

WPLYW CZASU PRZECHOWYWANIA NA ZMIANĘ OPORU PRZEPLYWU POWIETRZA PRZEZ WARSTWĘ NASION RZEPAKU

G. Szwed

Instytut Agrofizyki PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki pomiaru oporu przepływu powietrza w warstwie nasion rzepaku, przechowywanych w komorach ciśnieniowych symulujących silosy przemysłowe. Badania przeprowadzono na nasionach rzepaku jarego odmiany Licosmos i Star o dwóch poziomach wilgotności 6% i 11% oraz ciśnieniu w komorze 300 kPa. Zauważono, że w miarę upływu czasu przechowywania rośnie opór przepływu powietrza w badanej warstwie nasion. Po 50 dniach przechowywania opór warstwy nasion o większej wilgotności (11%) był dwukrotnie większy niż u nasion o mniejszej wilgotności (6%). Za główną przyczynę zmian oporu powietrza uznano trwałą deformację przechowywanych nasion.

Słowa kluczowe: nasiona rzepaku, opór przepływu powietrza, odkształcenie, lepko-sprężystość.

WSTĘP

Znajomość lepko-sprężystych właściwości przechowywanych materiałów pochodzenia roślinnego może pomóc w doborze właściwych warunków ich przechowywania (silosy, elewatory). W trakcie procesu przechowywania nasiona poddawane są działaniom dość znacznych naprężeń (wynikających z nacisku warstwy składowanego materiału), które powodują ich trwałe odkształcenia. Czynnikiem istotnie wpływającym na zachowanie się nasion pod wpływem istniejących naprężeń jest ich wilgotność, stan dojrzałości, oraz temperatura przechowywania [9]. Deformacja nasion, pod wpływem istniejących naprężeń powoduje między innymi zmiany gęstości w usypie, zmniejszenie porowatości

(a więc utrudnione przewietrzanie nasion), a skutkiem może być szybsze rozprzestrzenianie się mikroorganizmów [3].

Zmiana gęstości nasion w trakcie ich przechowywania ma istotne znaczenie w przypadku suszenia i przewietrzania, co staje się ostatnio popularnym zabiegiem, zwłaszcza podczas konserwowania magazynowanego złoża chłodnym powietrzem. Spośród wielu publikacji na temat oporu przepływu powietrza przez warstwę nasion roślin uprawnych, na uwagę zasługują prace Jayasa i wsp. [4,5,6,7] przedstawiające metodyki i wyniki badań. Zaprezentowane badania wykazały, że opory przepływu powietrza przechodzącego przez warstwę nasion rzepaku uzależnione są od ich wilgotności, odmiany, metody napelniania zbiornika i zanieczyszczeń. Wraz ze zmianą wilgotności nasion zmieniają się również ich właściwości mechaniczne oraz gęstość złoża. Tompson i Ross [10] dowiedli również o istotnym wpływie naprężeń m.in. na gęstość złoża pszenicy. Nasiona rzepaku odznaczają się dużo mniejszą porowatością od np. ziarniaków zbóż [8], co przy większej ich podatności na odkształcenia stanowi, że są interesującym obiektem badań. Dotychczas nie badano wpływu naprężeń i czasu ich trwania na opory przepływu powietrza w warstwie nasion rzepaku.

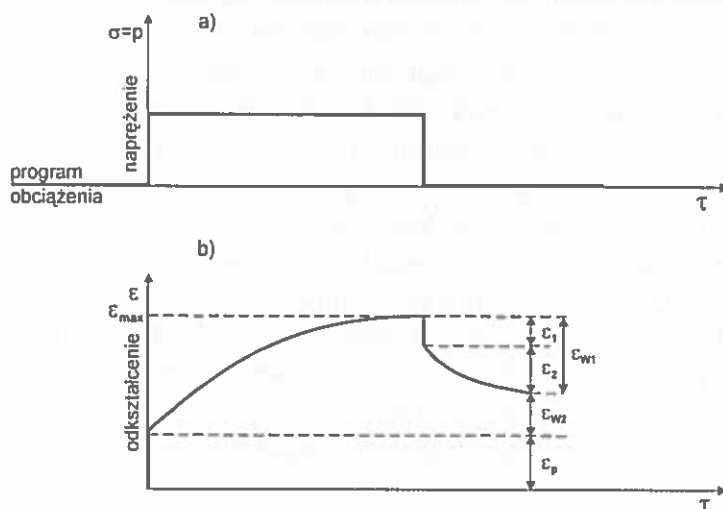
Celem pracy było określenie wpływu czasu przechowywania nasion rzepaku w określonych warunkach na zmianę oporu przepływu powietrza przez warstwę złoża.

Zachowanie się nasion rzepaku poddanych naprężeniom

Nasiona rzepaku (poddane stałemu obciążeniu przez górne warstwy materiału), ze względu na swoją budowę i skład chemiczny, zachowują się jak ciała o właściwościach lepkosprężystych, pośrednich między ciałami stałymi a cieczami. Takie zachowanie się nasion wynika z ich niejednorodnej budowy wewnętrznej oraz składu chemicznego. Nasiona rzepaku zbudowane są głównie z zarodka i okrywy nasiennej pomiędzy którymi wewnątrz znajdują się wolne przestrzenie, które pod wpływem naprężeń pochodzących od sił zewnętrznych będą sukcesywnie zanikać na skutek odkształceń elementów ich budowy wewnętrznej.

Początkowo będą to odkształcenia sprężyste, które podczas dalszego przechowywania będą zastępowane przez trwałe odkształcenia. Skutkami takich zjawisk będzie deformacja oraz zniszczeniem struktury tkanek nasion. Rozpatrując przestrzenny układ masy nasion w silosie możemy wyróżnić

następujące rodzaje odkształceń powstałych na skutek występujących naprężeń (Rys. 1):



Rys. 1. Zachowanie się nasion pod wpływem zadanego ciśnienia w komorze (naprężenie σ).

a) program obciążeń nasion, b) przebieg odkształceń pod wpływem obciążeń

ϵ_{w1} - odkształcenie wtórne odwracalne - sprężyste (ϵ_1) i lepkosprężyste (ϵ_2),

ϵ_{w2} - odkształcenie wtórne nieodwracalne, ϵ_p - odkształcenie pierwotne.

Fig. 1. Seed reaction to the pressure applied in the chamber (σ stress).

a) seed load programme, b) deformation process under the influence; ϵ_{w1} secondary transient strain - elastic (ϵ_1) and plastic strain (ϵ_2);

ϵ_{w2} - secondary permanent strain, ϵ_p - primary strain.

ϵ_p - odkształcenia pierwotne, wynikają z przemieszczenia nasion oraz zmiany ich wzajemnej orientacji. Wielkość tych odkształceń uzależniona będzie od zróżnicowanej wielkości składowanych nasion, ich kształtu oraz od współczynnika tarcia między nimi;

ϵ_{w1} - odkształcenia wtórne powstałe z odkształceń sprężystych i lepkosprężystych elementów wewnętrznej budowy nasion na skutek istnienia w nich wolnych przestrzeni wewnętrznych. Na wielkość tych odkształceń ma wpływ budowa nasienia, miejsce przyłożenia siły, współczynnik tarcia między przemieszczającymi się elementami wewnętrznej jego budowy itp.;

ϵ_{w2} - odkształcenia wtórne - trwałe, powstałe z odkształceń i destrukcji komórek poszczególnych tkanek nasienia.

W przypadku nasion rzepaku o zróżnicowanej dojrzałości, a więc i zróżnicowanych właściwościach mechanicznych, można się spodziewać, że odkształceniemu objętościowemu poddane będą nie wszystkie nasiona równocześnie.

W wielu przypadkach środkiem ułatwiającym dobre przechowywanie składowanych nasion w silosie jest ich aktywna wentylacja (przewietrzanie). Podstawą stosowania tego zabiegu są tabele przewietrzania, które określają warunki aktywnej wentylacji pozwalającej uzyskać korzystny efekt stosowania chłodzenia lub podsuszenia przechowywanych nasion [1, 2].

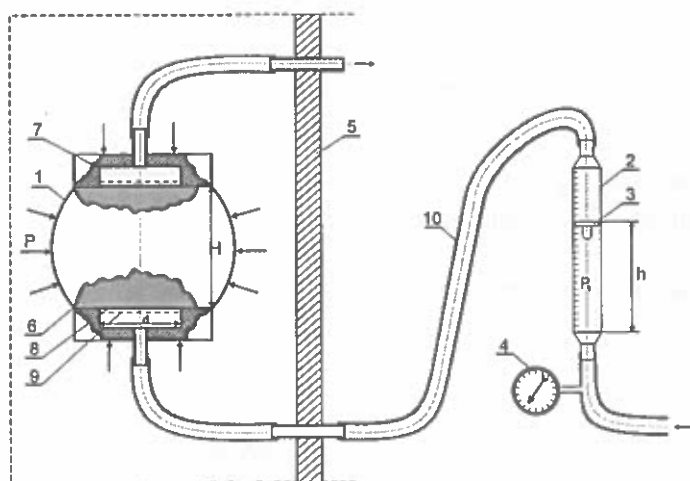
Nasiona rzepaku, są w porównaniu do ziarniaków zbóż, znacznie bardziej podatne na odkształcenia wynikłe z naprężeń występujących w silosie. W ich wyniku dochodzi, w skrajnych przypadkach, do zbryleń [1], co utrudnia nie tylko przepływ gazów przez składowaną warstwę lecz także ich rozładunek z magazynu. Zbrylone nasiona z całą pewnością straciły swoją sprężystość ($\epsilon_1 = 0$) i ich przepuszczalność powietrza w warstwie osiągnie minimum.

MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Badania przeprowadzono wykorzystując nasiona dwóch odmian rzepaku jarego Licosmos i Star o dwóch poziomach wilgotności 6 i 11 %. Oczyszczone i odważone próbki o masie 2,5 kg przechowywano w komorze ciśnieniowej o temperaturze 20° C i ciśnieniu 300 kPa w odpowiednio wykonanych pojemnikach (Rys. 2). Pojemnik (1) stanowił dętkę lateksową wypełnioną nasionami rzepaku (6) i obustronnie zaślepioną głowicami (7). Nasiona rzepaku były oddzielone od przewodów wentylacyjnych głowic odpowiednią tkaniną (8) i siatką (9). Ciśnienie p panujące w komorze powodowało powstawanie naprężeń pomiędzy nasionami, a nadmiar powietrza (zajmującego przestrzeń pomiędzy nasionami) uchodził przewodami wentylacyjnymi na zewnątrz komory (5). Tak przygotowane próbki nasion poddane były w odstępach jednodniowych badaniom, które polegały na pomiarze oporu przepływu powietrza przechodzącego przez warstwę nasion H . Do badań użyto rotametu (2) podłączanego kolejno do próbek przewodem (10).

Miernikiem oporu przepływu powietrza była wartość ciśnienia p_1 niezbędna do wymuszenia stałego natężenia przepływu v przez badaną warstwę nasion. W przypadku przeprowadzonego doświadczenia wysokość h pływaka rotametu (3) utrzymywana była podczas pomiaru na stałej wysokości, co dawało natężenie przepływu powietrza $v = 0,41 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Ciśnienie p_1 wymuszające przepływ powietrza było odczytywane na tarczy manometru (4). Doświadczenie prowa-

dzono w ciągu 50 dni dla nasion o obu poziomach wilgotności w 3 powtórzeniach.



Rys. 2. Schemat stanowiska pomiarowego: 1-pojemnik lateksowy; 2-rotametr; 3-pływak rotametr; 4-manometr; 5-zbiornik ciśnieniowy; 6-nasiona rzepaku; 7-głowica; 8- tkanina wiskozowa; 9-siatka; 10- przewody łączące; P-ciśnienie w komorze; H- grubość badanej warstwy rzepaku; P_1 –ciśnienie wymuszające przepływ powietrza.

Fig. 2. Measurement stand's scheme: 1 – latex container, 2 – rotameter, 3 - rotameter's float, 4 - pressure gauge, 5 - pressure vessel, 6 - rape seed, 7 – heat, 8 - viscose fabric, 9 – net, 10 – connecting wires, P – pressure inside the chamber, H – thickness of the examined rapeseed layer, P_1 – forcing pressure.

Po tym okresie doświadczenie przerwano z uwagi na uzyskanie stanu równowagi w badanych zależnościach. Całkowity opór przepływu $p_c = p_l$ jest sumą całkowitego oporu statycznego p_s i oporu dynamicznego p_d [11]:

$$p_c = p_s + p_d \quad (1)$$

Opór statyczny p_s jest sumą oporów: warstwy nasion p_w , tarcia gazu o powierzchnię w przewodach prostych p_{st} , zmieniający kierunku przepływu gazu p_{sk} , zmiany przekroju przewodów p_{sp} . Stąd opór statyczny całkowity otrzymujemy przez dodanie bezwzględnych wartości oporów cząstkowych:

$$p_s = p_w + p_{st} + p_{sk} + p_{sp} \quad (2)$$

Opór dynamiczny p_d jest to opór powstały przy nadawaniu cząsteczkom gazu określone prędkości co można przedstawić za pomocą równania:

$$p_d = \frac{\gamma v^2}{2g} \quad (3)$$

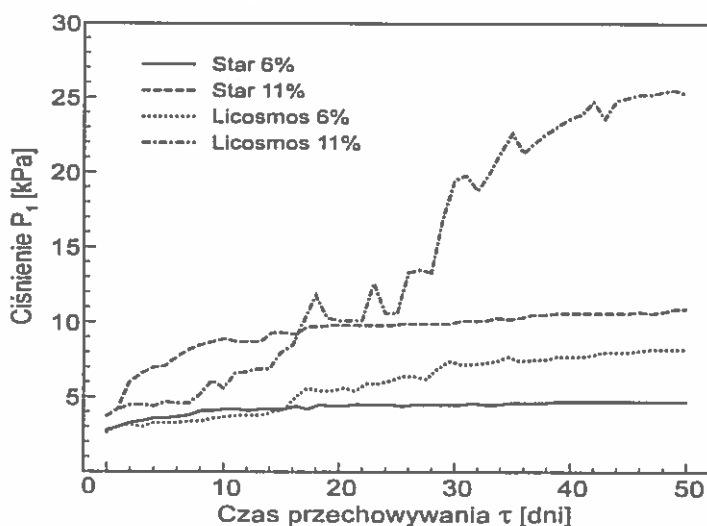
w którym:

p_d – opór dynamiczny [Pa]; γ – ciężar właściwy gazu [N m^{-3}]; v – prędkość przepływu gazu [m s^{-1}]; g – stała grawitacyjna.

W przeprowadzonym doświadczeniu opór przepływu gazu przez przewody dla wszystkich próbek były wartością stałą, zmieniał się natomiast opór warstwy nasion.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Charakterystyki zmian oporów przepływu powietrza przez warstwę badanych nasion rzepaku przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Przebieg zmian wartości oporu przepływu powietrza w przechowywanych nasionach.

Fig. 3. March of air resistance in the stored rapeseed.

Wykazują one znaczne zróżnicowanie w swoich przebiegach w czasie trwania doświadczenia. Odmienność ta wynika przede wszystkim ze zróżnicowanej wilgotności wykorzystywanych do badań nasion. Odmiana rzepaku również miała wpływ na ich przebieg. Wilgotność nasion ma istotny wpływ na właściwości mechaniczne nasion (lepkosprężystość) oraz decyduje o ich gęstości i porowatości. Jayas i inni [5] badając nasiona dwóch odmian rzepaku wykazali, że wraz ze wzrostem wilgotności badanych nasion, malała ich gęstość nasypowa, a rosła porowatość i to niezależnie od sposobu napełniania zbiornika. Pewien wpływ na wartość gęstości i porowatości miały według niego również cechy odmianowe. Nasiona rzepaku, w odróżnieniu od np. ziarniaków zbóż, są nasionami „miękkimi” (duża zawartość tłuszczu) i większa ich wilgotność powoduje zmianę właściwości lepkosprężystych nasion w kierunku cieczy, a więc sprzyja zwiększeniu ich podatności na odkształcenia w wyniku naprężeń panujących w silosie. Konsekwencją tych zjawisk jest wzrost gęstości i spadek porowatości złoza, w wyniku czego maleje przepuszczalność powietrza przez daną warstwę nasion.

Wykorzystując do dalszej analizy przedstawiony na rysunku 1 schemat należy domniemywać, że nasiona o wilgotności 11% wykazują większe wartości odkształceń początkowych (ϵ_p) od pozostałych nasion, gdyż już w początkowej fazie obciążenia ich ciśnieniem 300 kPa opory przepływu powietrza badanej warstwy były większe niż u nasion o 6% wilgotności.

Podatność na odkształcenia nasion bardziej wilgotnych miała w tym przypadku większe znaczenie od zwiększonej porowatości.

W trakcie trwania doświadczenia nasiona obu odmian rzepaku o wilgotności 11% wykazywały większe wartości oporu przepływu powietrza (większe wartości ciśnienia p_1), a ich końcowe wyniki kilkakrotnie przewyższały wskaźniki dla nasion o 6% wilgotności.

Warstwa nasion odmiany Star w większym stopniu była przepuszczalna dla powietrza od nasion odmiany Licosmos i to dla obu poziomów wilgotności. Zjawisko to wiąże się niewątpliwie ze zróżnicowaną porowatością i gęstością nasion badanych odmian oraz z większą podatnością nasion odmiany Licosmos na trwale odkształcenia co wykazały badania po zakończeniu doświadczenia, których wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Dynamiczny wzrost oporu przepływu powietrza warstwy nasion odmiany Licosmos po 25 dniu ich przechowywania (Rys.3) należy tłumaczyć rozwojem grzybów na ich powierzchni, co również zauważono u tych nasion po zakończeniu doświadczenia.

Tabela 1. Ilość nasion rzepaku trwale odkształconych po badaniach (po 50 dniach)**Table 1.** Proportional content of rape seeds fixedly deformed after investigations (after 50 days)

Odmiana rzepaku	Wilgotność nasion [%]	Ilość nasion odkształconych [%]
Licosmos	6	9
	11	100
Star	6	7
	11	95

Uzyskane wyniki z badań przedstawione na rysunku 3 i w tabeli 1 jednoznacznie pokazują, że nasiona rzepaku poddane naprężeniom, a więc analogicznie jak w warunkach magazynowania, zachowują się jak ciała lepkosprężyste ulegając zjawiskom pelzania i relaksacji, zmieniają z czasem gęstość, porowatość a zarazem i przepuszczalność gazów.

Największe zmiany oporów przepływu powietrza występują w początkowym okresie przechowywania, a następnie (zgodnie ze schematem na Rys. 1) asymptotycznie zbliżają się do pewnej granicy. W przypadku założonego doświadczenia, po 50 dniach nie zanotowano już żadnych zmian w mierzonych wartościach (nasiona o mniejszej wilgotności uzyskiwały ten stan dużo wcześniej) i nastąpiła równowaga układu.

Wielu autorów próbuje wyniki swoich badań ująć w formułę matematyczną. I tak Jayas i inni [4,6,7] w swoich pracach nad oporami przepływu powietrza przechodzącego przez badaną warstwę nasion opierali się na zależności:

$$v = A \left(\frac{\Delta p}{l} \right)^B \quad (4)$$

gdzie:

v - szybkość przepływu powietrza [m^3/sm^2]

Δp - spadek ciśnienia, [Pa]

A i B - stałe empiryczne

l - wysokość badanej warstwy [m]

Oczywiście, powyższa zależność (ani badania cytowanych autorów) nie uwzględnia czasu trwania doświadczenia przy określonych naprężeniach występujących w nasionach.

Uzyskane wyniki dla tak przeprowadzonego doświadczenia pozwoliły na podstawie analizy regresji wybrać równanie najdokładniej opisujące badane zależności:

$$p_l = a \ln \tau + b \quad (5)$$

gdzie:

p_l – ciśnienie wymuszające przepływ powietrza przez badaną warstwę nasion dla prędkości przepływu $v = \text{const.}$,

τ - czas przechowywania (zmienna niezależna),

a – współczynnik charakteryzujący podatność zmian ciśnienia,

b – stała równania

Wartość współczynnika a , stałej b równania oraz stopnia dopasowania modelu regresji oceniany współczynnikiem determinacji R^2 podaje Tabela 2. Z obliczonych wyników zamieszczonych w tabeli wynika, że nasiona o mniejszej wilgotności (6%) posiadają mniejszą wartość współczynnika zmian (ich przebiegi są bardziej stabilne) oraz większe wartości współczynników determinacji R^2 .

Tabela 2. Równanie regresji nieliniowej opisujące zmianę badanych wskaźników

Table 2. Equation of non-linear regression describing change investigated examined coefficients

Odmiana rzepaku	Wilgotność nasion [%]	$P=f(\tau)$	Współczynnik determinacji R^2
Liccosmos	6	$14,48 \ln \tau + 1,42$	0,83
	11	$56,53 \ln \tau - 58,13$	0,72
Star	6	$3,95 \ln \tau + 21$	0,97
	11	$13,30 \ln \tau + 31,26$	0,96

WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Opór przepływu powietrza przez warstwę nasion rzepaku (a więc gęstość i porowatość) nie jest cechą stałą nasion danej odmiany, lecz w zadanych warunkach przechowywania (naprężenie, wilgotność) zależy od czasu ich przechowywania.

2. Nasiona badanych odmian w zróżnicowany sposób reagowały na analogiczne warunki przechowywania i posiadały odmienne charakterystyki zmian oporu przepływu powietrza.
3. Wilgotność nasion w sposób istotny wpływa na przebieg charakterystyk oporów przepływu powietrza – im większa wilgotność tym większy opór przepływu.
4. Zmiana oporu przepływu powietrza przez warstwę wynika z deformacji nasion.
5. Zbyt duża podatność na odkształcenia nasion rzepaku o wilgotności 11% wskazuje, że możliwe jest ich tylko krótkotrwale przechowywanie (do 20 dni) w magazynach o znacznych naprężeniach.
6. Charakterystyki zmian oporu przepływu powietrza nasion przechowywanych w określonych warunkach dadzą się opisać równaniami logarytmicznymi z dość dużym stopniem dopasowania.

PIŚMIENNICTWO

1. **Bulsiewicz T., Matzke W., Smarzyński E., Świątek K.:** Magazynowanie ziarna zbóż, nasion roślin strączkowych i oleistych WNT W-wa 1975.
2. **Gieroba J., Dreszer K., Dudkowski J., Nowak J.:** Czynniki warunkujące jakość ziarna siewnego zbieranego kombajnem. *Problemy Agrofizyki*, z. 57, Ossolineum 1988.
3. **Grundas St., Horabik J.:** Wpływ wilgotności na lepkość sprężyste właściwości zboża. *Biofizyka*. Wyższa Szkoła Rolniczo-Pedagogiczna. Siedlce. 299 – 316, 1980.
4. **Jayas D.S., Sokhansanj S., Moysey E.B., Barber E. M.:** The effect of airflow direction on the resistance of canola (rapeseed) to airflow. *Can. Agric Eng.* 29, 189-192, 1987.
5. **Jayas D.S., Sokhansanj S., White N.D.G.:** Bulk Density and Porosity of Two Canola Species *Transaction of the ASAE* 32(1), 291-294, 1989.
6. **Jayas D.S., Sokhansanj S.:** Design Data on Resistance of Airflow Through Canola (Rapeseed), *Transaction of the ASAE* 32(1), 295-296, 1989.
7. **Jayas D.S., Sokhansanj S., Sosulski F.W.:** Resistance of bulk canola seed to airflow in the presence of foreign material. *Can. Agric. Eng.* 33; 47-54, 1990.
8. **Muir W.E., Sinha R.N.:** Physical properties of cereal and oilseed cultivars grown in western Canada. *Can. Agric. Eng.* 30; 51-55, 1988.
9. **Szwed G.:** Kształtowanie fizycznych i technologicznych cech nasion rzepaku w modelowanych warunkach przechowywania. *Acta Agrophysica* 27, 2000.
10. **Thompson S.A., Ross I.J.:** Compressibility and Frictional Coefficients of Wheat *Transaction of the ASAE.* 83. 1171-1176, 1983.
11. **Tomczyk S.:** Magazynowanie ziarna i innych nasion. PWRiL W-wa, 1970.

THE INFLUENCE OF TIME STORAGE ON AIRFLOW RESISTANCE
IN BULK OF RAPESEEDS

G. Szwed

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27

Summary: This paper presents the results of air flow measurement in the rape seed layer that have been stored in pressure chambers simulating industrial grain silo. The survey was conducted on spring rape seed of Licosmos and Star cultivar of two levels of humidity 6% and 11% and the pressure applied was 300kPa. The results indicate is air flow resistance in the tested seed layer. After 50 days of storage air flow resistance in the seed layer of 11% humidity was several times higher then in the seed layer of 6% humidity. The main reason of air flow resistance change was found to be the stored seed's deformation.

Key words: rapeseeds, airflow resistance, deformation, viscoplasticity.