

## **BADANIE NACISKÓW WYWIERANYCH PRZEZ MATERIAŁ NA ŚCIANKĘ OTWARTEJ KOMORY ZAGĘSZCZANIA \***

*Sławomir Obidziński, Roman Hejft*  
*Zakład Techniki Rolno-Spożywczej, Politechnika Białostocka*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu wysokości komory zagęszczania oraz temperatury procesu na wartości nacisków wywieranych przez zagęszczany materiał na ściankę otwartej komory zagęszczania. Do badań wykorzystano mieszanekę paszową pełnoporcjową DK-Finisz o wilgotności 16%. Badania procesu zagęszczania przeprowadzono na stanowisku badawczym SS-3, wyposażonym w specjalną komorę zagęszczania, która pozwoliła na wyznaczenie wartości nacisków bocznych (promieniowych) na różnej wysokości od wyjścia z komory zagęszczania, a także wpływu temperatury procesu na wartości nacisków bocznych. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że wraz ze zbliżaniem się do dna matrycy w trakcie zagęszczania następuje spadek nacisków bocznych oddziałujących na ścianki komory zagęszczania, a zwiększenie temperatury procesu od 20 do 90°C powoduje spadek wartości nacisków bocznych na różnych wysokościach matrycy.

**Słowa kluczowe:** zagęszczanie, nacisk boczny, komora otwarta, mieszanka paszowa

### **Wprowadzenie**

Proces ciśnieniowej aglomeracji jest najczęściej realizowany w układach roboczych: z zamkniętą komorą zagęszczającą, z otwartą komorą zagęszczającą, z komorą częściowo otwartą, w układzie „płaska matryca – rolki zagęszczające” lub „pierścieniowa matryca – rolki zagęszczające”, w układzie „tuleja – ślimak zagęszczający”.

Ciśnieniowa aglomeracja rozdrobnionych materiałów roślinnych prowadzona jest najczęściej w urządzeniach z otwartą komorą roboczą. Ze względu na prostą budowę układu roboczego, większą wydajność (w porównaniu z komorą zamkniętą), ciągłość procesu, łatwe dozowanie surowca, urządzenia te znalazły zastosowanie w liniach produkcyjnych do granulowania i brykietowania [Hejft 2002].

Jak podaje Dolgov [Hejft 2002], podczas ciśnieniowej aglomeracji mieszanek paszowych w komorze otwartej około 75% energii zużywa się na przepychanie zagęszczonego już materiału wzdłuż otworu.

---

\* Pracę wykonano w ramach pracy statutowej S/WM/2/2010.

Badania doświadczalne prowadzone przez Demianiuka [Demianiuk i in. 1999; Demianiuk 2001] wskazują, że zasadniczym problemem zagęszczania w komorze otwartej jest znalezienie sposobu sterowania siłami tarcia. Zgodnie z Demianiukiem i współpracownikami [Demianiuk i in. 1999], znając wartości sił tarcia w matrycy można programować gęstość, naciski zagęszczania, długość matrycy i średnicę matrycy. Znajomość rozkładu ciśnień podczas zagęszczania w matrycy otwartej umożliwia weryfikację modeli obliczeniowych.

Z przeprowadzonych przez Demianiuka [Demianiuk 2001] badań nacisków bocznych (promieniowych) na długości matrycy otwartej, podczas zagęszczania trocin świerkowych, wynika, że jednym z podstawowych parametrów mających wpływ na naciski zagęszczające i gęstość brykietowanego materiału jest długość matrycy otwartej. Zwiększenie długości matrycy od 0,285 do 0,305 m spowodowało wzrost nacisków zagęszczających od 42 do 74 MPa i zmianę gęstości brykietu o około  $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dalsze zwiększanie długości matrycy sprawia, że przy niewielkim wzroście gęstości następuje gwałtowny wzrost nacisków zagęszczających oraz niestabilna praca układu roboczego.

Zagęszczanie w komorze otwartej stosowane jest również jako sposób orientacyjnego określenia wartości sił i nacisków występujących w trakcie procesu zagęszczania oraz jakości przyszłego produktu (gęstości i wytrzymałości granulatu otrzymanego w trakcie zagęszczania), przed rozpoczęciem procesu zagęszczania w układach roboczych urządzeń (granulatorów, brykietciarek).

## Cel pracy

Celem pracy było określenie wpływu długości matrycy oraz temperatury procesu na wartości nacisków promieniowych (bocznych) wywieranych przez zagęszczany materiał na ścianki otwartej komory zagęszczania.

## Metodyka badawcza

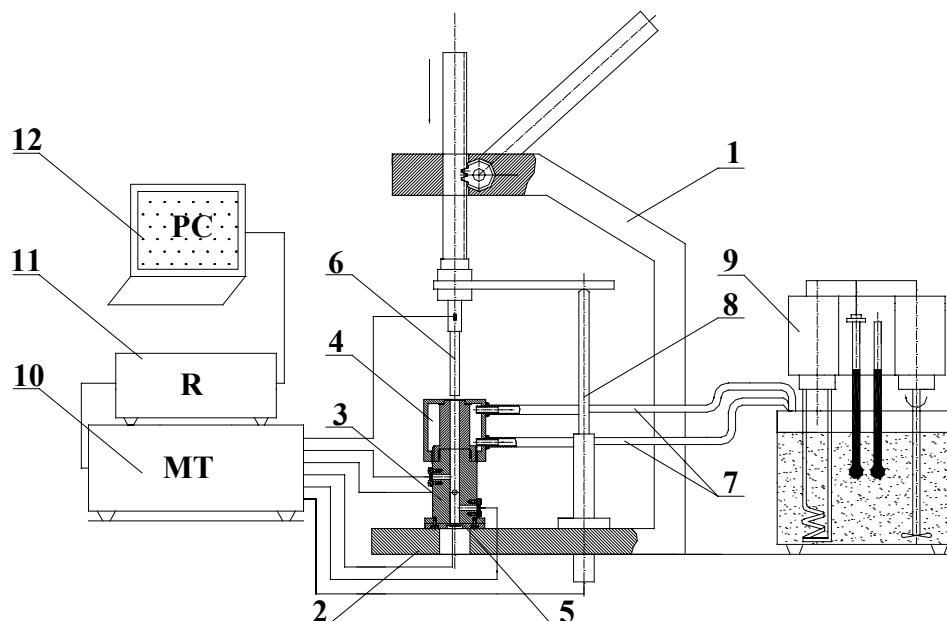
Do badań wykorzystano mieszankę paszową pełnoporcjową DK- Finisz o wilgotności 16%. Mieszanka ta używana jest do skarmiania kurcząt od 6 tygodnia do końca tuczu, jak również, jak podaje Laskowski [1989], jest stosowana do określania zdolności produkcyjnych wytwórni pasz.

W badanej mieszance paszowej dominującymi frakcjami są cząstki o wielkości 1,6 mm, które stanowią 28% udziału masowego mieszanki oraz frakcje o wielkości cząstek 2 mm (ok. 21%) i 1 mm (ok. 20%).

Badania procesu zagęszczania przeprowadzono na stanowisku badawczym SS-3 (rys. 1).

W skład stanowiska wchodzi praska ręczna 1, na podstawie której zamocowano otwartą komorę zagęszczania 3 (posiadającą otwór o średnicy 8 mm), do której zasypywano badany materiał. Komorę zagęszczania 3 ogrzewano od góry specjalnym elementem termostatu 4, do którego doprowadzono przewodami 7, wodę z ultratermostatu 9, dzięki czemu możliwa jest regulacja temperatury procesu. Zagęszczanie mieszanki odbywało się za pomocą tłoka 6, z czujnikiem tensometrycznym pozwalającym na rejestrację sił działają-

cych na tłok. Stanowisko SS-3 oprzyrządowano w aparaturę kontrolno-pomiarową, która pozwala na jednoczesny pomiar i rejestrację: sił działających na tłok zagęszczający 6, sił działających na ścianki komory zagęszczania (na tłoczki umieszczone na różnej wysokości komory zagęszczania 3), przemieszczenie tłoka zagęszczającego 6 (za pomocą czujnika przemieszczenia 8).



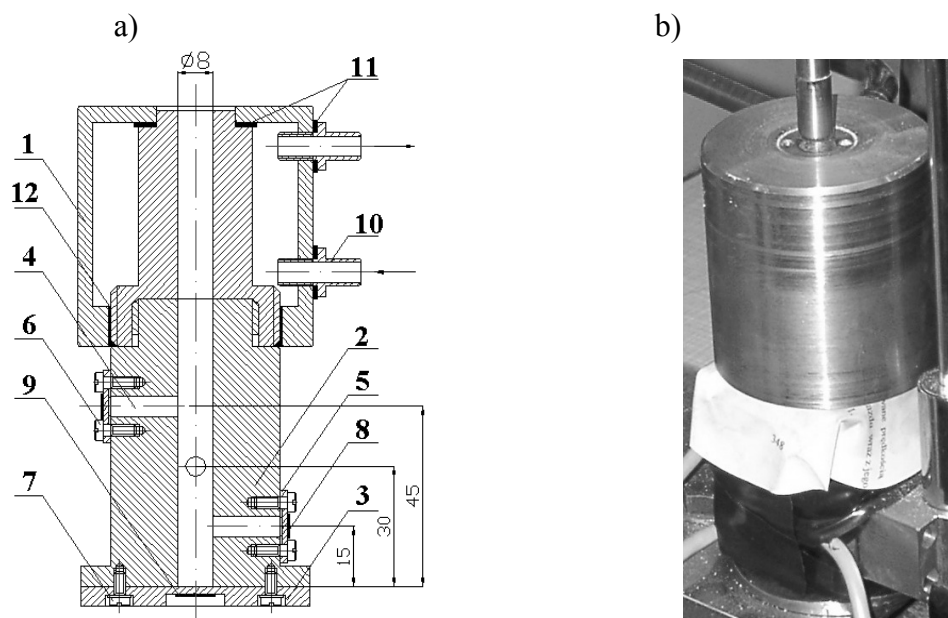
Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Schemat stanowiska SS-3 do określania wpływu temperatury w procesie granulowania [Obidziński 2003; 2005]: a) schemat stanowiska, 1 – praska, 2 – podstawa, 3 – komora zagęszczania, 4 – wymiennik ciepła, 5 – dno komory, 6 – tłok zagęszczający, 7 – przewody elastyczne, 8 – czujnik przemieszczenia, 9 – ultratermostat, 10 – mostek tensometryczny, 11 – rejestrator, 12 – komputer

Fig. 1. Schematic representation of SS-3 research stand [Obidziński 2003; 2005]: 1 – press, 2 – basis, 3 – densification chamber, 4 – heat exchanger, 5 – chamber bottom, 6 – densification piston, 7 – flexible ducts, 8 – displacement sensor, 9 – ultrathermostat, 10 – tensometric bridge, 11 – recorder, 12 – computer

Sygnaly z układu tensometrów naklejonych na tłoku zagęszczającym 6, tłoczków bocznych oraz z czujnika przemieszczenia 8 doprowadzano do mostka tensometrycznego 10, a następnie rejestrowano rejestratorem 11 (sprzężonym z komputerem 12) w postaci plików binarnych, które poddano dalszej obróbce.

Na rysunku 2 przedstawiono specjalną komorę zagęszczania użytą w stanowisku SS-3.



Źródło: opracowanie własne [Obidziński 2005]

Rys. 2. Specjalna komora zagęszczania użyta w stanowisku SS-3: a) schemat komory zagęszczania: 1 – element ogrzewający komorę, 2 – komora zagęszczania, 3 – dno komory, 4 – tłoczki do pomiaru nacisków bocznych, 5 – belki, 6 – śruby mocujące belki, 7 – śruby mocujące dno komory, 8,9 – tensometry typ TFm – 10, 10 – króciec, 11,12 – uszczelki, b) widok komory

Fig. 2. Special densification chamber used in SS-3 research stand: a) schematic representation of the densification chamber: 1 – element heating the chamber, 2 – densification chamber, 3 – bottom of the chamber, 4 – pistons for measuring side thrusts, 5 – beams, 6 – screws fixing beams, 7 – screws fixing the bottom of the chamber, 8,9 – TFm – 10 deformeters, 10 – connection pipe, 11,12 – gaskets b) view of the chamber

W komorze zagęszczania na wysokości  $h_1=15$  mm,  $h_2=30$  mm,  $h_3=45$  mm od podstawy komory zostały umieszczone tłoczki pomiarowe 4 służące do pomiaru nacisków bocznych. Tłoczek 4 naciska na belkę 5, na której naklejone są tensometry 8 (TFm-10).

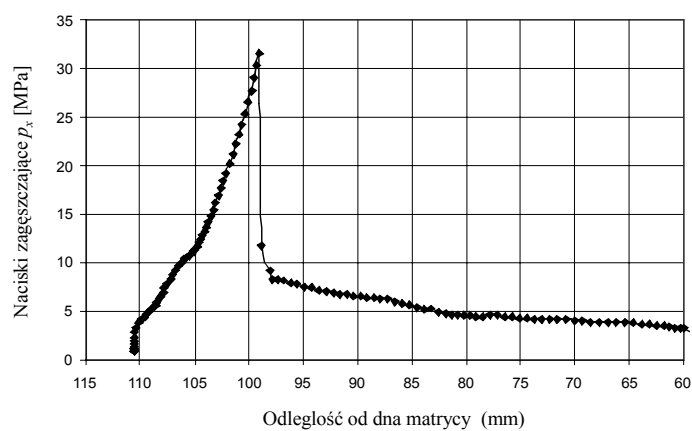
Komora (rys. 2) może również być użyta jako komora zamknięta (jeżeli występuje dno 3 z naklejonym na nim układem tensometrów 9) lub jako komora otwarta.

Przed pomiarami wygrzewano odpowiednio wcześniej komorę zagęszczania oraz próbki surowca (umieszczone w szczelnie zamkniętych próbkach) do wymaganej temperatury. Badania wykonano dla temperatur 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 i 90°C, zagęszczając i przetłaczając przez komorę zagęszczania po 20 próbek o masie 2 g, przy każdej temperaturze.

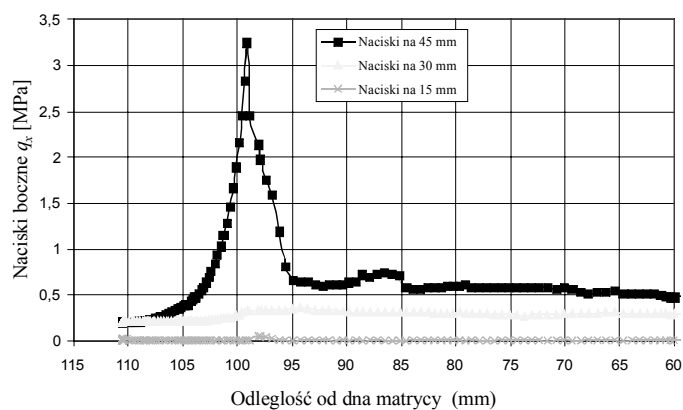
## Wyniki badań

Na rysunku 3a przedstawiono przykładowy przebieg nacisków zagęszczających a na rysunku 3b oraz nacisków bocznych zarejestrowanych na różnej wysokości otwartej komory zagęszczania uzyskany w trakcie badań zagęszczania mieszanki DK-Finisz w komorze otwartej zrealizowanych na stanowisku SS-3 w temperaturze 50°C. Podobne przebiegi nacisków zagęszczających oraz nacisków bocznych uzyskano również przy innych temperaturach procesu.

a)



b)



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Przebieg nacisków w funkcji odległości od dna komory: a) zagęszczających materiał, b) bocznych na różnej wysokości od wyjścia z komory (komora otwarta, temperatura 50°C)

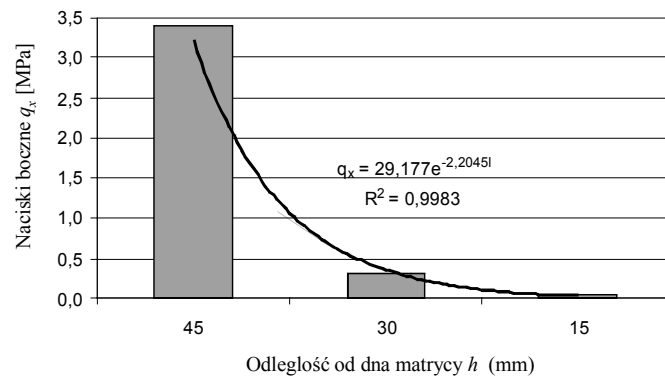
Fig. 3. The course of the thrusts as the function of distance from the bottom of the chamber: a) thickening the material, b) side thrusts at the various height from the exit of the chamber (open chamber, temperature 50°C)

Z przebiegu nacisków (rys. 3) widać, że krzywa obrazująca wartości nacisków zagęszczających (rys. 3a) i bocznych (rys. 3b) rośnie na odcinku długości komory ok. 11,5 mm (od ok. 110,5 mm do ok. 99 mm od wyjścia z komory). W odległości ok. 99 mm od wyjścia z komory naciski zagęszczające osiągają swoją wartość maksymalną – ok. 31,5 MPa), po czym następuje gwałtowny spadek wartości nacisków do ok. 9 MPa. Spowodowane jest to rozpoczęciem fazy wytłaczania materiału przez komorę. W miarę zbliżania się do wylotu komory wartości nacisków nieznacznie spadają z tendencją do stabilizacji na poziomie (ok. 3 MPa).

Podobny przebieg mają również krzywe obrazujące przebieg nacisków bocznych. Przykładowo, wartości nacisków bocznych zarejestrowanych na wysokości 45 mm od dna matrycy zmieniają się również na odcinku od ok. 110,5 mm do ok. 99 mm od wyjścia z komory. W odległości ok. 99 mm od wyjścia z komory naciski boczne osiągają swoją wartość maksymalną – ok. 3,3 MPa), po czym następuje gwałtowny spadek nacisków do ok. 0,6 MPa.

Analizując przebieg nacisków zagęszczających (rys. 3a) oraz bocznych (rys. 3b) można stwierdzić, że proces zagęszczania mieszanki paszowej w komorze otwartej dzieli się na trzy fazy. W pierwszej fazie krzywa nacisków zagęszczających rośnie do wartości maksymalnej, po czym następuje gwałtowny spadek wartości nacisków (II faza) i w miarę zbliżania się do dna komory wartości nacisków stabilizują się na pewnym poziomie (III faza).

Na rysunku 4 przedstawiono rozkład nacisków bocznych w funkcji długości komory zagęszczania podczas zagęszczania mieszanki w komorze otwartej w temperaturze procesu 50°C.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Rozkład nacisków bocznych na długości otwartej komory zagęszczania dla mieszanki DK-Finisz przy temperaturze procesu 50°C

Fig. 4. Distribution of the side thrusts at the length of the opened densification chamber for DK-Finisz fodder mixture at the temperature of the process of 50°C

Jak pokazuje rysunek 4, wraz ze zbliżaniem się do dna matrycy następuje spadek nacisków bocznych  $q_x$  oddziałujących na ścianki komory zagęszczania.

Przeprowadzone badania potwierdzają wyniki literaturowe uzyskane przez innych badaczy [Hejft 1991; Czaban 2000; Hejft 2002; Demianiuk 2001]. Według ich badań największe naciski promieniowe  $q_x$  i zagęszczające  $p_x$  występują w strefie zetknięcia tłoka z materiałem aglomerowanym, a następnie zmniejszają się w miarę oddalania się od tłoka. Jednakże przeprowadzone badania przy użyciu stanowiska badawczego wyposażonego w specjalną komorę zagęszczania (rys. 2) pozwoliły na dokładne wyznaczenie wartości nacisków bocznych (promieniowych) na bocznych na różnej wysokości od wyjścia z komory zagęszczania, a także wpływu temperatury procesu na wartości nacisków promieniowych.

Wpływ długości komory zagęszczania (odległości od dna matrycy) na wartości nacisków bocznych podczas zagęszczania mieszanki paszowej w komorze otwartej zobrazowano ogólnym równaniem funkcji wykładniczej:

$$q_x = A \cdot e^{B \cdot l} \quad (1)$$

gdzie:

- $l$  – odległość od wyjścia z matrycy (mm),
- $A, B$  – współczynniki równań.

W tabeli 1 przedstawiono współczynniki równia (1) opisujących przebieg nacisków bocznych na długości komory otwartej zagęszczania komorze przy badanej temperaturze.

Tabela 1. Wartości współczynników A i B równania (1) opisującego przebieg nacisków bocznych na długości komory zagęszczania

Table 1. The value of coefficients A and B of equation (1) describing the course of the side thrusts on the length of the densification chamber

Temperatura [°C]	Współczynniki		Współczynnik determinacji R <sup>2</sup>
	A	B	
20	35,418	-2,0108	0,9990
30	31,242	-2,0751	0,9960
40	31,518	-2,1635	0,9952
50	29,177	-2,2045	0,9983
60	30,580	-2,3749	0,9955
70	31,253	-2,4125	0,9978
80	22,068	-2,2423	0,9929
90	21,154	-2,3965	0,9992

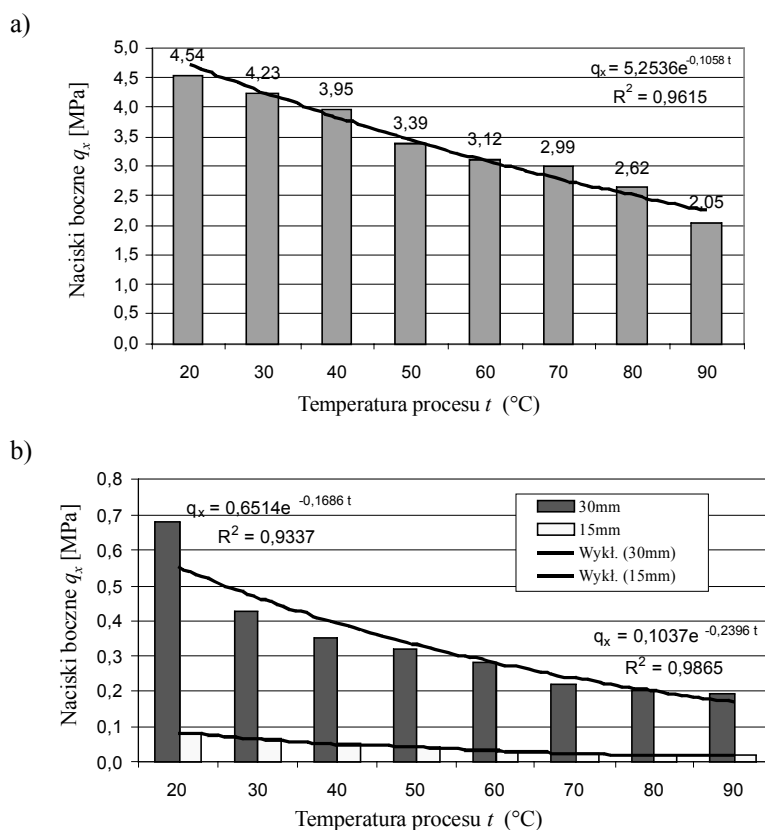
Źródło: opracowanie własne

Wzrost temperatury procesu powoduje spadek wartości nacisków bocznych na poszczególnych wysokościach matrycy. Wpływ temperatury procesu na wartości nacisków bocznych na różnych wysokościach od dna komory zagęszczania przedstawiono na rysunku 5.

Wraz ze zwiększeniem temperatury procesu od 20 do 90°C następuje spadek wartości nacisków bocznych na różnych wysokościach matrycy (rys. 5).

Spadek nacisków bocznych związany jest z jednoczesnym spadkiem maksymalnych nacisków zagęszczających, spowodowanych przemianami fizyko-chemicznymi poszczegól-

gólnych składników mieszanki paszowej zachodzącymi pod wpływem temperatury [Obidziński 2005].



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Wpływ temperatury procesu na wartości nacisków bocznych na różnej wysokości od dna otwartej komory zagęszczania w trakcie zagęszczania mieszanki DK-Finisz: a) na wysokości 45 mm, b) na wysokości 30 mm i 15 mm

Fig. 5. Effect of the process temperature on the value of the side thrusts at various height from the bottom of the opened densification chamber during the densification of DK-Finisz fodder mixture: a) on the height 45 mm, b) on the height 30 mm and 15 mm

Jednym ze najistotniejszych składników badanej mieszanki paszowej jest skrobia pszenna zawarta w badanej mieszance paszowej. Jak podaje Sikorski [Obidziński 2005], podczas ogrzewania ziaren skrobi ulega zniszczeniu struktura tychże ziaren i zachodzi częściowe kleikowanie. Jest to wynikiem rozrywania wiązań wodorowych, stabilizujących strukturę makrocząsteczek skrobi.



Pod wpływem wysokiego ciśnienia zagęszczania i temperatury pękają ziarenka skrobi i zaczynają chłonać wodę (wilgoć) zawartą w mieszance. Powstały roztwór ma zdolność do tworzenia filmów cieczowych, które po zastygnięciu (po opuszczeniu matrycy) tworzą trwałe połączenia w „granuli”. Dzięki powstałemu roztworowi żelowanej skrobi i wilgoci zmniejszają się opory tarcia zagęszczanego materiału o ścianki matrycy. Następuje dokładne zwilżenie granicy ziaren przez film cieczowy, co powoduje zwiększenie siły oddziaływań międzycząsteczkowych, niż w przypadku braku filmu cieczowego. Wpływa to na zmniejszenie nacisków zagęszczania. Stopień kleikowania (żelowania) skrobi zwiększa się wraz ze wzrostem temperatury, czego dowodem są spadające naciski zagęszczające.

Wzrost temperatury jest również przyczyną częściowej denaturacji białka zawartego w mieszance paszowej. Białka podobnie jak skrobia wraz ze wzrostem temperatury stają się kleiste i uplastyczniają się.

## Wnioski

1. Zaprojektowana i oprzyrządowana, specjalna, komora zagęszczania użyta w stanowisku badawczym umożliwia precyzyjne określenie wpływu długości otwartej komory zagęszczania oraz temperatury procesu na wartości nacisków bocznych uzyskanych w trakcie procesu zagęszczania.
2. Wraz ze zbliżaniem się do dna matrycy w trakcie zagęszczania następuje spadek nacisków bocznych oddziałujących na ścianki komory zagęszczania.
3. Wraz ze zwiększeniem temperatury procesu od 20 do 90°C następuje spadek wartości nacisków bocznych na różnych wysokościach matrycy. Spadek nacisków bocznych związany jest z jednoczesnym spadkiem maksymalnych nacisków zagęszczających.
4. Wpływ długości komory zagęszczania (odległości od dna matrycy) na wartości nacisków bocznych podczas zagęszczania mieszanki paszowej w komorze otwartej można modelem w postaci równania funkcji wykładniczej.

## Bibliografia

- Czaban J. (2000):** Ciśnieniowa aglomeracja pasz w układzie roboczym granuladora. Praca doktorska, Politechnika Białostocka, Maszynopis.
- Demianiuk L., Hejft R., Seweryn A. (1999):** Siły i odkształcenia występujące podczas brykietowania materiałów drobnoziarnistych w komorze otwartej – analiza doświadczalna. Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Nauki Techniczne, 130, Mechanika 21, 95-107.
- Demianiuk L. (2001):** Brykietowanie rozdrobnionych materiałów roślinnych. Praca doktorska. Politechnika Białostocka. Białystok. Maszynopis.
- Hejft R. (1991):** Ciśnieniowa aglomeracja pasz i podstawy konstrukcji urządzeń granulująco-brykietujących. Rozprawy Naukowe Politechniki Białostockiej, 11, Białystok. ISSN 0867-096X.
- Hejft R. (2002):** Ciśnieniowa aglomeracja materiałów roślinnych. Biblioteka Problemów Eksploatacji. ITE Radom, 257.
- Laskowski J. (1989):** Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych. Praca habilitacyjna. Wydanie Akademii Rolniczej w Lublinie. ISSN 0860-4355.
- Obidziński S. (2003):** Wpływ temperatury na jakość produktu w procesie granulowania pasz. Inżynieria Rolnicza, 8(50), 339-345.
- Obidziński S. (2005):** Granulowanie materiałów roślinnych w pierścieniowym układzie roboczym granuladora. Praca doktorska. Politechnika Białostocka. Białystok. Maszynopis.

## **THE INVESTIGATION OF PRESSURE EXERTED BY THE MATERIAL ON THE WALL OF THE DENSIFICATION CHAMBER**

**Abstract.** The paper presents the results of the research on the influence of the densification chamber height and the temperature of the process on the value of the pressures exerted by the thickened material on the wall of the opened densification chamber. The fodder mixture DK-Finiszer of 16 % moisture was used in the research. The research on the densification process was conducted on the research stand SS-3, equipped in the special densification chamber which allowed determination of the value of the side thrust at the various height from the exit of the densification chamber as well as the influence of the process temperature on the value of side thrusts. Due to the obtained research results it was possible to conclude that along with the approaching to the bottom of the matrix during the densification process the decrease of side thrusts influencing the side wall of the densification chamber from 20 to 90 °C at various heights of the matrix occurs.

**Key words:** densification, side thrust, opened chamber, fodder mixture

**Adres do korespondencji:**

Sławomir Obidziński; e-mail: [obislaw@pb.edu.pl](mailto:obislaw@pb.edu.pl)  
Zakład Techniki Rolno-Spożywczej  
Politechnika Białostocka  
ul. Wiejska 45C  
15-351 Białystok