

## WSPOMAGANIE KOMPUTEROWE W BADANIACH PROCESU GRANULOWANIA MATERIAŁÓW BIOLOGICZNYCH

*Laskowski Janusz, Skonecki Stanisław*

Akademia Rolnicza w Lublinie  
Katedra Eksploatacji Maszyn Przemysłu Spożywczego

**Synopsis:** W pracy przedstawiono metodę prowadzenia badań procesu granulowania materiałów biologicznych wspomaganą komputerowo. Mikrokomputer wykorzystano jako narzędzie do wykonania pomiarów i szczegółowej analizy charakterystyk zagęszczania. Opisano opcje opracowanego programu komputerowego.

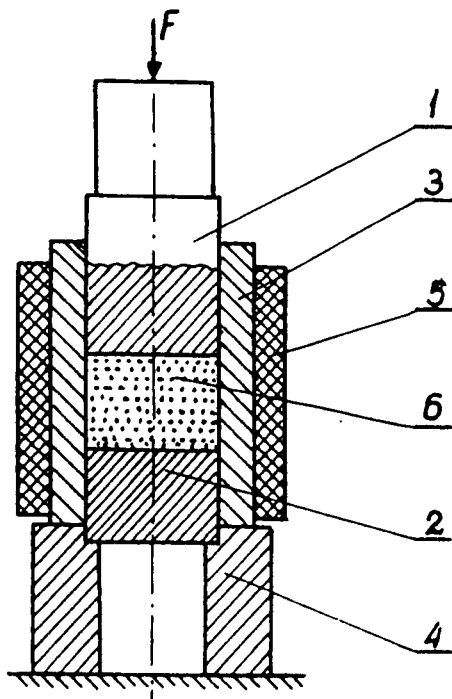
**Słowa kluczowe:** granulowanie, materiały biologiczne, wspomaganie komputerowe badań.

### Wprowadzenie

W produkcji pasz przemysłowych jednym z podstawowych procesów decydujących o jakości produktu jest granulowanie. Istotą tego procesu jest uzyskanie paszy w formie aglomeratu o odpowiednich wymiarach i wymaganej trwałości.

Według ogólnych opisów procesu, granulowanie obejmuje trzy fazy: zagęszczanie, ściskanie (połączone z odkształceniem i rozdrabnianiem cząstek) i wytłaczanie [Amstrong i Haines Nutt (1974), Kumar (1973), Locussol (1965), Wittmann (1962)]. Bardziej szczegółowe badania w tym zakresie rozpoczął Melcion [1974]. Prace te kontynuowane są od szeregu lat przez autorów opracowania [Laskowski (1989); Laskowski, Skonecki (1993) i (1994); Laskowski, Skonecki, Melcion (1993)]. Jako podstawę analizy procesu aglomerowania przyjęto powiązanie badanych parametrów ze zmianą gęstości materiału. Dla oceny

procesu opracowano metodę badań wykorzystującą wspomaganie komputerowe. Układ pomiarowy i program wykonano w Pracowni Aparatury Pomiarowej TUXLAB w Lublinie w oparciu o własne założenia i metodę badań procesu ciśnieniowego aglomerowania [Laskowski, Skonecki (1994 str. 29-33)].



Rys.1 Schemat zespołu prasującego:

1 - tłok, 2 - matryca, 3 - cylinder, 4 - podstawa, 5 - element grzejny, 6 - materiał.

Fig.1. Scheme of pressing unit:

1 - piston, 2 - die, 3 - cylinder, 4 - base, 5 - heating element, 6 - material.

### Opis metody

Przedstawiona w pracy [Laskowski, Skonecki (1994)] metoda badań procesu granulowania poprzedzona została obszernymi badaniami ściskania materiału w warunkach laboratoryjnych. Ustalono, że z punktu widzenia poznawczego jak i praktycznego ważne jest poznanie zmiany stopnia zagęszczenia materiału w procesie zagęszczania i wytłaczania, określenie ciśnień, nakładów energetycznych

i innych parametrów procesu. Do badań wykorzystywany jest zespół prasujący (rys. 1) oraz maszyna wytrzymałościowa lub prasa hydrauliczna.

Podczas pomiaru rejestrowane są charakterystyki przedstawiające zmianę wartości siły nacisku  $F$  od przemieszczenia tłoka  $s$  (rys. 2).

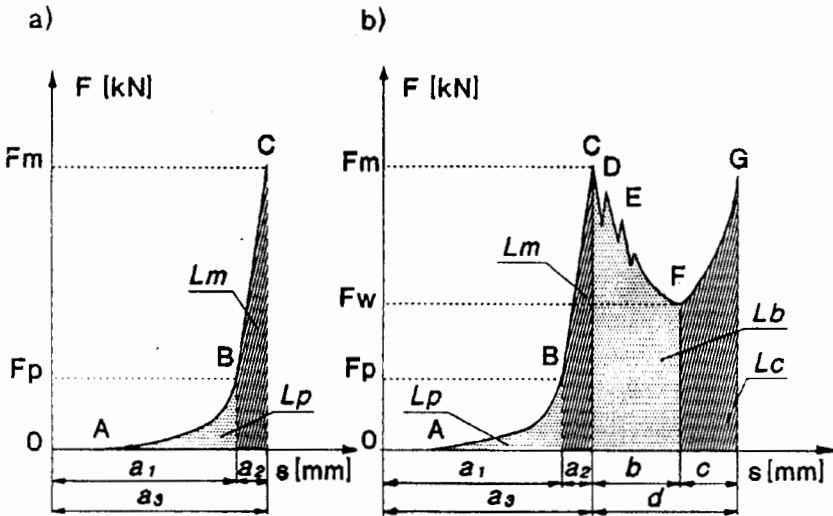
Z charakterystyk wyznacza się ilościowe wskaźniki procesu granulowania, określane dla poszczególnych faz:

$a_1$  - fazy odkształceń plastycznych materiału,

$a_2$  - fazy odkształceń elastycznych materiału,

$b$  - fazy wypływu materiału w procesie wytłaczania przy malejącej sile  $F$ ,

$c$  - fazy wypływu materiału przy wzrastającej sile  $F$ .



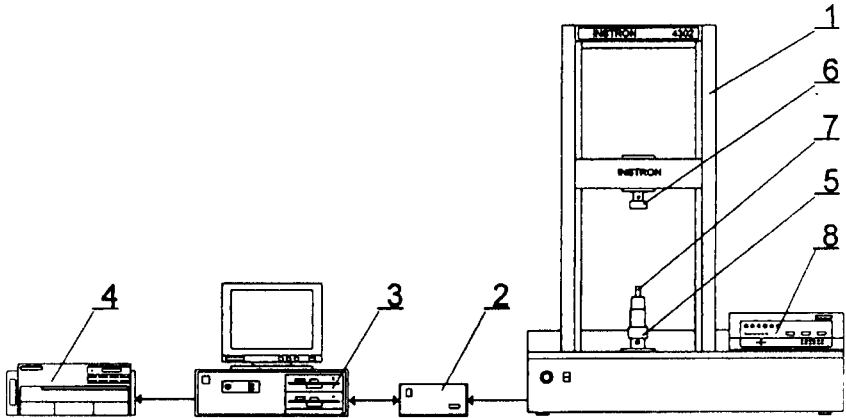
Rys.2. Charakterystyki procesów: prasowania (a), aglomerowania (b).

Fig.2. Characteristics of pressing (a) and compaction (b) processes.

Analiza charakterystyk umożliwia określenie: gęstości materiału, masę wytłoczonego materiału i masę pozostającą w komorze cylindra przy dowolnym położeniu tłoka, zużycie energii w poszczególnych fazach, wartości sił i ciśnień dla charakterystycznych punktów krzywej (progu plastyczności - punkt B, progu wypływu - punkt C, progu wytłaczania - punkt F).

Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczane są ilościowe wskaźniki charakteryzujące podatność materiału do granulowania. Szczegółowy opis metody badań i określania parametrów procesu opisano w pracy [Laskowski, Skonecki (1994)].

Dotychczasową analizę procesu aglomerowania przeprowadzono na podstawie charakterystyk uzyskiwanych w postaci wykresu z urządzenia piszącego. Dokładne odczytywanie wartości sił i przemieszczeń oraz określanie zużycia energii w poszczególnych fazach w oparciu o wyznaczanie za pomocą planimetru pola pod krzywą - było bardzo pracochłonne. Stąd też podjęto próbę zastosowania komputerowego wspomagania.



Rys.3. Schemat stanowiska badawczego:

1 - uniwersalna maszyna wytrzymałościowa Instron; 2 - przetwornik analogowo-cyfrowy; 3 - komputer; 4 - drukarka; 5 - dolny nieruchomy stół maszyny; 6 - górna ruchoma głowica; 7 - zespół ząszczający (wg. rys.1); 8 - pulpitan sterowniczy maszyny.

Fig.3. Scheme of experimental stand:

1 - Instron universal strength tester, 2 - analog/digital converter, 3 - computer, 4 - printer, 5 - fixed bottom base, 6 - mobile head, 7 - pressing unit (see fig.1), 8 - control desk.

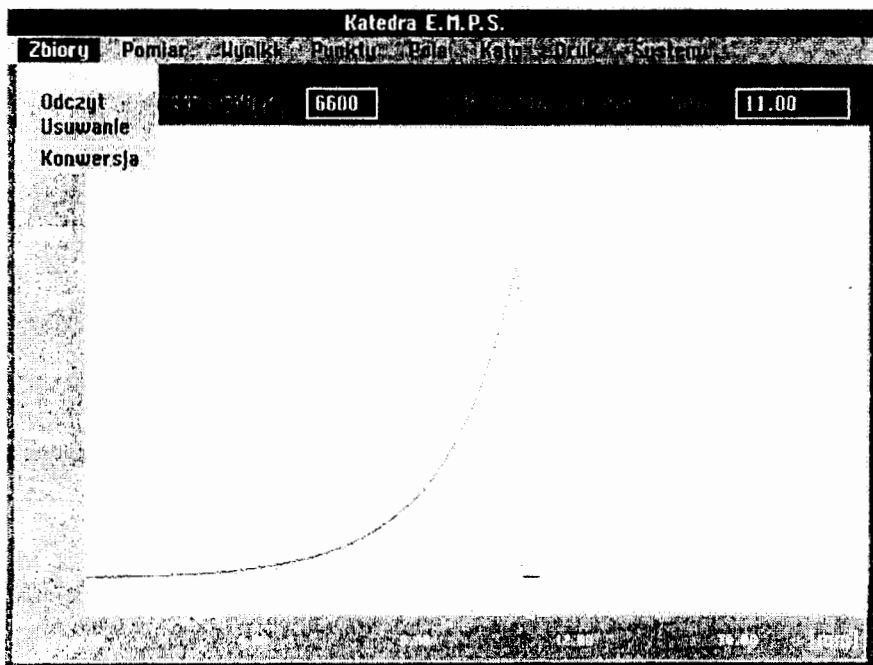
### Opis stanowiska badawczego

Do badań wykorzystano uniwersalną maszynę wytrzymałościową Instron 4302 o dopuszczalnej sile nacisku 10 kN. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono na rys. 3. Głównym elementem stanowiska badawczego jest zespół ząszczający (rys. 1) umieszczany na dolnym nieruchomym stole ( 5 rys. 3) uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Instron 4302 (1). Górna głowica (6) jest ruchoma i sterowana z pulpitu (8).

Stanowisko to umożliwia realizację procesu osiowego zagęszczania materiału do zadanej wartości siły lub wielkości odkształcenia.

Do rejestracji wyników badań zastosowano komputer klasy PC/AT (3) sprzęgnięty z maszyną poprzez specjalnie wykonany przetwornik analogowo-cyfrowy (2). Wykorzystano sygnał elektryczny wartości siły (napięcie 0 - 10 V) ze specjalnego wyjścia maszyny wytrzymałościowej.

Rejestrację i analizę wyników badań umożliwia specjalistyczny program. Wielkości przemieszczeń przelicza program na podstawie zadanej wartości prędkości przemieszczenia tłoka.



Rys.4. Wygląd ekranu komputerowego z menu głównym (otwarta opcja zbiory) i charakterystyką zagęszczania (materiał - rozdrobniona pszenica o wilgotności 16%).

Fig.4. View of computer display screen with general menu (open option files) and compaction characteristics (material: ground wheat grain at 16% moisture content).

## Opis programu

Program składa się z dwóch części. Pierwsza jest przeznaczona do bezpośredniej współpracy z maszyną wytrzymałościową do zbierania danych pomiarowych i ich zapisu na dysku. Druga część programu służy do analizy wyników badań. Program wyposażony jest w system tzw. "Pull-down" menu, za pomocą którego użytkownik może wybierając odpowiednie opcje realizować program badawczy. Po uruchomieniu i przejściu do pracy z programem na ekranie pojawia się główne menu zawierające osiem opcji (rys. 4).

Rozpoczęcie procesu zagęszczania i zbierania danych pomiarowych możliwe jest po wybraniu opcji "pomiar" programu. Opcja ta zawiera pozycje umożliwiające: zapis prędkości przemieszczenia tłoka, maksymalną wartość siły, częstotliwości próbkowania (maksymalna 200 Hz). Po wprowadzeniu zadanych wartości rozpoczęcie zbierania danych pomiarowych następuje po uruchomieniu maszyny wytrzymałościowej, zakończenie zaś po osiągnięciu założonej maksymalnej siły zagęszczania. Na ekranie obserwowana jest zmiana wartości siły od przemieszczenia tłoka (rys. 4).

W celu rejestracji wyników pomiaru należy przejść do opcji "zbiory" i wybrać pozycję "zapis". Pojawia się okno, w które wpisywana jest nazwa zbioru. Wciśnięcie klawisza enter spowoduje zapisanie na dysku wyników pomiaru. Opcja "zbiory", oprócz "zapisu" zawiera pozycje "odczyt", "usuwanie", "konwersja" (rys. 4).

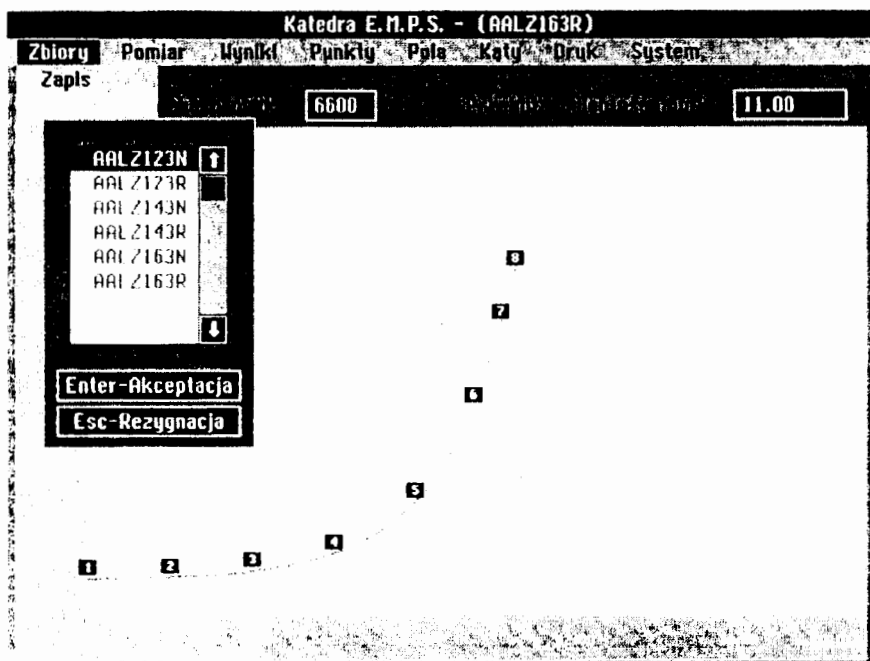
Pozycja "odczyt" (rys. 5) umożliwia wybranie dowolnego zapisanego zbioru do analizy wyników, "usuwanie" służy do kasowania zbiorów, natomiast "konwersja" przetwarza wyniki pomiaru na tryb tekstowy.

Po wczytaniu z pozycji "odczyt" danej charakterystyki zagęszczania można dokładnie przeanalizować zależność siły zagęszczania od przemieszczenia tłoka (rys. 5). Służą do tego celu opcje "wyniki" i "punkty". Opcja "wyniki" umożliwia powiększenie lub zmniejszenie wykresu poprzez zmianę skalowania osi siły i przemieszczenia.

W opcji "punkty" wybierane są trzy pozycje "zaznaczanie", "tabela" i "kasowanie". Po wyborze pozycji "zaznaczanie", na wykresie pojawia się kursor, który umożliwia zaznaczenie w dowolnym miejscu wykresu interesującego punktu (na rys. 5 przykładowo zaznaczono 8 punktów). Wartości siły i przemieszczeń dla poszczególnych punktów zestawione są w tabeli (po wyborze pozycji "tabela"). Wybór punktów umożliwia bardzo dokładną i szczegółową analizę krzywej zagęszczania. Przykładem może być porównanie wartości sił i przemieszczeń określone dla zagęszczania rozdrobionej i nierozdrobionej pszenicy odmiany Almari co podano w tab. 1.

Do określenia nakładów energetycznych procesu zagęszczania służy opcja

"pola". Po wyborze tej opcji pojawiają się pozycje: "definicja", "tabela" i "kasowanie". Pozycja "definicja" służy do wpisywania zaznaczonych punktów, pomiędzy którymi obliczane jest pole pod krzywą, czyli praca (nakłady energetyczne) w Nmm. Wartości pracy podawane są w tabeli, po wyborze pozycji "tabela". Dowolny wybór brzegów obliczania pracy umożliwi szczegółowe wyznaczanie nakładów energetycznych w poszczególnych fazach zagęszczania. Przykładem może być porównanie wartości pól określone dla zagęszczania rozdrobionej pszenicy odmiany Almari o wilgotności 16% (tab. 2). Pozycja "kasowanie" umożliwi usunięcie zdefiniowanych "pól".



Rys.5. Widok ekranu komputerowego z rozwiniętą opcją "zbiory" i otwartą pozycją "odczyt" - charakterystyka zagęszczania z zaznaczonymi punktami (materiał - rozdrobiona pszenica o wilgotności 16%)

Fig.5. View of computer display screen with developed option "files" and open position "readout" - characteristics of compaction with marked points (material: ground wheat grain at 16% moisture content).

Następna opcja "kąty" służy do określania nachylenia odcinka pomiędzy dwoma dowolnymi punktami (w N/mm). Podobnie jak dla "pól", opcja ta posiada trzy pozycje: "definicja", "tabela" i "kasowanie", z których podobnie się korzysta. Opcja "kąty" jest wykorzystywana do wyznaczania progu plastyczności dla zagęszczonego materiału.

Następna opcja "druk" umożliwi drukowanie wykresu, tabeli "punktów" i "pól" oraz tabeli kątów. Wyjście z programu realizowane jest poprzez opcję "system".

Powyższe możliwości programu umożliwiają dokładną i szczegółową analizę krzywej zagęszczania. Na podstawie danych uzyskanych z charakterystyki (np. tab. 1 i 2) oraz wartości takich jak masa zagęszczanego materiału i wysokość początkowa materiału w komorze, można obliczyć dla dowolnego położenia tłoka: wartości gęstości materiału, wartości ciśnień, wartości zużycia energii itd. Uzyskane wyniki umożliwiają również określenie ilościowych wskaźników podatności materiału do granulowania, których opis przedstawiono w pracy [Laskowski, Skonecki (1994)]. Obliczenia te można przeprowadzić przy pomocy programów użytkowych np. Excel, Quatro Pro, Lotus.

Tabela 1

Wydruki wartości przemieszczeń i sił określone dla zagęszczania pszenicy odmiany Almari o wilgotności 16%:

a) materiał rozdrobniony, b) materiał nierozdrobniony

Table 1

Printouts of displacement and force values determined for compaction of wheat Almari cultivar at 16% moisture content : (a) ground material, (b) without grinding.

a)

Nr	Odl. [mm]	Siła [N]
1	0.000	0
2	2.000	53
3	4.000	247
4	6.000	765
5	8.000	2245
6	9.467	5015
7	10.150	7395
8	10.500	8965

PgDn-Następna strona  
PgUp-Poprzednia strona  
Esc-Rezygnacja

b)

Nr	Odl. [mm]	Siła [N]
1	0.000	0
2	2.000	232
3	4.000	677
4	6.000	1298
5	8.000	2410
6	9.467	3885
7	10.150	5025
8	11.375	8995

PgDn-Następna strona  
PgUp-Poprzednia strona  
Esc-Rezygnacja



Charakterystyka obiektu badań i wyniki pomiarów stanowią podstawę do podjęcia analizy statystycznej wyników, która może być wspomagana za pomocą typowego programu analizy statystycznej np. programu Statgraphics. Analiza ta pozwala ustalić wszelkie warunki zewnętrzne których odpowiedni dobór jest niezbędny do poprawnego przebiegu procesu granulowania i uzyskania produktu o wymaganej jakości.

Tabela 2

Wydruk wartości prac określone dla zagęszczania pszenicy odmiany Almari:  
a) materiał rozdrobniony, b) materiał nierozdrobniony.

Table 2

Printout of work values determined for compaction of wheat Almari cultivar:  
(a) ground material, (b) without grinding.

a)

Nr	Brzegi	Pole [Nmm]
1	1 - 2	60.6
2	2 - 3	263.4
3	3 - 4	917.0
4	4 - 5	2766.6
5	5 - 6	4925.3
6	6 - 7	4193.9
7	7 - 8	2856.4
8	1 - 7	13126.8
9	1 - 8	15983.2

Esc-Rezygnacja

b)

Nr	Brzegi	Pole [Nmm]
1	1 - 2	185.6
2	2 - 3	877.7
3	3 - 4	1937.0
4	4 - 5	3589.7
5	5 - 6	4400.2
6	6 - 7	2948.5
7	7 - 8	8330.6
8	1 - 7	13938.7
9	1 - 8	22269.4

Esc-Rezygnacja

### Podsumowanie

Zaprezentowane wspomaganie komputerowe do badań procesu zagęszczania na urządzeniu Instron 4302 umożliwiła bardzo szczegółową i dokładną analizę parametrów procesu. Potwierdziły to obszerne badania przeprowadzone dla różnych surowców roślinnych. Opracowany program może być także wykorzystywany do badań wytrzymałościowych ziarn zbóż i nasion roślin strączkowych.

Wykorzystując doświadczenia z badań na urządzeniu Instron, opracowano system pomiarowy z rozbudowanymi funkcjami programu komputerowego dla pras hydraulicznych i maszyn wytrzymałościowych np. typu ZD produkcji niemieckiej (dla badań wymagających zakresu sił do 400 kN). Szczegółowe rozwiązanie zostanie przedstawione w odrębnym opracowaniu.

**Literatura**

1. Armstrong N., Haines-Nutt R. 1974. Elastic recovery and surface area changes in compacted powder systems. *Powder Technology* 9, 287-290.
2. Kumar M. 1973. Compaction behavior of ground corn. *J. of Food Sci*, 38, 877-878.
3. Laskowski J. 1989. *Studia nad procesem granulowania mieszanek paszowych*. Wyd. Akad. Roln., Seria Wyd. Rozprawy Naukowe 113, Lublin.
4. Laskowski J., Skonecki S. 1992. Badania mechanizmu granulowania rozdrobnionych surowców paszowych. *Mat. Konf. nt. Maszyny w procesach rozdrabniania materiałów rolno-spożywczych*. ATR Bydgoszcz, s. 22-28.
5. Laskowski J., Skonecki S. 1993. Podatność do aglomerowania wybranych surowców zbożowych. *Mat. III ICCE'93 Internationale Conference on Crumbers Engineering ATR Bydgoszcz*, Wyd. TNOiK w Bydgoszczy, 132-136.
6. Laskowski J., Skonecki S., Melcion J.-P. 1993. Zdolność do zagęszczania roślinnych surowców ziarnistych. *Mat. VI Konf. Nauk.-Tech. nt. "Budowa i Eksploatacja Maszyn w Przemysle Spożywczym"*. Politechnika Gdańska, Wyd. SliTMP w Warszawie, t. 1, 87-92.
7. Laskowski J., Skonecki S. 1994. Metoda określania parametrów ciśnieniowego zagęszczania materiałów pochodzenia biologicznego. *Mat. III Ogólnopolskiej i II Międzynarodowej Konferencji Naukowej nt. "Rozwój teorii i technologii w technicznej modernizacji rolnictwa"* ATR Olsztyn, s. 29-33.
8. Locussol L. 1965. Contribution a l'etude des presses a extrusion utilisees dans l'alimentation animale. *Bull. Anciens Eleves Ecole Frese de Meunerie*, 206, 71-75.
9. Melcion J.-P. 1974. Nouvelle technique d'etude de l'agglomeration des aliments des animaux. *Prix Protector Inter.*, 34 p.
10. Wittmann A. 1962. Strangpressen in der Ring - und Scheibenmatrize. *Aufbereitungs - Technik*, 3 (7), 287-293.

## **Computer aiding in studies on the process of pelleting biological materials**

*Janusz Laskowski, Stanisław Skonecki*

### **Summary**

Paper presents computer-aided method of investigation on pelleting process of biological materials. Measuring system was designed and computer programme was developed to study material compaction process on the Instron 4302 strength tester. Microcomputer was used for recording measured forces and displacements and for detailed analysis of compaction characteristics. Investigation procedure and options of computer programme were described.