciej przedstawiały się na oddychanie beztlenowe, również usuwając wilgoć na zewnątrz

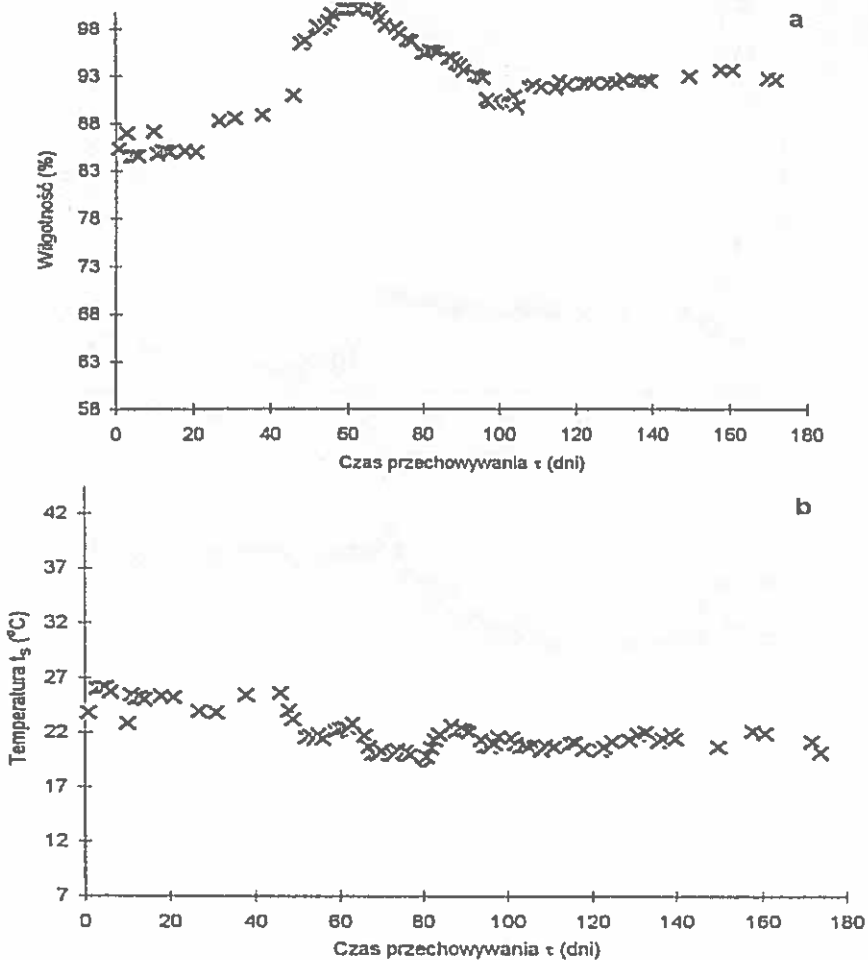


**Rys. 18.** Przebieg zmian wilgotności atmosfery otaczającej nasiona (a) i temperatury (b) próbki rzepaku odmiany Polo w czasie przechowywania. Dojrzałość techniczna nasion, wilgotność początkowa nasion – 6%, temperatura przechowywania = 30°C, obciążenie – 300 kPa.

**Fig. 18.** Process of change air moisture (a) and temperatures (b) surrounding of rape seeds variety Polo during storage. Maturity technical, moisture initial seeds – 6%, temperature of storage = 30°C, loaded – 300 kPa.

wraz z produktami oddychania beztlenowego podobnie jak w poprzednim przypadku.

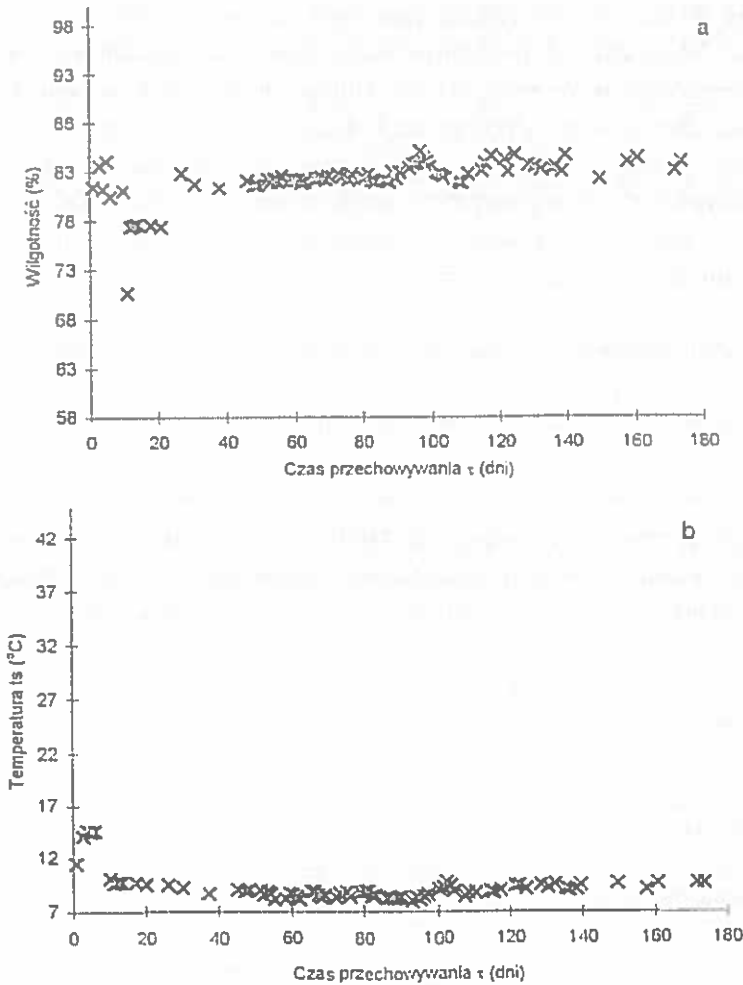
Szybkość spadku wilgotności świadczy również o dość intensywnym procesie oddychania beztlenowego. Po tym okresie obserwuje się również spadek temperatury przechowywania nasion.



**Rys. 19.** Przebieg zmian wilgotności atmosfery otaczającej nasiona (a) i temperatury (b) próbki rzepaku odmiany Polo w czasie przechowywania. Dojrzałość nasion – pełna, wilgotność początkowa nasion – 11%, temperatura przechowywania = 20°C, obciążenie – 300 kPa.

**Fig. 19.** Process of change air moisture (a) and temperatures (b) surrounding of rape seeds variety Polo during storage. Full maturity seeds, moisture initial seeds – 11%, temperature of storage = 20°C, loaded – 300 kPa.

Temperatura w sposób istotny wpływa na procesy metaboliczne przechowywanych nasion. Rysunki 19 i 20 przedstawiają przebiegi temperatury i wilgotności w próbkach nasion rzepaku o znacznie większej wilgotności (11%) jak w poprzednim wariantcie. Poddawane są one tym samym warunkom obciążenia (300 kPa) lecz przebywają w komorach o różnej temperaturze: 20°C (Rys. 19) i 7°C (Rys. 20). Duża wilgotność nasion oraz wysoka



**Rys. 20.** Przebieg zmian wilgotności atmosfery otaczającej nasiona (a) i temperatury (b) próbki rzepaku odmiany Bolko w czasie przechowywania. Dojrzałość nasion – pełna, wilgotność początkowa nasion – 11%, temperatura przechowywania = 7°C, obciążenie – 300 kPa.

**Fig. 20.** Process of change air moisture (a) and temperatures (b) surrounding of rape seeds variety Polo during storage. Full maturity seeds, moisture initial seeds – 11%, temperature of storage = 7°C, loaded – 300 kPa.

temperatura składowania wzmagają procesy metaboliczne w nasionach, co widoczne jest w przedstawionych i omówionych wcześniej charakterystykach (Rys. 19). Nasiona przechowywane w niskiej temperaturze mają łagodniejszy przebieg zmian wilgotności i temperatury, pomimo takiej samej ich wilgotności początkowej (Rys. 20). Po wstępnym wahaniach tych parametrów (co

występuje niemal we wszystkich przechowywanych próbkach), które miało miejsce do 20-go dnia ich przechowywania, obserwuje się, zmianę wilgotności z lekką tendencją wzrostową, aż do 100-go dnia przechowywania. Po 100 dniach przechowywania w próbce zachodzą procesy świadczące o zachwianiu równowagi między szybkością oddychania, wilgotnością i temperaturą. W próbkach tych (przechowywanych w temperaturze 7°C), pomimo tak wysokiej wilgotności nasion nie zauważono śladów rozwoju grzybów. Niska temperatura składowania była skutecznym czynnikiem ograniczającym ich występowanie.

O zróżnicowanym zachowaniu się nasion w zadanych warunkach przechowywania świadczą wyniki zawartości wody w badanych próbkach po 180 dniach ich przechowywania poddanych I-mu i II-giemu etapowi badań (Tabela 2 i 3).

Uzyskane wyniki (Tabela 2) wykazują mniejsze zróżnicowanie dla przechowywanego materiału o mniejszej wilgotności początkowej (6%) oraz większe – dla nasion o wyższej początkowej wilgotności (11%). Zróżnicowanie to jest uzależnione również od temperatury przechowywanych nasion. W niektórych przypadkach, a dotyczy to nasion o początkowej większej wilgotności (11%), ich końcowa wilgotność jest wyższa lub niższa od wartości początkowej tego pomiaru. Znaczy to, że podczas ich przechowywania

**Tabela 2.** Wilgotność nasion po 180 dniach przechowywania w komorze o ciśnieniu 300 kPa (I etap badań)

**Table 2.** Results of investigations of moisture rape seeds after 180 days their storage in chamber about 300 kPa (I stage of investigations)

Odmiana	Zbiór	Wilgotność nasion [%]			
		Początkowa	Temperatura przechowywania		
			7°C	20°C	30°C
Bolko	jednoetapowy	6,0	7,0	9,0	9,0
		11,0	12,0	17,0	10,0
	dwuetapowy	6,0	7,4	8,0	9,0
		11,0	9,0	14,0	14,0
Leo	jednoetapowy	6,0	6,5	7,0	8,0
		11,0	12,0	16,0	11,0
	dwuetapowy	6,0	7,5	8,0	9,0
		11,0	13,0	15,0	12,0
Polo	jednoetapowy	6,0	8,0	7,0	8,0
		11,0	13,0	17,0	13,0
	dwuetapowy	6,0	7,0	7,0	7,0
		11,0	12,0	16,0	14,0



zachodziły również procesy oddychania beztlenowego. Potwierdzeniem tego jest przebieg zmiany wilgotności dla odmiany Polo (Rys. 20), gdzie atmosfera otaczająca nasiona uzyskała wilgotność maksymalną (100%) po 60 dniach przechowywania nasion, by następnie obniżyć się w późniejszym okresie.

Istnieje również pewne zróżnicowanie wilgotności nasion otrzymanych ze zbioru jedno- i dwuetapowego (Tabela 2). Większe zróżnicowanie występuje jednak u nasion o wyższej wilgotności początkowej. Z reguły nasiona ze zbioru dwuetapowego miały wyższą końcową wilgotność (lub wcześniej ją uzyskiwały) w porównaniu do wilgotności początkowej.

Zanieczyszczenia użyteczne również odgrywają znaczną rolę w procesach metabolicznych przechowywanych nasion (Tabela 3). Zauważono, że w nasio-

**Tabela 3.** Wilgotność przechowywanych nasion odmiany Bolko po 180 dniach przechowywania o różnej ilości zanieczyszczeń

**Table 3.** Moisture of storage rape seeds variety Bolko after 180 days of storage about different degree contamination

Wilgotność początkowa nasion [%]	Ilość zanieczyszczeń [%]	Temperatura przechowywania [°C]		
		7	20	30
4	0	5,2	4,5	4,7
	7	5,0	4,3	4,5
	12	4,8	4,3	4,6
6	0	7,2	6,7	6,1
	7	6,7	5,9	5,9
	12	7,1	6,4	5,6
11	0	9,1	9,0	15,1
	7	10,1	19,2	8,9
	12	10,1	10,4	10,6

nach o początkowej wilgotności 11% procesy te wpływały na większe ich końcowe zróżnicowanie wilgotności, zwłaszcza u nasion przechowywanych w wyższej temperaturze. Świadczy to o zmieniającym się współczynniku oddychania w przechowywanym materiale, na co niewątpliwie mógł mieć wpływ rozwój mikroorganizmów. Mniejsza wilgotność nasion działa stabilizująco na procesy oddechowe, niezależnie od ilości zanieczyszczeń i temperatury przechowywania. W nasionach o początkowej wilgotności 4% zauważono, że po zakończeniu doświadczenia (180 dni) różnice w jej zawartości nie przekraczały 0,5% niezależnie od stopnia zanieczyszczenia próbek. Dotyczyło to nasion przechowywanych w różnych wariantach temperatury.

## 5.2. Analiza zmian cech jakościowych nasion rzepaku

Opracowane statystycznie wyniki badań zestawiono w Tabelach 4–15. Rozkłady wartości analizowanych parametrów podano na Rys. 22–27 i 32–37, przy czym z uwagi na ograniczoną objętość pracy, zrezygnowano z przedstawienia na rysunkach wszystkich zmian wartości mierzonych cech, jeśli miały one zbliżony charakter. I tak na przykład, z pierwszego etapu badań zaprezentowane rysunki przedstawiają charakterystyki cech w większości przypadków od przechowywanych nasion pochodzących ze zbioru jednoetapowego. Różnice w zachowaniu się nasion tej samej odmiany lecz pozyskanych z różnych sposobów zbiorów, przedstawiono przykładowo na Rys. 28. Są to nasiona odmiany Bolko uszkodzone po testach dynamicznych. Na Rys. 25 z kolei przedstawiono różnice w zachowaniu się nasion odmiany Bolko przechowywanych w komorach o różnych ciśnieniach przy analogicznych pozostałych warunkach przechowywania. Ponieważ badane cechy nasion innych odmian zachowywały się podobnie, ograniczono się więc do wybranych przykładów.

W Tabelach 4–7 przedstawiono wyniki, które są ilorazami mierzonych parametrów końcowych i początkowych badanych wskaźników dla nasion wszystkich odmian i sposobów ich zbioru. Możemy więc z nich odczytać ile razy interesująca nas cecha wzrosła lub zmalała w trakcie całego czasu doświadczenia.

Wartości ilorazów  $> 1$  świadczą o wzroście parametrów badanych wskaźników. Im większa wartość ilorazu tym większy przyrost badanego wskaźnika. W przypadku badań zawartości chlorofilu mamy do czynienia z rozkładem tego składnika w nasionach w czasie ich składowania, a więc wartość ilorazu jest zawsze  $< 1$  i im większy zanik chlorofilu tym mniejsza wartość ilorazu.

Tabele 8 i 9 przedstawiają równanie regresji nieliniowej uwzględniającej zmianę badanych cech zależnych od czasu przechowywania. Natomiast Tabele 10–15 przedstawiają równanie regresji nieliniowej wielozmiennej opisujące zmiany badanych cech zarówno od czasu jak i warunków przechowywania nasion. Statystyczną analizę materiału wykonano wykorzystując pakiet statystyczny aplikacji Microsoft Excel 5.0. Na podstawie analizy regresji wybrano równania najdokładniej opisujące badane zależności.

Ogólna postać regresji nieliniowej (Tabela 8, 9), opisującej zmianę badanego wskaźnika zależnego od czasu przechowywania w zadanych warunkach, wyraża się wzorem:

$$X_i = at^2 + bt + c, \quad (1)$$

Tabela 4. Ilorazy przyrostu mierzonych wskaźników mechanicznych nasion badanych odmian (I etap badań)  
 Table 4. Quotients of increase measured of coefficients of mechanical rape seeds investigated varieties (I stage of investigations)

Wskaźnik	Odmiana	Zbiór	Ciśnienie w komorze [kPa]												Nasiona przechowywane w worku, temp. przech. ~ 20°C wilgotność ~ 6%
			300						150						
			Wilgotność początkowa nasion [%]												
			Temperatura przechowywania [°C]												
			6	11	6	11	6	11	6	11	6	11	6	11	
			7	20	30	7	20	30	7	20	30	7	20	30	
Ilość nasion z mikrouszkodzeniami <i>mi</i> [%]	Bolko	1-etapowy	2,7	3,7	4,0	4,0 <sup>a)</sup>	5,7 <sup>b)</sup>	5,3 <sup>b)</sup>	3,3	3,0	5,0 <sup>b)</sup>	4,3 <sup>b)</sup>	0,9		
		2-etapowy	6,0	6,5	7,5	8,0 <sup>a)</sup>	9,5 <sup>b)</sup>	6,5 <sup>b)</sup>	5,5	5,5	9,5 <sup>b)</sup>	8,5 <sup>b)</sup>	1,0		
	Leo	1-etapowy	2,0	4,5	4,0	4,0 <sup>a)</sup>	6,0 <sup>b)</sup>	8,0 <sup>b)</sup>	4,5	3,0	6,5 <sup>b)</sup>	6,0 <sup>b)</sup>	1,0		
		2-etapowy	3,5	5,0	6,0	4,0 <sup>a)</sup>	6,5 <sup>b)</sup>	8,5 <sup>b)</sup>	5,5	4,0	7,0 <sup>b)</sup>	8,0 <sup>b)</sup>	0,9		
	Polo	1-etapowy	3,7	4,0	4,3	3,0 <sup>a)</sup>	5,3 <sup>b)</sup>	6,0 <sup>b)</sup>	2,0	4,0	4,3 <sup>b)</sup>	5,0 <sup>b)</sup>	1,2		
		2-etapowy	3,2	3,5	4,0	2,7 <sup>a)</sup>	4,2 <sup>b)</sup>	5,2 <sup>b)</sup>	2,0	3,5	4,0 <sup>b)</sup>	4,5 <sup>b)</sup>	1,0		
Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych <i>ud</i> [%]	Bolko	1-etapowy	4,8	4,2	4,5	5,0 <sup>a)</sup>	5,7 <sup>b)</sup>	6,8 <sup>b)</sup>	3,8	4,7	5,7 <sup>b)</sup>	6,7 <sup>b)</sup>	6,7		
		2-etapowy	10,7	8,6	9,4	8,2 <sup>a)</sup>	9,6 <sup>b)</sup>	10,8 <sup>b)</sup>	6,8	7,7	8,8 <sup>b)</sup>	10,8 <sup>b)</sup>	8,3		
	Leo	1-etapowy	5,3	4,3	5,0	5,0 <sup>a)</sup>	5,6 <sup>b)</sup>	6,7 <sup>b)</sup>	4,4	5,6	6,1 <sup>b)</sup>	7,8 <sup>b)</sup>	4,7		
		2-etapowy	6,3	4,7	5,0	4,8 <sup>a)</sup>	5,7 <sup>b)</sup>	6,4 <sup>b)</sup>	4,2	5,5	5,8 <sup>b)</sup>	6,6 <sup>b)</sup>	5,1		
	Polo	1-etapowy	8,5	7,4	8,7	8,3 <sup>a)</sup>	9,3 <sup>b)</sup>	11,0 <sup>b)</sup>	7,3	8,3	9,8 <sup>b)</sup>	10,3 <sup>b)</sup>	8,2		
		2-etapowy	19,5	15,0	17,0	15,8 <sup>a)</sup>	18,5 <sup>b)</sup>	20,8 <sup>b)</sup>	13,5	15,0	18,3 <sup>b)</sup>	19,5 <sup>b)</sup>	7,6		

a) 120 dni przechowywania, b) 40 dni przechowywania.

**Tabela 5.** Ilorazy przyrostu mierzonych wskaźników dla nasion odmiany Bolko w warunkach przechowywania drugiego etapu badań  
**Table 5.** Quotients of increase measured of coefficients for rape seeds variety Bolko in conditions of storage of second stage of investigations

Wskaźnik	Udział zanieczyszczeń [%]	Początkowa wilgotność nasion [%]									Nasiona przechowywane w worku temp. przech. ~20°C wilgotność ~6%
		4			6			11			
		Temperatura przechowywania [°C]									
		7	20	30	7	20	30	7	20	30	
Ilość nasion z mikrouszkodzeniami <i>mi</i> [%]	0	5,7	5,7	6,0	5,0	3,7	4,3	4,0 <sup>a)</sup>	6,7 <sup>b)</sup>	7,3 <sup>b)</sup>	1,3
	7	5,3	5,0	5,7	5,3	3,3	3,7	3,7 <sup>a)</sup>	6,0 <sup>b)</sup>	6,7 <sup>b)</sup>	0,9
	12	4,3	4,3	5,3	5,3	3,0	3,7	4,3 <sup>a)</sup>	5,3 <sup>b)</sup>	6,7 <sup>b)</sup>	1,1
Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych <i>ud</i> [%]	0	12,3	18,0	18,0	8,0	20,0	18,7	11,3 <sup>a)</sup>	23,0 <sup>b)</sup>	27,7 <sup>b)</sup>	5,2
	7	12,3	18,3	19,7	11,0	22,7	19,0	15,0 <sup>a)</sup>	23,3 <sup>b)</sup>	27,0 <sup>b)</sup>	5,8
	12	17,0	18,7	19,7	14,3	22,7	23,7	22,3 <sup>a)</sup>	25,3 <sup>b)</sup>	29,7 <sup>b)</sup>	7,3

a) 120 dni przechowywania, b) 40 dni przechowywania.

Tabela 6. Ilorazy przyrostu mierzonych wskaźników technologicznych nasion badanych odmian (I etap badań)  
 Table 6. Quotients of increase measured of coefficients of technological rape seeds investigated of varieties (I stage of investigations)

Wskaźnik	Odmiana	Zbiór	Ciśnienie w komorze [kPa]									Nasiona przechowywane w worku, temp. przech. ~ 20°C, wilgotność nasion ~ 6%	
			300			150							
			Wilgotność początkowa nasion [%]										
			6			11			6				
Temperatura przechowywania [°C]													
Zawartość chlorofilu <i>chl</i> [mg/kg]	Bolko	1-etapowy	0,8	0,6	0,8	0,9 <sup>a)</sup>	0,9 <sup>b)</sup>	0,9 <sup>b)</sup>	0,9	0,3	0,9 <sup>b)</sup>	0,3 <sup>b)</sup>	0,9
		2-etapowy	0,6	0,7	0,4	0,8 <sup>a)</sup>	0,6 <sup>b)</sup>	0,4 <sup>b)</sup>	0,6	0,4	0,7 <sup>b)</sup>	0,4 <sup>b)</sup>	0,7
	Leo	1-etapowy	0,8	0,8	0,6	0,6 <sup>a)</sup>	0,5 <sup>b)</sup>	0,5 <sup>b)</sup>	0,4	0,9	0,8 <sup>b)</sup>	0,6 <sup>b)</sup>	0,9
		2-etapowy	0,5	0,5	0,4	0,6 <sup>a)</sup>	0,5 <sup>b)</sup>	0,4 <sup>b)</sup>	0,5	0,4	0,5 <sup>b)</sup>	0,4 <sup>b)</sup>	0,8
Poło	1-etapowy	0,9	0,9	0,3	0,9 <sup>a)</sup>	0,6 <sup>b)</sup>	0,6 <sup>b)</sup>	0,9	0,3	0,7 <sup>b)</sup>	0,6 <sup>b)</sup>	0,7	
	2-etapowy	0,6	0,5	0,1	0,6 <sup>a)</sup>	0,4 <sup>b)</sup>	0,2 <sup>b)</sup>	0,4	0,3	0,4 <sup>b)</sup>	0,3 <sup>b)</sup>	0,6	
Liczba kwasowa <i>LK</i> [-]	Bolko	1-etapowy	3,2	3,0	7,0	7,0 <sup>a)</sup>	12,2 <sup>b)</sup>	14,6 <sup>b)</sup>	2,2	1,6	6,4 <sup>b)</sup>	7,4 <sup>b)</sup>	1,5
		2-etapowy	7,8	5,8	9,0	8,4 <sup>a)</sup>	14,4 <sup>b)</sup>	14,4 <sup>b)</sup>	6,2	9,0	8,0 <sup>b)</sup>	10,8 <sup>b)</sup>	1,7
	Leo	1-etapowy	5,7	6,2	6,2	6,2 <sup>a)</sup>	10,0 <sup>b)</sup>	12,5 <sup>b)</sup>	8,0	2,0	5,2 <sup>b)</sup>	10,5 <sup>b)</sup>	1,3
		2-etapowy	3,0	3,0	2,8	5,8 <sup>a)</sup>	5,7 <sup>b)</sup>	6,1 <sup>b)</sup>	3,1	7,4	5,1 <sup>b)</sup>	8,0 <sup>b)</sup>	1,6
Poło	1-etapowy	5,5	8,0	8,7	9,2 <sup>a)</sup>	12,5 <sup>b)</sup>	12,0 <sup>b)</sup>	6,0	6,7	8,0 <sup>b)</sup>	9,5 <sup>b)</sup>	1,6	
	2-etapowy	3,2	5,5	5,8	6,6 <sup>a)</sup>	9,7 <sup>b)</sup>	9,0 <sup>b)</sup>	3,8	4,7	7,0 <sup>b)</sup>	8,7 <sup>b)</sup>	1,7	
Liczba nadtlenkowa <i>LN</i> [-]	Bolko	1-etapowy	19,0	19,5	24,0	23,5 <sup>a)</sup>	36,0 <sup>b)</sup>	41,5 <sup>b)</sup>	12,0	15,5	22,5 <sup>b)</sup>	25,0 <sup>b)</sup>	3,3
		2-etapowy	11,7	12,7	14,2	11,2 <sup>a)</sup>	19,5 <sup>b)</sup>	22,7 <sup>b)</sup>	14,5	11,5	15,0 <sup>b)</sup>	16,5 <sup>b)</sup>	3,2
	Leo	1-etapowy	24,0	32,0	27,0	48,0 <sup>a)</sup>	35,0 <sup>b)</sup>	44,0 <sup>b)</sup>	20,0	21,0	38,0 <sup>b)</sup>	20,0 <sup>b)</sup>	2,8
		2-etapowy	16,0	20,0	15,5	25,0 <sup>a)</sup>	23,5 <sup>b)</sup>	24,0 <sup>b)</sup>	15,5	15,5	22,5 <sup>b)</sup>	15,5 <sup>b)</sup>	3,6
Poło	1-etapowy	10,0	17,5	18,0	20,0 <sup>a)</sup>	31,5 <sup>b)</sup>	28,0 <sup>b)</sup>	9,0	11,5	20,5 <sup>b)</sup>	23,5 <sup>b)</sup>	2,5	
	2-etapowy	5,8	5,8	6,0	8,0 <sup>a)</sup>	10,1 <sup>b)</sup>	10,3 <sup>b)</sup>	4,2	5,0	10,1 <sup>b)</sup>	9,8 <sup>b)</sup>	2,0	

a) 120 dni przechowywania, b) 40 dni przechowywania.

Tabela 7. Ilorazy przyrostu mierzonych wskaźników technologicznych dla nasion odmiany Bolko (II etap badań)  
 Table 7. Quotients of increase measured of technological coefficients for rape seeds variety Bolko (II stage of investigations)

Wskaźnik	Udział zanieczyszczeń [%]	Wilgotność początkowa nasion [%]										Nasiona przechowywane w worku, temp. przech. ~20°C wilgotność nasion ~6%
		4			6			11				
		7	20	30	7	20	30	7	20	30		
Temperatura przechowywania [°C]												
Zawartość chlorofilu <i>chl</i> [mg/kg]	0	0,4	0,5	0,5	0,3	0,5	0,5	0,2 <sup>a)</sup>	0,4 <sup>b)</sup>	0,3 <sup>b)</sup>	0,3	
	7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2 <sup>a)</sup>	0,3 <sup>b)</sup>	0,3 <sup>b)</sup>	0,4		
	12	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1 <sup>a)</sup>	0,2 <sup>b)</sup>	0,2 <sup>b)</sup>	0,2		
Liczba kwasowa <i>LK</i> [-]	0	2,7	4,3	6,0	5,3	5,3	7,3	8,3 <sup>a)</sup>	7,7 <sup>b)</sup>	13,0 <sup>b)</sup>	1,1	
	7	3,0	5,0	5,0	4,7	5,0	7,3	9,7 <sup>a)</sup>	7,0 <sup>b)</sup>	13,3 <sup>b)</sup>	1,8	
	12	3,7	7,7	7,3	7,3	5,7	6,3	12,0 <sup>a)</sup>	9,7 <sup>b)</sup>	14,0 <sup>b)</sup>	2,1	
Liczba nadtlenkowa <i>LN</i> [-]	0	10,0	12,3	15,3	10,7	14,3	13,0	18,0 <sup>a)</sup>	13,0 <sup>b)</sup>	16,3 <sup>b)</sup>	2,2	
	7	12,7	13,3	15,3	14,7	17,7	13,3	16,7 <sup>a)</sup>	20,0 <sup>b)</sup>	22,0 <sup>b)</sup>	3,5	
	12	16,7	15,7	19,7	15,0	18,0	15,7	21,3 <sup>a)</sup>	25,3 <sup>b)</sup>	26,3 <sup>b)</sup>	4,6	

a) 120 dni przechowywania, b) 40 dni przechowywania.

Tabela 8. Równania regresji nieliniowej opisujące zmianę wskaźników nasion rzepaku w zależności od czasu  $[\tau]$  w zadanych warunkach przechowywania\*)

Table 8. Equation of non-linear regression describing change investigated coefficients of rape seeds depending on from time  $[\tau]$  in given conditions of storage\*)

Mierzony wskaźnik	Symbol zmiennej	Bolko		Leo		Polo	
		zbiór 1-etapowy	zbiór 2-etapowy	zbiór 1-etapowy	zbiór 2-etapowy	zbiór 1-etapowy	zbiór 2-etapowy
Ilość nasion z mikro-uszkodzeniami <i>mi</i> [%]	$\tau^2$	$3,31 \cdot 10^{-4}$ c)	$2,65 \cdot 10^{-4}$	$5,68 \cdot 10^{-3}$	$1,70 \cdot 10^{-4}$ c)	$1,51 \cdot 10^{-4}$ c)	$2,55 \cdot 10^{-4}$ c)
	$\tau$	-0,015	0,027 e)	0,019 e)	0,021 e)	0,023	0,016
	stała	3,20 e)	1,98 e)	2,47 e)	2,32 e)	3,20 e)	3,68 e)
	$R^2$	0,94	0,95	0,91	0,98	0,97	0,9
Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych <i>ud</i> [%]	$\tau^2$	$1,69 \cdot 10^{-3}$ c)	$1,98 \cdot 10^{-3}$ b)	$-9,46 \cdot 10^{-3}$	$-1,72 \cdot 10^{-3}$ c)	$-1,70 \cdot 10^{-4}$	$-4,54 \cdot 10^{-4}$
	$\tau$	-0,082 e)	0,025	0,25 e)	0,60 e)	0,35 e)	0,45 e)
	stała	13,26 e)	9,75 e)	5,98 e)	3,58	5,01	4
	$R^2$	0,99	0,97	0,96	0,93	0,98	0,98
Zwartość chlorofilu <i>ch</i> [mg/kg]	$\tau^2$	$1,60 \cdot 10^{-5}$	$2,03 \cdot 10^{-4}$	$8,04 \cdot 10^{-5}$ c)	$1,03 \cdot 10^{-4}$ c)	$3,31 \cdot 10^{-5}$ c)	$2,36 \cdot 10^{-4}$ e)
	$\tau$	$-6,92 \cdot 10^{-3}$ e)	-0,062 b)	-0,027 e)	-0,026 b)	-0,022 e)	-0,096 e)
	stała	3,51 e)	11,17 a)	6,46 e)	6,07 e)	3,93 e)	10,67 e)
	$R^2$	0,92	0,59	0,96	0,8	0,99	0,99
Liczba kwasowa <i>LK</i> [-]	$\tau^2$	$4,82 \cdot 10^{-5}$	$5,77 \cdot 10^{-5}$	$6,53 \cdot 10^{-5}$ b)	$2,93 \cdot 10^{-5}$ c)	$2,27 \cdot 10^{-5}$	$6,62 \cdot 10^{-5}$
	$\tau$	0,011	0,017	0,001	0,003	0,017	0,007
	stała	0,226	0,02	0,333 e)	0,560 b)	0,04	0,32
	$R^2$	0,96	0,9	0,97	0,92	0,91	0,94
Liczba nadlenkowa <i>LN</i> [-]	$\tau^2$	$1,79 \cdot 10^{-5}$	$3,78 \cdot 10^{-5}$	$3,88 \cdot 10^{-5}$	$-3,12 \cdot 10^{-5}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$9,75 \cdot 10^{-5}$ e)
	$\tau$	0,026 e)	0,031	$9,04 \cdot 10^{-3}$	0,024 e)	0,021 e)	$3,38 \cdot 10^{-3}$
	stała	-0,1	-3,52	0,033	-0,139	-0,18	0,313
	$R^2$	0,96	0,91	0,96	0,94	0,93	0,94

\*) wilgotność nasion – 6%, temperatura przechowywania – 30°C, ciśnienie w komorze – 300 kPa; a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotne przy  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 9. Równania regresji nieliniowej opisujące zmianę badanych wskaźników nasion rzepaków o różnej ilości zanieczyszczeń i wilgotności 6% w zależności od czasu  $\tau$  i zadanych warunkach przechowywania

Table 9. Equation of non-linear regression describing change investigated coefficients of rape seeds about different degree contamination and moistures 6% depending on time  $\tau$  and given conditions of storage

Wskaźnik	Symbol zmiennej	Temperatura przechowywania [°C]											
		7				20				30			
		0	7	12	0	7	12	0	7	12	0	7	12
Ilość nasion z mikro-uszkodzeniami <i>mi</i> [%]	$\tau^2$	$1,98 \cdot 10^{-4}$	$2,55 \cdot 10^{-4}$	$-9,46 \cdot 10^{-6}$	$1,32 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-4}$	$2,46 \cdot 10^{-4}$	$-1,89 \cdot 10^{-5}$	$9,46 \cdot 10^{-5}$	$-1,89 \cdot 10^{-5}$	$9,46 \cdot 10^{-5}$	$2,17 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	$\tau$	0,025	0,015 <sup>c</sup>	0,071 <sup>b</sup>	0,028	0,021	$-4,0 \cdot 10^{-3}$	0,060 <sup>b</sup>	0,030 <sup>b</sup>	0,060 <sup>b</sup>	0,030 <sup>b</sup>	2,67 <sup>a</sup>	3,79 <sup>b</sup>
	stała	3,77 <sup>b</sup>	4,11 <sup>b</sup>	3,35 <sup>a</sup>	3,14	3,86	3,45 <sup>c</sup>	2,65 <sup>a</sup>	2,65 <sup>a</sup>	2,65 <sup>a</sup>	2,65 <sup>a</sup>	0,98	0,80
	$R^2$	0,96	0,93	0,97	0,76	0,53	0,72	0,97	0,97	0,97	0,97	0,92	0,80
Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych <i>ud</i> [%]	$\tau^2$	$-1,79 \cdot 10^{-4}$	$4,16 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
	$\tau$	0,125 <sup>b</sup>	0,053 <sup>c</sup>	0,022	0,021	0,030	0,061	0,052	0,039	0,052	0,039	0,060	0,060
	stała	5,53 <sup>c</sup>	7,96 <sup>c</sup>	9,05 <sup>c</sup>	7,75 <sup>c</sup>	9,03 <sup>c</sup>	10,13 <sup>c</sup>	6,70 <sup>c</sup>	9,12	6,70 <sup>c</sup>	9,12	10,01 <sup>c</sup>	10,01 <sup>c</sup>
	$R^2$	0,92	0,83	0,89	0,96	0,96	0,95	0,97	0,92	0,97	0,92	0,92	0,94
Zawartość chlorofilu <i>chl</i> [mg/kg]	$\tau^2$	$1,93 \cdot 10^{-4}$	$1,93 \cdot 10^{-4}$	$1,97 \cdot 10^{-4}$	$8,52 \cdot 10^{-5}$	$1,61 \cdot 10^{-4}$	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$9,94 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$9,94 \cdot 10^{-5}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-4}$
	$\tau$	-0,047 <sup>b</sup>	-0,049 <sup>a</sup>	-0,052 <sup>a</sup>	-0,025 <sup>b</sup>	-0,046 <sup>a</sup>	-0,047 <sup>a</sup>	-0,029 <sup>b</sup>	-0,050 <sup>a</sup>	-0,029 <sup>b</sup>	-0,050 <sup>a</sup>	-0,047 <sup>a</sup>	-0,047 <sup>a</sup>
	stała	3,86 <sup>a</sup>	3,94 <sup>a</sup>	4,04 <sup>a</sup>	4,14 <sup>a</sup>	4,27 <sup>a</sup>	4,18 <sup>a</sup>	4,20 <sup>a</sup>	4,28 <sup>a</sup>	4,20 <sup>a</sup>	4,28 <sup>a</sup>	4,28 <sup>a</sup>	4,28 <sup>a</sup>
	$R^2$	0,85	0,88	0,92	0,85	0,96	0,94	0,89	0,97	0,89	0,97	0,96	0,96
Liczba kwasowa <i>LK</i> [-]	$\tau^2$	$3,97 \cdot 10^{-5}$	$2,84 \cdot 10^{-5}$	$5,87 \cdot 10^{-5}$	$9,46 \cdot 10^{-6}$	$2,84 \cdot 10^{-6}$	$3,78 \cdot 10^{-6}$	$-1,6 \cdot 10^{-5}$	$-6,25 \cdot 10^{-5}$	$-1,6 \cdot 10^{-5}$	$-6,25 \cdot 10^{-5}$	$-1,01 \cdot 10^{-4}$	$-1,01 \cdot 10^{-4}$
	$\tau$	-0,001	$4,01 \cdot 10^{-4}$	$-2,14 \cdot 10^{-3}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	0,014 <sup>c</sup>	0,022 <sup>a</sup>	0,014 <sup>c</sup>	0,022 <sup>a</sup>	0,027 <sup>a</sup>	0,027 <sup>a</sup>
	stała	0,39 <sup>b</sup>	0,42 <sup>b</sup>	0,42 <sup>c</sup>	0,23	0,32 <sup>c</sup>	0,27 <sup>c</sup>	0,23	0,26	0,23	0,26	0,22	0,22
	$R^2$	0,94	0,89	0,92	0,89	0,93	0,94	0,92	0,95	0,92	0,95	0,95	0,95
Liczba nadtlenkowa <i>LN</i> [-]	$\tau^2$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$1,62 \cdot 10^{-4}$	$1,43 \cdot 10^{-4}$	$-7,76 \cdot 10^{-5}$	$-5,01 \cdot 10^{-5}$	$-8,33 \cdot 10^{-5}$	$-2,55 \cdot 10^{-5}$	$-5,96 \cdot 10^{-5}$	$-2,55 \cdot 10^{-5}$	$-5,96 \cdot 10^{-5}$	$-8,61 \cdot 10^{-5}$	$-8,61 \cdot 10^{-5}$
	$\tau$	-0,008	-0,011	-0,005	0,038 <sup>a</sup>	0,038 <sup>a</sup>	0,044 <sup>a</sup>	0,029 <sup>c</sup>	0,034 <sup>b</sup>	0,029 <sup>c</sup>	0,034 <sup>b</sup>	0,040 <sup>a</sup>	0,040 <sup>a</sup>
	stała	0,54 <sup>c</sup>	0,64	0,53 <sup>c</sup>	0,072	0,21	0,31	-0,15	-0,03	-0,15	-0,03	0,19	0,19
	$R^2$	0,93	0,92	0,98	0,97	0,99	0,99	0,92	0,94	0,92	0,94	0,99	0,99

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .



Tabela 10. Równania regresji wielozmiennej opisujące zmianę ilości nasion z mikrouszkodzeniami *mi* dla badanych odmian rzepaku (z uwzględnieniem redukcji równania wynikającej z istotności poszczególnych składników)

Table 10. Equation of multiple regression describing change of quantity of rape seeds from micro-damages *mi* for investigated varieties of rape (with regard of reduction of equalisation resulting from essential each components)

Symbol i nazwa zmiennej niezależnej	Bolko		Leo		Polo	
	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy
Czas przechowywania $\tau$ [dni]	-	-0,0604 <sup>c)</sup>	-	-	-	-
$\tau^2$	-	-	-0,000134 <sup>c)</sup>	-	-	-
Temperatura przechowywania $t_s$ [°C]	0,6003 <sup>a)</sup>	0,5294 <sup>c)</sup>	0,6868 <sup>a)</sup>	0,1091 <sup>b)</sup>	0,07643 <sup>c)</sup>	-
$t_s^2$	-0,0141	-0,01102	-0,01566	-	-	0,002813
Ciśnienie w komorze $c_z$ [kPa]	-	-	-	-	-	-
$c_z^2$	-	-	-	-	-	-
Wilgotność nasion $w_n$ [%]	-	0,9225 <sup>a)</sup>	-	-	-	-
$w_n^2$	0,0559	-	0,0329 <sup>a)</sup>	0,0463 <sup>a)</sup>	0,05007 <sup>a)</sup>	0,06377 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot t_s$	-	-	-	-	-	-
$\tau \cdot c_z$	-	0,0001168 <sup>c)</sup>	-	-	0,0001594	0,0002068
$\tau \cdot w_n$	0,006743 <sup>a)</sup>	0,01471 <sup>b)</sup>	0,00844 <sup>a)</sup>	0,00656 <sup>a)</sup>	-	-
$t_s \cdot c_z$	-	-	-	-	-	-
$t_s \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
$c_z \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
Stała	-5,279 <sup>b)</sup>	-9,6544 <sup>a)</sup>	-5,6906 <sup>a)</sup>	-2,008	-0,3409	-0,513
Współczynnik determinacji [R <sup>2</sup> ] [-]	0,65	0,72	0,59	0,52	0,45	0,53

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 11. Równania regresji wielozmiennej opisujące zmianę ilości nasion uszkodzonych  $ud$  po testach dynamicznych dla badanych odmian rzepaku (z uwzględnieniem redukcji równania wynikającej z istotności poszczególnych składników)

Table 11. Equation of multiple regression describing change of quantity of rape seeds damaged  $ud$  after dynamic tests for investigated varieties of rape (with regard of equalisation resulting from essential each components)

Symbol i nazwa zmiennej niezależnej	Bolkko		Leo		Polo	
	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy
Czas przechowywania $\tau$ {dni}	-	-	0,24132 <sup>a)</sup>	0,1857 <sup>b)</sup>	-	0,54791 <sup>a)</sup>
$\tau^2$	-	-	-	-	-	-
Temperatura przechowywania $t_s$ [°C]	0,3551 <sup>c)</sup>	-	-	-	0,6573 <sup>a)</sup>	1,0092 <sup>b)</sup>
$t_s^2$	-	0,01195 <sup>c)</sup>	0,009608 <sup>b)</sup>	0,01377 <sup>b)</sup>	-	-
Ciśnienie w komorze $cz$ [kPa]	-	-	-	-	-	-
$cz^2$	-	-	-	-	-	-
Wilgotność nasion $w_n$ [%]	-	-	-	-	-	-
$w_n^2$	0,2426 <sup>b)</sup>	0,2783 <sup>b)</sup>	0,2612 <sup>a)</sup>	0,2502 <sup>a)</sup>	0,2249 <sup>a)</sup>	0,3634 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot t_s$	-	-	-	-	-	-0,006776 <sup>c)</sup>
$\tau \cdot cz$	-	0,0004667	-	0,0004276 <sup>c)</sup>	-	-
$\tau \cdot w_n$	0,0414 <sup>b)</sup>	0,0402 <sup>b)</sup>	-	-	0,0512 <sup>a)</sup>	-
$t_s \cdot cz$	-	-	-	-	-	-
$t_s \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
$cz \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
Stała	-8,8602	-13,2692 <sup>c)</sup>	-10,5343 <sup>c)</sup>	-11,8360 <sup>c)</sup>	-18,3387 <sup>b)</sup>	-36,7208 <sup>b)</sup>
Współczynnik determinacji $[R^2]$ [-]	0,63	0,69	0,66	0,67	0,73	0,72

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 12. Równania regresji wielozmiennej opisujące zmianę zawartości chlorofilu *chl* dla badanych odmian rzepaku (z uwzględnieniem redukcji równania wynikającej z istotności poszczególnych składników)

Table 12. Equation of multiple regression describing change of content of chlorophyll *chl* for investigated variety of rape seeds (with regard of reduction of equalisation resulting from essential each components)

Symbol i nazwa zmiennej niezależnej	Bolko		Leco		Polo	
	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy
Czas przechowywania $\tau$ [dni]	-	-0,0654 <sup>a)</sup>	-	-	-	-0,0651 <sup>a)</sup>
$\tau^2$	-	0,000233 <sup>a)</sup>	0,0000839 <sup>a)</sup>	0,000288 <sup>a)</sup>	0,0000423 <sup>a)</sup>	0,0002837
Temperatura przechowywania $t_s$ [°C]	0,08377 <sup>c)</sup>	-0,1271 <sup>a)</sup>	-0,2913 <sup>a)</sup>	-0,695 <sup>c)</sup>	0,1275 <sup>a)</sup>	-
$t_s^2$	-0,002204 <sup>c)</sup>	-	0,007073 <sup>a)</sup>	0,016078 <sup>a)</sup>	-0,003702 <sup>a)</sup>	-0,001445 <sup>c)</sup>
Ciśnienie w komorze $c_z$ [kPa]	0,00259 <sup>b)</sup>	-	-	-	-	-
$c_z^2$	-	-	-	-	-	-
Wilgotność nasion $w_n$ [%]	-	-	0,0172 <sup>c)</sup>	-	-	-
$w_n^2$	-	-0,0102 <sup>c)</sup>	-	-	-0,00455 <sup>a)</sup>	-0,02453 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot t_s$	-0,000251 <sup>a)</sup>	-	-	-	-0,000704 <sup>a)</sup>	-0,001003 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot c_z$	-	-	-	-	-	-
$\tau \cdot w_n$	-	-	-	-0,003797 <sup>c)</sup>	-	-
$t_s \cdot c_z$	-	-	-	-	-	-
$t_s \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
$c_z \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
Stała	1,9873 <sup>a)</sup>	15,106 <sup>a)</sup>	8,764 <sup>a)</sup>	10,064 <sup>c)</sup>	3,385 <sup>a)</sup>	12,506 <sup>a)</sup>
Współczynnik determinacji $[R^2]$ [-]	0,50	0,66	0,50	0,59	0,85	0,82

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 13. Równania regresji wielozmiennej opisujące zmianę liczby kwasowej LK dla badanych odmian rzepaku (z uwzględnieniem redukcji równania wynikającej z istotności poszczególnych składników)

Table 13. Equation of multiple regression describing change of acidic number value LK for investigated varieties of rape (with regard of reduction of equalisation resulting from essential components)

Symbol i nazwa zmiennej niezależnej	Bolko		Leo		Polo	
	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy
Czas przechowywania $\tau$ [dni]	-0,0296 <sup>b)</sup>	-	-	-	-	-
$\tau^2$	-	-	-	-	-	-
Temperatura przechowywania $t_s$ [°C]	0,06239 <sup>a)</sup>	0,07146 <sup>a)</sup>	0,1879 <sup>b)</sup>	-	0,1823 <sup>b)</sup>	0,05504 <sup>a)</sup>
$t_s^2$	-	-	-0,00415 <sup>b)</sup>	0,001277 <sup>a)</sup>	-0,003292 <sup>c)</sup>	-
Ciśnienie w komorze $c_z$ [kPa]	-	-	-	-	0,003436 <sup>b)</sup>	-
$c_z^2$	-	-	-	-	-	-
Wilgotność nasion $w_n$ [%]	-	-	-	-	-	-
$w_n^2$	0,01409 <sup>b)</sup>	0,02051 <sup>a)</sup>	0,01422 <sup>a)</sup>	0,01478 <sup>a)</sup>	0,0162 <sup>a)</sup>	0,02155 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot t_s$	-	-	-	-	-	-
$\tau \cdot c_z$	0,0000638 <sup>a)</sup>	-	-	0,000538 <sup>a)</sup>	-	-
$\tau \cdot w_n$	0,003737 <sup>c)</sup>	0,0036 <sup>a)</sup>	0,00188 <sup>a)</sup>	0,00435 <sup>a)</sup>	0,00279 <sup>a)</sup>	0,002632 <sup>a)</sup>
$t_s \cdot c_z$	-	-	-	-	-	-
$t_s \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
$c_z \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
Stała	-1,6149 <sup>b)</sup>	-2,318 <sup>a)</sup>	-2,2549 <sup>a)</sup>	-1,0150 <sup>b)</sup>	-3,6456 <sup>a)</sup>	-1,877 <sup>b)</sup>
Współczynnik determinacji [R <sup>2</sup> ] [-]	0,55	0,64	0,51	0,69	0,73	0,65

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 14. Równania regresji wielozmiennej opisujące zmianę liczby nadlenkowej LN dla badanych odmian rzepaku (z uwzględnieniem redukcji równania wynikającej z istotności poszczególnych składników)

Table 14. Equation of multiple regression describing change of peroxide number value LN for investigated varieties of rape (with regard of reduction of equalisation resulting from essential each components)

Symbol i nazwa zmiennej niezależnej	Bolko		Leo		Polo	
	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy	Zbiór jednoetapowy	Zbiór dwuetapowy
Czas przechowywania $\tau$ [dni]	-	0,0337 <sup>a)</sup>	-0,02252 <sup>a)</sup>	-	-0,02372 <sup>c)</sup>	-
$\tau^2$	-	-	-	-	-	-
Temperatura przechowywania $t_s$ [°C]	0,07811 <sup>a)</sup>	0,2925 <sup>b)</sup>	0,1656 <sup>a)</sup>	0,1395 <sup>b)</sup>	0,24 <sup>a)</sup>	0,04939 <sup>a)</sup>
$t_s^2$	-	-0,005865 <sup>c)</sup>	-0,003588 <sup>b)</sup>	-0,00292 <sup>c)</sup>	-0,0045 <sup>c)</sup>	-
Ilość zanieczyszczeń $iz$ [%]	-	-	-	-	-	-
$iz^2$	-	-	-	-	-	-
Wilgotność nasion $w_n$ [%]	-	-	-	-	-	-
$w_n^2$	0,02552 <sup>a)</sup>	0,03488 <sup>a)</sup>	0,01017 <sup>a)</sup>	0,0191 <sup>a)</sup>	0,01845 <sup>a)</sup>	0,02713 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot t_s$	-	-	-	-	-	-
$\tau \cdot iz$	0,00005175 <sup>c)</sup>	-	0,00003174 <sup>b)</sup>	-	0,00005549 <sup>b)</sup>	-
$\tau \cdot w_n$	0,001752 <sup>c)</sup>	-	0,004918 <sup>a)</sup>	0,003531 <sup>a)</sup>	0,004408 <sup>b)</sup>	0,00302 <sup>b)</sup>
$t_s \cdot iz$	-	-	-	-	-	-
$t_s \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
$iz \cdot w_n$	-	-	-	-	-	-
Stała	-2,956 <sup>b)</sup>	-4,871 <sup>a)</sup>	-2,095 <sup>b)</sup>	-2,238 <sup>a)</sup>	-3,5258 <sup>a)</sup>	-2,088 <sup>a)</sup>
Współczynnik determinacji $[R^2]$ [-]	0,62	0,67	0,81	0,79	0,69	0,65

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .

Tabela 15. Równania regresji wielozmiennej opisujące zmianę badanych cech odmiany rzepaku Bolko – II etap badań (z uwzględnieniem redukcji równania wynikającej z istotności poszczególnych składników)

Table 15. Equation of multiple regression describing change investigated of features of rape seeds variety Bolko – II stage of investigations (with regard of reduction of equalisation resulting from essential each components)

Symbol i nazwa zmiennej niezależnej	Ilość nasion z mikrouskodzeniami mi [%]	Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych ud [%]	Liczba kwasowa LK	Liczba nadtenkowa LN	Zawartość chlorofilu ch [mg/kg]
Czas przechowywania $\tau$ [dni]	0,0912 <sup>a)</sup>	–	–	–	-0,0402 <sup>a)</sup>
$\tau^2$	-0,000107	0,000322	–	–	0,000176 <sup>a)</sup>
Temperatura przechowywania $t_s$ [°C]	0,1192 <sup>a)</sup>	1,2235 <sup>b)</sup>	–	0,167 <sup>a)</sup>	–
$t_s^2$	–	-0,0304 <sup>b)</sup>	0,000887 <sup>a)</sup>	-0,003798 <sup>a)</sup>	–
Ciśnienie w komorze cz [kPa]	-0,1236 <sup>b)</sup>	–	–	–	-0,019
$cz^2$	–	–	0,001978 <sup>a)</sup>	0,00309	–
Wilgotność nasion $w_n$ [%]	-5,5497 <sup>b)</sup>	-8,023 <sup>a)</sup>	-0,3246 <sup>b)</sup>	-0,7283 <sup>a)</sup>	0,268 <sup>b)</sup>
$w_n^2$	0,3966 <sup>b)</sup>	0,6818 <sup>c)</sup>	0,0313 <sup>b)</sup>	0,0673 <sup>a)</sup>	-0,0184 <sup>b)</sup>
$\tau \cdot t_s$	-0,0006907 <sup>c)</sup>	0,00349 <sup>b)</sup>	–	0,000313 <sup>b)</sup>	–
$\tau \cdot cz$	–	0,00559 <sup>a)</sup>	–	0,000484 <sup>c)</sup>	-0,00052 <sup>a)</sup>
$\tau \cdot w_n$	–	0,0200 <sup>a)</sup>	0,001645 <sup>a)</sup>	0,00286 <sup>a)</sup>	-0,000564
$t_s \cdot cz$	–	–	–	–	–
$t_s \cdot w_n$	–	–	–	–	–
$cz \cdot w_n$	–	–	–	–	–
Stała	19,229 <sup>a)</sup>	15,411	0,4888	0,2145	3,3789 <sup>a)</sup>
Współczynnik determinacji [R <sup>2</sup> ] [-]	0,66	0,70	0,70	0,73	0,85

a) istotny przy  $\alpha = 0,001$ , b) istotny przy  $\alpha = 0,01$ , c) istotny przy  $\alpha = 0,05$ .

gdzie:

$\tau$  – czas przechowywania nasion (zmienna niezależna);

$X_i$  – wartość parametru zmieniającego się wskaźnika (zmienna zależna);

$a, b$  – współczynniki charakteryzujące podatność zmian badanego wskaźnika;

$c$  – stała równania.

Stopień dopasowania modeli regresji, oceniany współczynnikiem determinacji  $R^2$  był bardzo wysoki i jego wartości mieściły się w przedziale 0,91–0,99. Równania regresji nieliniowej wieloczynnikowej (Tabele 10–15) opisują badane wskaźniki w nasionach w zależności od czasu przechowywania o od warunków ich przechowywania w komorze (wilgotność, temperatura, ciśnienie, ilość zanieczyszczeń oraz ich wzajemnych kombinacji – interakcji).

$$X_i = f(\tau^2, \tau, t_s^2, t_s, cz^2, cz, w_n^2, w_n, \tau \cdot t_s, \tau \cdot cz, \tau \cdot w_n, t_s \cdot w_n, cz \cdot w_n, iz^2, iz, \tau \cdot iz, t_s \cdot iz, iz \cdot w_n), \quad (2)$$

gdzie:  $f$  jest wielomianem drugiego stopnia o składnikach podanych w nawiasie.

I tak, dla pierwszego etapu badań równanie regresji nieliniowej wieloczynnikowej (Tabele 10–14) ukazują zależność badanego wskaźnika  $X_i$  od:

$$X_i = f(\tau^2, \tau, t_s^2, t_s, cz^2, cz, w_n^2, w_n, \tau \cdot t_s, \tau \cdot cz, \tau \cdot w_n, t_s \cdot w_n, t_s \cdot cz, cz \cdot w_n), \quad (3)$$

W drugim zaś etapie badań (Tabela 15) równanie regresji nie uwzględnia ciśnienia  $cz$ . Badania przebiegały w jednakowym ciśnieniu, lecz zróżnicowanej ilości zanieczyszczeń  $iz$ :

$$X_i = f(\tau^2, \tau, t_s^2, t_s, iz^2, iz, w_n^2, w_n, \tau \cdot t_s, \tau \cdot iz, \tau \cdot w_n, t_s \cdot iz, t_s \cdot w_n, iz \cdot w_n). \quad (4)$$

Stopień dopasowania modelu regresji dla tych przypadków (między innymi na większą ilość zmiennych) był o wiele mniejszy. Współczynniki determinacji  $R^2$  mieściły się w przedziale 0,45–0,85.

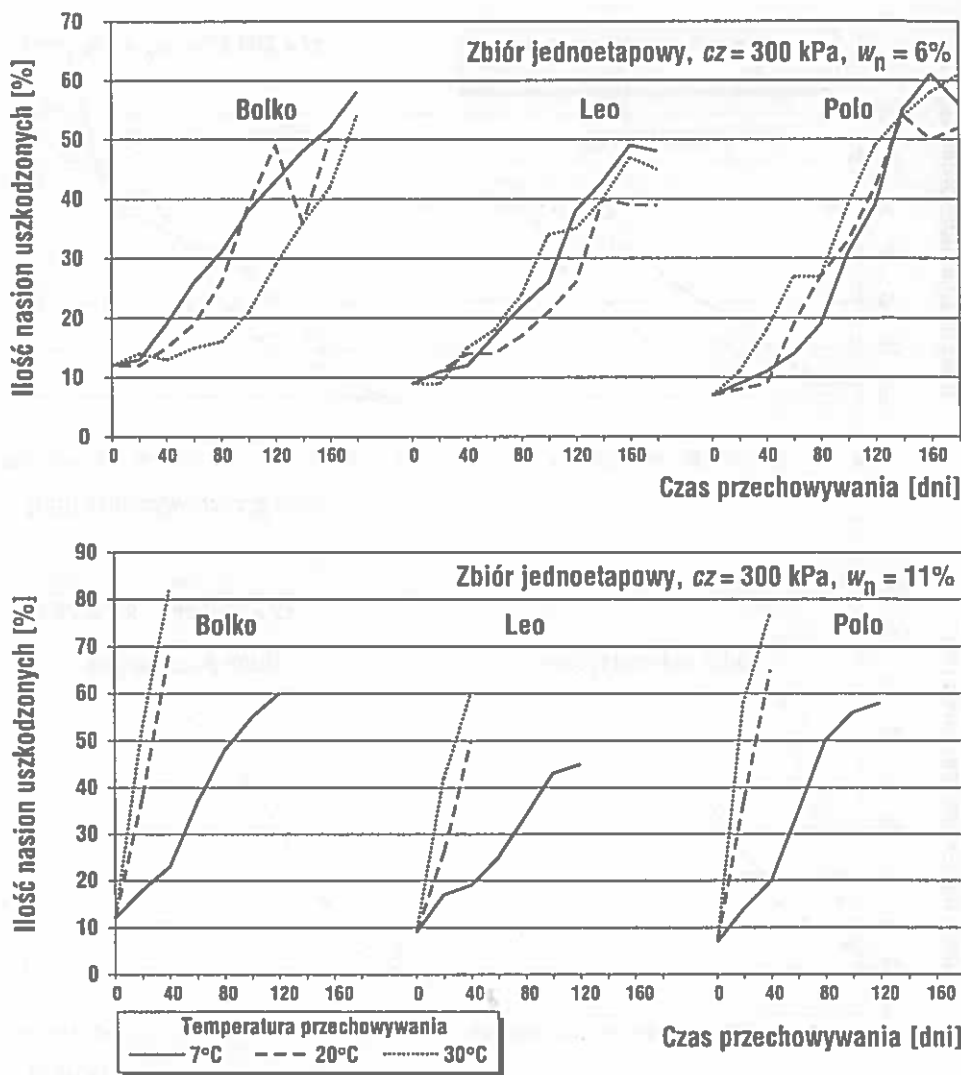
Stwierdzenie, czy zmiana wartości jednego z parametrów przechowywania (przy zachowaniu pozostałych) ma wpływ na przebieg zmian danej cechy może być potwierdzone poprzez wartość współczynnika korelacji liniowej między dwoma przebiegami. Wysoka korelacja między takimi przebiegami może świadczyć o małym wpływie danego czynnika na przebieg zmian badanej cechy. Dlatego w niektórych przypadkach dla interpretacji otrzymanych wyników posłużono się obliczonymi współczynnikami korelacji liniowej.

## 5.2.1. Wartości cech fizycznych

### 5.2.1.1. Ilość nasion uszkodzonych podczas testów dynamicznych

Spadek odporności na uderzenie przechowywanych nasion nie ma bezpośredniego wpływu na ich jakość technologiczną. Jednak podczas przesypywania nasion (w celu ich dosuszenia) lub transportu, przy obniżonej ich odporności na uderzenie, wzrasta ilość nasion uszkodzonych *ud*, co może być przyczyną utrudniającą ich transport i może mieć znane już konsekwencje przy dalszym ich przechowywaniu. Wyniki badań dynamicznych (Rys. 21–24) wskazują, że czynnikami różnicującymi ten parametr są: odmiany, stopień dojrzałości oraz warunki przechowywania. Najbardziej odporne na uderzenie były nasiona odmiany Leo (najmniej nasion uszkodzonych). Dotyczyło to wszystkich wariantów przechowywania (Rys. 21). Różnice w odporności na uderzenie tej odmiany sięgają 25% w stosunku do nasion odmiany Bolko i Polo. Nasiona pochodzące ze zbioru dwuetapowego w początkowym okresie przechowywania miały nieznacznie większą odporność na uderzenie (mniejsza ilość nasion uszkodzonych) od nasion tej samej odmiany lecz pochodzących ze zbioru jednoetapowego (Rys. 22). Po 20–40 dniach przechowywania przyrosty nasion uszkodzonych po testach dynamicznych były większe dla nasion pochodzących ze zbioru dwuetapowego (malala ich odporność na uderzenie). W końcowym efekcie, ilorazy przyrostu (Tabela 4) nasion uszkodzonych po testach dynamicznych dla odmiany Bolko i Polo były blisko dwukrotnie większe dla nasion pochodzących ze zbioru dwuetapowego od nasion pozyskanych ze zbioru jednoetapowego. Odmiana Leo nie wykazywała tak dużych różnic tego wskaźnika, uwzględniając sposób zbioru. Ilorazy przyrostu (Tabela 4) dla nasion o mniejszej wilgotności (6%) nie wykazywały istotnych różnic wzrostowych uzależnionych od temperatury przechowywania. Przy większej wilgotności nasion (11%) – wpływ temperatury jest widoczny: im wyższa temperatura, tym nasiona zmniejszały swoją odporność na uderzenie. Daje się również zauważyć wpływ naprężeń między nasionami (ciśnienie w komorze) na wzrost nasion uszkodzonych przy analogicznych pozostałych warunkach przechowywania. I tak, nasiona przechowywane w komorze o większym ciśnieniu wykazywały większe przyrosty uszkodzeń. Zjawisko to dotyczyło wszystkich badanych odmian. Równania regresji nieliniowej wielozmiennej opisujące zmianę ilości nasion uszkodzonych po testach dynamicznych (Tabela 11) wykazują faktycznie mniejsze zróżnicowanie zachowania się tego wskaźnika u nasion odmiany Leo (zbliżone wartości współczynników przy zmiennych niezależnych).

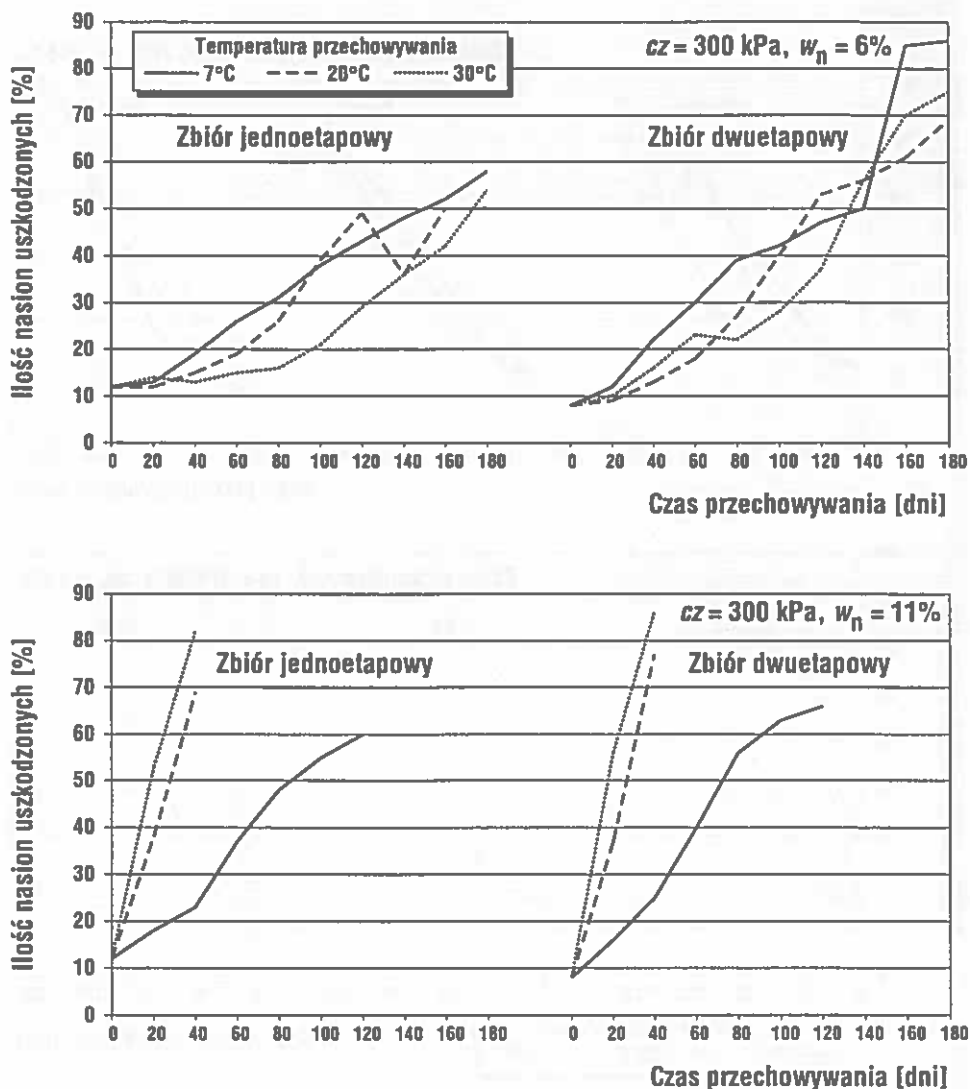




Rys. 21. Zmiany ilości nasion uszkodzonych *ud* podczas testów dynamicznych w zależności od czasu i warunków przechowywania.

Fig. 21. Changes of quantity of damaged *ud* seeds during dynamic tests depending on time and conditions of storage.

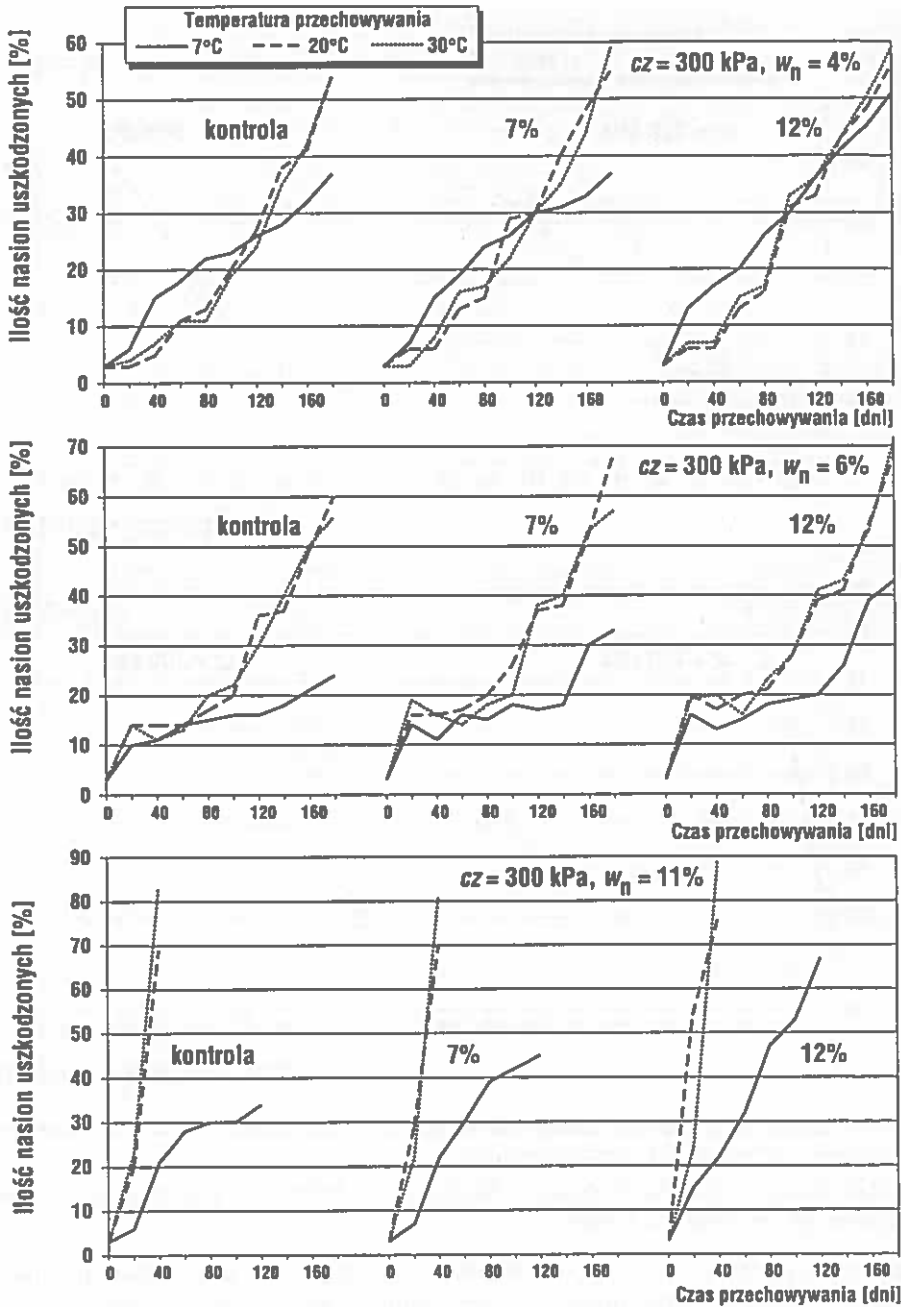
Wyniki II-go etapu badań (Rys. 23) wskazują, że większy wpływ na uszkodzenia testowanych nasion ma czas, ich wilgotność i temperatura przechowywania, niż ilość zanieczyszczeń. Dla nasion o mniejszej wilgotności (4%) w początkowym okresie przechowywania (do 80 dni), większą podat-



Rys. 22. Zmiany ilości nasion uszkodzonych  $ud$  podczas testów dynamicznych dla odmiany Bolko w zależności od sposobu zbioru i warunków przechowywania.

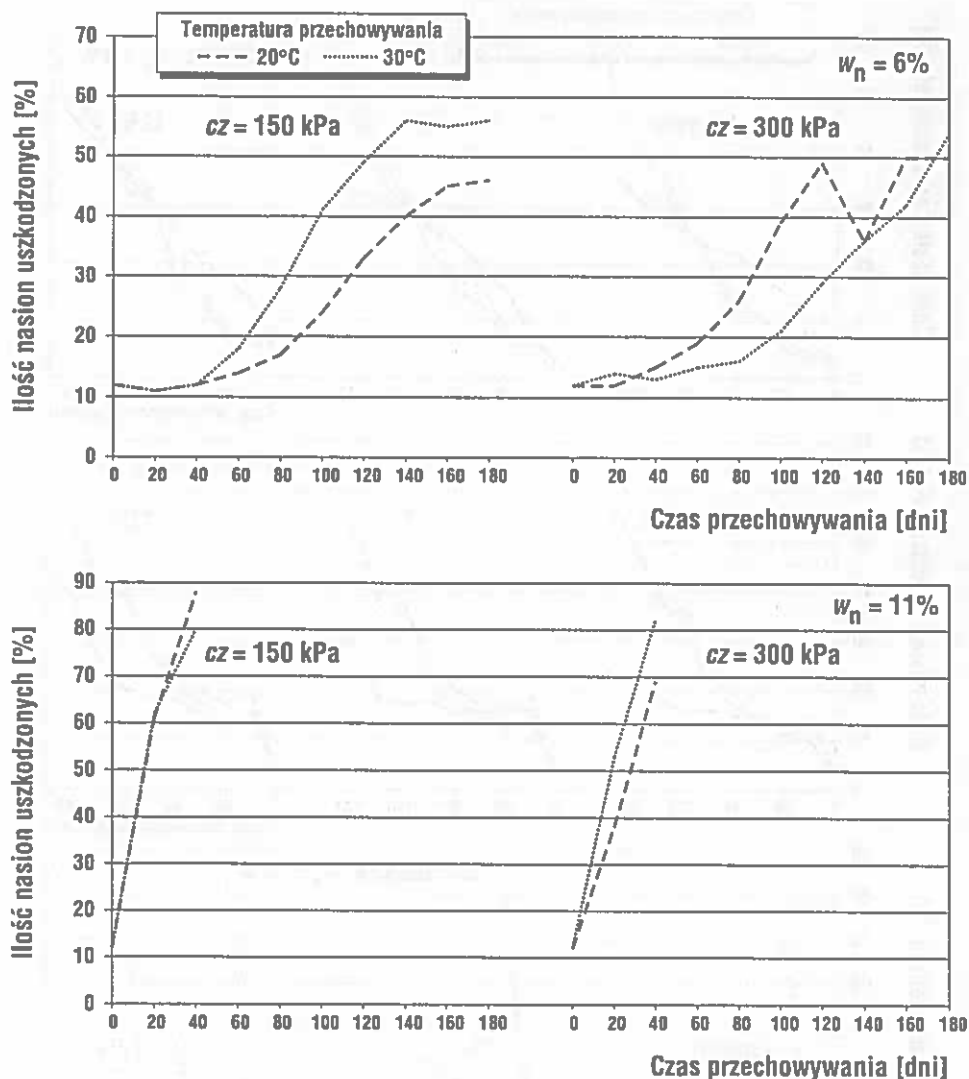
Fig. 22. Changes of quantity of damaged seeds  $ud$  during dynamic tests for variety Bolko depending on technical of harvest and conditions of storage.

nością na uszkodzenie charakteryzowały się nasiona przechowywane w temperaturze niższej ( $7^{\circ}\text{C}$ ). Po tym okresie, podatność na uszkodzenia zaczęła się wyrównywać, a następnie w końcowym okresie ich przechowywania, większą ilością nasion uszkodzonych charakteryzowały się próbki nasion



Rys. 23. Zmiany ilości nasion uszkodzonych *ud* odmiany Bolko podczas testów dynamicznych w zależności od ilości zanieczyszczeń i warunków przechowywania.

Fig. 23. Quantity of seeds *ud* variety Bolko damaged during dynamic tests depending on degree contamination and conditions of storage.



Rys. 24. Zmiany ilości nasion uszkodzonych *ud* odmiany Bolko podczas testów dynamicznych w zależności od warunków przechowywania.

Fig. 24. Change of quantity of damaged rape seeds *ud* during tests dynamic variety Bolko depending on conditions of storage.

przechowywane w wyższej temperaturze (30°C). W pozostałych próbkach nasion, o większej wilgotności, wyższa temperatura z reguły zwiększa podatność nasion na uszkodzenia.

Ilorazy przyrostu nasion uszkodzonych (Tabela 5) wskazują, że zanieczyszczenia bardziej różnicują tę cechę nasion, gdy są one przechowywane

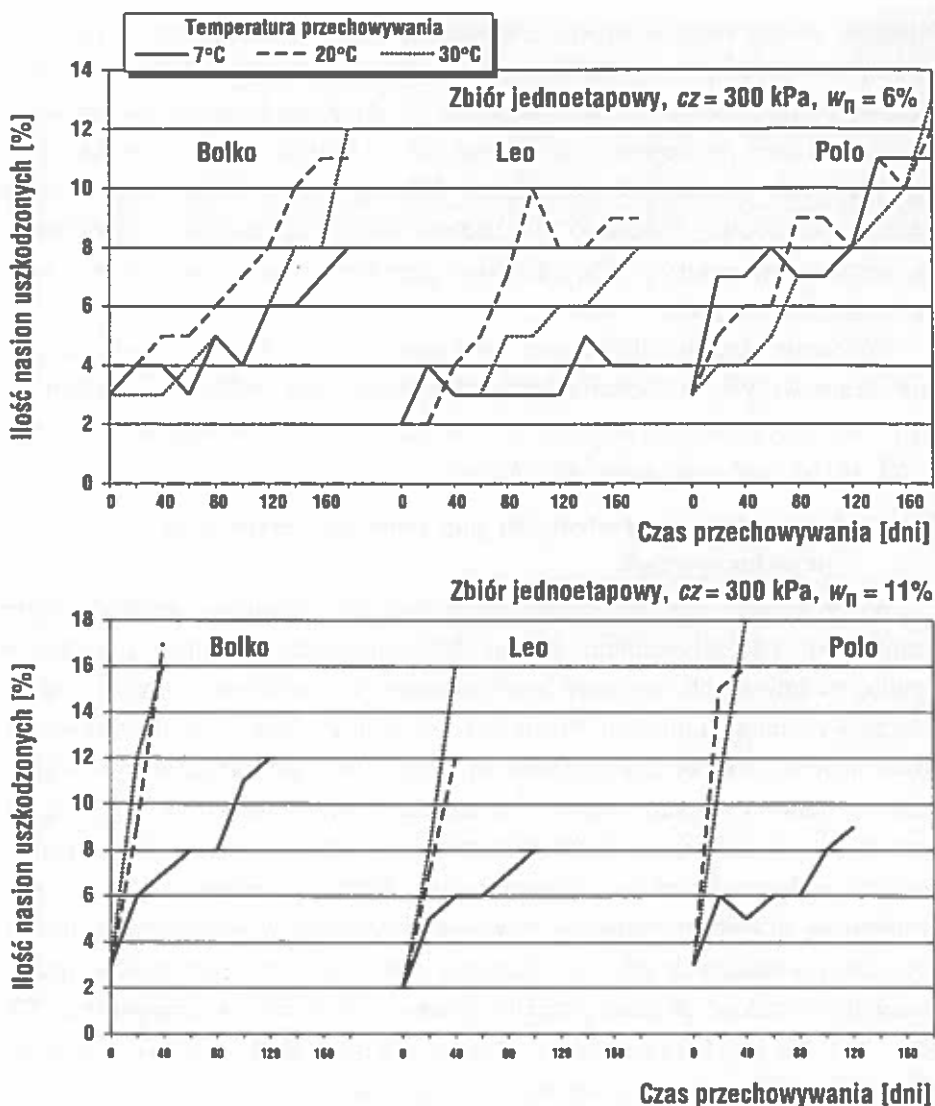
w niższej temperaturze i większej wilgotności. Wyższa temperatura przechowywania w połączeniu z większą wilgotnością nasion powoduje, że procesy życiowe zostają przyspieszone i osłabiają ich strukturę komórkową, tak szybko, że niweluje to wpływ zanieczyszczeń u nasion przechowywanych w analogicznych pozostałych warunkach. Dlatego też współczynniki równań regresji nieliniowej (Tabela 9), dla badanej cechy, są bardziej zróżnicowane dla niższej temperatury (7°C), od nasion przechowywanych w znacznie wyższej temperaturze (20°C i 30°C).

Równania regresji nieliniowej wielozmiennej (Tabela 15) wykazują, że największy wpływ na podatność na uszkodzenia mają: wilgotność nasion  $w_n$ , temperatura przechowywania  $t_s$ , a w mniejszym stopniu interakcja  $(\tau \cdot w_n)$ ,  $(\tau \cdot iz)$ ,  $(\tau \cdot t_s)$  oraz czas przechowywania.

### 5.2.1.2. Pość nasion uszkodzonych pod wpływem warunków przechowywania

W procesach przechowalniczych mamy do czynienia ze statycznym, wzajemnym oddziaływaniem nasion. Mikrouszkodzenia mogą powstać w wyniku nadmiernych naprężeń spowodowanych naciskiem górnych warstw przechowywanego materiału. Przedstawione wyniki (Rys. 25) pokazują wzrost ilości nasion z mikrouszkodzeniami  $mi$  uzależniony od temperatury i wilgotności przechowywanych nasion. Dla nasion o wilgotności 6%, większą podatność na powstawanie mikrouszkodzeń miały nasiona odmiany Polo i Bolko. Większa wilgotność nasion, podobnie jak miało to miejsce przy zmianie parametrów innych wskaźników, niwelowała różnice w powstawaniu mikrouszkodzeń u badanych odmian. Mniejsze natomiast przyrosty nasion uszkodzonych zauważono podczas przechowywania ich w niskiej temperaturze 7°C (Rys. 25). Na przykładzie nasion rzepaku odmiany Bolko można ocenić ich odporność na tego rodzaju czynnik w zależności od sposobu zbioru. Ilorazy przyrostu nasion z mikrouszkodzeniami pozyskanych ze zbioru 2-etapowego, w niektórych przypadkach są dwukrotnie wyższe od nasion pochodzących ze zbioru jednoetapowego (Tabela 4).

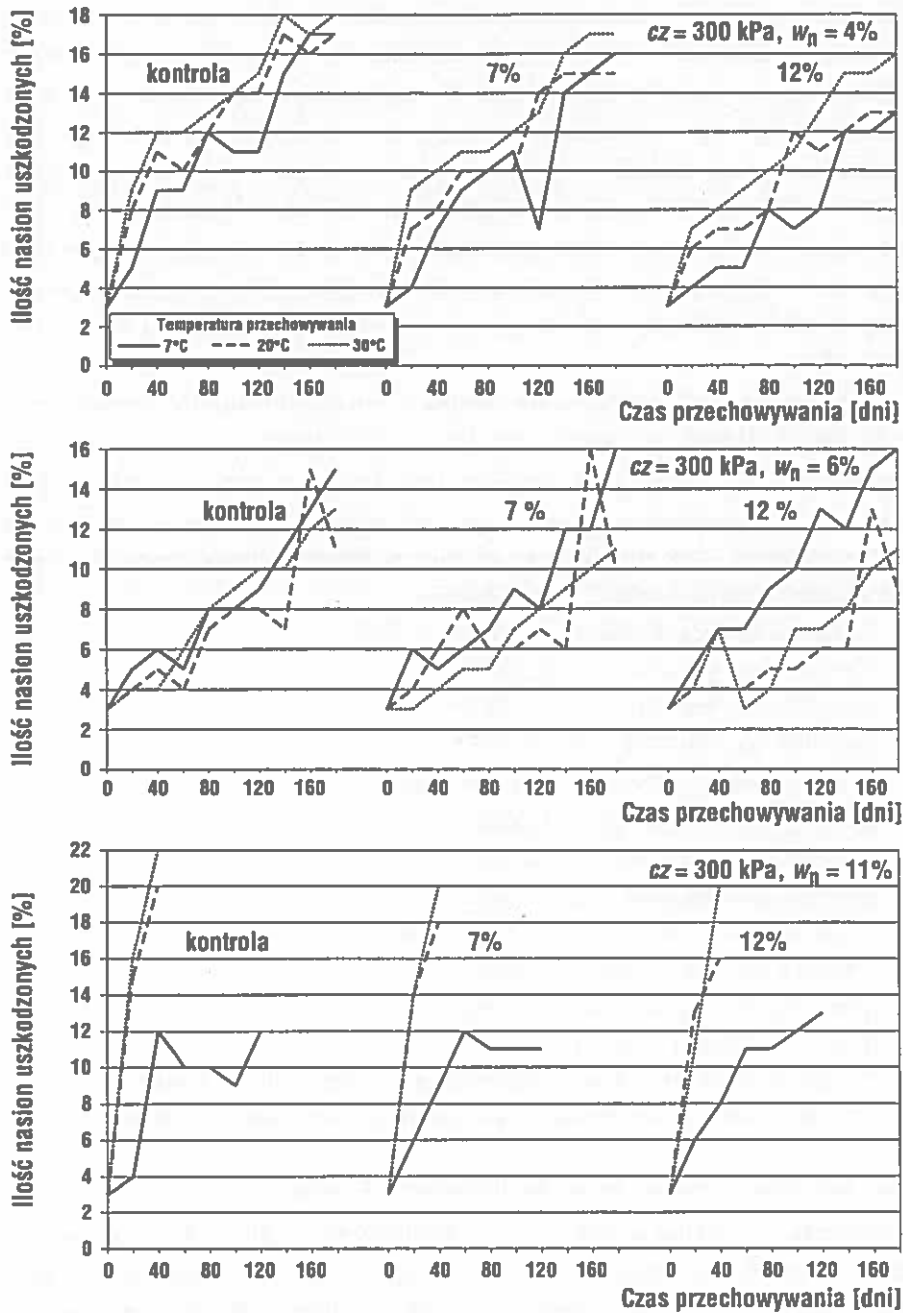
Dla nasion o mniejszej wilgotności (6%) bardziej różnicująco na zmianę wartości tego wskaźnika wpływało ciśnienie w komorze. Nasiona przechowywane w komorze o ciśnieniu 300 kPa w większym stopniu ulegały uszkodzeniu. Równania regresji nieliniowej wielozmiennej wykazują, że największe wartości współczynników regresji dla tego wskaźnika występują przy temperaturze przechowywania  $t_s$  nasion odmian Bolko i Leo oraz wilgotności  $w_n$ ,



Rys. 25. Zmiany ilości nasion uszkodzonych  $m_i$  w zależności od warunków przechowywania.  
 Fig. 25. Changes of quantity of damaged rape seeds  $m_i$  depending on conditions of storage.

u nasion odmiany Bolko ze zbioru dwuetapowego, co świadczy o wpływie tych czynników na ilość uszkodzeń w procesie przechowywania (Tabela 10).

Drugi etap badań (Rys. 26) wyraźnie wskazuje, że nasiona o mniejszej wilgotności (4%) ulegały większym uszkodzeniom. Zauważono również i w tym doświadczeniu wyraźny wpływ temperatury na ilość nasion uszkodzonych – im wyższa temperatura tym więcej nasion uszkodzonych. Zanieczyszczenia



Rys. 26. Zmiany ilości nasion uszkodzonych *mi* odmiany Bolko w zależności od ilości zanieczyszczeń i warunków przechowywania.

Fig. 26. Changes of quantity of rape seeds damaged *mi* variety Bolko in depending on degree contamination and conditions of storage.

obniżały nieco ilości nasion tak uszkodzonych, przechowywanych w różnych wariantach temperatur i wilgotności (Tabela 5). Wartości współczynników równań regresji nieliniowej (Tabela 9) wykazują faktyczne zróżnicowanie zmian wartości tego wskaźnika w nasionach o różnej ilości zanieczyszczeń. Równania regresji nieliniowej wielozmiennej pokazują (Tabela 15), że ilość nasion z mikrouszkodzeniami zależna jest od ich wilgotności  $w_n$ , ilości zanieczyszczeń  $iz$ , temperatury przechowywania, a w mniejszym stopniu od czasu przechowywania  $\tau$  i interakcji  $\tau \cdot t_s$ . Ujmując ogólnie wymienione parametry w 66% wpływają na ilość nasion z mikrouszkodzeniami ( $R^2 = 0,66$ , Tabela 15).

Wyższa temperatura przechowywania w większym stopniu różnicuje przebiegi zmian ilości uszkodzeń nasion w próbkach o różnej zawartości zanieczyszczeń. Dowodem są współczynniki korelacji między przebiegami dla nasion o 6% wilgotności i różnej ilości zanieczyszczeń; im niższa temperatura przechowywania, tym mniejsze są różnice w wartości współczynników korelacji między analizowanymi przebiegami:

– dla nasion przechowywanych w  $t_s = 7^\circ\text{C}$ :

$$r[mi(0\% iz); mi(7\% iz)] = 0,884^*$$

$$r[mi(0\% iz); mi(12\% iz)] = 0,957^{**}$$

$$r[mi(7\% iz); mi(12\% iz)] = 0,857^*$$

– dla nasion przechowywanych w temp.  $t_s = 20^\circ\text{C}$ :

$$r[mi(0\% iz); mi(7\% iz)] = 0,982$$

$$r[mi(0\% iz); mi(12\% iz)] = 0,866$$

$$r[mi(7\% iz); mi(12\% iz)] = 0,756$$

– dla nasion przechowywanych w temp.  $t_s = 30^\circ\text{C}$ :

$$r[mi(0\% iz); mi(7\% iz)] = 0,500$$

$$r[mi(0\% iz); mi(12\% iz)] = 0,693$$

$$r[mi(7\% iz); mi(12\% iz)] = 0,970$$

\* – istotność współczynnika korelacji na poziomie  $\alpha < 0,01$ ,

\*\* – istotność współczynnika korelacji na poziomie  $\alpha < 0,001$ .

### 5.2.2. Zbrylanie nasion podczas przechowywania

Obserwacja nasion w trakcie ich przechowywania ujawniła, że w pewnych okolicznościach występuje odkształcenie nasion, które to zjawisko w miarę upływu czasu narasta i prowadzi do ich zbrylenia. Początkowo ma ono charakter lokalny, niemniej z upływem czasu i w pewnych warunkach przechowywania (temperatura, wilgotność nasion) dość szybko prowadzi do zbrylenia całej próbki nasion. Z problemem tym spotkano się podczas pobierania



próbek nasion do oceny cech fizycznych i technologicznych. Zauważono, że w pierwszej kolejności deformacji ulegają nasiona o barwie jaśniejszej (mniej dojrzałe), a następnie, zwłaszcza przy większej wilgotności (11%) również nasiona dojrzałe. Zbrylenia nasion były powodem przerwania dalszego czasu przetrzymywania w komorze (okresowo badanych), gdyż dość szybko (zwłaszcza w wyższych temperaturach) były atakowane przez mikroorganizmy.

Nasiona rzepaku o wilgotności 11% poddane obciążeniom (150 kPa i 300 kPa) ulegały w czasie przechowywania odkształceniom w dużo większym stopniu od nasion o wilgotności 6%. Nasiona te przechowywane w temperaturze 20°C i 30°C oraz ciśnieniu 300 kPa już po 40 dniach niemal wszystkie ulegały deformacjom. W komorze o temperaturze 7°C i analogicznym ciśnieniu i wilgotności nasion, podobne zjawisko wystąpiło dopiero po 120 dniach. W próbkach nasion o wilgotności 6%, jak już wspomniano wcześniej, zauważono dużo mniejszą ilość nasion odkształconych pomimo przechowywania ich w podobnych warunkach jak próbki nasion o wilgotności 11%.

Przedstawione w Tabeli 16 wyniki potwierdziły wcześniejsze przypuszczenia, że w przypadku stałych naprężeń (stałe ciśnienie w komorze) głównymi czynnikami decydującymi o deformacji nasion jest ich wilgotność i temperatura. Temperatura przechowywania w sposób istotny wpływa na czas retardacji zachodzącego zjawiska. Stąd nasiona o 11% wilgotności przechodo-

**Tabela 16.** Procentowa zawartość nasion trwale odkształconych po badaniach w zadanych warunkach przechowywania (I etap – po 180 dniach)

**Table 16.** Proportional content of rape seeds fixedly deformed after investigations in given conditions of storage (I stage – after 180 days)

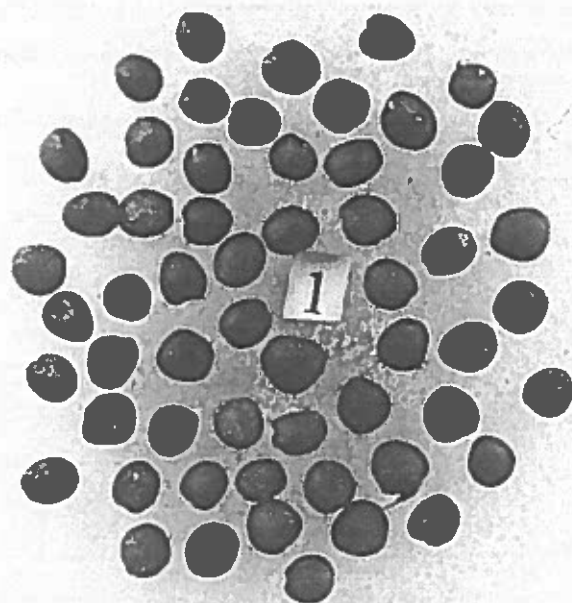
Odmiana	Zbiór	Ciśnienie zadane [kPa]									
		300					150				
		Wilgotność nasion [%]									
		6			11			6		11	
		Temperatura przechowywania [°C]									
		7	20	30	7	20	30	20	30	20	30
Bolko	1-etapowy	3	12	13	87 <sup>a)</sup>	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>	8	11	80 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>
	2-etapowy	6	18	20	95 <sup>a)</sup>	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>	10	16	90 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>
Leo	1-etapowy	4	7	12	65 <sup>a)</sup>	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>	6	8	55 <sup>b)</sup>	80 <sup>b)</sup>
	2-etapowy	4	8	12	70 <sup>a)</sup>	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>	6	7	60 <sup>b)</sup>	90 <sup>b)</sup>
Polo	1-etapowy	7	9	15	90 <sup>a)</sup>	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>	7	12	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>
	2-etapowy	6	12	18	95 <sup>a)</sup>	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>	9	14	100 <sup>b)</sup>	100 <sup>b)</sup>

<sup>a)</sup> 120 dni przechowywania, <sup>b)</sup> 40 dni przechowywania.

wywane w 7°C ulegały takim samym (ilościowo) odkształceniom w okresie trzykrotnie dłuższym niż nasiona o analogicznej zawartości wody lecz przechowywane w temperaturze np. 20°C.

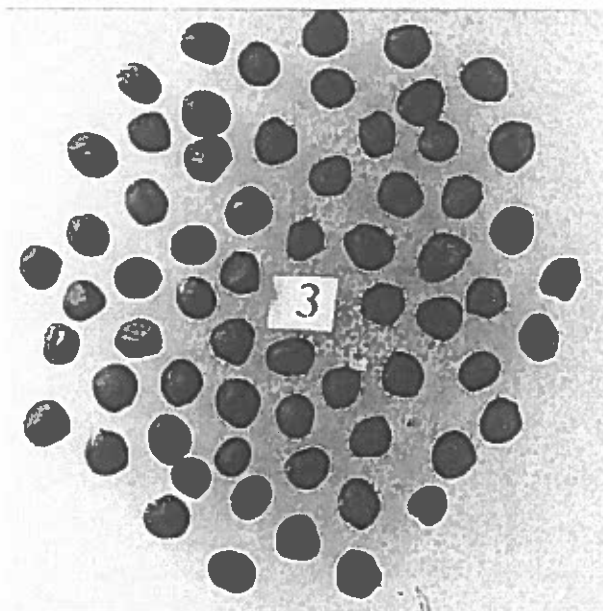
W miarę trwania czasu przechowywania, ślady odcisków od sąsiednich nasion powiększały się tworząc po pewnym czasie zaczątki (ogniska) powstawania zbryleń. Zjawiskiem charakterystycznym, jak już wspomniano wcześniej, było nierównoczesne uleganie takim samym deformacjom wszystkich nasion. Najczęściej w pierwszej kolejności deformowana była powierzchnia nasion jaśniejszych (czerwonych, czerwono-brunatnych), później dopiero (zwłaszcza dla nasion o większej wilgotności) stopniowo deformowane były powierzchnie pozostałych nasion. Świadczy to o mniejszej podatności na odkształcenie trwale nasion bardziej dojrzałych, czyli o korzystniejszych właściwościach mechanicznych od nasion mniej dojrzałych. Reasumując, podczas przechowywania nasion rzepaku w określonych warunkach mamy do czynienia z odkształceniem ilościowym nasion (zwiększa się ilość nasion o zdeformowanej powierzchni), i jakościowym (deformacja postępuje w głąb nasion). Przy stałym zadanim ciśnieniu (wysokości usypu w silosie) czynnikami wpływającymi na podatność nasion na odkształcenia (zbrylenia) będą:

- wilgotność nasion  $w_n$ ;
- temperatura  $t_s$ ;



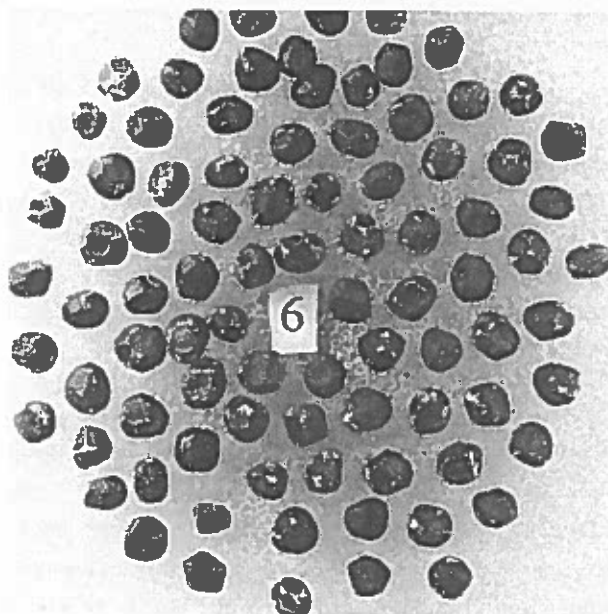
Rys. 27. Nasiona przed założeniem doświadczenia.

Fig. 27. Rape seeds before experiment.



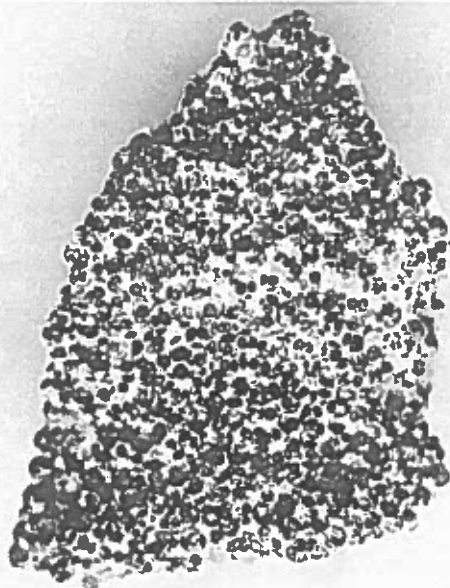
**Rys. 28.** Nasiona po 80 dniach przechowywania. Bardziej zdeformowane są nasiona jaśniejsze (nie w pełni dojrzałe) – widoczne na rysunkach barwnych.

**Fig. 28.** View of rape seeds after 80 days of storage. The more deformed seeds are brighter (not fully ripe) – visible on colour photos.



**Rys. 29.** Nasiona po 120 dniach przechowywania. Deformacji uległo 100% nasion.

**Fig. 29.** Rape seeds after 120 days of storage. All seeds are deformed.



Rys. 30. Nasiona rzepaku całkowicie zbrylone i opanowane przez mikroorganizmy.  
 Fig. 30. Rape seeds completely cloded and controlled by micro-organisms.

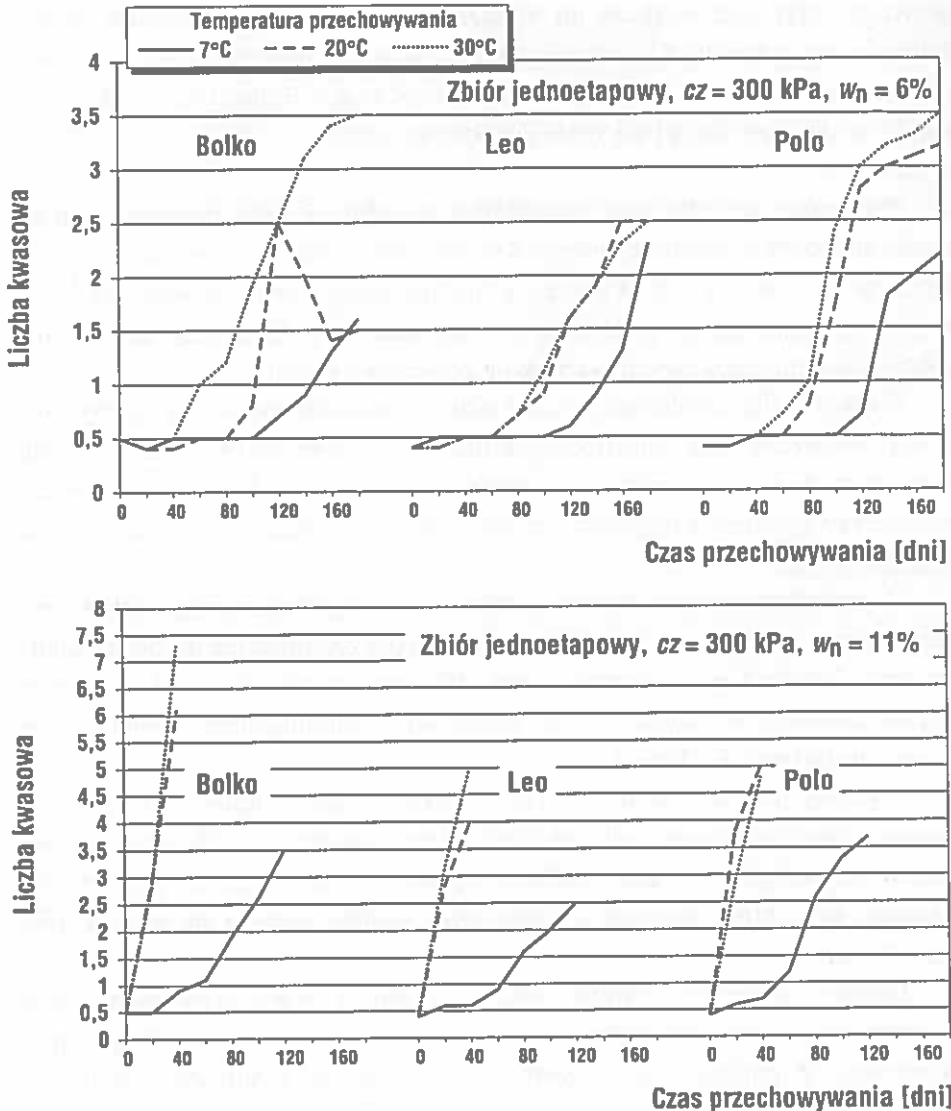
- czas przechowywania  $\tau$ ;
- dojrzałość nasion.

Rysunki 27–29 przedstawiają wygląd nasion odmiany Bolko (zbiór dwu-  
 etapowy) przechowywanych w komorze o ciśnieniu 300 kPa, przy wilgotności  
 początkowej nasion – 11%, temperaturze przechowywania – 7°C, po różnym  
 okresie ich przechowywania. Na Rys. 30 przedstawiono próbkę nasion tej  
 samej odmiany, przechowywanej w temperaturze 30°C.

### 5.2.3. Wartości cech technologicznych

#### 5.2.3.1. Liczba kwasowa

Liczba kwasowa *LK* oznacza ilość wolnych kwasów organicznych zawar-  
 tych w 1 g tłuszczu. W czasie przechowywania ilość wolnych kwasów  
 tłuszczowych wzrasta w wyniku hydrolitycznego rozpadu części glicerydów,  
 dlatego też podwyższoną wartość *LK* można traktować jako jedną z cech  
 tłuszczu nieświeżego. We wszystkich przypadkach przechowywanych nasion,  
 zawartość *LK* miała tendencję wzrostową (Rys. 31). Przy niskiej wilgotności  
 nasion (6%) oraz niskiej temperaturze przechowywania (7°C) zawartość *LK*  
 u nasion wszystkich odmian utrzymywała się do 120 dni na tym samym



Rys. 31. Zmiany wartości liczby kwasowej LK dla nasion badanych odmian w zależności od czasu i warunków przechowywania.

Fig. 31. Changes of value acid number LK for rapeseeds investigated varieties depending on time and conditions of storage.

poziomie. Po tym okresie przechowywania nastąpił wyraźny wzrost wartości LK. Wyższa temperatura przechowywania nasion o tej samej wilgotności powodowała „skracanie” okresu stabilnego utrzymania się tego wskaźnika. U nasion o wilgotności – 11% wartości LK zmieniały się w ten sposób, że

przyrosty były tym większe im wyższa była temperatura przechowywania. Najmniejsze przyrosty *LK* utrzymywały się u nasion odmiany Leo. Najwyższe ostateczne wartości *LK* uzyskano u nasion odmiany Bolko (Tabela 6), gdzie parametr ten powiększył się czternastokrotnie przy:  $t_s = 30^\circ\text{C}$ ,  $w_n = 11\%$  i  $cz = 300 \text{ kPa}$ .

Widoczny jest dla tego wskaźnika wyraźny wpływ naprężeń między nasionami spowodowany ciśnieniem w zbiorniku. Nasiona przechowywane w komorze o ciśnieniu 150 kPa mają wyraźnie niższe końcowe wartości *LK* od nasion umieszczonych w komorze o ciśnieniu 300 kPa, przy zachowaniu analogicznych, pozostałych warunków przechowywania.

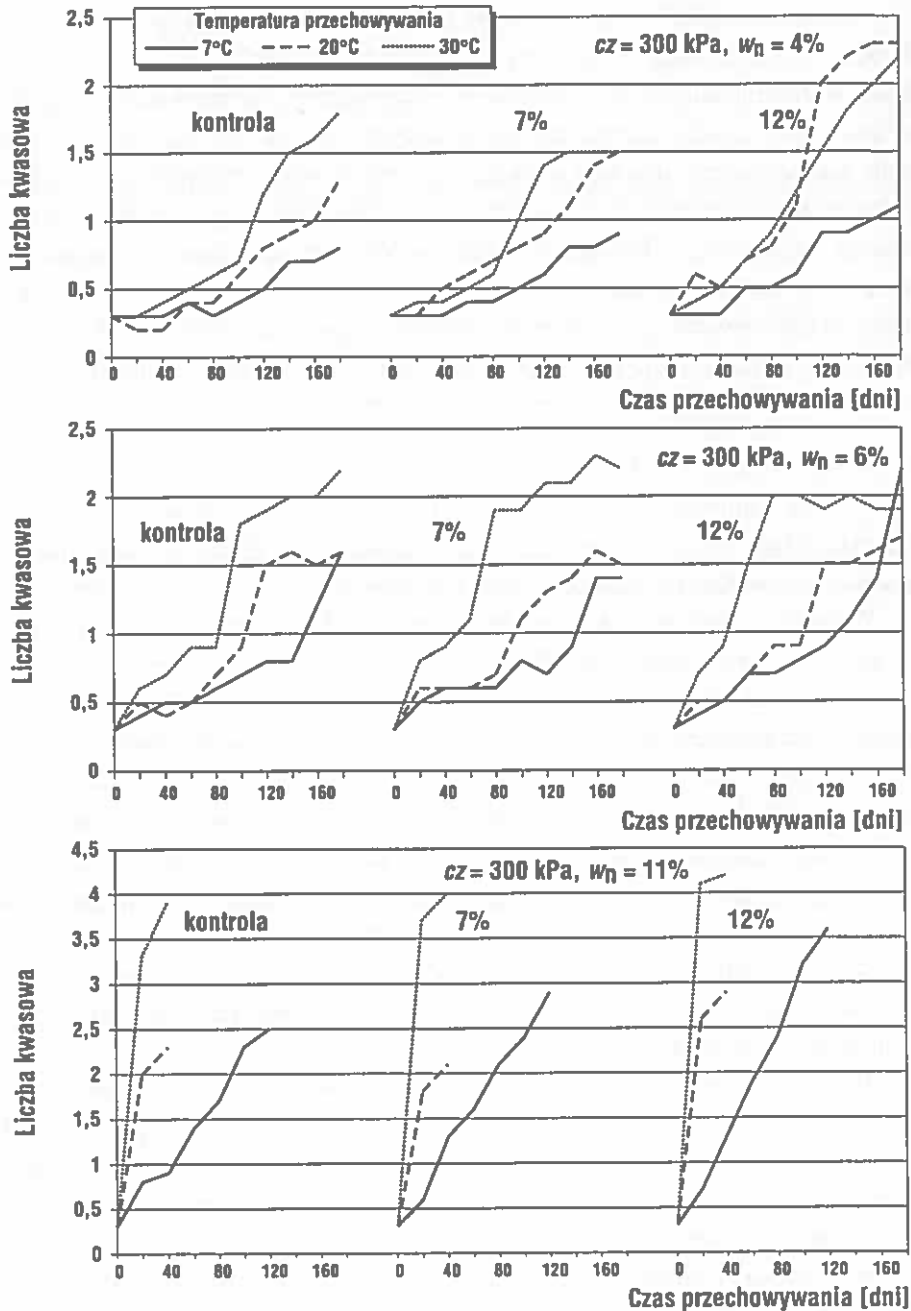
Najwyraźniej uwidocznił się wpływ ciśnienia na wzrost liczby kwasowej zwłaszcza, gdy porównamy krotności jej wzrostu u nasion przechowywanych w worku z nasionami przechowywanymi w komorach ciśnieniowych. Przy tej samej wilgotności nasion, wartości końcowe różnią się znacznie (Tabela 6, 7).

U przechowywanych nasion o mniejszej wilgotności (6%) wpływ temperatury w mniejszym stopniu różnicuje wzrost *LK* niezależnie od odmiany, sposobu zbioru i ilości zanieczyszczeń. Większość zanieczyszczeń wpływa na wzrost krotności przyrostu *LK* we wszystkich kombinacjach temperaturowo – wilgotnościowych (Tabela 7).

Wykresy przedstawione na Rys. 31 pokazują jak zmienia się wartość *LK* u nasion poszczególnych odmian (zbiór jednoetapowy) w zależności od warunków ich przechowywania. Najbardziej odporne na wzrost *LK* były nasiona odmiany Leo, które również w mniejszym stopniu reagują na wyższe temperatury przechowywania.

Badania wykazały również zmiany wartości liczby kwasowej nasion przechowywanych w określonych warunkach przy zróżnicowanej ilości zanieczyszczeń. Widoczny jest tu wpływ tego czynnika (zanieczyszczenia) na wzrost *LK*, zwłaszcza nasion o większej wilgotności (Rys. 32).

Równania regresji nieliniowej (Tabela 8) wykazują zróżnicowanie współczynników przy zmiennych niezależnych pomiędzy nasionami poszczególnych odmian i technik zbioru, co świadczy o odrębności zachowań zmian tej cechy w przechowywanych nasionach. Największe zróżnicowanie między nasionami, uwzględniające sposoby zbioru, zauważono u odmiany Leo. U tej odmiany były również największe różnice w ilorazach przyrostów *LK* (Tabela 6). Technika zbioru tej odmiany powodowała, że przebiegi zmian tych wskaźników bardziej różniły się niż przebiegi zanotowane u innych odmian.



Rys. 32. Zmiany wartości liczby kwasowej LK dla nasion odmiany Bolko w zależności od ilości zanieczyszczeń i warunków przechowywania

Fig. 32. Changes of value acid number LK for rape seed variety Bolko depending on degree contamination and conditions of storage.

Równania regresji wielozmiennej opisującej zmianę liczby kwasowej *LK* (Tabela 13) wykazują, że zmiana wartości tych wskaźników podczas przechowywania nasion zależy głównie od: temperatury, wilgotności nasion oraz od interakcji między zmiennymi niezależnymi ( $t_s \cdot cz$ ) i ( $t_s \cdot w_n$ ). Ilorazy przyrostu *LK* ujawniają również (Tabela 7) wpływ zanieczyszczeń na końcowe wartości tego wskaźnika. Potwierdzają to obliczone współczynniki równań regresji nieliniowej (Tabela 9), gdzie w obrębie jednakowych temperatur przechowywania wartości ich są zbliżone. Równania regresji wielozmiennej (Tabela 15) wykazują, że w największym stopniu na zmianę *LK* podczas przechowywania ma wpływ wilgotność nasion, w mniejszym stopniu temperatura, ilość zanieczyszczeń i interakcja temperatury i wilgotności ( $t_s \cdot w_n$ ).

### 5.2.3.2. Liczba nadtlenkowa

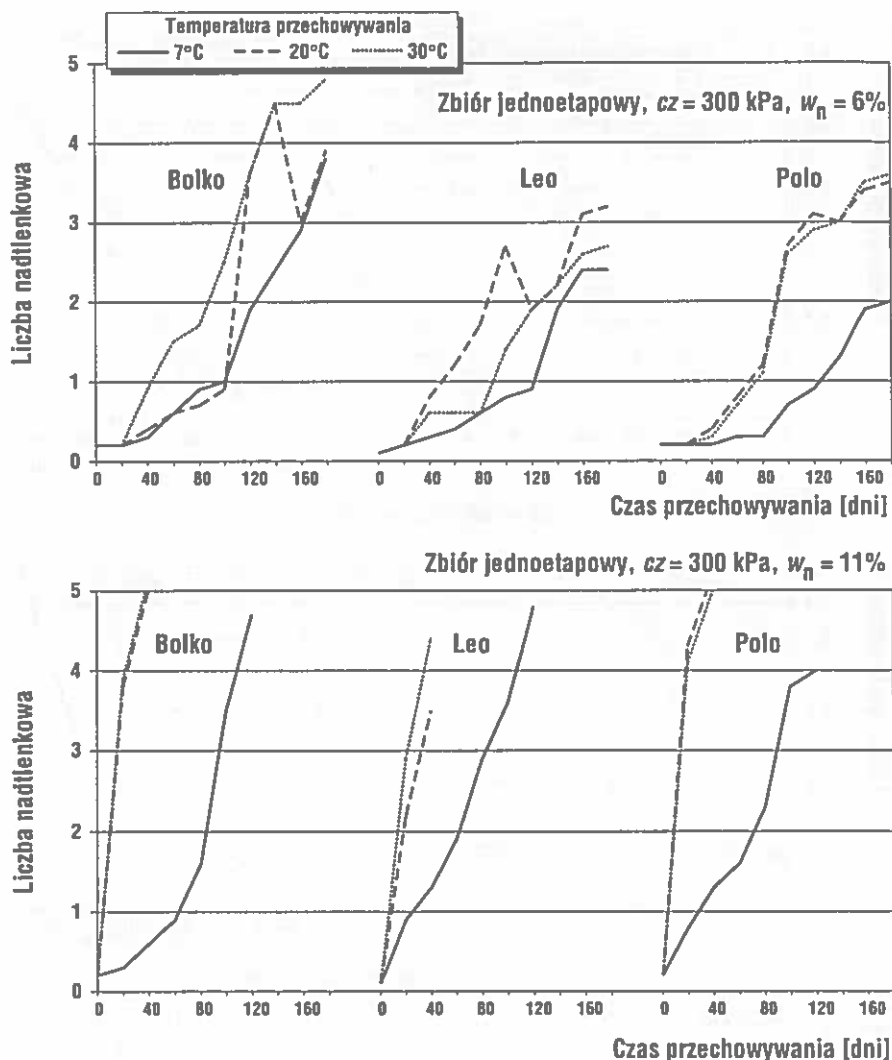
Liczba nadtlenkowa *LN* jest wykładnikiem zawartości nadtlenków, charakteryzuje stopień zepsucia nadtlenkowego tłuszczu i związana jest głównie z powstaniem aldehydu epihydrinowego.

Warunki i czas przechowywania u wszystkich badanych nasion wywoływał wzrost tego wskaźnika (Rys. 33 i 34) w większym stopniu we wszystkich kombinacjach doświadczenia. Na dynamikę zmian *LN* wpływa wilgotność nasion i temperatura ich przechowywania. Nasiona o wilgotności wstępnej 6% i temperaturze przechowywania 7°C charakteryzowały się niewielkim wzrostem *LN* do 80 dni przechowywania, podczas gdy nasiona o tej samej wilgotności przechowywane w temp. 30°C zachowały się podobnie w czasie o połowę krótszym – 40 dni. Po tym czasie *LN* osiągały większe przyrosty podczas kolejnych badań. Nasiona o wilgotności 11% posiadały odmienny przebieg wzrostu *LN* i od samego początku były odnotowywane znaczne przyrosty tego wskaźnika. Dla tej wilgotności również temperatura była czynnikiem aktywizującym wzrost *LN*.

Ilorazy przyrostu *LN* (Tabela 6) są najwyższe spośród pozostałych mierzonych parametrów. Widoczne jest zróżnicowanie wzrostu tego wskaźnika w zależności od sposobu zbioru (niemal dwukrotnie) oraz odmiany. Najmniejszy wzrost *LN* zauważono u przechowywanych nasion rzepaku odmiany Leo (zbiór jednoetapowy), a największy u nasion odmiany Bolko.

Przy niskiej wilgotności nasion (6%  $w_n$ ) różnice we wzroście *LN* w zależności od ciśnienia panującego w komorze są mniej widoczne. Natomiast przy 11% wilgotności przechowywanych nasion i temperaturze 30°C różnice w przyrostach wzrostu sięgają 60% (odmiana Bolko – zbiór jednoetapowy). Równania regresji nieliniowej (Tabela 8) wykazują zróżnicowane zmiany *LN*



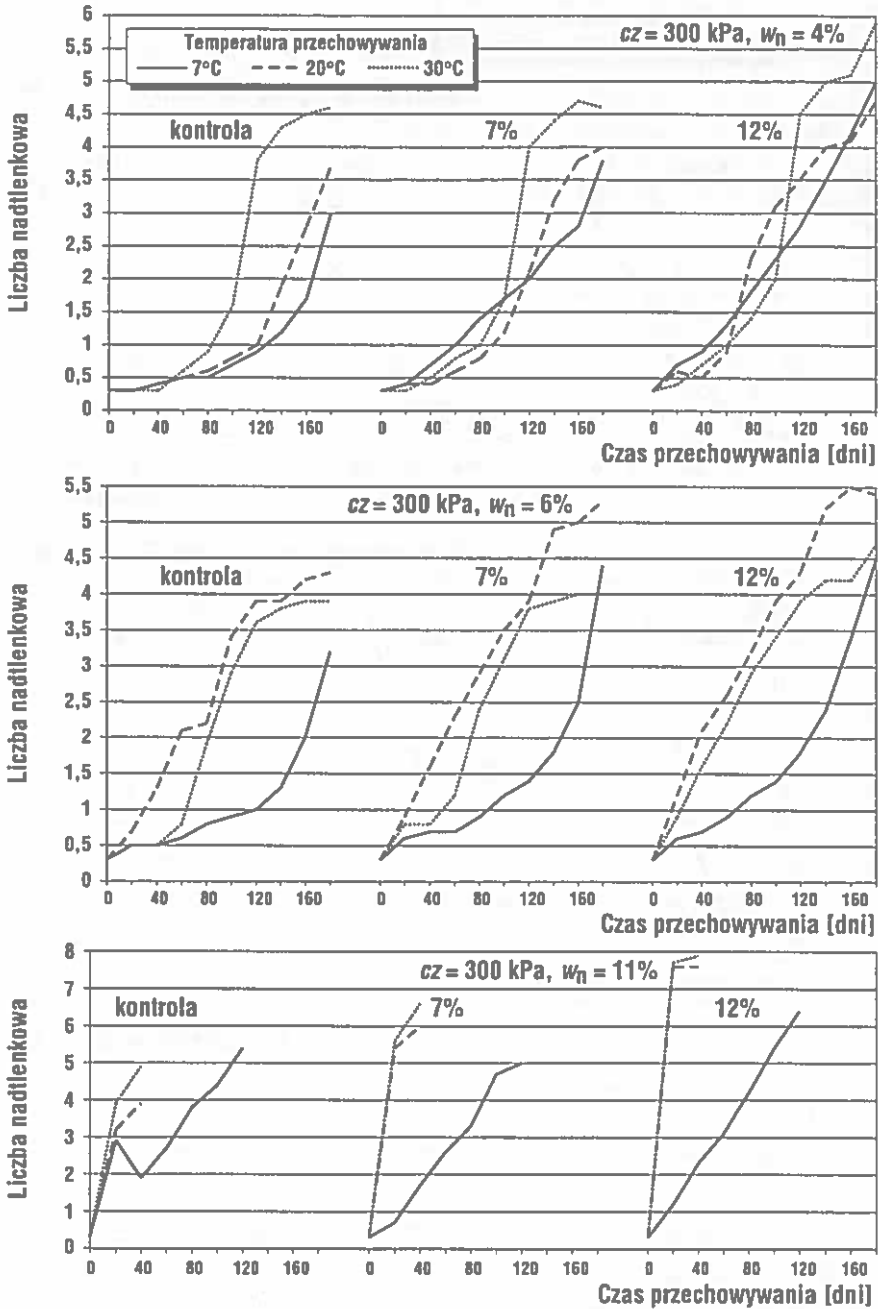


Rys. 33. Zmiany liczby nadtlenkowej  $LN$  badanych nasion w zależności od czasu i warunków przechowywania.

Fig. 33. Changes of peroxide value number  $LN$  investigated rape seeds depending on from time and conditions of storage.

w zależności od czasu przechowywania, dla nasion różnych odmian i sposobów ich zbioru.

Z równań regresji nieliniowej wielozmiennej (Tabela 14) dodatkowo możemy ocenić jakie czynniki uzależniają przebieg  $LN$  w zależności od zadanych warunków przechowywania. Wynika z nich, że dla większości odmian dominujące znaczenie ma temperatura i wilgotność oraz



Rys. 34. Zmiany wartości liczby nadlenkowej  $LN$  dla nasion odmiany Bolko w zależności od ilości zanieczyszczeń i warunków przechowywania.

Fig. 34. Changes of peroxide value number  $LN$  for rape seeds variety Bolko depending on degree contamination and conditions of storage.

współdziałanie czynników czasu i ciśnienia ( $\tau \cdot cz$ ) oraz czasu i wilgotności ( $\tau \cdot w_n$ ).

Drugi etap badań potwierdził również duże przyrosty wskaźników  $LN$  w czasie przechowywania (Rys. 34) dla wszystkich próbek nasion. Im mniejsza zawartość wody w nasionach, tym bardziej różnicująco na wartości  $LN$  wpływała temperatura przechowywania. Jak wykazują dane zawarte w Tabeli 7 większe zróżnicowanie końcowych wartości  $LN$ , zależne od ilości zanieczyszczeń, uzyskano dla materiału przechowywanego w temp. 30°C, o wilgotności nasion 11%.

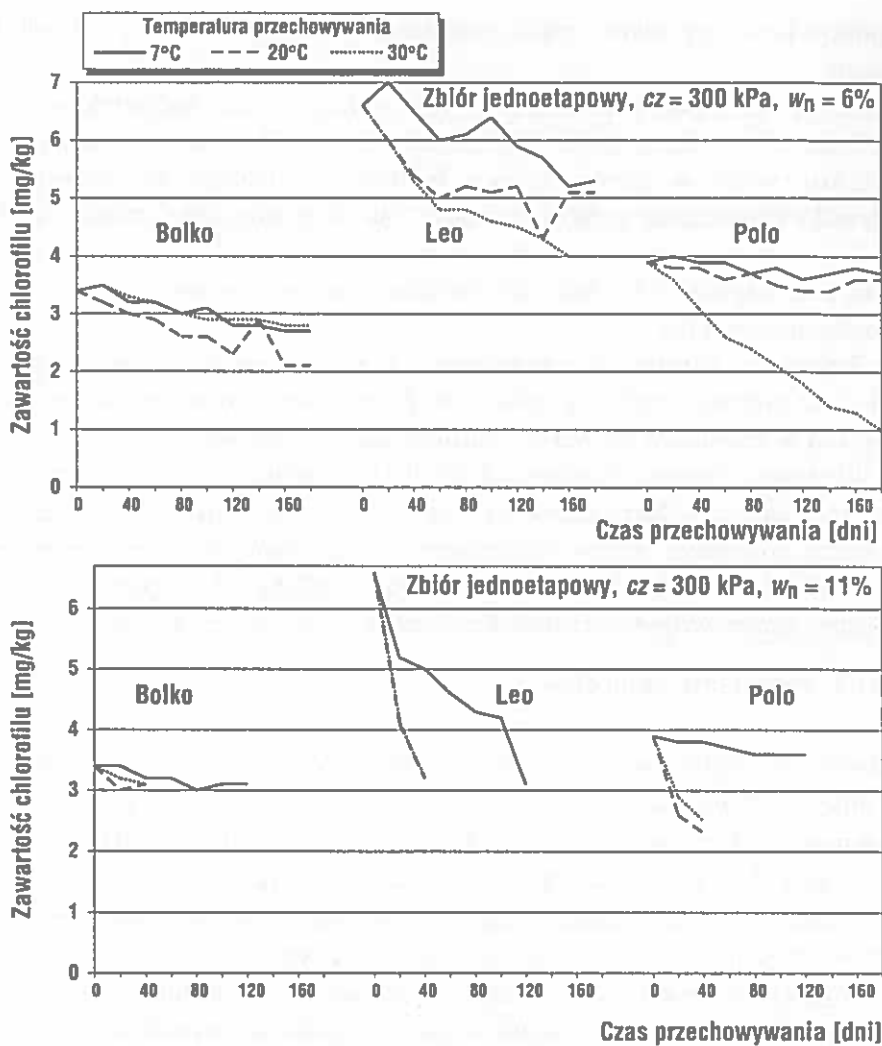
Różnica w końcowych wartościach  $LN$ , dla nasion przechowywanych w komorach ciśnieniowych i w worku, świadczą również o wyraźnym wpływie naprężeń w nasionach na wzrost wartości tego wskaźnika.

Równania regresji nieliniowej (Tabela 9) wykazują również większe zróżnicowanie współczynników dla nasion przechowywanych w wyższej temperaturze. Równania regresji nieliniowej wielozmiennej wykazują, że zmiany  $LN$  zachodzące w przechowywanym rzepaku zależą od temperatury, ilości zanieczyszczeń, wilgotności oraz kombinacji ( $\tau \cdot t_s$ ), ( $\tau \cdot iz$ ), ( $\tau \cdot w_n$ ).

### 5.2.3.3. Zawartość chlorofilu

Zawartość chlorofilu  $ch$  w nasionach jest niepożądana z uwagi na jego niekorzystny wpływ na jakość oleju, a także produktów jego przetwarzania. W miarę upływu czasu przechowywania nasion (Rys. 35, 36) zauważono stopniowe zmniejszenie ilości tego składnika we wszystkich badanych próbkach I-go i II-go etapu. Ilorazy przyrostu tego wskaźnika wykazują wielkości  $< 1$  (Tabela 6, 7), co świadczy o spadku zawartości tego składnika. Im niższa wartość ilorazu, tym większy spadek zawartości chlorofilu.

Wyniki zamieszczone w Tabeli 6 wskazują, że u nasion pochodzących ze zbioru dwuetapowego nastąpił większy spadek zawartości chlorofilu od nasion ze zbioru jednoetapowego. Różnica ta zwiększała się wraz ze wzrostem temperatury przechowywania i wilgotności nasion. W nasion pozyskanych ze zbioru jednoetapowego zauważono mniejsze zróżnicowanie w spadku chlorofilu. Zauważono również, że nasiona o większej wilgotności (11%) miały większą tendencję do spadku zawartości chlorofilu od nasion o niższej wilgotności (6%). We wszystkich niemal przypadkach spadek zawartości chlorofilu w nasionach przechowywanych próbek w zbiorniku był większy niż w nasionach przechowywanych w worku. Zmiany wartości współczynników korelacji dla nasion odmiany Bolko przechowywanych w zbiornikach o różnych wartościach ciśnienia i temperatury – zbiór dwuetapowy, przedstawiają się następująco:



Rys. 35. Zmiany zawartości chlorofilu *ch* w próbkach nasion w zależności od czasu i warunków przechowywania.

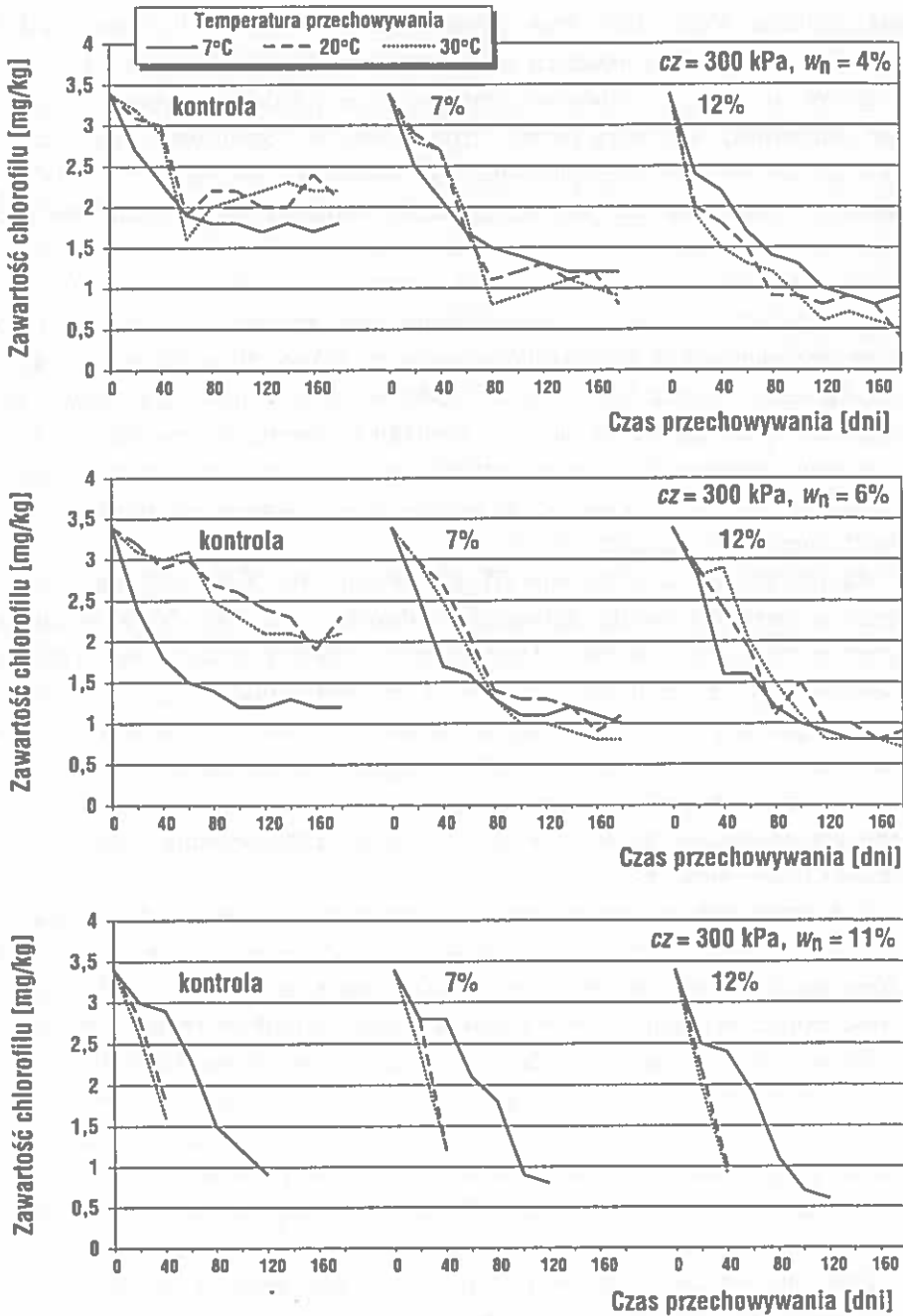
Fig. 35. Changes of content of chlorophyll *ch* in samples of rape seeds depending on time and conditions of storage.

$$r[ch(6w_n, 30t_s, 300cz); ch(6w_n, 30t_s, 150cz)] = 0,747$$

$$r[ch(6w_n, 20t_s, 300cz); ch(6w_n, 20t_s, 150cz)] = 0,952$$

$$r[ch(6w_n, 30t_s, 300cz); ch(w_n, 20t_s, 300cz)] = 0,987$$

Świadczą one, że ciśnienie w zbiorniku miało większy wpływ na zróżnicowanie zmian zawartości chlorofilu niż zmiany temperatury przechowywania z 20°C na 30°C dla próbek nasion przechowywanych w komorze o identycz-



Rys. 36. Zmiany zawartości chlorofilu *ch* w nasionach odmiany Bolko w zależności od ilości zanieczyszczeń i warunków przechowywania.

Fig. 36. Changes of content of chlorophyll *ch* in rape seeds variety Bolko depending on degree contamination and conditions of storage.

nym ciśnieniu (300 kPa). Przy czym różnica ciśnień w komorach miały mniejsze znaczenie dla niższych temperatur przechowywania (20°C).

Równania regresji nieliniowej zamieszczone w Tabeli 8, dotyczące zawartości chlorofilu, wskazują pewne zróżnicowanie współczynników charakteryzujących się tendencją spadkową tego wskaźnika nasion w zależności od odmiany i sposobów ich pozyskania. Małe wartości współczynników przy zmiennej niezależnej  $\tau^2$  świadczą również o „małej” nieliniowości równań regresji. Odmiany nasion Bolko i Polo otrzymane ze zbioru dwuetapowego miały kilkakrotnie większe współczynniki przy zmiennej niezależnej  $\tau$ , od nasion pozyskanych ze zbioru jednoetapowego. Równania regresji nieliniowej wielozmiennej (Tabela 12) również przedstawiają zróżnicowanie zmiany tego wskaźnika w zależności od odmiany rzepaku i sposobu zbioru. Na przykład, dla nasion odmiany Polo współczynniki przy zmiennych niezależnych są kilkakrotnie większe dla nasion ze zbioru dwuetapowego niż nasion pozyskanych sposobem jednoetapowym.

Zanieczyszczenia użyteczne (II etap badań) nie wpływały zbyt różnicująco na przebieg spadku zawartości chlorofilu. Na Rys. 36 widoczne są tendencje szybszego zaniku chlorofilu przy większej ilości zanieczyszczeń, zwłaszcza, gdy są one przechowywane w wyższej temperaturze i towarzyszy temu zwiększona wilgotność nasion. Widać to również w Tabeli 7, gdzie ilorazy przyrostu zawartości chlorofilu osiągają wartości najmniejsze dla 12% zanieczyszczeń w próbce. Współczynniki zmiennych niezależnych równań regresji nieliniowej (Tabela 9) wykazują pewne zróżnicowanie – większe dla większej ilości zanieczyszczeń.

Z równań regresji nieliniowej wielozmiennej (Tabela 15) wynika, że największy wpływ na zmiany zawartości chlorofilu, podczas przechowywania nasion, ma wilgotność nasion  $w_n$ , a w dalszej kolejności; czas przechowywania  $\tau$ , ilość zanieczyszczeń  $iz$ , oraz współdziałanie czynników  $(\tau \cdot iz)$  i  $(\tau \cdot w_n)$ .

Reasumując, można stwierdzić, że na dynamikę zmian zawartości chlorofilu, podczas przechowywania nasion, w większym stopniu wpływa stopień dojrzałości nasion, zwłaszcza bardziej wilgotnych i przechowywanych w wyższej temperaturze, niż ilość zanieczyszczeń użytecznych. Wyższa temperatura przechowywania i wilgotność nasion wzmagają metabolizm nasion, przez co następuje ich dalsze „przyspieszone dojrzewanie” i rozkład składnika.

Ciśnienie wewnątrz zbiornika wpływa na zmniejszenie się porowatości nasion (podobnie jak zanieczyszczenia) przez co zmniejsza się przepuszczalność gazów, a więc wzmaga się proces oddychania i procesy przemiany materii w nasionach, podobnie jak zanieczyszczenia użyteczne, które intensyfikują procesy oddechowe.

## 6. MODEL OCENY STANU PRZECHOWYWANYCH NASION

Przeprowadzone badania wykazały, że warunki (temperatura, ciśnienie, wilgotność) i czas przechowywania obniżają jakość technologiczną oraz właściwości mechaniczne nasion. Niektóre parametry badanych wskaźników wyraźnie malały (zawartość chlorofilu), pozostałe miały tendencję rosnącą. Idealne nawet warunki przechowywania nasion nie potrafią poprawić złej ich kondycji, mogą bowiem jedynie hamować niekorzystne procesy zachodzące w nasionach.

Poszukiwanie metod umożliwiających dostatecznie wczesne rozpoznanie zmian wartości biologicznej nasion, dla bezpiecznego ich przechowywania, było od lat przedmiotem licznych badań [46, 71, 80, 81]. Do prognoz można byłoby zaliczyć tzw. formułę Harringtona [42], według której okres przechowywania podwaja się przy obniżeniu wilgotności nasion o 1%, a temperatury o 5°C. Według tego autora suma wyrażonej w procentach wilgotności powietrza w magazynie oraz temperatury środowiska w stopniach Fahrenheita powinna wynosić 100 (0°C = 32°F), a więc np. temperatura 32°F + 68% wilgotności powietrza = 100.

Muir i Sinha [64] oraz Roberts [77] proponują prognozę przechowywania nasion ująć w formułę matematyczną, w której czynnikami odpowiedzialnymi za utrzymywanie żywotności jest jedynie wilgotność i temperatura. Niewątpliwie wymienione wskaźniki mają dla przechowywania nasion decydujące znaczenie, niemniej – jak przyznaje Roberts – o wynikach zachowania długiej żywotności przez nasiona w przechowywaniu decyduje m.in. pochodzenie nasion, odmiana, przebieg dojrzewania, sposób zbioru i inne czynniki niemożliwe do wprowadzenia do formuły matematycznej.

Zachodzący proces starzenia się przechowywanych nasion prowadzi z czasem do ich jakościowego zróżnicowania na nasiona przydatne (zdatne) i nieprzydatne (z uwagi na obniżenie właściwości mechanicznych, technologicznych, biologicznych).

W przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych jakość nasion była oceniana za pomocą wartości parametrów pięciu wskaźników. Okresowa ocena dla poszczególnych nasion (odmiana, stopień dojrzałości, wilgotność) i warunków w jakich były one przechowywane (temperatura, naprężenie między nasionami) może prowadzić do znalezienia ich „stanu granicznego” tzn. okresu przechowywania (dla ustalonych warunków przechowywania), w którym nasiona jakościowo przydatne przechodzą w stan małej przydatności

(np. technologicznej) lub w ogóle nieprzydatne (niezdatne) z uwagi na takie zmiany niektórych wartości ocenianych parametrów, które nie spełniają np. minimalnych wymagań normatywnych.

Niech stan nasion będzie opisany zbiorem  $X$  parametrów  $X_i$  (w naszym przypadku: ilość nasion z mikrouszkodzeniami, odporność na oddziaływania dynamiczne, zawartość chlorofilu, liczba kwasowa, liczba nadtlenkowa):

$$X = \{X_i\}, \quad (5)$$

gdzie:  $i = 1, 2, \dots, n$  kolejnych pomiarów.

Każdy mierzony parametr  $X_i$  jest oczywiście funkcją czasu przechowywania partii nasion w określonych warunkach i przybiera ustalone wartości  $X_i(\tau)$  z intensywnością zmian  $\lambda_i(\tau)$ :

$$\lambda_i(\tau) = \frac{dX_i(\tau)}{d\tau}, \quad (6)$$

która zależy od stanu początkowego nasion (odmiana, dojrzałość, wilgotność, ilość zanieczyszczeń – czynnik wewnętrzny oraz od temperatury, naprężeń między nasionami – czynnik zewnętrzny).

Dla dowolnie wybranej chwili  $\tau$ , zbiór ustalonych wartości parametrów  $X_i(\tau)$  mierzonego wskaźnika będzie określał aktualny stan nasion  $S(\tau)$ :

$$S(\tau) = \{X_i(\tau)\}. \quad (7)$$

Parametry  $X_i$ , są istotne ze względu na zmieniające się w czasie właściwości przechowywanych nasion. Wartość tych parametrów determinuje jakość nasion (właściwości użytkowe), a więc i okres dalszego przechowywania.

Efektom okresowej kontroli stanu nasion jest identyfikacja jakościowa oraz określenie ich przydatności do dalszego przechowywania, przy czym istotne znaczenie ma prognozowanie, jako proces określania przyszłych stanów nasion, które zaistnieją w czasie następującym po chwili badania, na podstawie czego przewiduje się okres bezpiecznego dalszego ich przechowywania. Prognozowanie wymaga więc znajomości związków pomiędzy parametrami stanu i przechowalniczą miarą obniżenia jakości nasion. Niezbędne jest w tym przypadku ustalenie wartości granicznych stanu nasion (obniżenie jakości nasion do takich wartości, poniżej których stają się one bezużyteczne). Możliwe są tu następujące kryteria oceny stanów granicznych nasion:

#### **Kryterium biologiczne:**

Nasiona w ustalonych warunkach przechowywania tracą zdolność kiełkowania. Można więc przyjąć, że np. utrata u 30% nasion zdolności kiełkowania określa stan graniczny ich jakości.



### **Kryterium technologiczne (chemiczne):**

Jak wykazały badania, u przechowywanych nasion (w zależności od warunków przechowywania) w większym lub mniejszym stopniu ulegały zmianie wskaźniki technologiczne (*LK*, *LN*). Jeżeli żaden z parametrów opisujących stan nasion w chwili pomiaru, nie osiągnął wartości dopuszczalnej – nasiona są jeszcze zdadne i nie osiągnęły wartości granicznej. Gdy parametr któregośkolwiek wskaźnika osiągnie wartość krytyczną, np.  $LK = 3$  (wg. PN-90 R-66 151), to czas przechowywania nasion osiągnął już stan graniczny, niezależnie od wartości parametrów innych badanych wskaźników.

### **Kryterium fizyczne:**

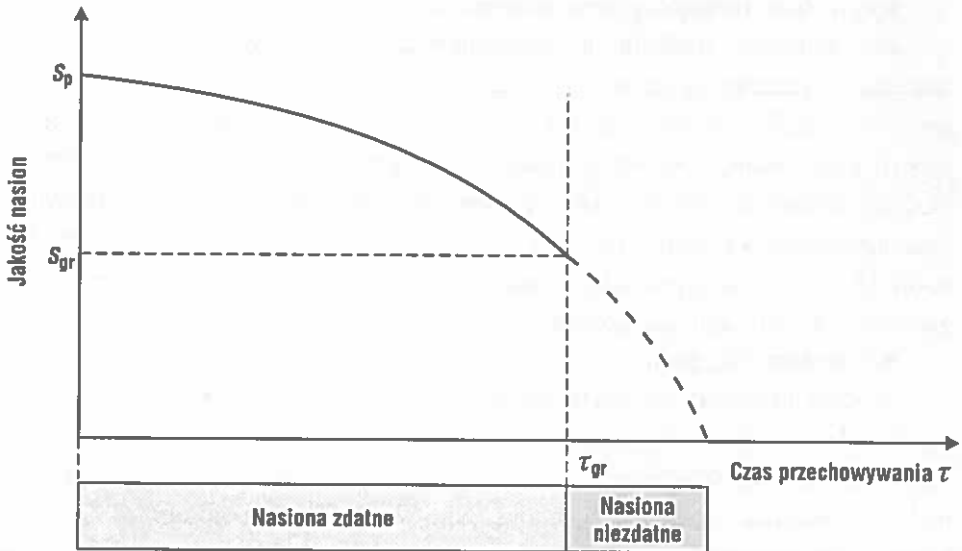
Procesy metaboliczne zachodzące w przechowywanych nasionach obniżają ich właściwości mechaniczne, powodując wzrost mikrouszkodzeń, spadek odporności na oddziaływanie dynamiczne. Zmiana właściwości mechanicznych, co prawda w sposób pośredni, wpływa na jakość biologiczną i technologiczną, niemniej określona krytyczna wartość jednego z tych wskaźników może decydować o osiągnięciu przez nasiona stanu granicznego,

### **Kryterium przebiegu charakterystyk opisujących aktualny stan nasion:**

W odróżnieniu od poprzednich kryteriów ocenia się tu nie stan nasion lecz zjawiska zachodzące w czasie ich przechowywania. Jeśli w czasie przechowywania mamy do czynienia z wyraźną zmianą charakterystyki badanego wskaźnika, tzn. wzrost intensywności zmian  $\lambda$ , to czas po którym to zjawisko wystąpiło można nazwać czasem granicznym przechowywania, pomimo, że parametry wszystkich wskaźników opisujących stan nasion nie przekroczyły jeszcze progu dopuszczalności. Istnieje w tym przypadku duże prawdopodobieństwo, że w niedługim czasie dla tych warunków przechowywania nastąpi zniszczenie całej partii przechowywanych nasion (np. na skutek samozagrzania). Czujniki temperatury i wilgotności zainstalowane w silosie powinny taki stan nasion uchwycić.

W rozpatrywanych przypadkach stan graniczny nasiona osiągają po pewnym czasie ich przechowywania, który można również nazwać „czasem granicznym”, po którym w przypadku dalszego przechowywania jakość całej partii ulegnie gwałtownemu pogorszeniu i zniszczeniu.

W świetle przedstawionych kryteriów ustalone mogą być dopuszczalne wartości stanów przechowywanych nasion, których czasy graniczne przechowywania uzależnione będą od stanu wyjściowego (odmiana, dojrzałość, zanieczyszczenie, wilgotność) oraz od warunków przechowywania (temperatura, naprężenie, wilgotność powietrza otaczającego nasiona, itd.)



Rys. 37. Graficzna ilustracja stanów przechowywania nasion:  $S_p$  – stan początkowy nasion,  $S_{gr}$  – stan graniczny,  $\tau_{gr}$  graniczny czas przechowywania.

Fig. 37. Graphic situation of storage rape seeds stages.  $S_p$  – stage of seeds at begin,  $S_{gr}$  – border stage,  $\tau_{gr}$  – border time of storage.

W związku z powyższym, w ocenie jakości nasion mamy do czynienia z dwoma klasami stanów nasion:

- stan zdatności,
- stan niezdatności.

Graficzną ilustrację klas stanów przedstawiono na Rys. 37. W przypadku konkretnych nasion roślin uprawnych, zaliczenie poszczególnych stanów do odpowiednich klas może być subiektywne. Wynika to stąd, że przechowywane nasiona mogą mieć różne przeznaczenie (materiał reprodukcyjny lub przemysłowy), stąd też kryteria oceny nasion nawet tego samego gatunku mogą być różne.

Związki pomiędzy parametrami stanu nasion i miarą ich starzenia się powinny być ustalone eksperymentalnie. Dla uogólnionego przypadku związki te można przedstawić w postaci następującej zależności:

$$S(\tau) = S_p + \lambda \cdot \tau^\alpha, \quad (8)$$

gdzie:

$S(\tau)$  – wartość badana stanu nasion,  $S_p$  – wartość początkowa stanu nasion,  
 $\lambda$  – wielkość charakteryzująca intensywność (szybkość) zmian parametru badanego wskaźnika w czasie przechowywania nasion,

$\tau$  – czas przechowywania,

$\alpha$  – wykładnik potęgi określający charakter zmian parametru badanych wskaźników w zależności od zmian stanu nasion.

Wielkość  $\lambda$  jest wielkością losową, przyjmującą w procesie przechowywania różne, nieznanne wcześniej wartości. Szybkość zmian wskaźników opisujących zachowanie się przechowywanych nasion, jak już wcześniej omówiono, uzależniona jest od wielu czynników, a wilgotność nasion ma tu decydujące znaczenie. Dla nasion o mniejszej wilgotności intensywność zmian nie przybiera wartości stałych dla całego okresu przechowywania. Po początkowych stabilnych wzrostach badanych cech, pod koniec okresu przechowywania wartość  $\lambda$  gwałtownie rośnie, co objaśnia się wzrostem ich parametrów. Dotyczy to szczególnie odporności nasion na uderzenia i  $LN$  (Rys. 21, 33). Również eksperymentalnie z dostatecznie dużą dokładnością (zależność 8) można wyznaczyć wartość wykładnika  $\alpha$ , podobnie jak czyni się to w przypadku eksploatacji maszyn [43].

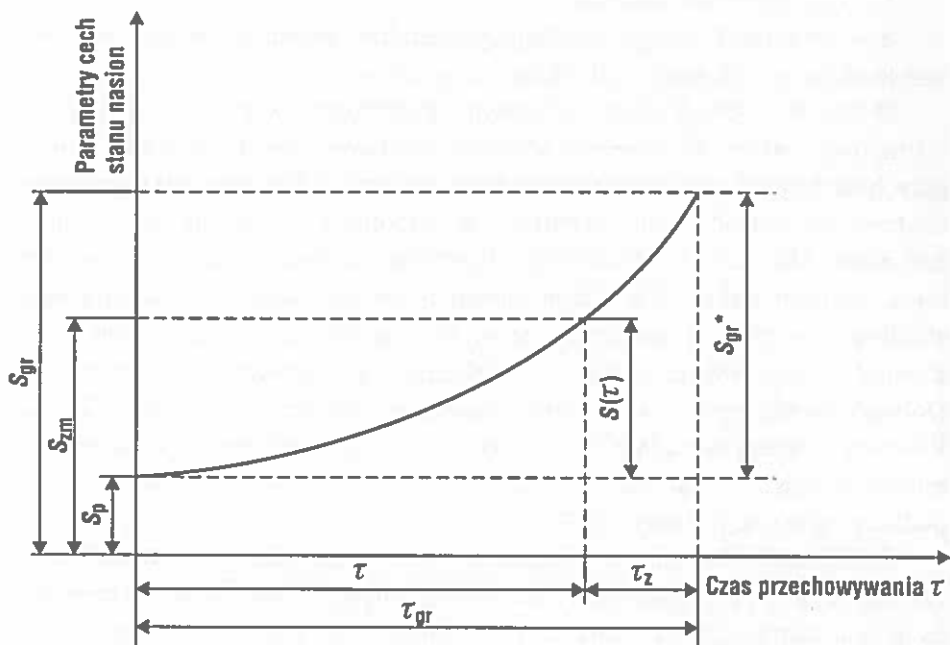
Jakościowy stan nasion przechowywanego rzepaku jest uwarunkowany zmianą jego cech fizycznych i technologicznych. Jeżeli wartość tych cech osiągnęła dopuszczalne wartości to nasiona dalej przechowywane być nie mogą, gdyż osiągnęły już stan graniczny. W rezultacie pomiarów zmian parametrów wybranych cech nasion możemy uzyskać charakterystyki zmian stanu nasion. Zapas czasu dalszego bezpiecznego przetrzymywania nasion w silosie określamy różnicą między wartościami parametru wybranej cechy w chwili osiągnięcia stanu dopuszczalnego (stanu granicznego nasion) oraz w chwili wykonywania pomiaru na podstawie zależności:

$$\tau_z = \tau \left[ \left( \frac{S_{gr}^*}{S(\tau)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right]. \quad (9)$$

Jeżeli znany jest przebieg zmienności stanu nasion  $S$  w funkcji czasu przechowywania (Rys. 38) to można w pewnych przypadkach (zależność liniowa) wyznaczyć wartość intensywności zmian  $\lambda$  i wówczas czas dalszego przechowywania  $\tau_z$  obliczamy z zależności:

$$\tau_z = \frac{S_{gr} - S_{zm}}{\lambda}. \quad (10)$$

Nasiona znajdują się w stanie granicznym  $S_{gr}$  w chwili  $\tau$  jeżeli ich wskaźniki jakościowe (lub jeden z nich) osiągną wartość dopuszczalną. Jakość nasion określoną ich aktualnym stanem  $S(\tau)$  można wyrazić zależnością:



Rys. 38. Wyznaczenie zapasu czasu przechowywania przy znanym stanie początkowym nasion gdzie:  $\tau_z$  – czas dalszego przechowywania nasion,  $\tau$  – czas przechowywania nasion od chwili załadunku,  $S_p$  – stan nasion w chwili załadunku,  $S_{gr}^*$  – graniczna wartość stanu nasion, zmniejszona o wartość  $S_p$ :  $S_{gr}^* = S_{gr} - S_p$ ,  $S(\tau)$  – zmierzona wartość parametru stanu nasion, zmniejszona o wartość  $S_p$ :  $S(\tau) = S_{zm} - S_p$ ,  $S_{zm}$  – zmierzona wartość aktualnego stanu nasion.

Fig. 38. Calculating of reserve time of storage at well-known first state rape seeds:  $\tau_z$  – time further storage of rape seeds,  $\tau$  – time of storage rape seeds from at the moment of loading,  $S_p$  – state of rape seeds at the moment of loading,  $S_{gr}^*$  – border value of state rape seeds, decreased for value  $S_p$ :  $S_{gr}^* = S_{gr} - S_p$ ,  $S(\tau)$  – measured value of parameter of state rape seeds, decreased for value  $S_p$ :  $S(\tau) = S_{zm} - S_p$ ,  $S_{zm}$  – measured value of current state of rape seeds.

$$S(\tau) = f(w_n, t_s, \sigma) \cdot \tau, \quad (11)$$

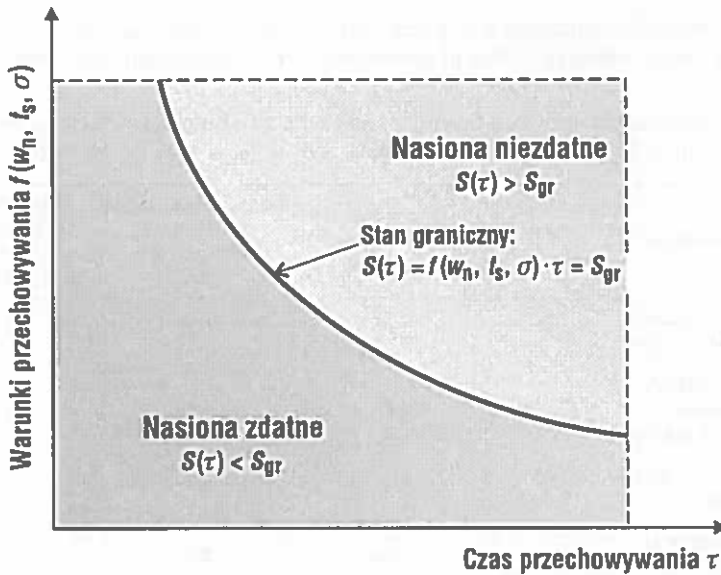
gdzie:

$w_n$  – wilgotność nasion,

$t_s$  – temperatura przechowywania,

$\sigma$  – naprężenia między nasionami wynikające z wysokości usypu w silosie.

Zależność tą opisuje równanie linii (a w przestrzeni n – wymiarowej – hiperpowierzchni) stałej wielkości pola. Dla wartości  $S(\tau)$ , odpowiadającej wartości granicznej  $S_{min}$  wyznacza zbiór stanów granicznych (Rys. 39).



Rys. 39. Wykres pola stanów granicznych przechowywanych nasion: stanu zdatności i niezdatności nasion do dalszego przechowywania.

Fig. 39. Graph fields of border states storage rape seeds: state of fitness and unfitnesses to further storage.

Krzywa odpowiadająca równaniu (11) dzieli cały obszar stanów nasion na dwie części:

- część stanu zdatności, będącą zbiorem punktów dla których  $S(\tau) < S_{gr}$  znajduje się pod krzywą,
- część stanu niezdatności nasion, będącą zbiorem punktów, dla których  $S(\tau) > S_{gr}$ .

Powyższe zależności wykazują, że istnieje nieskończenie wiele kombinacji wartości liczbowych  $S(\tau)$  i  $\tau$ , dla których mogą wystąpić stany graniczne; zdatności czy niezdatności nasion.

Otrzymane równania regresji zmian badanych wskaźników mogą posłużyć do obliczenia intensywności zmian  $\lambda(\tau)$  danego wskaźnika – po ich zróżniczkowaniu, zgodnie z zależnością (6). W Tabeli 17 podano obliczone wartości intensywności zmian  $\lambda(\tau)$  wykorzystując równanie regresji nieliniowej zamieszczone w Tabeli 8, a dotyczące przechowywanych nasion rzepaku odmiany Bolko – zbiór jednoetapowy. Obliczono również, dla tych nasion, wykładniki potęg  $\alpha$  określające charakter zmian badanych wskaźników. Wykorzystano w tym przypadku zależność (8) i wartości mierzonych wskaźników dla nasion tej odmiany i przechowywanych w tych samych warunkach.

**Tabela 17.** Wartości obliczonych współczynników intensywności zmian  $\lambda$  i wykładników potęg  $\alpha$  dla nasion odmiany Bolko przechowywanych w warunkach:  $w_n = 6\%$ ,  $t_s = 30^\circ\text{C}$ ,  $cz = 300\text{kPa}$

**Table 17.** Values counted of coefficients of intensity of changes  $\lambda$  and of exponents  $\alpha$  for rape seeds variety Bolko storage in conditions:  $w_n = 6\%$ ,  $t_s = 30^\circ\text{C}$ ,  $cz = 300\text{ kPa}$

Mierzony wskaźnik	Wartość początkowa wskaźnika $S_p$	Wartość wskaźnika po 180 dniach przechowywania $S(\tau)$	Intensywność zmian mierzonych wskaźników $\lambda$ [dzień <sup>-1</sup> ]	Wykładnik potęgi określającej charakter zmian danego wskaźnika $\alpha$
Ilość nasion z mikro-uszkodzeniami $mi$ [%]	3,00	12,00	0,10	0,868
Ilość nasion uszkodzonych po testach dynamicznych $ud$ [%]	12,00	54,00	0,53	0,845
Zawartość chlorofilu $ch$ [mg/kg]	3,40	2,80	$-1,7 \cdot 10^{-3}$	1,13
Liczba kwasowa $LK$ [-]	0,50	3,50	0,03	0,89
Liczba nadtlenkowa $LN$ [-]	0,20	4,80	0,03	0,97

**Przykładowe wykorzystanie przydatności zaproponowanego modelu służącego do prognozowania stanu przechowywanych nasion:**

Zmierzona liczba kwasowa oleju zawartego w nasionach odmiany Bolko (zbiór jednoetapowy) po 180 dniach ich przechowywania w warunkach podanych w Tabeli 8 wynosi  $S_{zm} = 3,5\text{ LK}$ . Wartość początkowa  $LK$  w chwili załadunku nasion wynosiła  $S_p = 0,5\text{ LK}$ .

Powstaje pytanie – po ilu dniach dalszego przechowywania wartość  $LK$  osiągnie założoną wartość krytyczną równą  $S_{gr} = 5\text{ LK}$ , gdy  $\alpha = 0,89$ ?

Dane niezbędne do obliczenia interesującego nas dopuszczalnego – bezpiecznego czasu przechowywania:

$$\tau = 180 \text{ dni}; \alpha = 0,89 \text{ (Tabela 17);}$$

$$S_{gr}^* = S_{gr} - S_p = 5 - 0,5 = 4,5;$$

$$S(\tau) = S_{zm} - S_p = 3,5 - 0,5 = 3.$$

Z zależności (9) wyliczamy:

$$\tau_z = 180 \cdot \left[ \left( \frac{4,5}{3} \right)^{\frac{1}{0,89}} - 1 \right] = 180 \cdot (1,5^{1,12} - 1) = 180 \cdot 0,57 = 102,6 \approx 103 \text{ dni} .$$

Zatem graniczną wartość  $S_{gr} = 5\text{ LK}$  nasiona osiągną po dalszych 103 dniach przechowywania.

Do celów przechowalniczych każda partia nasion powinna mieć opracowane charakterystyki trwałościowe uwzględniające stan wyjściowy nasion i warunki przechowywania. Charakterystyki te, uwzględniające intensywność zmian ( $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ ) pozwolą przewidzieć terminy ( $\tau_{gr}$ ) osiągnięcia przez nasiona stanów granicznych dla zadanych warunków przechowywania. Wiedza w tym zakresie jest podstawą do racjonalnego i bezpiecznego przechowywania nasion w silosach.

## 7. DYSKUSJA

Podczas przechowywania nasion największym ich zagrożeniem są procesy metaboliczne (oddychanie), charakteryzujące się zmianami fizycznymi i chemicznymi, wydzielaniem CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH i pochodnych oraz energii cieplnej. Intensywność tych procesów, (poza jakością załadowczą nasion) zależna jest od parametrów przyjętych w procesie przechowywania: temperatury i wilgotności otaczającego powietrza i jak wykazały badania, od stanu naprężeń panujących w nasionach.

Przeprowadzone badania wykazały, że w wyniku tych procesów oprócz niewątpliwych strat ilościowych spowodowanych ubytkiem masy nasion, powstały zmiany jakościowe o wiele groźniejsze w skutkach. Szybkość zmian jakościowych przechowywanych nasion ma swoje odbicie w wydzielaniu ciepła z masy nasion. Ma ono charakter wykładniczy, tzn. przy małych wartościach temperatury i wilgotności wydziela się niewiele energii, ale w miarę ich wzrostu intensywność wydzielania gwałtownie rośnie. Dlatego znajomość procesów cieplnych w przechowywanych nasionach polegająca na kontroli temperatury i wilgotności jest kluczowym zagadnieniem techniki przechowalnictwa, jako czynnika dozorującego.

Modzelewska [61] w swojej pracy badała zależność wpływu wilgotności nasion na intensyfikację ich oddychania wyrażoną poprzez ilość wydzielanego CO<sub>2</sub> w mg przez 100 g s.m. nasion w ciągu 24 godzin. W swoich badaniach dowiodła, że do wilgotności nasion 8% natężenie oddychania jest nikłe, ale po przekroczeniu tej wilgotności następuje załamanie intensywności odchylenia, a począwszy od ok. 10% przybiera ono gwałtowny przebieg, co oznacza przekroczenie wilgotności krytycznej i potwierdza w przyjętej metodyce zachowanie się nasion o wilgotności 11%. Przedział, w którym następuje to załamanie, czyli 8–10% mieści się również w obliczonym teoretycznie przez Modzelewską przedziale wilgotności krytycznej – 7,2–11,2%. Przyjmując 1% jako zapas bezpieczeństwa, można przyjąć, że nasiona rzepaku przeznaczone do składowania nie powinny przekraczać 7% wilgotności. W przypadku nasion o zawartości oleju 42%, wilgotność krytyczna nasion wynosi 8,1%, a z uwzględnieniem zapasu bezpieczeństwa należy przyjąć ok. 7%. Obniżenie wilgotności poniżej 6% pociąga za sobą większe koszty i większą podatność na uszkodzenia. W praktyce przemysłowej, Modzelewska zaleca utrzymywać wilgotność masy nasion w granicach 6–8%. Wykorzystując w badaniach nasiona o wilgotności 11% potwierdzono zwiększoną aktywność procesów



metabolicznych u tych nasion, co wyraziło się szybko zwiększającą się wilgotnością względną atmosfery otaczającej nasiona (Rys. 19), gdzie po 40 dniach przechowywania osiągnęła ona maksymalne wartości.

Tomczyk [104] w swojej pracy podaje wymagania wilgotnościowe przechowywanych nasion rzepaku z których wynika, że odpowiednia do wilgotności anabiozy (5%), wilgotność powietrza w magazynie (silosie) przy dłuższym przechowywaniu nasion rzepaku nie powinna przekraczać 45%. Tak więc warunki mikroklimatyczne w większości magazynów przedsiębiorstw nasiennych na obszarze naszego kraju nie odpowiadają wymaganiom stawianym w tym zakresie. W okresach jesienno-zimowych i wiosennych wilgotność względna powietrza utrzymuje się w granicach 70–80%, dochodząc niekiedy do 95%.

Przechowywanie nasion w suchszym powietrzu powoduje spadek wilgotności nasion poniżej 6%. Poza tym, jak wynika z krzywej histerezy [70], nasiona, które zostały przesuszone i następnie dowilżone nie osiągają tej wilgotności co nasiona stopniowo suszone, przy tej samej wilgotności powietrza. Można więc nasiona o niższej wilgotności przetrzymać w atmosferze o wilgotności wyższej bez obawy poważniejszego przekroczenia w nich optymalnej zawartości wody. Z rozważań tych można wyciągnąć praktyczny wniosek, że optymalna wilgotność względna powietrza w czasie magazynowania nasion rzepaku nie powinna przekraczać 50%, co podkreśla również w swoich badaniach Tomczyk [104].

Nasiona o większej zawartości wody (11%) ulegały odkształcaniu zmniejszając w ten sposób przestrzenie międzynasienne (porowatość), co jest zjawiskiem niekorzystnym, gdyż rola porowatości ośrodka w przechowywaniu jest bardzo duża. Porowatość takiego ośrodka spełnia istotną rolę w procesach sorpcji i desorpcji pary wodnej, tlenu i innych gazów, mogąc przeto ułatwiać lub utrudniać wymianę gazową nasion [47, 55]

Zmiana wilgotności i temperatury atmosfery otaczającej przechowywane nasiona jest następstwem przemian biochemicznych jakim podlegają nasiona rzepaku w wyniku oddychania. Dłuższe przebywanie nasion w warunkach beztlenowych może prowadzić więc do obniżenia ich wilgotności, gdyż wydzielające się produkty oddychania beztlenowego będą usuwały wilgoć z atmosfery otaczającej nasiona. Zjawisko to niewątpliwie wystąpiło w próbkach nasion o podwyższonej wilgotności 11% oraz wyższych temperaturach przechowywania. Po zakończeniu doświadczenia nasiona te miały zróżnicowaną wilgotność, pomimo wyrównanej wilgotności przy załadunku (Tabela 2, 3).

Charakterystyki zmian wilgotności badanych próbek nasion potwierdzają badania licznych autorów [9, 36, 53, 54, 122, 123], którzy stwierdzają, że na wzrost intensywności oddychania mają wpływ:

- wilgotność przechowywanych nasion,
- temperatura składowania,
- stan dojrzałości nasion,
- warunki zbioru,
- rodzaj i stopień uszkodzenia nasion.

Przedstawiona interpretacja zmian temperatury i wilgotności nasion w przechowywanych próbkach rzepaku stanowi próbę wyjaśnienia bardzo skomplikowanych procesów zachodzących w nasionach i atmosferze je otaczającej. Oba te ośrodki ciągle na siebie oddziałują wytwarzając chwilowy stan równowagi, a przedstawione przebiegi ujawniają ich zmianę, szczególnie dynamiczną w początkowym okresie przechowywania. Opisane zależności powinny być przedmiotem dalszych poszukiwań i stanowić temat oddzielnej pracy, uzupełnionej m.in. o ciągłą analizę wydzielających się gazów, wydostających się na zewnątrz poprzez dreny odpowietrzające. Przyczyniłoby się to w przyszłości do precyzyjnego monitorowania stanu przechowywanych nasion w oparciu o dokładne przebiegi wilgotności i temperatury, uzupełnione o skład chemiczny atmosfery otaczającej nasiona.

Monitorowanie zmian wilgotności nasion oraz temperatury, w czasie ich przechowywania, umożliwi precyzyjne uchwycenie momentu, w którym następują niebezpieczne dla jakości nasion zmiany wywołane wpływem atmosfery wytworzonej przez składowany materiał (samonawilgocenie, samozagrzewanie, rozwój mikroorganizmów).

Warunki przechowywania nasion mają również wpływ na zmianę ich cech fizycznych. Zwiększona odporność na uderzenie nasion pochodzących ze zbioru dwuetapowego w początkowej fazie przechowywania należy tłumaczyć tym, że zawierają one więcej nasion niedojrzałych o zwiększonej wilgotności. Jak podaje Schneider i Wiązecka [81], nasiona pochodzące z wcześniejszego zbioru zachowują w sobie większą zawartość wody od nasion pozyskanych z późniejszego zbioru. Różnica ta utrzymuje się, pomimo długiego okresu przechowywania nasion pochodzących z obu terminów zbioru w takich samych warunkach. Nasiona bardziej wilgotne mają obniżony współczynnik sprężystości i restytucji, co w konsekwencji podczas uderzenia wpływa na obniżenie wartości chwilowej siły oddziaływania. W konsekwencji przy takiej samej energii uderzenia naprężenia w strefie odkształcenia lokalnego będą mniejsze. Dłuższe przechowywanie powoduje, że nasiona bardziej wilgotne

(mniej dojrzałe) ulegają bardziej przyspieszonym procesom życiowym od nasion dojrzałych, co prowadzi niewątpliwie do obniżenia właściwości mechanicznych ich budowy. Nie bez znaczenia na proces uszkodzenia ma zachodzące podczas przechowywania, zjawisko zwiększonej deformacji nasion bardziej wilgotnych. Zdrowe, nie uszkodzone nasiona, dzięki posiadaniu pewnych mechanizmów obronnych, nawet przy nieco wyższej wilgotności bardzo powoli opanowywane są przez drobnoustroje. Zwarta budowa okrywy nasiennej chroni wnętrze przed wtargnięciem mikroorganizmów w głąb nasienia. Mikrouszkodzenia, niewidoczne gołym okiem, są trudne do wykrycia, a ponadto niemożliwe jest ich wydzielenie w procesie czyszczenia i sortowania.

Jak wykazały badania, mikrouszkodzenia powstają nie tylko w zmechanizowanych procesach obróbki gdzie nasiona narażone są na chwilowe oddziaływanie znacznych obciążeń lecz także w stabilnych warunkach przechowywalniczych. Można przyjąć tezę, że wszystkie nasiona o zdeformowanej powierzchni posiadają wewnętrzne uszkodzenia.

Podwyższona wilgotność (11%) nasion przechowywanych w zbiornikach ciśnieniowych potwierdziła niekorzystny jej wpływ na dynamikę wzrostu wskaźników *LK* i *LN* i nie pozwoliła na uchwycenie wpływu innych przyczyn różnicujących przebiegi zmian tych wskaźników (ilość zanieczyszczeń, wzrost ciśnienia, odmiany, dojrzałość itd.).

Badania prowadzone przez Krzymańskiego [52] wykazały, że w nasionach rzepaku w czasie przechowywania w warunkach laboratoryjnych (w temperaturze pokojowej i przy względnej wilgotności powietrza 30% oraz 70%) przez okres do 11 lat, skład kwasów, *LK* i *LN* uległy stosunkowo niewielkiej zmianie, aczkolwiek statystycznie istotnej. Wyższa wilgotność, powodowała przede wszystkim wzrost *LK*, a niższa – wzrost *LN*, obniżenie kwasów wielonienasyconych. Potwierdzają to również wyniki badań własnych o decydującym wpływie wilgotności nasion na dynamikę zmian analizowanych cech, przy czym uzyskano większe przyrosty liczby nadtlenkowej od liczby kwasowej, niezależnie od wilgotności nasion. Niewątpliwie widoczny jest tu wpływ stanu naprężeń w nasionach, gdyż wartości *LN* u nasion przechowywanych w zbiornikach o wyższym ciśnieniu są większe od *LN* nasion znajdujących się w zbiorniku o niższym ciśnieniu, przy analogicznych pozostałych warunkach przechowywania. Wartości *LK* u przechowywanych nasion nie wykazywały tak znaczących różnic zależnych od ciśnienia przechowywania. Niska wilgotność nasion i dobra ich kondycja oraz odpowiednie warunki przechowywania sprzyjają powolnemu wzrostowi liczby kwasowej. Potwierdzają to badania Wojnarowicz [124], która wykazała, że w czasie 2-letniego przecho-

wywania rzepaku w silosie nie uległy zmianie: zawartość wody i tłuszczu, natomiast wzrosła *LK* w oleju o 2, nieznacznie zmalała też zawartość chlorofilu.

Nasiona o małej zawartości wody są również mniej podatne na obniżenie cech technologicznych przy większej ilości zanieczyszczeń. I tak nasiona o 4% zawartości wody mają bardzo podobne charakterystyki zmian *LK* dla różnych wariantów zanieczyszczenia próbek (Rys. 32). Wyniki te korespondują z badaniami Grabskiej i wsp. [34], która oceniała wpływ czasu przechowywania, wilgotności i stopnia uszkodzenia nasion na jakość uzyskanego tłuszczu. W badaniach tych jakość technologiczną nasion kontrolowano na podstawie zmian aktywności lipolitycznej oraz liczby nadtlenkowej i kwasowej wyekstrahowanych olejów. Stwierdzono, że nasiona o niskiej wilgotności (6%) mogą być przechowywane do 4 miesięcy, niezależnie od ich stopnia uszkodzenia, bez wyraźnego wpływu na jakość uzyskanego oleju. Wydłużenie czasu przechowywania do 6 miesięcy wywołało u nich znaczne zmiany oksydacyjne, tym większe im wyższy był stopień uszkodzenia nasion. Jakość nasion nieuszkodzonych o wilgotności 14% nie zmieniała się przez 3 tygodnie. Nasiona o bardzo wysokiej wilgotności (18%), ze względu na zachodzące niekorzystne zmiany jakościowe, mogą być przechowywane nie dłużej niż 3 dni.

Zależnie od warunków przechowywania, nasiona obniżają również swoją jakość biologiczną i chociaż nie było to przedmiotem badań autora, to warto w tym miejscu wspomnieć o badaniach Horaka i Havela [45], którzy zajmowali się żywotnością i jakością nasion rzepaku znajdujących się w kolekcji zasobów genowych i przechowywanych w okresie do 11 lat. Wykazali, że w pierwszym okresie, obejmującym około 7 lat, trwał powolny spadek zdolności kiełkowania. Po tym okresie następuje faza szybkiego spadku trwająca około 2 lat, w czasie których zdolność kiełkowania nasion maleje bardzo szybko, aż do ułamka pierwotnej wartości.

Na różnice w zmianie wartości wskaźników charakteryzujących jakość technologiczną przechowywanych nasion pozyskanych ze zbioru jednoetapowego i dwuetapowego wpłynął niewątpliwie stan wyjściowy nasion. Masson [58] w swojej pracy wykazał, na podstawie zmian zawartości oleju i jego kwasowości w ostatnim okresie dojrzewania nasion, że im nasiona są większe i bogatsze w tłuszcz, tym posiadają niższą zawartość WKT. Nasiona ze zbioru jednoetapowego są więc bardziej dojrzałe, dorodniejsze, zawierają więcej oleju i tym samym niższą zawartość WKT.

Wzrastające stale zapotrzebowanie na nasiona, zarówno dla pokrycia potrzeb krajowych jak i eksportowych, zmusza do przetrzymywania nasion o różnej kondycji początkowej przez dłuższy lub krótszy okres czasu w odpowiednich pomieszczeniach, w takich warunkach, aby były nadal towarem handlowym. Jeśli weźmiemy pod uwagę fakt występowania w produkcji wielu odmian jednego gatunku, to jest zrozumiałe, że magazyny muszą zapobiec ich przemieszaniu przy wewnętrznych manipulacjach.

Prowadzone dotychczas badania nad jakością przechowywanych nasion rzepaku miały charakter wycinkowy, oceniały fragmentarycznie zmianę jakości przetrzymywanych nasion (najczęściej biologicznej) pod wpływem jakiegoś czynnika oddziałującego na przechowywany materiał (temperatura, wilgotność, otoczenie gazów itp.). I chociaż mają one ogromne znaczenie poznawcze, to sposób ich przeprowadzenia (nie uwzględniał warunków ciśnieniowych) odbiegał więc od warunków znajdujących się w silosach, elewatorach itp.

Istotą przedstawionych badań było opracowanie metody laboratoryjnej przechowywania nasion, odwzorowującej warunki znajdujące się w silosach w tym naprężenia pochodzące od nacisków górnych warstw składowanych nasion.

Wykonane stanowiska pozwalają ustalić zależności między wartościami parametrów początkowych przechowywanych nasion (odmiana, dojrzałość, wilgotność, ilość zanieczyszczeń) a warunkami ich przechowywania (temperatura, ciśnienie). Wyniki oceny zmian jakości technologicznej, wzbogacone o zmiany właściwości mechanicznych nasion wykazały duże zróżnicowanie między wartościami zmian mierzonych cech u nasion przechowywanych w komorach, a nasionami przechowywanymi poza komorą (w worku) oraz między odmianami i ich stopniem dojrzałości. Wykazano, że nasiona pochodzące z wcześniejszego zbioru są mniej odporne na zadane warunki przechowywania. Może to mieć praktyczne znaczenie, gdyż mała ilość odpowiedniego sprzętu powoduje, że rolnicy obawiając się przedłużenia czasu „pokosowania” i zwiększonych z tego tytułu strat, rozpoczynają dwuetapowy zbiór zbyt wcześnie, czego efektem jest później zła jakość wyjściowa przechowywanych nasion (większa ilość nasion niedojrzałych).

Badania nad zmianami jakości nasion podczas ich przechowywania mogą być przydatne w opracowaniu „norm przechowywania nasion rzepaku”, które ujmowałyby takie elementy jak: odmianę, ilość nasion niedojrzałych, wysokość słupa usypu nasion w silosie, temperaturę przechowywania, wilgotność, ilość zanieczyszczeń w nasionach oraz dopuszczalny czas przechowy-

wania dla danej partii nasion. Najbardziej dynamicznie zmieniające się wartości wskaźników (np. *LN* czy *LK*) mogą być przydatne do oceny diagnostycznej aktualnego stanu nasion w celu prognozowania ich dalszej trwałości (zdatności) wg zaproponowanego modelu. Badania potwierdziły negatywny wpływ nadmiernej wilgotności przechowywanych nasion na badane cechy oraz jej wpływ również na deformacje nasion. Odkształcenia nasion mogły być poznane tylko w tak zaprojektowanych warunkach laboratoryjnych, gdzie uwzględniony został czynnik naprężeń między nasionami.

Zaproponowana metodyka badań może być wykorzystana do testowania nasion odmian rzepaku już wprowadzonych do uprawy lub odmian wprowadzanych celem określenia ich wrażliwości na różne warunki przechowywania.

Badania powinny być kontynuowane i rozszerzone o:

- wpływ i rozwój mikroorganizmów na nasionach przechowywanych w zadanych warunkach przechowywania,
- wpływ składu chemicznego atmosfery otaczającej na jakość przechowywanych nasion przy różnych wariantach wilgotności nasion i temperatury,
- wpływ różnych wariantów przechowywania (wilgotność, temperatura, ciśnienie) na deformację nasion i związane z tym konsekwencje – wzrost gęstości ośrodka, przepuszczalność gazów, przewodnictwo cieplne, rozprzestrzenianie się mikroorganizmów.

Prognozowaniem trwałości przechowywanych nasion interesuje się wiele ośrodków naukowych. Najważniejszym kryterium określenia czasu bezpiecznego przechowywania nasion jest zdolność ich kiełkowania. Kryterium to ma duże znaczenie w nasiennictwie. Sporządza się odpowiednie tabele przedstawiające czas bezpiecznego przechowywania dla wybranych nasion o różnej wilgotności i temperaturze w zależności od ich zdolności kiełkowania [48, 64].

Muir i Sinha [64] podali formuły empiryczne do obliczania czasu  $\tau$  [dni], po którego upływie nasiona rzepaku tracą 5% zdolności kiełkowania:

$$\log \tau = 6,224 - 0,302 w_n - 0,069 t_s, \text{ dla } w_n < 11\%$$

$$\log \tau = 5,278 - 0,206 w_n - 0,063 t_s, \text{ dla } w_n \geq 11\%$$

gdzie:  $t_s$  – temperatura nasion [ $^{\circ}\text{C}$ ] w zakresie  $10^{\circ}\text{C} \leq t_s \leq 40^{\circ}\text{C}$ ,  $w_n$  – wilgotność nasion [%].

W świetle przeprowadzonych badań nasuwają się następujące uwagi krytyczne do stosowanych w przypadku nasion rzepaku rozwiązań:

- autorzy nie uwzględniają stanu początkowego nasion (dojrzałość, ilość zanieczyszczeń) oraz odmiany nasion,
- brak jest w przedstawionych wzorach empirycznych czynnika obciążającego (naprężenia) przechowywane nasiona.

Przypuszcza się także (na podstawie braku doniesień o takich badaniach), że kryterium jakości technologicznej i jej trwałości określane czasem przechowywania różni się znacznie od powszechnie stosowanego kryterium zdolności kiełkowania i dlatego cytowane wyniki są mało przydatne dla potrzeb przechowywalniczych.

## 8. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Problemy dotyczące magazynowania i przechowywania nasion roślin uprawnych stały się w ostatnich latach przedmiotem zainteresowania kilku dziedzin nauki i techniki: genetyki, hodowli roślin, przetwórstwa. Każda z tych dziedzin koncentruje się na nieco innych zagadnieniach, niemniej ich cechą wspólną jest troska o dobrą jakość przechowywanych nasion.

Inżynieria genetyczna w swoim działaniu zajmuje się ochroną zasobów genowych w celu ich wykorzystania do kreowania odmian spełniających aktualne i przyszłe oczekiwania użytkowników. Rolę tę spełniają banki genów, a ich zadaniem jest zachowanie naturalnej zmienności genetycznej przez utrzymywanie w możliwie najdłuższym czasie wysokiej żywotności nasion. Stosuje się tu specjalne kosztowne metody przechowywania odbiegające od tradycyjnych, spotykanych w skali przemysłowej. Stworzone warunki przechowywania zapewniają zachowanie żywotności nasion przy minimalnym ryzyku zmian genetycznych przez okres kilkunastu, a nawet kilkudziesięciu lat.

Hodowcy w swoich działaniach zajmują się oceną wartości reprodukcyjnej przechowywanych nasion. Dlatego zainteresowania ich mają bardziej rozległy obszar, a więc uwzględniają wszystkie okoliczności (uprawa, zbiór oraz warunki przechowywania) mające istotny wpływ na wartość siewną nasion. Zmiany technologiczne przechowywanych nasion dla hodowców są o tyle ważne, o ile wpływają one na ich cechy biologiczne. Wartość siewna przechowywanych nasion jest w tym przypadku jedynym miernikiem oceny ich stanu w trakcie przechowywania, a literatura przedmiotu jest najbogatsza, gdyż uwzględnia rozwiązania konstrukcyjne i metodyczne magazynów nasion roślin uprawnych.

Rozwijający się przemysł przetwórczy stawia nowe wymagania jakościowe nasionom przeznaczonym do przerobu, stosując sprawdzoną zasadę: dobry surowiec – dobra jakość wyrobu finalnego. Stwarza to potrzebę oceny przechowywanych nasion pod kątem ich przydatności technologicznej.

Wyniki badań niniejszego opracowania potwierdziły wnioski innych autorów oraz uściślają je w odniesieniu do zmian cech technologicznych i właściwości fizycznych przechowywanych nasion rzepaku, a w wielu zagadnieniach szczegółowych wnoszą również nowe informacje.

Potwierdzono przypuszczenia, że nasiona różnych odmian rzepaku w zróżnicowany sposób reagują na zadane analogiczne warunki przechowy-



wania. Efekt ten przejawia się w dynamice zmian cech technologicznych i fizycznych u przechowywanych nasion. Istotny wpływ na kondycję nasion ma również ich stan w chwili załadunku (stan początkowy): dojrzałość, ilość zanieczyszczeń, wilgotność. Wielkość temperatury i ciśnienia przechowywania w istotny sposób różnicuje proces jakości nasion o wyjściowych stanach początkowych.

Stan początkowy nasion i warunki przechowywania dobierano tak aby uwypuklić ich skutki na procesy zmian technologicznych i fizycznych w założonym czasie doświadczenia. Większa wilgotność nasion (11%) zasłaniała niekiedy obraz wpływu innych czynników na przebieg zmian badanych cech (wpływ ilości zanieczyszczeń, naprężeń), ujawniła jednak tak niebezpieczne dla przechowalnictwa zjawisko odkształcania i zbrylania się nasion. Zjawisku temu ulegają wszystkie nasiona, a czas ich całkowitego zbrylenia przedłużyła wyraźnie niższa temperatura ich przechowywania ( $7^{\circ}\text{C}$ ) – do 120 dni przebiegu doświadczenia. Większą podatność na odkształcenie nasion mniej dojrzałych należy tłumaczyć również ich większą wilgotnością od nasion dojrzałych. Zaobserwowane efekty trwałych odkształceń rzepaku mają fundamentalne znaczenie na precyzyjne wyznaczenie rzeczywistych obciążeń konstrukcji zbiorników oraz efektywnych metod wyliczenia rozkładu obciążenia w silosie. Znane aktualnie teorie nie oferują, praktycznie przydatnego, związku między stanem naprężenia, a stanem odkształcenia materiału sypanego dla zakresu obciążeń występujących w silosach. Odkształcane nasiona traciły niewątpliwie swoją kondycję mechaniczną – wzrost ilości nasion uszkodzonych podczas testów dynamicznych oraz przyczyniały się do wzrostu liczebności nasion uszkodzonych (mikrouszkodzenia).

**Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:**

1. Monitorowanie warunków przechowywania próbek nasion w okresie początkowym (do 20 dni) ujawniło bardzo duże zróżnicowanie ich wilgotności i temperatury. Po tym okresie wartości mierzonych parametrów stabilizowały się.

2. Stan początkowy i warunki przechowywania (wilgotność, temperatura) mają istotny wpływ na cechy przechowywanych nasion. Może stanowić to podstawę do przewidywania zmian technologicznej wartości nasion i podejmowania decyzji o koniecznych zabiegach konserwujących.

3. Stan materiału przechowywanego opisywany mierzonymi wskaźnikami cech mechanicznych i technologicznych nasion był zdeterminowany stanem

początkowym nasion (sposobem zbioru i ilością zanieczyszczeń) przed przechowywaniem. Szczegółowa analiza tych cech wykazała:

- przyjęty model regresji wielozmiennej umożliwia dokładną analizę wpływu poszczególnych czynników na jakość przechowywanych nasion;
- nasiona o dojrzałości pełnej, a więc pochodzące ze zbioru jednoetapowego korzystniej znosiły zadane warunki przechowywania (w dłuższym okresie czasu utrzymywały niższe wartości mierzonych wskaźników) od nasion tych samych odmian pozyskanych ze zbioru dwuetapowego;
- cechy odmianowe mają wpływ na zachowanie się nasion rzepaku podczas ich przechowywania. Z badanych odmian u nasion rzepaku odmiany Leo większość mierzonych wskaźników osiągała najniższe końcowe wartości.
- ilość zanieczyszczeń w nasionach o małej zawartości wody (4%) nie miała większego wpływu na zmianę cech jakościowych.

4. We wszystkich wariantach przechowywania nasion (stan nasion – warunki przechowywania) głównym czynnikiem decydującym o dynamice zmian jakościowych była wilgotność nasion. W próbkach nasion o wilgotności początkowej 11% zmiany cech technologicznych i właściwości mechanicznych ulegały tak szybko, że inne składniki stanu początkowego nie miały istotnego znaczenia w przebiegu charakterystyk oceniających jakość nasion.

5. Stan naprężeń w przechowywanych nasionach (wywołany ciśnieniem) powodował następujące skutki:

- obniżenie jakości przechowywanych nasion. Nasiona przetrzymywane w worku (poza komorą) zachowywały korzystniejsze właściwości jakościowe przez cały okres doświadczenia, od nasion przechowywanych w komorze;
- deformację składowanych nasion, powodującą w skrajnych przypadkach ich całkowite zbrylenie. Duża wilgotność nasion (11%) przyspieszała niekorzystny proces zbrylania. Nasiona o tej wilgotności mogą być przechowywane zaledwie do 40 dni.

6. Warunki wynikłe z wyższej temperatury przechowywanych nasion powodowały:

- większe przyrosty wartości takich wskaźników jak: liczba kwasowa, liczba nadtlenkowa, ilość nasion uszkodzonych podczas badań dynamicznych, zwiększała zaś szybkość rozkładu zawartości chlorofilu (zwłaszcza przy większej wilgotności nasion);
- wzrost trwałych odkształceń nasion. Nasiona poddane takim samym warunkom naprężeniowym o wilgotności 11% w temperaturze 7°C ulegały całkowicie odkształceniom po 120 dniach ich przechowywania, podczas gdy

przechowywane w temperaturze 30°C takim samym odkształceniom ulegały już po 40 dniach.

7. Opracowana metodyka badań pozwoliła uzyskać reprezentacyjny zbiór wskaźników określających zmianę cech fizycznych i technologicznych przechowywanych nasion. Zastosowana metoda może być wykorzystana w dalszych badaniach nad optymalizacją przechowywania nasion roślin uprawnych.

8. Uzyskane charakterystyki zmian wskaźników opisujących wartość technologiczną przechowywanych nasion posłużyły do opracowania teoretycznego modelu prognozującego stan jakościowy nasion. Opracowany model umożliwia określenie granicznego, bezpiecznego czasu składowania nasion w zależności od ich stanu początkowego i warunków przechowywania.

## 9. PIŚMIENICTWO

1. **Barton L. V.:** Dormancy in seeds imposed by seed coat. In: Encyclopedia of Plant Physiology, 15, 2, 699–717, 1965.
2. **Bass L. N.:** Controlled atmosphere and seed storage. Seed Science and Technology 1,2, 463–492, 1972.
3. **Bielecka M., Biedrzycka E., Biedrzycka E., Śmieszek M.:** Warunki zbioru i przechowywania a jakość nasion rzepaku. Cz. II. Jakość mikrobiologiczna. Rośliny Oleiste, XV (2), 135–143, 1994.
4. **Bielecka M., Biedrzycka E., Biedrzycka E., Śmieszek M., Fornal J.:** Rapeseed microflora and its changes during storage. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 107–114, 1995.
5. **Bilański W. K., Szot B., Kushwaha L., Stępniewski A.:** Comparison of strength features of rape pods and seeds for varieties cultivated in various countries. International Agrophysics, (8) 2, 177–184, 1994.
6. **Bormuth C. D.:** Rheological and physiological properties of pea seeds (*Pisum sativum* L.) of different moisture contents being stressed under quasi-static load. International Agrophysics, (8) 2, 185–190 1994.
7. **Bratkowska I., Niewiedomski H.:** The Relationship between Autoxidation of Triglycerides and Chlorophylls Transformation. Zeszyty Problemowe PNR, 136, 70–75, 1973.
8. **Brown A. P., Dyer A. F.:** Effects of low temperature storage on the pollen of *Brassica campestris*, *B. oleracea* and *B. napus*. Euphytica, 51, 3, 215–218, 1990.
9. **Bulsiewicz T., Matzke W., Smarzyński E., Świątek H.:** Magazynowanie ziarna zbóż, nasion strączkowych i oleistych. WNT, Warszawa, 1975.
10. **Carr R. A., Applewhite T. H.:** Oiled harvesting, storage and transportation. Proc. of the World Conference on Oilseed Technology and Utilization, 118–125, 1993.
11. **Cenkowski S., Sokhansan S., Sosulski F. W.:** The effect of drying temperature on green color and chlorophyll content of canola seed. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. Vol. 22, No 4, 383–386, 1989.
12. **Chapman D. A.:** Ventilated floors for crop storage. Leaflet Ministry of Agriculture Fisheries and Food U. K. 904, s. 11, 1985.
13. **Chudoba Z.:** Obserwacja nad żywotnością nasion w przechowywaniu w zależności od stopnia ich dosortowania. Biul. IHAR, 4, 43–46, 1960.
14. **Chudoba Z.:** Wpływ temperatury środowiska na żywotność nasion niektórych roślin zbożowych i traw. Hodowla Roślin Aklimatyzacja i Nasiennictwo, 7 (1), 105–116, 1963.
15. **Daun J. K.:** Chlorophyll in Canadian Canola and Rapeseed and its Role in Grading. 7th International Rapeseed Congress, Poland, 1451–1456, 1987.
16. **Davison E., Meiering A. G., Middendorf F. J.:** A theoretical stress model of rapeseed. Canadian Agricultural Engineering. 21; 45–46, 1979.
17. **Derlicka H.:** Długowieczność nasion przechowywanych w zmiennych warunkach magazynowych. Biul. IHAR, 5–6, 156–161, 1964.
18. **Derski W., Ziemia S.:** Analiza modeli reologicznych. PWN, Warszawa, 1968.
19. **Digvir-Singh, Muir W. E., Sinha R. N., Singh D.:** Apparent coefficient of diffusion of carbon dioxide through samples of cereals and rapeseed. Journal of Stored Products Research, 20 (3), 169–175, 1984.

20. Duczmal K., Balcerzak J.: Badania nad omlotem nasion fasoli i odpornością na uszkodzenia mechaniczne. *Hodowla Roślin*, 4, 23–28, 1977.
21. Ellis R. H., Hong T. D., Roberts E. H.: The variability equation, seed viability monographs and practical advice on seed storage. *Seed Science and Technology* 16, 29–50, 1988
22. Ellis R. H., Hong T. D., Roberts E. H.: A comparison of the low-moisture-content limit to the logarithmic relation between seed moisture and longevity in twelve species. *Annals of Botany*, 63 (6), 601–611, 1989.
23. Finch-Savage W. E., Mc Kee J. M. T.: Viability of rape (*Brassica napus* L.) seeds following selection on the basis of newly-emerged radicles then subsequent drying and storage. *Annals of Applied Biology*, 114 (3), 587–595, 1989.
24. Fornal J., Jaroch R., Sadowska J., Kaczyńska B.: Mechaniczne właściwości nasion wybranych odmian i rodów rzepaku. Cz. I. Zeszyty Problemowe IHAR. 165–179, 1991.
25. Fornal J., Sadowska J., Jaroch R., Kaczyńska B., Winnicki T.: Effect of drying of rapeseeds on their mechanical properties and technological usability. *International Agrophysics*. 8 (2), 215–224, 1994.
26. Fornal J., Sadowska J., Jaroch R., Szot B.: Wpływ uszkodzeń rzepaku na jakość białka i tłuszczu. Zeszyty Problemowe IHAR. XIV (1), 123–133, 1992.
27. Fornal J., Winnicki T., Jaroch R., Sadowska J., Zadernowski R., Górski T.: Wpływ uszkodzeń nasion rzepaku na jakość białka i tłuszczu. Zeszyty Problemowe IHAR, XIV (1), 165–173, 1992.
28. Franzke C., Hollstein E., Diaz Gonzalez J. A.: Über den Einfluss von Zerschlagenen Rapssamen auf die Qualität der Fette. *Lebensmittelindustrie*. 17 (2), 57–60, 1970.
29. Frontczak J.: Metody określania i analiza cech fizycznych kukurydzy. Zesz. Naukowe AR Wrocław. Nr 61, 1987.
30. Gąsiorowski H., Ryniecki A., Kołodziejczyk P.: Nowoczesne, energooszczędne metody konserwacji ziarna. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 4, 7–8, 1990.
31. Giergiel J., Rosiński J., Uhl T.: Metoda identyfikacji układów mechanicznych przy wymuszeniu uderzeniowym. *Arch. Bud. Maszyn*. 33 (3), 321–337, 1986.
32. Gieroba J., Dreszer K.: Problemy strat i uszkodzeń ziarna podczas kombajnowego zbioru. *Problemy Agrofizyki*, 50, 1986.
33. Gieroba J., Dreszer K., Dutkowski J., Nowak J.: Czynniki warunkujące jakość ziarna siewnego zbieranego kombajnem. *Problemy Agrofizyki* z. 57, 1988.
34. Grabska J., Piskula M., Kubicka E., Waszczuk K.: Warunki zbioru i przechowywania a jakość nasion rzepaku. Cz. I. Aktywność enzymów lipolitycznych i liczby charakterystyczne oleju. *Rośliny Oleiste*, XV (2), 125–134, 1994.
35. Gryboś R.: Teoria uderzenia w dyskretne układach mechanicznych. PWN. Warszawa, 1969.
36. Grzesiuk S., Łuczyńska J.: Przemiany w nasionach podczas spoczynku i przechowywania. Zeszyty Problemowe PNR. *Zagadnienia Biologii i Nasiennictwa*, 113, 70–96, 1971.
37. Grzesiuk S., Kulka K.: Fizjologia i biochemia nasion. PWRiL, Warszawa, 1981.
38. Grzesiuk S., Kulka K.: Biologia ziarniaków zbóż. PWN, Warszawa, 1988.
39. Grzesiuk S., Górecki R.: Fizjologia plonów, wprowadzenie do przechowywania. Wyd. ART, Olsztyn, 1994.
40. Grundas S.: Niektóre aspekty podatności ziarna pszenicy zwyczajnej na uszkodzenia mechaniczne. *Problemy Agrofizyki* z. 54, 1987.

41. Haman J., Dobrzański B., Szot B., Stępniewski A.: Strength of shell in compression test of rapeseed. *International Agrophysics*, 8 (2), 245–250, 1994.
42. Harrington J. F.: Practical instructions and advice on seed storage. *Proc. ISTA*, 26 (4), 989–995, 1963.
43. Hebda M., Mazur T., Pelc H.: *Teoria eksploatacji pojazdów WKL*, Warszawa 1978.
44. Henderson S., Wilkin R.: Relationship between water content and equilibrium relative humidity for 3 oilseed rape cultivars. *Informations Techniques CETIOM*, 93, 17–20, 1985.
45. Horak P., Havel J.: Zmiany żywotności i wskaźników jakościowych nasion rzepaku ozimego podczas długoterminowego składowania. *Rośliny Oleiste*, XV (2), 145–154, 1994.
46. Hukill W. V.: Storage of seeds. *Proc. ISTA*, 28 (4), 871–885, 1963.
47. Hyde M. B., Oxley T. A.: Experiments on the air light storage of damp grain. I. Introduction, effect on the grain and the intergranular atmosphere. *Ann. Appl. Biol.*, 49, 241–256, 1960.
48. Kaleta A.: *Modelowanie procesu konwekcyjnego suszenia ziarna w silosach*. Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa, 1996
49. Kolowca J.: Własności mechaniczne ziarna pszenicy. *Biul. IHAR*, 5–6, 23–32, 1973.
50. Kolowca J.: Wpływ obciążeń mechanicznych na uszkodzalność i wartość biologiczną ziarna pszenicy. *Rozprawa hab. Nr 70*. AR Kraków, 1979.
51. Koper R.: Nowoczesne metody badań własności mechanicznych ziarna zbóż. *Zeszyty Problemowe PNR*. 320, 29–42, 1987.
52. Krzymański J.: Lipid Deterioration in Stored Seeds of *Brassica oleracea L.* *Zeszyty Problemowe PNR*, 136, 130–134, 1973.
53. Kulka K.: Fizjologiczne i biochemiczne mechanizmy starzenia się nasion. *Biul. IHAR*, 5–6, 37–44, 1973.
54. Lityński M., Chudoba Z.: Wpływ temperatury przechowywania na zdolność kiełkowania nasion rzepaku ozimego (*Brassica napus L.*) i tymotki łąkowej (*Phleum pratense L.*) o zróżnicowanej wilgotności. *Biul. IHAR*, 1–2, 73–78, 1967.
55. Lityński M.: *Biologiczne podstawy nasiennictwa*. PWN, Warszawa, 1982.
56. Łuczyńska J.: Biochemiczne aspekty starzenia nasion. *Wiadomości Botaniczne*, 20 (3), 155–160, 1976.
57. Łukasiewicz M.: Badania przechowywania ziarna w silosach metalowych w kontrolowanej atmosferze dwutlenku węgla. *Materiały konferencyjne VII sympozjum nt.: Problemy budowy oraz eksploatacji maszyn i urządzeń rolniczych*. Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn i Urządzeń Rolniczych w Płocku, T. 1, 331–332, 1997.
58. Masson C. G.: Et'ude comparative de la conservation du colza en atmosphere libre en atmosphere confirme'e et en atmosphere garente. *Contr. Techn. Intern. prof. des Oleuqineux Metropol.* 1–19, 1961.
59. Masson C. G.: An artificial atmosphere for preserving rapeseeds. *Zeszyty Problemowe PNR*, 91, 111–115, 1970.
60. Mills J. T., Clear K. M., Daun J. K.: Storability of frost-damaged canola. *Canadian Journal of Plant Science*, 64 (3), 529–536, 1984.
61. Modzelewski K., Jakubowska A., Krasnodębski P.: O wilgotności krytycznej nasion rzepakowych. *Tłuszcze jadalne*. 7, 1–7, 1963.
62. Mohsenin N. N.: Physical properties of agricultural products. *Trans. of the ASAE*. Vol. VIII (1), 25–29, 1965.

63. Mohsenin N. N.: Physical properties of plant and animal materials. Vol. I., Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1970.
64. Muir W. E., Sinfa R. N.: Theoretical rates of flow of air at near-ambient conditions required to dry rapeseed. *Can. Agric. Eng.* 28 (1), 45–49, 1986.
65. Muir W. E., Waterer D., Sinha R. N.: Carbon dioxide as an early indicator of stored cereal and oilseed spoilage. *Transactions of the ASAE American Society of Agricultural Engineers*, 28 (5), 1673–1675, 1985.
66. Nadulski R.: Application of the IRHD method to investigations of the macro hardness of seeds. *Zeszyty Problemowe PNR*. 399, 159–161, 1993.
67. Narkiewicz-Jodko M.: Wpływ wilgotności na zdolność kiełkowania i mikroflorę ziarna zbóż przechowywanego bez wymiany powietrza oraz w atmosferze CO<sub>2</sub>. *Biul. IHAR*, 125, 63–68, 1979.
68. Nellist M. E., Bruce D. M.: Drying and storage of oilseed rape in U. K. Part. 1: Physical and engineering aspects. *HGCA Oilseeds Research Review*. No 36, 84 pp, 1992.
69. Niewiadomski H., Bratkowska J.: The Influence of the Autoxidation of Rapeseed Oil on the Decomposition of Pigments of the Chlorophyll Group. *Zeszyty Problemowe PNR*, 91, 207–211, 1970.
70. Niewiadomski H.: *Technologia nasion rzepaku*. PWN, Warszawa, 1983.
71. Ostromęcki K.: Wpływ warunków przechowywania na zdolność kiełkowania nasion kapusty i próba jego wyjaśnienia za pomocą techniki zymogramowej wybranych enzymów. *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, 23 (3), 207–222, 1977.
72. Pabis St.: *Suszenie płodów rolnych*. PWRiL, Warszawa 1965.
73. Pathak P. K., Agrawal; Y. C., Singh B. P. N.: Effect of elevated drying temperature on rapeseed oil quality. *Journal of the AOCS*, 68 (8), 580–582, 1991.
74. Pawelzik E., Friedrich H. P.: Untersuchungen zur Charakterisierung des Lagerverhaltens von Raps und Mohn. *Muehle und Mischfuttertechnik*, 128 (39), 512–515, 1991.
75. Reiner M.: *Reologia teoretyczna*. PWN, Warszawa, 1958.
76. Roberts E. H.: The viability of cereal seed in relation to temperature and moisture. *Ann. Bot.* 24, 93, 12–31, 1960.
77. Roberts E. H.: Storage environment and this control of viability. Ed.: *Viability of seeds*. London, 1972.
78. Sadowska J., Fornal J., Ostaszyk A., Winnicki T.: Evaluation of technological quality of rapeseeds dried in industrial driers. *Zeszyty Problemowe PNR*, 427, 127–135, 1995.
79. Sato M.: Studies on seed of crops during long term storage. *Bulletin of the National of Agrobiological Resources*, 6, 95–110, 1991.
80. Schneider J.: Przechowywanie nasion roślin oleistych. *Biul. IHAR*, 2, 119–122, 1958.
81. Schneider J., Wiązecka K.: Wartość siewna długotrwałego przechowywania nasion rzepaku ozimego zebranych w różnych terminach. *Hodowla Roślin, Aklimatyzacja i Nasiennictwo*, 21 (4), 343–364, 1977.
82. Shpota V. I., Tezherova L. N.: Accumulation of storage substances in rape seeds during maturation. *Fiziologija i Biochimija Kulturnych Rastenij*, 17 (5), 480–486, 1985a.
83. Shpota V. I., Tezherova L. N.: Seed formation and storage of assimilated substances in spring rape. *Sel'skochozjajstvienna Biologia*, 7, 56–58, 1985b.
84. Skriegen E.: Kaltlagerung von Koernerraps. *RAPS*, 2, 78–87, 1989.
85. Skriegen E.: Kuehlung von Kornerfruechten. 2–12, 1992.

86. Skriegen E.: Kaltlagerung von Koernerfruechten in Silos. Die Muehle und Mischfutertertechnik. 130,11, 125-129, 1989.
87. Sosnowski S.: Measurement stand for determining the dynamic loads on podded plant seeds. Zeszyty Problemowe PNR. 399, 237-239, 1993.
88. Staszczak Z.: Badania właściwości reologicznych ziarna pszenicy. Praca doktorska. AR Lublin, 1978.
89. Stępniewski A., Kutzbach H. D., Szot B.: Effect of spatial orientation of rapeseed on its strength. International Agrophysics. 8 (2), 333-337, 1994.
90. Stępniewski A., Szot B.: Factors determining the resistance of rape seeds to damage. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 51-63, 1995a.
91. Stępniewski A.: Changes in material quality in post-harvest processing of rape seeds. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 71-75, 1995b.
92. Strona I.: Uszkodzenia nasion, przyczyny i zapobieganie. PWRiL, Warszawa, 1977.
93. Szot B., Szpryngiel M., Tys J., Grochowicz M.: Przyczyny powstawania strat ilościowych nasion rzepaku podczas zbioru oraz metoda ich określania. Zeszyty Problemowe IHAR, 250-260, 1989.
94. Szot B., Kutzbach H. D.: Rapeseed damage as influenced by the dynamic load. International Agrophysics, 6, 103-115, 1992.
95. Szpryngiel M., Grochowicz M., Szot B.: Sources and causes of rape seed damage during combine harvesting. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 27-33, 1995.
96. Szwed G., Tys J.: Resistance of rape seeds to the impact of dynamic forces. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 83-86, 1995a.
97. Szwed G., Tys J.: Susceptibility of rape seeds to dynamic damages depending on moisture and storage time. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 87-90, 1995b.
98. Szwed G.: Methodical aspects of dynamic investigations of cultivated plant seeds. Book of Abstracts. of the VI International Conference on Agrophysics, Lublin, Poland. pp. 345-346, 1997a.
99. Szwed G.: Influence of variable conditions of rape seeds storage on their mechanical stability. Book of Abstracts. of the VI International Conference on Agrophysics, Lublin, Poland. pp. 344-345, 1997b.
100. Szwed G., Tys J., Tarkowski C.: Powstawanie makro i mikrouszkodzeń w ziarniakach pszenicy w zależności od miejsca uderzenia. Biuletyn IHAR, 204, 277-284, 1997.
101. Ślipek Z., Złobecki A.: Multiple impact effects of wheat grain. International Agrophysics, 8 (2), 349-252, 1994.
102. Świrska S., Łacicowa B., Maciejowska M.: Obserwacje nad żywotnością i mykoflorą czterech gatunków nasion niezaprawionych i zaprawionych przechowywanych w różnych warunkach wilgotności powietrza. Biuletyn IHAR, 4, 47-56, 1960.
103. Tittel C.: Die Verbesserung der Lagerfähigkeit der Samen durch Behandlung mit chemischen Substanzen. Wissenschaftliche Beitrage. Martin Luther Universitaet Halle Wittenberg, 55 (44), 625-632, 1984.
104. Tomczyk S.: Magazyny ziarna i innych nasion. PWRiL, Warszawa, 1970.
105. Truszkowska W., Schneider J.: Zagadnienie występowania grzybów w materiale siewnym lnu i rzepaku na tle doświadczeń przechowalniczych. Zeszyty Problemowe PNR, 113, 308-327, 1971.
106. Tys J.: Influence of various terms of harvest on quality of rape seeds. Zeszyty Problemowe PNR, 427, 65-69, 1995.



107. Tys J.: Czynniki kształtujące właściwości agrofizyczne rzepaku. *Acta Agrophysica* (6), 1997.
108. Tys J., Szwed G., Fałęcki A.: Ocena wytrzymałości dynamicznej nasion rzepaku. *Rośliny Oleiste*, XV (1), 121–126, 1994.
109. Tys J., Szwed G., Szot B., Malicki A.: Method of estimation of permissible impact energy for rape seed. *International Agrophysics*, 8 (2), 367–376, 1994.
110. Tys J., Szwed G.: Dynamic resistance of rape seeds. *International Conference on Agricultural Engineering*, Madrit, 849–850, 1996.
111. Tys J., Szwed G.: Symulowanie warunków przechowywania nasion rzepaku w silosach. *Rośliny Oleiste*, XVIII (2), 451–457, 1997a.
112. Tys J., Szwed G.: Analysis of processes accompanying the storage of rape seeds in model pressure, temperature and humidity conditions. *Book of Abstracts. of the VI International Conference on Agrophysics*, Lublin, Poland. p. 351, 1997b.
113. Tys J., Szwed G.: Wpływ modelowych warunków przechowywania na wartość technologiczną nasion rzepaku. *Zeszyty Problemowe PNR*, 424, 537–544, 1998.
114. Urbaniak Z., Barkowiak A.: Określenie rozbieżności ubytku ciężaru nasion bobiku, rzepaku ozimego i wyki jarej podczas suszenia w warunkach laboratoryjnych. *Biul. IHAR*, 1–2, 73–78, 1972.
115. Urbaniak Z.: Wpływ długoterminowego składowania i układania worków na zdolność kielkowania i wilgotność nasion rzepaku ozimego i wyczyńca łąkowego. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo*, 2, 7–16, 1974.
116. Vertucci C. W.: A calorimetric study of the changes in lipids during seed storage under dry conditions. *Plant Physiology*, 99 (1), 310–316, 1992.
117. Walkowski T., Krzymański J., Mrówczyński M., Paradowski A., Jajor E., Ochodzki P.: *Rzepak ozimy*. IHAR, Poznań, 1997.
118. Ward J. M.: *Mechanical properties of solid polymers*. Willey and Sons, London, New York, 1971.
119. White N. D. G., Nowicki T. W.: Effects of temperature and duration of storage on the degradation of malathion residues in dry rape seed. *Journal of Stored Products Research*, 21 (3), 111–114, 1985.
120. Wiążecka K.: Wpływ stopnia dojrzałości kilku odmian rzepaku ozimego na ich właściwości biologiczne i technologiczne. Cz. II. Właściwości technologiczne. *Hod. Rośl. i Aklimat.* 5: 440–470, 1961.
121. Wilkin D. R., Cox P. D.: Drying and storage of oilseed rape in the UK. Part II. Pest control of stored oilseed rape. *HGCA Oilseed Research Review*, No. 056, 48 pp, 1992.
122. Wilkojé A.: Kryterium ustalania norm wilgotności materiału siewnego. *Biul. IHAR*, 5–6, 67–71, 1974.
123. Wilkojé A.: Dobór warunków do przechowywania nasion. Cz. I. Nasiona roślin motylkowych. *Biul. IHAR*, 134, 203–239, 1978.
124. Wojnarowicz C.: Influence of Prolonged Storage of Rape-Seeds on the Oil Quality. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 136, 255–258, 1973.
125. Zukałava' H., Vasak J.: Soucasna kvalita ozime repky. *Rostlinna Vyroba*, 40 (9), 851–863, 1994.



## FORMATION OF PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF RAPESEEDS IN MODEL STORAGE CONDITIONS

### Summary

Rapeseeds, due to their physical properties and chemical composition are more susceptible to storage conditions in silos and elevators than cereal grains. The study presents the results of investigation of an influence of storage conditions on rapeseeds physical properties and technological value. Methodology was elaborated and experimental stands constructed simulating conditions of real storage facilities.

Physical properties of seeds were characterised by their susceptibility to damage in dynamic tests and by the number of „micro” damages during storage period. Modification of technological value of seeds was estimated by evaluation of oil features such as: acidic number *LK*, peroxide number *LN* and chlorophyll content. Seeds of three varieties of winter rapeseed (Bolko, Leo and Polo) were used as an experimental material. Seeds harvested in one and two-stage harvest revealed various stage of maturity.

Results of the study corroborated reports of other authors concerning changes in some quality features due to storage conditions. Distinct influence of initial state of seeds (in the moment of loading) on their state during storage period was also observed. Factors such as moisture content of seeds, stage of maturity, degree of contamination and seeds variety had the strongest influence on maintaining quality during storage. Higher moisture content resulted in larger deformation of seeds and, in consequence in caking of the material. One hundred percent of seeds 11% in moisture content underwent this phenomenon. Time of their complete caking was dependent on storage temperature and maturity of seeds. Less matured seeds stored in higher temperature underwent caking sooner. Observed effects of permanent deformation have their practical confirmation in arching of layer of stored rapeseeds in a silo, causing its discharge in normal way impossible.

Using experimental results model was formulated which may serve as a base for prediction of behaviour of seeds during storage and to prognosticate their further durability.

**Key words:** rape, storage, technology value.

Adres autora:

Dr inż. Grzegorz Szwed

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego, Polska Akademia Nauk,  
ul. Doświadczalna 4, PO. Box 201, 20-290 Lublin 27, tel. (081) 744 50 61,  
fax (081) 744 50 67, e-mail: gszwed@demeter.ipan.lublin.pl