

Spis treści

Wykaz ważniejszych oznaczeń	4
Wstęp	5
Rozdział 1. Ocena dotychczasowego stanu badań	7
1.1. Uwagi wstępne	7
1.2. Aspekty energetyczne w podstawowych teoriach rozdrabniania	9
1.3. Właściwości energetyczne materiałów rozdrabnianych	10
1.4. Właściwości energomaterialne rozdrabniaczy	11
1.5. Właściwości energetyczne procesów rozdrabniania	13
1.6. Współczesne kierunki rozwoju pomiarów charakterystyk energetycznych	14
1.6.1. Uwagi wstępne	14
1.6.2. Charakterystyki ruchowe	14
1.6.3. Charakterystyki masowo - energetyczne	16
1.7. Uwagi końcowe	16
Rozdział 2. Cel pracy i hipotezy badawcze	17
2.1. Wytyczne do badań własnych	17
2.2. Sformułowanie problemu	20
2.3. Cel pracy	20
2.4. Hipoteza badawcza	20
Rozdział 3. Warunki i zakres badań	21
3.1. Układ napędowy	21
3.2. Konstrukcyjne podstawy obliczeń przekroju i oporów rozdrabniania	21
3.3. Rozdrabniacz	28
3.4. Materiał rozdrabniany	30
3.5. Proces rozdrabniania	31
3.6. Stanowisko badawcze	32
3.6.1. Układ pomiarowy	32
3.6.2. Technika pomiaru wskaźników modelu	33
3.6.3. Rejestracja i przetwarzanie danych	35
3.7. Miejsce przeprowadzenia badań	35
Rozdział 4. Metodyka badań własnych	36
4.1. Uwagi wstępne	36
4.2. Model obiektu badań	36
4.3. Zmienne modelu efektywności energetycznej rozdrabniania	37
4.4. Modelowanie quasi - ścinania w warunkach maszyny wytrzymałościowej	40
4.5. Obliczanie przekroju i oporów rozdrabniania wielotarczowego	41
4.6. Zapis i dokumentacja wyników	44
4.6.1. Dane z badań wytrzymałościowych	44
4.6.2. Dane z obliczeń symulacyjnych	47
4.6.3. Dane z badań fizycznych	47
4.7. Opracowanie wytycznych i zakres analizy wyników	54
4.8. Estymacja modelu	54
4.9. Uwagi końcowe	56

Rozdział 5.	Analiza wyników badań	.57
5.1.	Opracowanie zależności opisującej materiał rozdrabniany	57
5.2.	Cechy konstrukcyjne rozdrabniacza wielotarczowego spełniające pomocnicze kryterium efektywności energetycznej	59
5.3.	Zależność efektywności energetycznej rozdrabniania i charakterystyk ruchowych	66
5.4.	Zależność efektywności rozdrabniania i charakterystyk masowo-energetycznych.	68
5.5.	Efektywność energetyczna rozdrabniacza wielotarczowego	69
Rozdział 6.	Cechy konstrukcyjne rozdrabniacza wielotarczowego spełniające kryteria efektywności energetycznej	.75
Wnioski		.77
Wykaz literatury		.79
Załącznik 1.	Zestawienie właściwości energetycznych materiałów rozdrabnianych	.87
Załącznik 2.	Zestawienie właściwości i opisów procesu rozdrabniania	.91
Załącznik 3.	Wyniki badań nad temperaturą wsadu i produktu rozdrabniania	.94
Załącznik 4.	Ważniejsze wyniki obliczeń przekroju i oporów rozdrabniania z procedury symulacyjnej	.96
Załącznik 5.	Wyniki badań wskaźników energetycznych rozdrabniania pszenżyta w rozdrabniaczu wielotarczowym	115
Załącznik 6.	Zestawienie porównawcze głównych parametrów różnych typów rozdrabniaczy	119
Załącznik 7.	Wydruki z procedury do wyznaczania regresji nieliniowej i współczynnika determinacji	121

Wykaz ważniejszych oznaczeń

C	- macierz wielkości stałych,
C_k	- cechy konstrukcyjne,
d_g	- średnia wielkość cząstek, mm,
d_i	- średnica otworów przepustowo – rozdrabniających, mm,
D_k	- średnica koła napędowego, mm,
e_R	- wskaźnik efektywności energetycznej rozdrabniania, – ,
E	- wskaźnik sprężystości, N/m,
E_C	- energia całkowita dostarczana do układu rozdrabniającego, J,
E_O	- energia rozdrabniania ogółem, J,
E_S	- energia pobierana przez silnik, J,
E_P	- energia wyjścia przekładni mechanicznej, J,
E_R	- jednostkowa energia na rozdrabnianie, kJ/kg,
E_{R1}	- jednostkowa energia na wale rozdrabniacza, kJ/kg,
E_{T1}	- jednostkowa energia zużywana na rozdrabnianie w warunkach modelu, kJ/kg,
E_{ST}	- energia przeznaczona na sterowanie, J,
h_i	- wymiary płaskowników, m lub mm,
i_d	- przełożenie dynamiczne,
i_k	- przełożenie kinematyczne,
L	- jednostkowa praca na rozdrabnianie, kJ/kg,
m	- masa produktu, kg,
\dot{m}	- strumień masy w czasie, kg/s,
M	- moment obrotowy – stopień miałkości, Nm, – mm,
M_1	- moment obrotowy na wale wejściowym, Nm,
M_2	- moment obrotowy na wale wyjściowym przekładni, Nm,
M_R	- moment obrotowy na wale rozdrabniacza, Nm,
n	- prędkość obrotowa, min^{-1} ,
N	- moc w układzie badanym, W,
P	- jednostkowa praca odkształcenia (w wydrukach komputerowych), kJ/kg,
q	- indeks quasi-ścianania,
s	- szczelina między tarczami, mm,
t	- czas próbkowania, ms,
v_R	- prędkość liniowa elementu rozdrabniającego, m/s,
w	- wilgotność, %,
W_1	- wydajność masowa procesu, kg/s,
x, y	- symbole zmiennych,
α	- poziom istotności, - kąt cięcia, – , °, rad,
β	- kąt przyłożenia, °, rad,
γ	- kąt ostrza, °, rad,
Δ	- stopień nierównomierności biegu, – , %,
Δ_k	- stopień nierównomierności kinematycznej – , %,
Δ_d	- stopień nierównomierności dynamicznej, – , %,
$\Delta\eta, \Delta_r$	- stopień nierównomierności ruchu, – , %,
η	- sprawność mechaniczna, – , %,
η_R	- sprawność ogólna rozdrabniania, – , %,
ϕ	- kąt obrotu wału wyjściowego przekładni i rozdrabniacza, rad,
Φ	- średnica otworów, mm lub m,
λ	- wskaźnik stopnia rozdrobnienia,
μ	- współczynnik tarcia,
φ	- kąt obrotu wału wyjściowego, – wsp. wypełnienia, rad, – ,
ω	- prędkość kątowna, rad/s,
ω_1	- prędkość kątowna wału wejściowego przekładni i wału silnika, rad/s,
ω_2	- prędkość kątowna wału wyjściowego przekładni i wału rozdrabniacza, rad/s,
ω_m	- prędkość kątowna średnia, rad/s.

Wstęp

Szerokie są możliwości badania zjawisk energetycznych rozdrabniania nasion zbóż przeznaczonych na paszę.

Przed wszystkim są to istniejące naukowe teorie rozdrabniania : powierzchniowa (Rittingera), objętościowa (Kicka) i merytoryczne modyfikacje tych opisów np. Rebintera, Melnikowa oraz Bracha.

Wiele prac naukowych dotyczy pojedynczych lub wybranych grup właściwości energetycznych surowców przed rozdrobnieniem, przemian tych właściwości w czasie rozdrabniania i wartości energetycznej uzyskanego produktu rozdrabniania.

Poszukiwanie odpowiedniej konstrukcji rozdrabniaczy nasion zbóż opiera się na poszukiwaniu takich cech konstrukcyjnych elementów rozdrabniacza i układu napędowego, które gwarantują wystąpienie np. minimum jednostkowego zużycia energii, minimalne odchylenia obciążeń energetycznych od wartości średniej i najkorzystniejsze relacje energetyczne między wsadem a produktem.

Osobną grupę stanowią prace naukowe z zakresu trwałości rozdrabniaczy i niezawodności procesów energetycznych rozdrabniania.

Natomiast podwyższenie sprawności i efektywności energetycznej rozdrabniania jest przedmiotem niewielu prac naukowych przetwórstwa mechanicznego i teorii procesów mechanicznych. We wszystkich grupach prac naukowych dotyczących :

- weryfikacji podstawowych teorii rozdrabniania,
- oceny energetycznej i jakościowej surowców i produktu rozdrabniania,
- doboru najkorzystniejszej konstrukcji, oceny jakości wytwarzania i eksploatacji rozdrabniaczy,
- poszukiwania parametrów i właściwości przetwórstwa mechanicznego nasion zbóż

najważniejszą rolę odgrywa jakościowy model badanego zjawiska, jego informatywność, reprezentacyjność i jednoznaczność procesów badawczych. Procesów opartych o nowoczesne, dokładne, wspomagane komputerowo techniki badawcze.

Stąd w tej pracy próbując rozwiązać problem efektywności energetycznej wielotarczowego rozdrabniacza nasion zbóż, wiele działań i uwagi poświęcono :

- wytrzymałości nasion przy obciążeniach quasi-ściągających,
- doskonaleniu techniki badawczej strumienia energetycznego,
- pomiarowi charakterystyk ruchu zespołu napędowego i wału rozdrabniacza,
- jednorodności strumienia masy materiału przepływającego przez rozdrabniacz,
- relacjom przekrojów i oporów rozdrabniania,
- poszukiwaniu najkorzystniejszego, ze względów energetycznych rozwiązania konstrukcyjnego rozdrabniacza wielotarczowego.

Natomiast do weryfikacji doświadczalnej przyjęto uniwersalny wskaźnik efektywności energetycznej rozdrabniania nasion zbóż – uwzględniający chwilowe wartości i relacje zbioru zmiennych procesu, materiału i maszyny.

Podsumowując można stwierdzić, że w pracy tej – z pełnym respektem do istniejących podstaw i teorii rozdrabniania oraz dotychczasowych wyników badań rozdrabniaczy – zaproponowano oryginalną strategię badawczą nowoczesnego (opatentowanego w 1989 roku) rozdrabniacza wielotarczowego nasion zbóż. Zaproponowano uniwersalny wskaźnik efektywności energetycznej procesu mechanicznego przetwórstwa nasion na paszę.

Ponadto w pracy wykorzystano, po raz pierwszy do celów naukowych, oryginalną procedurę komputerowego wspomagania obliczeń przekroju i oporów rozdrabniania wielotarczowego.

Rozdział 1. Ocena dotychczasowego stanu badań

1.1. Uwagi wstępne

Dotychczasowy stan wiedzy o rozdrabnianiu obejmuje okres co najmniej półtora wieku – od pierwszych opisów teoretycznych – i jest związany z wieloma dyscyplinami naukowymi. Pierwsze miejsce w rozwoju nauki o rozdrabnianiu zajmuje inżynieria minerałów i przetwórstwa chemicznego. W dalszej kolejności należy podkreślić wkład teorii mechaniki, budowy i eksploatacji maszyn w rozwój postaci konstrukcyjnej rozdrabniaczy i techniki przetwórstwa różnych materiałów. Począwszy od materiałów kruchych, sprężystych, lepkosprężystych, poprzez kompozyty, aż do złożonych ośrodków biologicznych – gazowo-tłuszczowych. Aktualnie największe znaczenie dla nauki i techniki rozdrabniania posiadają prace z zakresu efektywności energetycznej złożonych systemów ekologicznych, a szczególnie dotyczące poszukiwania najkorzystniejszych relacji : skutków i nakładów energetycznych przy rozdrabnianiu.

Praca ta jest próbą wypełnienia potrzeb w zakresie poznania i opisu relacji energetycznych między efektem strawnościowym rozdrabniania nasion zbóż, a nakładem energetycznym na uzyskanie tego efektu. Natomiast przegląd dotychczasowego stanu wiedzy obejmujący :podstawy i inżynierię rozdrabniania; studium efektywności przetwórstwa; określenie miejsca rozdrabniaczy wielotarczowych w dorobku wiedzy; systematykę opisów dotyczących właściwości materiału rozdrabnianego; konstrukcji rozdrabniaczy i efektywności energetycznej procesu – ma posłużyć do wyznaczenia najpilniejszego do rozwiązania obszaru badań własnych.

Rozdrabnianie polega na dzieleniu materiału na poszczególne cząstki w sposób mechaniczny, przy czym części robocze maszyny pokonują siły spójności cząstek materiału. W wyniku tego procesu następuje zmniejszenie wymiarów cząstek materiału, odpowiadające pożądanemu składowi granulometrycznemu, przy jednoczesnym wzroście powierzchni materiału. Dlatego proces rozdrabniania można rozpatrywać jako proces tworzenia nowych powierzchni [25].

W badaniach inżynierii rozdrabniania wyróżnia się podstawowe trzy grupy obiektów : materiał, maszynę i proces [25, 50]. Materiał [25,69] rozpatrywany jest w trzech stanach : na wejściu, podczas mechanicznego przetwarzania i na wyjściu rozdrabniacza. W rozdrabnianiu występują co najmniej trzy maszyny : silnik napędowy, przekładnia mechaniczna i rozdrabniacz – jako układ funkcjonalny. Proces rozdrabniania rozpatrywany jest w kategoriach energetycznych, ekonomicznych, organizacyjnych, czasowych i społecznych, a ponadto opisywany jest zmienną efektywnością, skutecznością i innymi charakterystykami w zależności od przyjętego rodzaju badań [50].

Prowadzenie badań nad efektywnością rozdrabniania ma na celu odkrycie i wspomaganie kierunków obniżenia zużycia energii, racjonalizację wydajności, a także podwyższenia dobrych własności produktu przetwórstwa [13, 44, 153]. Realizacja wszelkich poczynań, zmierzających do obniżenia zużycia energii na rozdrabnianie, możliwa jest jedynie poprzez wcześniejsze, wszechstronne poznanie : fizycznych właściwości ziaren [32, 35, 36, 41, 44, 54, 58, 65, 72, 79, 148], zjawisk towarzyszących zadawaniu odkształceń trwałych [57, 70, 94, 95, 96, 97, 159], rozproszenia energii w poszczególnych elementach układu rozdrabniającego [18, 23, 25, 28, 29, 33, 37, 38, 39, 40, 50, 84, 85, 88, 90, 91, 95, 103, 111, 128, 129, 155, 156] i napędowego oraz potrzeby rozdrabniania.

Z aktualnego stanu badań wynika potrzeba tworzenia rozwiązań alternatywnych dla rozdrabniaczy bijakowych [35, 37, 50]. Do głównych kierunków doskonalenia konstrukcji zalicza się obniżanie prędkości liniowej elementu rozdrabniającego z ponad 100 m/s do kilku metrów na sekundę [37, 50], a w sprzyjających okolicznościach nawet poniżej 1 m/s; dobór cech zespołu napędowego do potrzeb ruchowych zespołu rozdrabniającego [35, 36].

W bloku zmiennych : materiał – maszyna – proces – cel rozdrabniania pasz, należy zasadniczo uwzględnić relacje między energią wewnętrzną materiału, a energią zużytą na jego przetworzenie.

Występują również inne relacje energetyczne. Z uwagi na fakt, że rozdrabnianie jest szczególnym przypadkiem kształtowania potencjału energo - materialnego to zużycie masowe elementów konstrukcyjnych można rozpatrywać w aspektach energetycznych. Działanie rozdrabniacza, z istoty jest związane z użytecznym i nieużytecznym rozproszeniem energii.

Wieloaspektowość, zagadnień wielotarczowego rozdrabniania nasion zbóż i rozdrabniania w ogóle, spowodowała konieczność usystematyzowania opisów właściwości materiału rozdrabnianego, właściwości maszyny rozdrabniającej i właściwości procesu rozdrabniania. Uporządkowanie podstaw rozdrabniania na tle istniejących teorii rozdrabniania pozwoli zaproponować najlepszą postać modelu – do weryfikacji w ramach badań własnych – zjawisk energetycznych z uwzględnieniem specyficznych cech konstrukcyjnych rozdrabniacza wielotarczowego.

1.2. Aspekty energetyczne w podstawowych teoriach rozdrabniania

Podczas teoretycznych badań procesu rozdrabniania występują trudności wynikające z dużej liczby, mało ze sobą związanych teorii rozdrabniania np.: F.Kicka [115], P.A.Rittingera [2, 13], F.C.Bonda [1, 2], J.Bracha [2, 50], I.Rebindera [2, 3, 13, 25, 50, 115], S.Melnikowa [107], B.Gehrke [60], H.Kerlina [89] oraz statystycznych i fizykalnych interpretacji zjawisk towarzyszących rozdrabnianiu. Istotę ważniejszych teorii rozdrabniania minerałów i nasion zbóż zamieszczono w tablicy 1. Każda z tych teorii jest w zasadzie słuszna, jako opis w określonym zakresie zmienności czynników, dla przyjętych założeń oraz uproszczeń badawczych.

Tablica 1

Teorie rozdrabniania organicznych materiałów ziarnistych

Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania i ewentualne wymagania pomiarowe
(1)	Rittinger (powierzchniowa) [1, 2, 3, 13, 20, 50, 104, 107, 110, 115]	Praca potrzebna do rozdrabniania jest wprost proporcjonalna do przyrostu powierzchni uzyskanej w wyniku rozdrabniania $L = f(\Delta F) = f_1(D^2)$ L - praca rozdrabniania, ΔF - przyrost powierzchni, D - charakterystyczny wymiar cząstki.	Dotyczy tylko wymiaru materiału rozdrabnianego nie określa sił działających w procesie rozdrabniania
(2)	Kick (objętościowa) [3, 13, 25, 107]	Praca potrzebna do rozdrabniania jest proporcjonalna do stopnia zmniejszenia objętości lub masy cząstek rozdrabnianych $L = L_d \cdot m$ L - praca rozdrabniania, L_d - jednostkowa praca rozdrabniania, m - masa rozdrabnianego materiału.	Poszczególne cząstki są do siebie podobne co do kształtu przed i po rozdrabnianiu; poddawane są one jednorazowemu działaniu sił nacisku lub uderzenia aż do pierwszego rozpadu. Teoria dotyczy rozdrabniania wstępnego i zgrubnego
(3)	Rebinder [3, 13, 25, 50]	Jest połączeniem teorii Rittingera i Kicka, według tej zależności całkowite zapotrzebowanie na pracę w procesie rozdrabniania przedstawia wzór: $L = f_1(D^2) + f_2(V)$ L - praca rozdrabniania, $f_1(D^2)$ - praca zużyta przy powiększaniu powierzchni właściwej, $f_2(V)$ - praca zużyta przy zmianie objętości.	Cząstki materiału są do siebie podobne; teoria stosowana w zakresie rozdrabniania drobnego i bardzo drobnego
(4)	Melnikow [3, 26, 113, 126]	Jednostkową pracę odkształcenia określa wzór: $L_d = C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)$ L_d - jednostkowa praca odkształcenia, λ - stopień rozdrobnienia, C_1, C_2 - współczynniki ustalone doświadczalnie.	Rozszerzono tu metodę Rebindera i uwzględniono w niej właściwości materiału rozdrabnianego; pozwala na ilościową ocenę procesu rozdrabniania
(5)	Statystyczna [13, 89, 104, 110, 115]	Różniczkowa postać równania do określenia pracy rozdrabniania $dL_t = C_m \frac{dI}{I^n}$ dL_t - praca jaką trzeba wykonać, aby zmniejszyć wymiar liniowy cząsteczki od I_s do I_p . Po scałkowaniu w granicach $0-L_t$ i I_s-I_p i oznaczeniu $\lambda = I_s/I_p$	Uogólnienie teorii rozdrabniania, teorie te stosuje się w zależności od wykładnika potęgi, np. dla $n=2$ jest to zależność zgodna z teorią Rittingera; w zależności od rozwiązania, ograniczenia jak dla poszczególnych modeli
(6)		$L_t = \frac{C_m}{(n-1) I_s^{n-1}} (\lambda^{n-1} - 1)$ I_s - długość cząstki przed rozdrobnieniem, I_p - długość cząstki po rozdrobnieniu, λ - stopień rozdrobnienia, C_m - stała wyznaczana doświadczalnie.	

Związki przyczynowo-skutkowe, w prezentowanych teoriach, są oparte na zależności między postacią geometryczną produktu rozdrabniania lub tylko wymiarem, a jednostkową pracą rozdrabniania.

Stan granulometryczny nasion zbóż przed i po procesie rozdrobnienia służy często do oceny skuteczności oraz jakości procesu i maszyny rozdrabniającej [98, 115, 141], przy czym wyniki pomiarów są zdeterminowane metodą pomiarową, za pomocą której zostały określone [91]. Jeżeli jest znana krzywa składu lub rozkładu ziarnowego, to występują możliwości wyznaczenia większości pozostałych charakterystyk: stopnia rozdrobnienia, średniego rozmiaru cząstki, rozmiarów ziarna odpowiadających maksimum krzywej rozkładu, przyrostu powierzchni itp. Właściwości materiałów rozdrabnianych, cechy konstrukcyjne rozdrabniaczy oraz parametry procesów technologicznych są ustalane lub weryfikowane na podstawie badań. Do najczęściej spotykanych należy zaliczyć: badania dla wielu ziaren, doświadczenia na pojedynczych ziarnach, rozdrabnianie w warunkach rzeczywistych i kombinacje wymienionych doświadczeń [12, 50].

Próby matematycznego opisywania zjawisk rozdrabniania zamieszczono między innymi w pracach [50, 115]. Zawierają one kilka aspektów, takich jak np. ustalenie funkcjonalnej zależności między zużyciem energii lub pracą rozdrabniania a stopniem rozdrobnienia. Wynikające stąd wzory obliczeniowe pozwalają, w pewnym przybliżeniu, porównać zużycie energii potrzebnej do rozdrobnienia w zależności od rodzaju materiału i stopnia rozdrobnienia, rodzaju maszyny oraz przyjętego procesu technicznego.

Zaprezentowane teorie nie uwzględniają zasadniczych relacji między zmianą i podatnością na przemiany biologiczne energii wewnętrznej materiału rozdrabnianego, a pracą włożoną na uzyskanie tej podatności.

Do oceny energetycznej efektywności rozdrabniaczy wielotarczowych można jedynie wykorzystać założenia teorii Melnikowa [3, 25, 107, 115], zależność (4). Założenia dotyczą rozdzielenia wpływu cech konstrukcyjnych rozdrabniacza (stała c_1 w równaniu) i właściwości materiału rozdrabnianego (stała c_2 w drugim członie zależności). Równanie Melnikowa nie ma natomiast uniwersalnego charakteru efektywnościowego^{*}.

Podobna sytuacja występuje w znanych z literatury opisach właściwości materiału przed – , w czasie – i po rozdrobnieniu.

1.3. Właściwości energetyczne materiałów rozdrabnianych

Do energetycznych właściwości ziaren, które mają istotny wpływ na ich przetwórstwo (w tym rozdrobnienie) należą między innymi [30, 44, 50, 54, 65, 68, 70, 115, 123, 153]:

- całkowita energia rozwoju pęknięcia,
- naprężenia przy pękaniu,
- odporność na pęknięcie,
- obciążenia podczas zderzenia i cięcia,

^{*} Efektywność energetyczna jest to zmienna procesu lub maszyny rozdrabniającej, której podstawowy wskaźnik jest relacją efektów - uzyskanych w procesie działania, bądź dzięki zastosowaniu maszyny - i nakładów energetycznych poniesionych na działanie maszyny [44].

- czas trwania zderzenia,
- strawność organicznych produktów rozdrabniania,
- relacje wymiarów przed – i po rozdrobnieniu,
- przyrost powierzchni właściwej,
- inne charakterystyki zależne od dziedziny w której prowadzi się badania.

Niektóre z wymienionych właściwości nie mają jawnego aspektu energetycznego. Chodzi tu głównie o stopień rozdrobnienia i miałość [50] oraz przyrost powierzchni właściwej. Wielkość cząstki jest ściśle związana z jednostkową pracą rozdrabniania (teoria Rittingera i Kicka), a powierzchnia właściwa jest zasadniczo powierzchnią, na której realizowano odkształcenie trwałe. Tak więc jedna i druga właściwość, pośrednio, ściśle wiąże się z zjawiskami energetycznymi rozdrabniania.

Powierzchnię właściwą materiału składającego się z cząstek o różnej wielkości określa się na podstawie analizy sitowej [25].

Przyrost powierzchni w rozdrabniaczu bijakowym opisano zależnością (22) zamieszczoną w załączniku nr 1 (Z.1-22), a w rozdrabniaczu wielotarczowym (Z.1-23), (Z.1 tablica 1). W każdej z podanych zależności matematycznych, opisujących właściwości mechaniczno - energetyczne materiału rozdrabnianego występuje potrzeba pomiarów i obserwacji zmiennych fizycznych. Relacje przyczynowo - skutkowe podanych opisów mają charakter jednostronny, skierowany na pojedyncze zmienne powszechnie spotykane w mechanice, a przede wszystkim w wytrzymałości materiałów. Podobnie jak w przypadku podstawowych teorii rozdrabniania, tak i w opisach właściwości energetycznych materiałów rozdrabnianych nie uwzględnia się relacji nakładów energetycznych na podwyższenie podatności na przemiany biologiczne energii zawartej w materiale rozdrabnianym. Jedyną zależnością, która sygnalizuje tę podatność jest opis strawności organicznych produktów rozdrabniania (Z.1-16). Zależność (Z.1-16) zasadniczo dotyczy tylko strawności czyli pewnej podatności (potencjału, entalpii) produktu rozdrabniania na przemiany energetyczne podczas żywienia. Zależność (Z.1-16), podobnie jak pozostałe nie uwzględnia nakładów energetycznych na uzyskanie tej podatności.

Opisy właściwości materiałów, z których wykonano rozdrabniacze, w sensie obliczeń konstrukcyjnych podczas doboru cech elementów roboczych, również skierowane są na wytrzymałość, trwałość i bezpieczeństwo maszyny, a nie na złożone relacje energetyczne w przetwórstwie.

1.4. Właściwości energomaterialne rozdrabniaczy

Specyficzne elementy mechaniki, budowy i działania rozdrabniaczy omówiono w kilku publikacjach [35, 36, 50].

Potencjał energo-materialny konstrukcji rozdrabniaczy dotyczy głównie wytrzymałości i trwałości elementów konstrukcyjnych oraz doboru geometrycznych, materiałowych i dynamicznych cech tych elementów. Potencjał ten ujawnia się jako przyczyna wywołująca obciążenia decydujące o wytrzymałości, trwałości i konstrukcji elementów rozdrabniacza. Do utworzenia, zaprojektowania i skonstruowania rozdrabniacza stosuje się te same

zależności mechaniczno - energetyczne, które zostały zaprezentowane w punkcie 1.3 i załączniku Z.1 tej pracy. Są to przede wszystkim naprężenia dopuszczalne, obciążenia podczas zderzenia i cięcia, odporność na pękanie oraz inne opisy bezpieczeństwa i mechaniki pękania.

W tym miejscu pracy zostaną dodatkowo zasygnalizowane właściwości maszyn, które podkreślają odrębność konstrukcyjną rozdrabniaczy. Właściwości zestawiono w postaci tablicy 2.

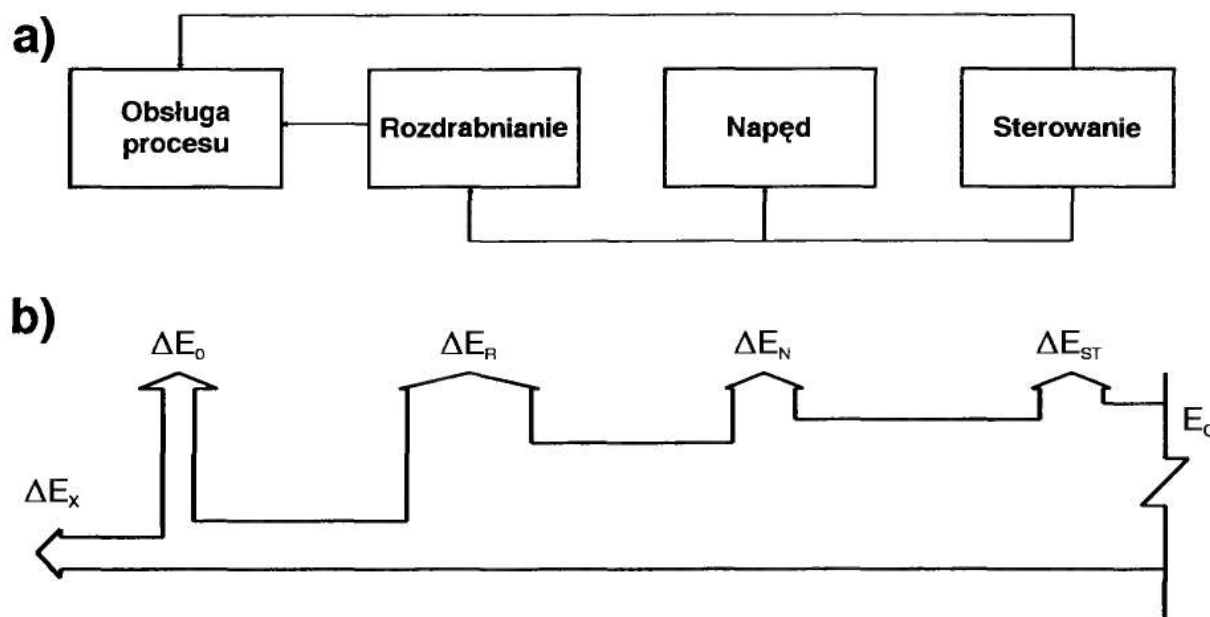
Tablica 2

Właściwości i opisy maszyn rozdrabniających

Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania i ewentualne wymagania pomiarowe
(7)	Melnikow (1969)	Moc pobierana przez maszynę rozdrabniającą: $N_R = N_1 + N_2 + N_3$ N1 - moc biegu jałowego, N2 - moc zużyta bezpośrednio na rozdrabnianie, N3 - moc na przyspieszenie cząstek.	Pomiar mocy biegu jałowego, mocy traconej na rozdrabnianie właściwe. Trudno wyróżnić z obciążeń rozdrabniających tę część, która przeznaczona jest na przyspieszenie cząstek.
(8)	Dmitrewski (1978)	Sprawność rozdrabniacza: $\eta_m = \frac{N_2 + N_3}{N_1 + N_2 + N_3}$	Pomiar mocy biegu jałowego i mocy rozdrabniania. Nie ma możliwości wydzielania z N2 części mocy związanej z przyspieszeniem cząstek.
(9)	Melnikow (1969)	Opór rozdrabniania: $P_R = \dot{m} n B v$ \dot{m} - strumień masy, n - liczba uderzeń potrzebnych do rozdrobnienia, B - współczynnik proporcjonalności, v - prędkość obwodowa bijaków.	Pomiar przyrostu masy wymaga specjalnych klasyfikatorów śledzących liczbę cząstek i liczbę uderzeń skutecznych.
(10)	Flizikowski (1987)	Sprawność rozdrabniania: $\eta_R = \frac{E_{T\lambda}}{E_{R\lambda}}$ E _{Tλ} - energia zużyta na realizację odkształcenia ziarna do zadanego stopnia rozdrobnienia w warunkach modelowych, E _{Rλ} - energia zużyta na rozdrobnienie ziarna do zadanego stopnia rozdrobnienia w warunkach maszynowych.	Pomiar prędkości kątowej, momentu obrotowego w nieskończenie małych ostępach czasu. Ograniczeniem jest stosowanie maszyn wytrzymałościowych o małych prędkościach zadawania odkształceń trwałych. W przypadku rozdrabniania uderowego model ten jest trudno zastosować przy prędkościach do 100 m/s.
(11)		Opory rozdrabniania: $P_R = k_j v_R + \sigma_{\max} F_R + \varepsilon F_R v_R^2$ F _R - powierzchnia wtórnych oddziaływań po zasadniczym rozdrobnieniu, k _j - współczynnik oporów ruchu jałowego, v _R - prędkość rozdrabniania, σ _{max} - maksymalne naprężenia w miejscu oddziaływania elementu rozdrabniającego na materiał, F _R - pole rozdrabnianego przekroju, ε - współczynnik proporcjonalności.	Wymaga zastosowania precyzyjnych metod pomiarowych. Pomiary realizuje się w warunkach rozdrabniania (opór ruchu jałowego), w warunkach maszyny wytrzymałościowej gdzie modeluje się opory rozdrabniania (opory skrawania) i na specjalnych przyrządach, na których obserwuje się zjawiska dynamiczne (trzeci człon zależności (11)).

Podane opisy dotyczą głównie obciążeń i mocy ruchu jałowego, rozdrabniania i pewnej zwyżki dynamicznej związanej z przyspieszeniem cząstek, drganiami, oraz wzajemnym oddziaływaniem.

W procesie tworzenia podstaw konstrukcyjnych budowy rozdrabniaczy, występuje konieczność uwzględnienia złożoności technicznej układu do maszynowego rozdrabniania.



Rys. 1 Układ techniczny do rozdrabniania materiałów ziarnistych:

a) - schemat blokowy; b) - rozproszenie energii

Na rys. 1 przedstawiono orientacyjne straty energii, które wiążą się z realizacją funkcji rozdrabniania oraz nieefektywnym rozproszeniem w układzie, gdzie :

- E_c - energia dostarczona do układu technicznego,
- ΔE_{ST} - straty w układzie sterowania,
- ΔE_N - straty w układzie napędowym,
- ΔE_R - straty na rozdrabnianie,
- ΔE_o - nakłady energetyczne na obsługę,
- ΔE_x - rozproszenie wibroakustyczne.

Klasyfikacja mocy i oporów powinna wpływać na trafność twórczych poszukiwań konstrukcyjnych. I tak zasadniczo jest w przypadku zależności (10), gdzie konstruktor dysponując definicją energetycznej sprawności rozdrabniania, jest informowany o tym na ile sprawnie maszyna odtwarza idealny model wytrzymałościowy rozdrabniania. Natomiast kwalifikacja mocy N w zależności (8) do użytecznej części obciążeń — jest myląca w procesie twórczych poszukiwań, ponieważ można realizować rozdrabnianie bez dodatkowych obciążeń związanych z przyspieszeniem cząstek.

Zasadniczych opisów relacji energetycznych przy rozdrabnianiu organicznych materiałów ziarnistych można się spodziewać wśród właściwości energetycznych procesów rozdrabniania.

1.5. Właściwości energetyczne procesów rozdrabniania

Energieia — to greckie słowo oznaczające działanie. Każdemu działaniu towarzyszy użyteczne przetworzenie energii i rozproszenie energii. W przypadku rozdrabniania nasion na śrutę paszową następuje uzdatnienie energii zawartej w nasionach do procesu żywienia.

W procesie poszukiwania modelu matematycznego opisującego złożoność energetyczną takiego rozdrabniania, przeanalizowano opisy stosowane w przetwórstwie mechanicznym.

Ważniejsze zależności zestawiono w załączniku nr 2 (Z.2 - tablica 1).

Właściwości energetyczne procesów rozdrabniania są różne i zależą od przyjętego celu merytorycznego. Zasadniczo obejmują jednostkową pracę i energię rozdrabniania oraz wydajność masową procesu.

Jedynie zależność (Z.2-9) jako wskaźnik efektywności rozdrabniania ziaren zbóż uwzględnia zależność między przyrostem energii metabolicznej wyzwolonej po rozdrobnieniu, a energią całkowitą zużytą na realizację procesu.

Korzystając z tej zależności i istniejących tablic wartości paszowej śruty o różnej granulacji można przeprowadzić postępowanie zmierzające do poszukiwania cech układu technicznego do realizacji najkorzystniejszego efektu biologicznego – przy minimum jednostkowego zużycia energii.

Model efektywności rozdrabniania, opisany zależnością (Z.2-9), zapewnia dużą informatywność, zarówno w zakresie oceny procesu i materiału, a przede wszystkim rozdrabniacza. Może być z powodzeniem, po niezbędnym uszczegółowieniu i weryfikacji na etapie badań wstępnych, wykorzystany w badaniach energetycznej efektywności rozdrabniaczy wielotarczowych.

Jest jednocześnie modelem wymagającym od badającego zastosowania nowoczesnych, dokładnych i szybkich technik pomiarowych.

1.6. Współczesne kierunki rozwoju pomiarów charakterystyk energetycznych

1.6.1. Uwagi wstępne

Proces pomiarowy rozpoczyna się z chwilą sformułowania zagadnienia metrologicznego, tzn. z chwilą określenia obiektu badanego, zaznajomienia się z celem pomiaru oraz zdefiniowaniem wielkości mierzonych [151].

Wskaźniki opisujące zjawiska i procesy jakie zachodzą podczas rozdrabniania nasion zbóż (i nie tylko) mają postać informacji analogowej – czyli charakteryzują się ciągłym zbiorem wartości. Czujniki stosowane przy pomiarach tych wskaźników (np. moment obrotowy, temperatura, masa, moc, prędkość kątowna itp.) dają sygnały o charakterze analogowym. Tymczasem gromadzenie, przesyłanie, obróbka i odczyt danych w postaci analogowej są znacznie mniej dogodne niż danych w postaci cyfrowej. Wynika to zarówno z inherentnych właściwości sygnałów dyskretnych, jak i z osiągniętego w ostatnim okresie wysokiego poziomu rozwoju metod techniki cyfrowej, a szczególnie komputerowej [102].

1.6.2. Charakterystyki ruchowe

Współczesne kierunki rozwoju pomiarów charakterystyk ruchowych rozdrabniania, wiąże się ze śledzeniem punktu materialnego – na wale – z częstotliwością co najmniej 250 razy na jeden obrót, sumowaniem liczby zebranych impulsów i różniczkowaniem

według zegara dużej częstotliwości — co najmniej 4,77 MHz, pierwszy raz dla uzyskania chwilowej prędkości kątowej, drugi raz dla uzyskania chwilowego przyspieszenia kątowego. Podobne tendencje rozwojowe występują w pomiarach momentu obrotowego [24 36].

Do podstawowych charakterystyk ruchowych zalicza się najczęściej [24, 50] :

- prędkość kątową wału wyjściowego silnika i wejściowego przekładni
 $\omega_{1Pi} = \omega_{Si}$,
- prędkość kątową wału wyjściowego przekładni i wału rozdrabniacza
 $\omega_{2Pi} = \omega_{Ri}$,
- moment obrotowy na wale silnika i przekładni $M_{1Pi} = M_{Si}$,
- moment obrotowy na wale wyjściowym przekładni i wejściowym rozdrabniacza $M_{2Pi} = M_{Ri}$,
- moc na wejściu przekładni równą mocy na wyjściu silnika
 $N_{1Pi} = N_{Si} = \omega_{1Pi} M_{1Pi}$
- moc na wyjściu przekładni równą mocy na rozdrabnianie
 $N_{2Pi} = N_{Ri} = \omega_{2Pi} M_{2Pi}$
- sprawność ogólną układu napędowego i rozdrabniającego wyraża się zależnością :

$$\eta_O = \eta_S \eta_P \eta_R \quad (12)$$

gdzie:

- η_O - sprawność ogólna technicznego układu do rozdrabniania,
- η_S - sprawność mechaniczna silnika,
- η_P - sprawność mechaniczna przekładni,
- η_R - sprawność względna rozdrabniania, jako miara realizacji modelu w warunkach rzeczywistych (α_R) [50].

Znajomość powyższych wielkości pozwala na wyznaczenie sprawności całkowitej układu funkcjonalno-napędowego :

- silnika, jako

$$\eta_S = \frac{M_S \omega_S}{N_{S1}} \quad (13)$$

- rozdrabniania

$$\eta_R = \frac{E_{T\lambda}}{M_R \omega_R t} \quad (14)$$

gdzie :

- t - czas potrzebny do rozdrobnienia masy ziaren - w warunkach rzeczywistych - odpowiadającej wagowo masie próbki,
- przekładni zastosowanej do zmiany prędkości kątowej i momentu obrotowego

$$\eta_P = \frac{N_{2P}}{N_{1P}} \quad (15)$$

Jednym z podstawowych zaleceń do badań własnych, jest zaproponowanie większej częstotliwości śledzenia punktu materialnego na wale, np. $1000/2\pi$

1.6.3. Charakterystyki masowo - energetyczne

Podstawową charakterystyką masowo - energetyczną rozdrabniania jest jednostkowe zużycie energii.

Jednostkowe zużycie energii na rozdrabnianie obejmuje moc pobieraną przez układ maszynowy N_R - zależność (14) i wydajność W , - czyli strumień masy o rejestrowalnym natężeniu w czasie [11, 25].

Przy czym wydajność masowa rozdrabniania jest określona dla trzech strumieni, jednakowej granulacji, np. strumień cząstek mniejszych od 0,5 mm, zawierających się w przedziale od 0,5 mm do 1,5 mm i większych od 1,5 mm. Sortowanie produktu rozdrabniania jest konieczne ze względu na istotność różnic strawności — podatności energetycznej cząstek o określonym wymiarze.

1.7. Uwagi końcowe

Dotychczasowy stan wiedzy z zakresu podstaw rozdrabniania; badań fizycznych i matematycznych nad właściwościami materiałów rozdrabnianych, konstrukcją rozdrabniaczy i procesami rozdrabniania oraz współczesne kierunki rozwoju technik pomiarów wielkości mechanicznych wskazują pilną potrzebę podjęcia badań nad efektywnością energetyczną nowej generacji wielotarczowych rozdrabniaczy materiałów ziarnistych.

Stan wiedzy i techniki określa możliwości rozwiązania konstrukcyjnego problemu naukowego w oparciu o : dotychczasowy dorobek, pracę własną nad zaprojektowaniem układu elektroniczno - mechanicznego, jego wykonaniem, badaniami wstępnymi, modernizacją i wykorzystaniem do wspomagania komputerowego eksperymentów.

W zakresie modelowania zjawisk energetycznych w rozdrabniaczach wielotarczowych występują podstawy, na których można oprzeć postępowanie badawcze zmierzające do określenia atrakcyjnej, informatywnej i jednoznacznej metodyki badań symulacyjnych oraz fizycznych.

Rozdział 2.

Cel pracy i hipotezy badawcze

2.1. Wytyczne do badań własnych

Wielokierunkowe korzyści obniżania prędkości, poprawienie jakości procesu, produktu i uproszczenie warunków eksploatacji, a w doborze zespołu napędowego obniżenie energochłonności i racjonalne jej kształtowanie, wskazują aktualność i aspekt użytkowy pracy. Wśród aspektów poznawczych należy wskazać potrzebę poznania i uzupełnienia opisu zjawisk quasi-ścinania biologicznego materiału ziarnistego, sprawności i nierównomierności biegu strumienia napędowego oraz relacji energetycznych między produktem i procesem rozdrabniania, które do tej pory nie doczekały się, w istniejącej literaturze, pełnego rozwiązania.

Istniejące teorie rozdrabniania opisują zjawiska rozdrabniania w zakresie nakładu energetycznego na uzyskanie określonego przyrostu powierzchni właściwej lub podzielenie objętości pierwotnej na wiele cząstek. Teorie te nie opisują relacji między efektem energetycznym uzyskanym dzięki rozdrabnianiu, a nakładem energii poniesionym na uzyskanie tego skutku. W przypadku rozdrabniania nasion na paszę – zwiększenie podatności produktu rozdrabniania na przemiany energetyczne w organizmie zwierzęcym. Równanie Melnikowa (zależność (4)) jest najbliższe zagadnień oceny energetycznej rozdrabniacza przeznaczonego do rozdrabniania określonego materiału, ale podobnie jak poprzednie nie ma charakteru efektywnościowego.

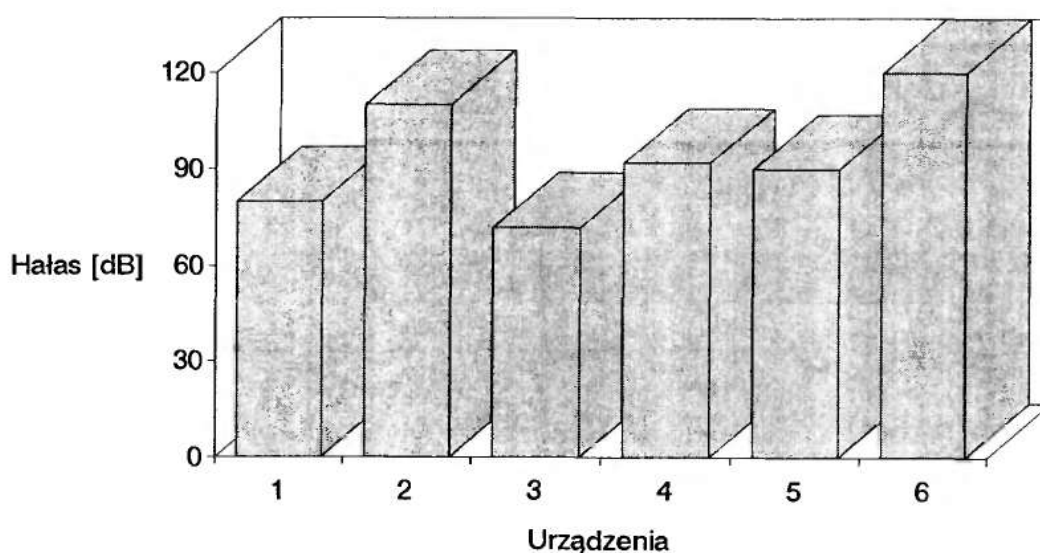
Należy w ramach pracy zaproponować własny model efektywności energetycznej rozdrabniacza lub dokonać niezbędnej modyfikacji istniejącej zależności (tablica 2), dokonać weryfikacji w warunkach eksperymentu fizycznego i oszacować według obowiązujących zasad estymacji modeli.

Charakter modelu wymusza potrzebę zaprojektowania i zbudowania rozdrabniacza i stanowiska pomiarowego oraz wyposażenia powstałego układu w zbiór elementów przetwarzających – rejestrujących do komputerowego wspomaganie eksperymentów.

Z tych powodów do dalszych badań zakłada się zmianę konstrukcyjnego rozwiązania maszyny rozdrabniającej z typu bijakowego na układ wielotarczowy z wałem poziomym, w której proces rozdrabniania uderowego zastąpiony jest quasi-ścinaniem w warunkach małej prędkości obrotowej i liniowej elementu roboczego.

Dodatkowym argumentem podkreślającym atrakcyjność i potencjalne wykorzystanie rozdrabniacza wielotarczowego jest niski poziom hałasu generowany podczas rozdrabniania.

W ramach analizy porównawczej prowadzonej podczas prac przygotowawczych do badań zaobserwowano (rys.2), że średni poziom natężenia hałasu wytwarzanego przez rozdrabniacz wielotarczowy w stosunku do dopuszczalnego maksymalnego poziomu 85 dB [178] i w stosunku do innych popularnych źródeł hałasu jest najniższy i wynosi średnio 74 dB.



Rys. 2 Porównanie natężenia hałasu wytwarzanego przez różne urządzenia :

- 1 - samochód (80 dB),
- 2 - rozdrabniacz bijakowy (110 dB),
- 3 - rozdrabniacz wielotarczowy ERGOP (74 dB),
- 4 - tokarka (92 dB),
- 5 - muzyka dyskotekowa (90 dB),
- 6 - młot pneumatyczny (120 dB).

Nowy sposób rozdrabniania, prowadzony przy prędkości liniowej elementu rozdrabniającego około 1 m/s, wywołuje konieczność : zaprojektowania i zbudowania laboratoryjnego przyrządu do cięcia pojedynczych nasion, a następnie przeprowadzenia serii badań dla podstawowych zbóż; udoskonalenia przekładni poprzez wykorzystanie wyników wcześniej prowadzonych badań własnych [8,9,10,11,50,]; zaprojektowania i wykonania komputerowego systemu pomiarowego, który będzie jednocześnie służył do komputerowego wspomaganie konstrukcji nowych rozdrabniaczy i badań efektywności energetycznej procesu i innych zjawisk.

Prowadzi to do opracowania procedur matematycznych, przetwarzających uzyskane rezultaty i umożliwiających obliczenia złożonych eksperymentów symulacyjnych.

Do komputerowego przetwarzania danych o sprawności silnika i przekładni napędzających rozdrabniacz przydatna jest postać cyfrowa danych pośrednich, podobnie postać cyfrowa informacji musi być dostarczona o konstrukcji rozdrabniacza i procesie rozdrabniania.

Wymagania pomiarowe, stosownie do obiektu badań (materiał, maszyna, proces) mogą być przydatne wg zestawienia podanego w tablicy 3.

Tablica 3

Wymagania pomiarowe stosownie do obiektu badań

Zmienna badana	Wskaźnik	Zakres zmienności	Rodzaj sygnału	Zakres sygnału	Błąd bezwzględny
MATERIAŁ					
Wytrzymałość	naprężenia	0-10 MPa	analogowy	0-2 V	1-10 mV
Cechy geometryczne	średni wymiar powierzchni rozdrabniania	0-10 mm	analogowy	0-2 V	1-10 mV
Podatność	wskaźnik strawności biologicznej	0-1 —	liczba		0.05 -
MASZYNA					
Funkcjonalność	wskaźnik sprawności moment obrotowy prędkość kątowna moc prędkość liniowa	0-1 — 0-500 Nm 0-150 rad/s 0-7.510 ⁴ W 0-150 m/s	liczba analogowy cyfrowy cyfrowy cyfrowy	0-2 V R R	0.01 - 1-10 mV 2 π /1000 0.01 m/s
Trwałość elementów	kąt ostrza wytrzymałość zmęczenia	0-600 h 0-8000 h	liczba liczba		1h 1h
Konstrukcja	cechy konstrukcyjne geometryczne materiałowe ruchu	0-R mm 0-R MPa 0-R m/s	analogowy analogowy cyfrowy	0-2 V 0-2 V R	1-10 mV 1-10 mV 0.01 m/s
PROCES					
Efektywność	strumień masy jednostkowe zużycie energii	0-1 kg/s 0-100 kJ/kg 0-500 Nm 0-150 rad./s	analogowy analogowy analogowy cyfrowy	0-2 V 0-2 V 0-2 V R	1-10 mV 1-10 mV 1-10 mV 2 π /1000
Energia cieplna	przyrost temperatury	0-R K	analogowy	0-2 V	1-10 mV
Realizacja	czas	0-R s	cyfrowy	R	1 μ s

Dla podwyższenia skuteczności procesu pomiarowego potrzebne jest wypełnienie wymagań zebranych w tablicy 3.

Jeśli zostaną wypełnione warunki pomiaru, to uzyskane rezultaty pozwolą na statystyczną i merytoryczną analizę wyników i estymację modelu. Opisy mogą być istotnym ułatwieniem twórczych prac konstrukcyjnych nad efektywnością energetyczną rozdrabniaczy wielotar-

czowych, a nawet nad inżynierią rozdrabniania. Przede wszystkim, stanowiąc opis matematyczny efektywności energetycznej rozdrabniacza wielotarczowego, wypełnią postawiony poznawczy cel pracy, a przyczyniając się do ułatwienia i umożliwienia realizacji rozwojowych prac konstrukcyjnych wypełnią stawiany cel użyteczny.

2.2. Sformułowanie problemu

Jakie właściwości materiału rozdrabnianego, cechy konstrukcyjne elementów quasi-ści-
nających i parametry procesu wielotarczowego rozdrabniania nasion zbóż są niezbędne
dla zaistnienia najmniejszego jednostkowego zużycia energii na rozdrabnianie wielotar-
czowe ziaren oraz wystąpienie odpowiedniej skuteczności organicznej produktu rozdrab-
niania ?

2.3. Cel pracy

Celem pracy jest opracowanie – na podstawie istniejącego stanu badań rozdrabniaczy
nasion zbóż, obliczeń symulacyjnych i eksperymentu fizycznego nad cechami konstrukcyj-
nymi oraz charakterystykami rozdrabniania wielotarczowego – modelu i opisów matema-
tycznych efektywności energetycznej rozdrabniacza wielotarczowego. Opracowanie zasad
doboru cech konstrukcyjnych według kryteriów efektywności energetycznej oraz wyznacze-
nie zbioru cech konstrukcyjnych i parametrów przetwórstwa dla wybranego materiału są
również celami praktycznymi tej pracy.

2.4. Hipoteza badawcza

Jeżeli zostanie opracowana metodyka zapewniająca odpowiednią informatywność badań
strumienia ruchowego i masowo - energetycznego procesu wielotarczowego rozdrabniania
nasion zbóż dla zmiennych cech konstrukcyjnych przestrzeni quasi-ści-
nania ziaren i zmiennych parametrów ich przetwórstwa, to wykorzystując istniejące modele i wskaźniki
rozdrabniania można wyznaczyć takie wartości cech konstrukcyjnych i parametry wie-
lotarczowego rozdrabniania nasion, których wystąpienie umożliwia uzyskanie najmniej-
szego jednostkowego zużycia energii i odpowiedniej podatności organicznej produktu.

Rozdział 3.

Warunki i zakres badań

Ze sformułowanego problemu i hipotezy badawczej wynika, że głównymi obszarami badań efektywności energetycznej wielotarczowego rozdrabniacza nasion zbóż są :

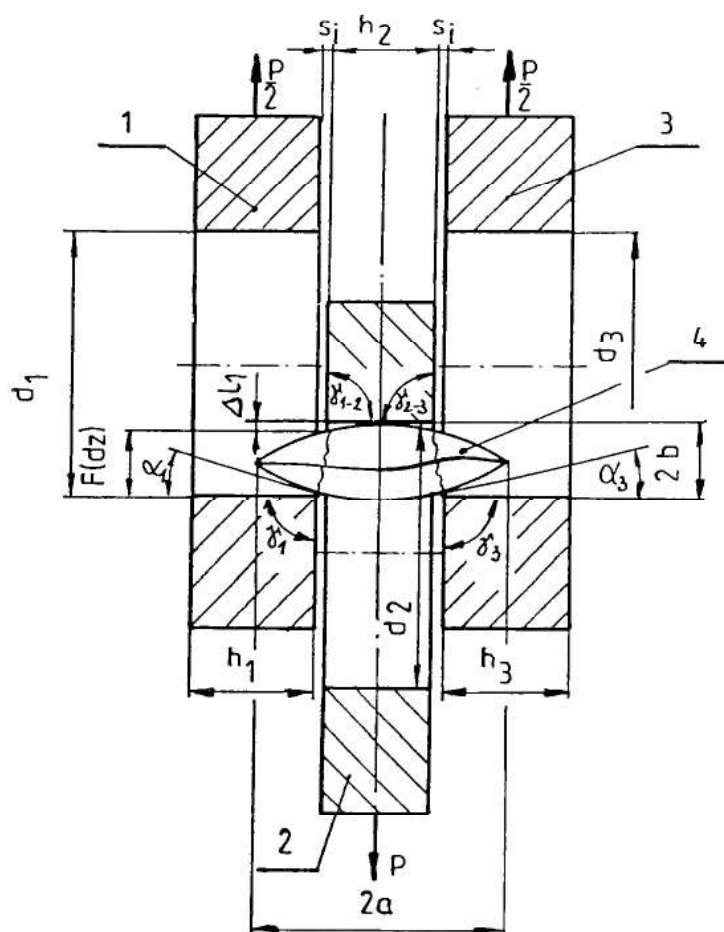
- silnik napędowy i przekładnia,
- układ funkcjonalny – rozdrabniacz,
- proces przetwarzania mechanicznego,
- technika pomiarowa.

3.1. Układ napędowy

Do napędu układu funkcjonalnego (rozdrabniacza) zastosowano silnik elektryczny obcowzbudny prądu stałego o mocy 1,5 kW, prędkości znamionowej 1500 obr/min, sprawności 0,8, wyposażony w tyrystorowy układ regulacji prędkości obrotowej w zakresie od 3 do 1500 obr/min. Jako urządzenie pośredniczące w przekazywaniu napędu między silnikiem a rozdrabniaczem zastosowano przekładnię pasową z pasem zębatym o sprawności średniej 0.8.

3.2. Konstrukcyjne podstawy obliczeń przekroju i oporów rozdrabniania

Sposób rozdrabniania, polegający na quasi - ścinaniu nasion zbóż i prowadzony przy prędkości rozdrabniania około 1 m/s, wywołuje konieczność: zaprojektowania i zbudowania laboratoryjnego przyrządu do badań zjawisk towarzyszących cięciu pojedynczych nasion, identyfikacji matematycznej quasi - ścinania oraz poszukiwaniu najkorzystniejszych cech konstrukcyjnych modelu w aspekcie kryteriów energetycznych. Proponowane procedury badawcze stanowią elementarne podstawy specyficznego sposobu rozdrabniania nasion zbóż. Egzemplifikacja prowadzona jest dla wielootworowego przyrządu wytrzymałościowego, nasion podstawowych zbóż oraz procesu rozdrabniania wielotarczowego [48, 49, 50].



Rys. 3 Elementarna przestrzeń quasi - ścinania nasion zbóż

W elementarnej przestrzeni rozdrabniania, pokazanej na rys.3 występują płaskowniki 1, 2 i 3, w których wykonano otwory o średnicach d_1 , d_2 i d_3 , przy czym układ jest symetryczny, a siły przyłożone do płaskowników 1 i 3 mają ten sam zwrot, natomiast siła przyłożona do płaskownika 2 – zwrot przeciwny. Na krawędziach otworów w płaskowniku 1 i 3 oraz pod tworzącą otworu w płaskowniku 2 umieszczono ziarno 4 tak, że na skutek przemieszczania płaskowników zgodnie ze zwrotem działania sił P następuje jego ścinanie. Ze względu na kształt nasion, szczelinę między płaskownikami, swobodne osadzenie nasion w przestrzeni ścinania i złożony charakter obciążeń elementu rozdrabnianego – ten sposób rozdrabniania nazwano quasi-ścinaniem.

W zakresie wytrzymałościowym analizie podlegają chwilowe przemieszczenia płaskowników i nasion oraz obciążenia odkształcające ziarna.

Charakterystyka elementarnej przestrzeni rozdrabniania w aspekcie konstrukcyjnym dotyczy podstawowych elementów konstrukcyjnych, ich postaci i cech geometrycznych. W sensie konstrukcyjnym wyróżniono cztery elementy konstrukcyjne : trzy płaskowniki z otworami i ziarno zbóż. Ziarno zbóż podlega standardowej charakterystyce przyjętej powszechnie dla materiałów biologicznych (np. według Matthiesa : postać elipsoidalna, średnica zredukowana, gęstość 1000 nasion i in.). Dla celów konstrukcyjnych przyjmuje się, jako istotne : przekrój ścinania w funkcji średnicy zredukowanej $F(d_z)$, wstępne odkształ-

cenie sprężyste przed kontaktem krawędziowym Δl_1 — relacje wzajemne ziarna i tworzącą otworu α_1 i α_3 , oraz wymiary ziarna jako elipsoidy tj. $2a$ i $2b$ (rys.3).

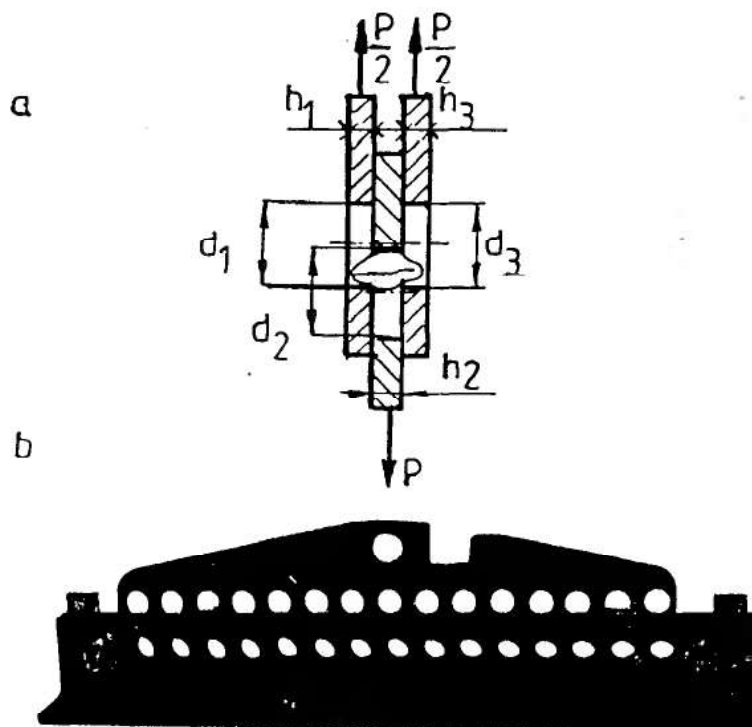
Na długości h_1 płaskownika 1 wykonany jest otwór o średnicy d_1 , a ściana otworu i bok płaskownika tworzą kąt γ_1 . Podobnie scharakteryzowano płaskownik 2 i 3 przy czym w płaskowniku 2 występują dwa kąty krawędziowe tj. $\gamma_{2/1}$ i $\gamma_{2/3}$. We wzajemnych relacjach płaskowników występuje szczelina s .

Podczas prób badane nasiona w liczbie od 1 do 15 sztuk umieszcza się symetrycznie do osi uchwytów maszyny.

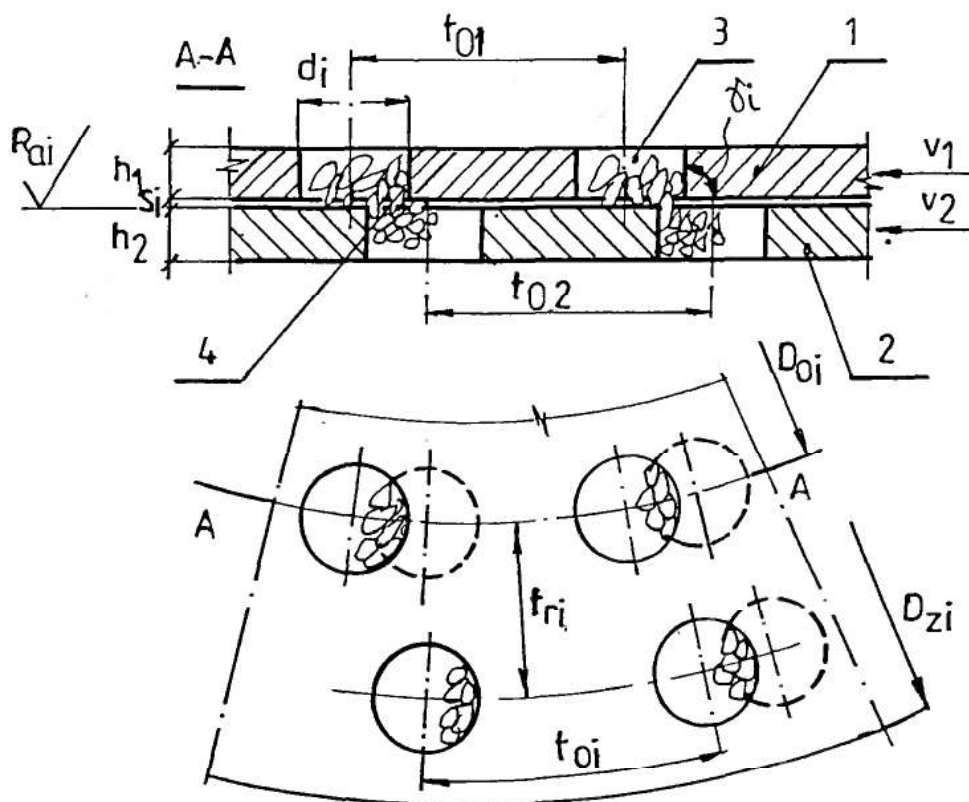
Wytrzymałość materiału, z którego wykonano płaskowniki jest kilkakrotnie wyższa od wytrzymałości badanych nasion. Ze względu na niską prędkość zadawania obciążeń — badania mają charakter prób statycznych.

Stan obciążeń oraz odkształcenie trwałe ziaren może wystąpić (rys.3) na jednej albo dwóch krawędziach utworzonych przez otwory wykonane w tarczach — znajdujących się w stanie ruchu względnego (model według rys.4).

Rozdrabnianie następuje w wyniku przemieszczania tarczy 1 z prędkością v_1 względem tarczy 2 poruszającej się z prędkością v_2 (rys.5). Rozdrabniany materiał przepływając przez otwory 3, odkształcany jest trwale przez krawędzie dwóch otworów w sąsiednich tarczach. Prędkość rozdrabniania jest równa różnicy prędkości liniowej punktów materialnych na tych tarczach.



Rys. 4 Przyrząd wytrzymałościowy wielokrawędziowy do realizacji cięcia dla wielu ziaren
a - model wytrzymałościowy, b - widok ogólny



Rys. 5 Sposób ustawienia tarcz w rozdrabniaczu przy quasi - ścinaniu technologicznym ;

- 1 - tarcza górna,
- 2 - tarcza dolna,
- 3 - otwór,
- 4 - materiał rozdrabniany,
- d_i - średnica otworu,
- t_{01}, t_{02}, t_{ri} - podziałka,
- h_1, h_2 - grubość tarcz,
- s - szczelina,
- v_1, v_2 - prędkość liniowa.

Natomiast wyznaczenie przekroju rozdrabniania musi opierać się o skuteczne i sprawne procedury matematyczne wykorzystujące istotę rachunku całkowego lub geometrii analitycznej.

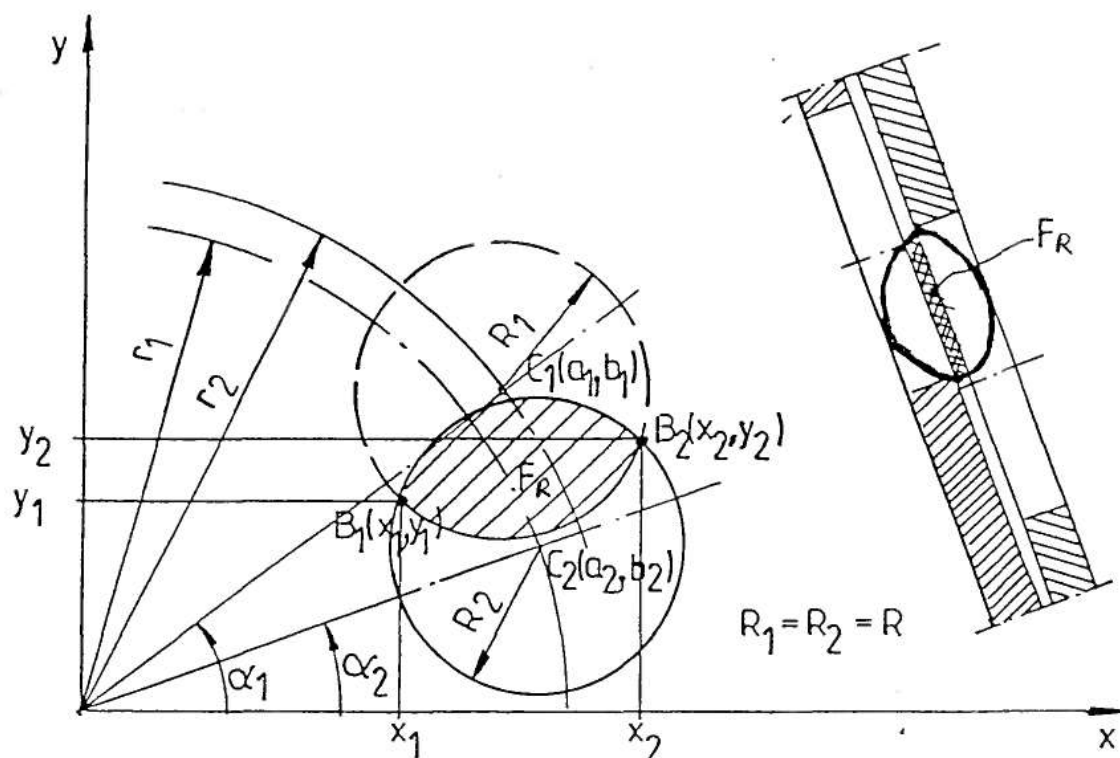
Na podstawie wielostronnych badań można stwierdzić, że sposób obliczania pola przekroju rozdrabniania — w badaniach energetycznej efektywności wielotarczowego rozdrabniania nasion (zależność (27)) — jest ściśle zależny od możliwości operacyjnych komputera. Podczas modelowania powierzchni rozdrabniania korzystano w pierwszym etapie z całkowania chwilowego przekroju rozdrabniania (rys.6):

$$F_R = \int_{x_1}^{x_2} \left\{ b_2 + [R^2 - (x - a_2)^2]^{1/2} \right\} dx - \int_{x_1}^{x_2} \left\{ b_1 - [R^2 - (x - a_1)^2]^{1/2} \right\} dx \quad (16)$$

gdzie:

a_1, a_2, b_1, b_2 - współrzędne środków otworów,

R - promień otworów.



Rys. 6 Pole między krawędziami otworów rozdrabniających

Postępowanie takie jest trudne ze względu na długi czas liczenia powierzchni rozdrabniania dla dużej liczby otworów w tarczach (do 800) i dużej liczby tarcz (do 15).

Postanowiono, dla podwyższenia efektywności obliczeń komputerowych, skorzystać z geometrycznych zależności na obliczanie odcinka koła.

Obliczanie przekroju rozdrabniania F_R między dwoma otworami o współrzędnych środków $C_1(a_1, b_1)$, $C_2(a_2, b_2)$ polega na wyznaczeniu odległości między środkami otworów (rys.6) :

$$\overline{C_1C_2} = \left[(a_2 - a_1)^2 + (b_2 - b_1)^2 \right]^{1/2} \quad (17)$$

przy założeniu, że pole F_R jest sumą dwóch równych odcinków kołowych wyznaczonych przez cięciwę B_1B_2 , a pole odcinka kołowego oblicza się z wzoru :

$$1/2 F_R = 1/2 (\alpha - \sin \alpha) \cdot R^2 \quad (18)$$

gdzie:

α - jest kątem środkowym $\angle B_1C_2B_2 = \angle B_2C_1B_1$

zagadnienie sprowadzono do wyznaczenia chwilowego kąta środkowego.

Dla obliczenia $\sin \alpha$ przyjmuje się, że pole trójkąta $B_1C_1B_2$ jest równe $1/2 B_1B_2 (C_1C_2/2) = R^2 \sin \alpha$, ale:

$$\left(B_1B_2/2\right)^2 + \left(C_1C_2/2\right)^2 = R^2 \quad (19)$$

stąd

$$\left(B_1B_2/2\right) = \left[R^2 - \left(C_1C_2/2\right)^2\right]^{1/2} \quad (20)$$

i dla $\overline{C_1C_2} = w$

otrzymano:

$$\begin{aligned} R^2 \cdot \sin \alpha &= \left[R^2 - (w/2)^2\right]^{1/2} \cdot w/4 \\ \sin \alpha &= \frac{w}{(4 \cdot R^2)} \cdot \left[R^2 - (w/2)^2\right]^{1/2} \\ \sin \alpha &= \frac{w}{(4 \cdot R)} \cdot \left[1 - (w/2R)^2\right]^{1/2} = A \end{aligned} \quad (21)$$

Dla obliczenia kąta α korzystano z rombu $B_1C_1B_2C_2$ i wtedy :

$$\overline{C_1C_2} = 2 R \cdot \cos \alpha/2$$

stąd:

$$\alpha = 2 \arccos (w/2 R) \quad (22)$$

ponieważ w programie TURBO PASCAL można łatwo i szybko obliczyć wartości funkcji (arc tg) więc:

$$\alpha = 2 \arctg \left\{ \left[1 - (w/2 R)^2\right]^{1/2} / (w/2 R) \right\} = B \quad (23)$$

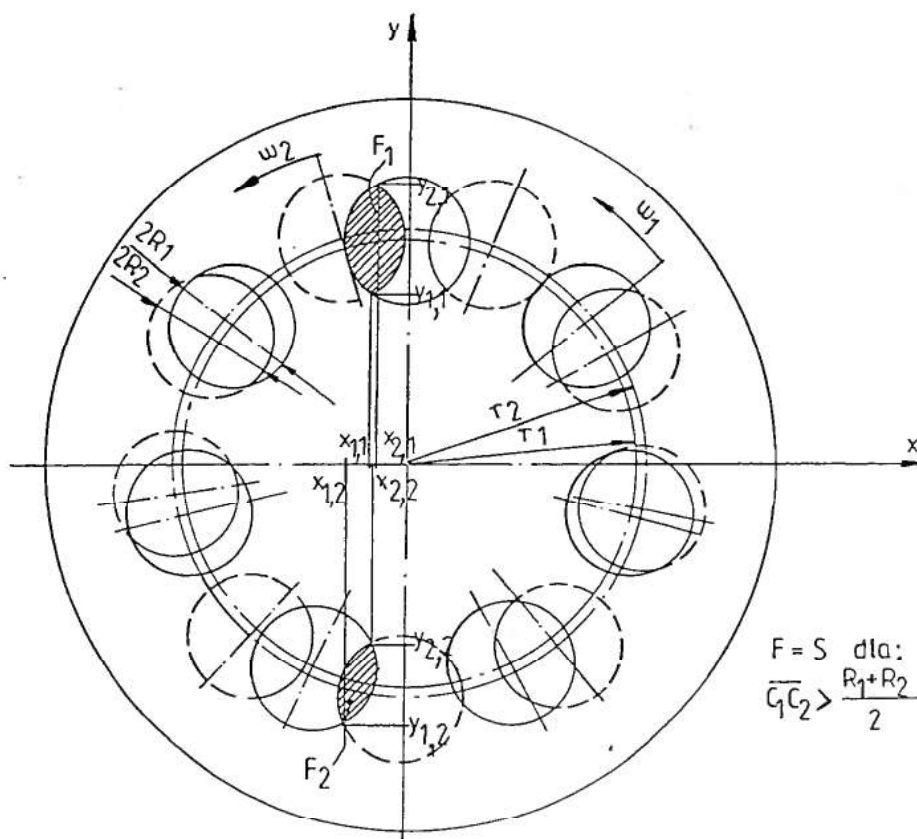
W ten sposób zależność (18) otrzymuje postać:

$$F_R = (B - A) \cdot R^2 \quad (24)$$

jest to pole przekroju rozdrabniania dla dwóch otworów znajdujących się w sąsiednich tarczach i spełniających warunek :

$$R < \overline{C_1C_2} < 2 R \quad (25)$$

Chwilowo w sąsiednich tarczach, w których znajduje się większa liczba otworów, może znajdować się więcej par otworów, które spełniają warunek (25). Na rysunku przykładowo pokazano efektywną powierzchnię rozdrabniania dla dwóch tarcz (rys.7).



Rys. 7 Efektywna powierzchnia rozdrabniania dla dwóch tarcz

Dla obliczonej powierzchni rozdrabniania wyznaczono przekrój rozdrabniania zgodnie z założeniami zawartymi w pracy [50]. W pierwszej kolejności wprowadzając do obliczeń współczynnik wypełnienia obliczonej powierzchni ziaren. Następnie dokonując modyfikacji wskaźnikiem korygującym, który obejmuje układ wzajemny (tarcza – ziarno) kształtów ziarna i relacji między łuską i bielmem.

Tablica 4

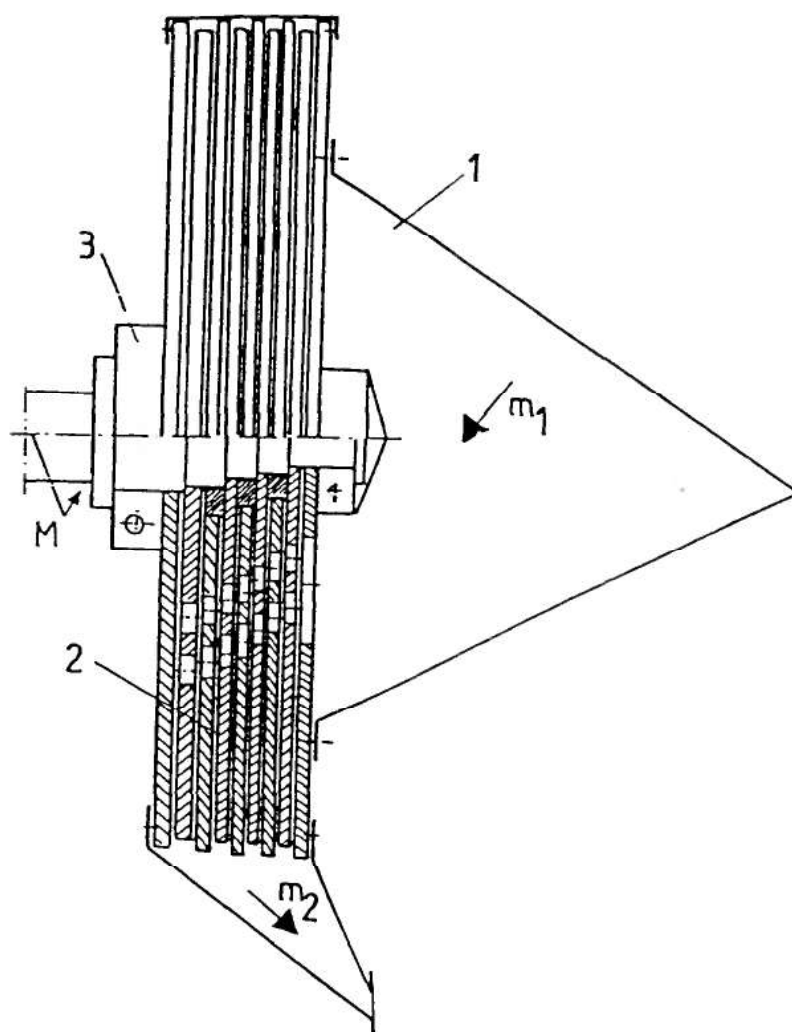
Zmienność cech konstrukcyjnych rozdrabniacza wielotarczowego w obliczeniach symulacyjnych

Lp	Cecha konstrukcyjna		Zakres zmienności
1	Rodzaj elementu rozdrabniającego	t	tarcza z otworami
2	Liczba tarcz	l.t.	3...7
3	Liczba rzędów otworów w tarczy	l.rz.	2...5
4	Liczba otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy	l.otw.	2...13
5	Promień rozmieszczenia otworów w pierwszej tarczy	r	0,060 m
6	Moc silnika	Ns	1,5 kW
7	Sprawność silnika	ηs	0,8
8	Sprawność przekładni	ηp	0,8
9	Rodzaj przekładni	Pp	pasowa

Wyznaczony przekrój rozdrabniania wprowadzono do klasycznego wzoru Hooke'a wraz z danymi liczbowymi o średnich naprężeniach z badań wytrzymałościowych i uzyskano średnie opory rozdrabniania przy quasi - ścinaniu.

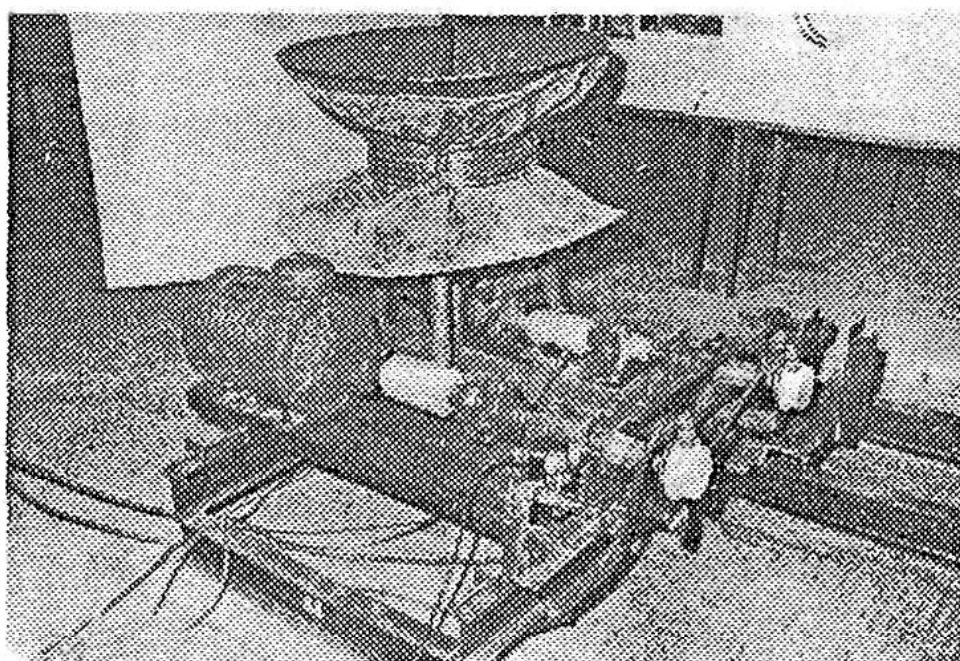
3.3. Rozdrabniacz

Istota rozdrabniacza wielotarczowego do materiałów ziarnistych polega na wykorzystaniu zjawisk opisanych w modelu quasi - ścinania i na tym, że rozdrabniacz składa się z zespołu tarcz roboczych osadzonych współosiowo na wale (rys.8), przy czym w tarczach są otwory z krawędziami rozdrabniającymi, rozmieszczone na średnicach narastających od wejścia do wyjścia materiału z przestrzeni rozdrabniania, a różnica prędkości między sąsiednimi tarczami jest prędkością rozdrabniania [50].

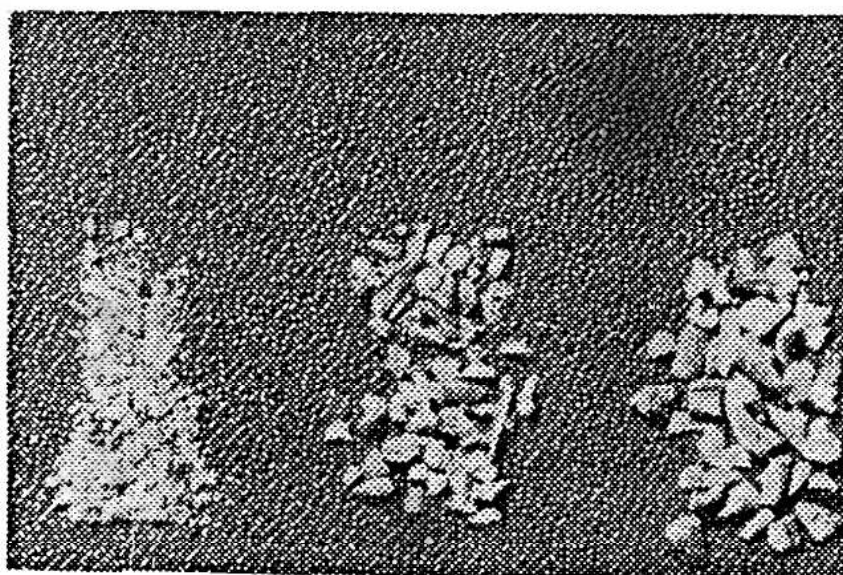


Rys. 8 Schemat konstrukcyjny rozdrabniacza wielotarczowego

- 1 - kosz zasypowy,
- 2 - pakiet tarcz roboczych,
- 3 - wał ustalający
- m_1 - masa wsadu,
- m - strumień masy produktu rozdrabniania,
- M - moment obrotowy



Rys. 9 Model techniczny rozdrabniacza wielotarczowego na stanowisku badawczym własnej koncepcji



$d < 0,5$

$0,5 < d < 1,5$

$d > 1,5$

Rys. 10 Produkt rozdrabniania w postaci trzech frakcji wymiarowych

Na rys.9 podano model techniczny maszyny wielotarczowej, służącej do rozdrabniania na zasadzie quasi - ścinania technologicznego. Produkt takiego rozdrabniania podzielony na trzy frakcje wymiarowe pokazano na rys.10.

W tablicy 5 podano zakres zmienności cech konstrukcyjnych elementów rozdrabniacza wielotarczowego w eksperymencie fizycznym.

Tablica 5

Cechy konstrukcyjne elementów rozdrabniacza wielotarczowego i ich zakres zmienności

Lp	Cecha konstrukcyjna		Zakres badany
1	Grubość tarcz	h_i	10 mm
2	Szczelina między tarczami	s_i	0,8 mm - 2,4 mm
3	Średnica otworów	d_i	15 mm
4	Kąt krawędzi otworów	γ_i	90°
5	Podziałka obwodowa	t_o	25 mm
6	Podziałka promieniowa	t_r	25 mm
7	Chropowatość	R_a	$10 \mu\text{m}$
8	Średnica zewnętrzna tarcz	D_z	250 mm
9	Średnica rozmieszczenia otworów w tarczy	D_r	92,6 - 226 mm
10	Liczba tarcz	l.t.	2 - 13 szt
11	Rodzaj ruchu		obrotowy
12	Kąt osi obrotu tarcz roboczych		$\pi / 2$
13	Zasilanie materiałem		stabilizowane
14	Liczba otworów w tarczy	l.o.	2 - 44 szt

3.4. Materiał rozdrabniany

Do prób rozdrabniania w rozdrabniaczu wielotarczowym zastosowano pszenżyto ozime Largo, ze zbiorów 1989. Wilgotność ziarna zawierała się w dopuszczalnym do rozdrabniania przedziale (12 – 14%) [69].

Do prób symulacyjnych przyjęto z literatury [50] wskaźniki wytrzymałości ziarna następujących odmian zbóż:

- żyto ozime Dańkowskie Złote,
- pszenica ozima Dana,
- jęczmień jary Gryf,
- owies jary Boruta.

W tablicy nr 6 podano cechy charakteryzujące materiał badany.

Tablica 6

Charakterystyka materiału ziarnistego

Rodzaj ziarna	Masa 1000 ziaren g	Gęstość kg/m ³	Stopień czystości %	Sucha masa %	Popiół %	Wilgotność %	Średnica zredukowana mm
Pszenżyto	36,8	1220	98,0	88,1	1,8	12,8	4,02
Żyto	46,9	1225	98,5	86,1	2,0	12,8	4,18
Pszenica	37,6	1210	98,0	87,4	1,9	12,9	3,90
Jęczmień	45,5	1196	97,0	86,6	3,0	12,9	4,17
Owies	19,3	1102	96,8	87,0	3,1	13,1	3,21

3.5. Proces rozdrabniania

Proces rozdrabniania w rozdrabniaczach wielotarczowych realizowany jest przy prędkości liniowej krawędzi tarczy rozdrabniającej około 1 m/s, natomiast materiał rozdrabniany przebywa ciągle w przestrzeni skrawania do chwili osiągnięcia oczekiwanych wymiarów.

Proces rozdrabniania maszynowego realizowano na przykładzie rozdrabniacza o postaci zespołu roboczego jak na rys.8. Masę ziarna m_1 wprowadzano przez otwór w płycie stałej, po rozdrobnieniu uwalniano produkt m przez szczelinę między tarczami lub po przejściu poziomym przez pakiet tarcz z otworami. W tablicy nr 7 podano zakres zmienności cech ruchu rozdrabniacza wielotarczowego w eksperymencie fizycznym.

Tablica 7

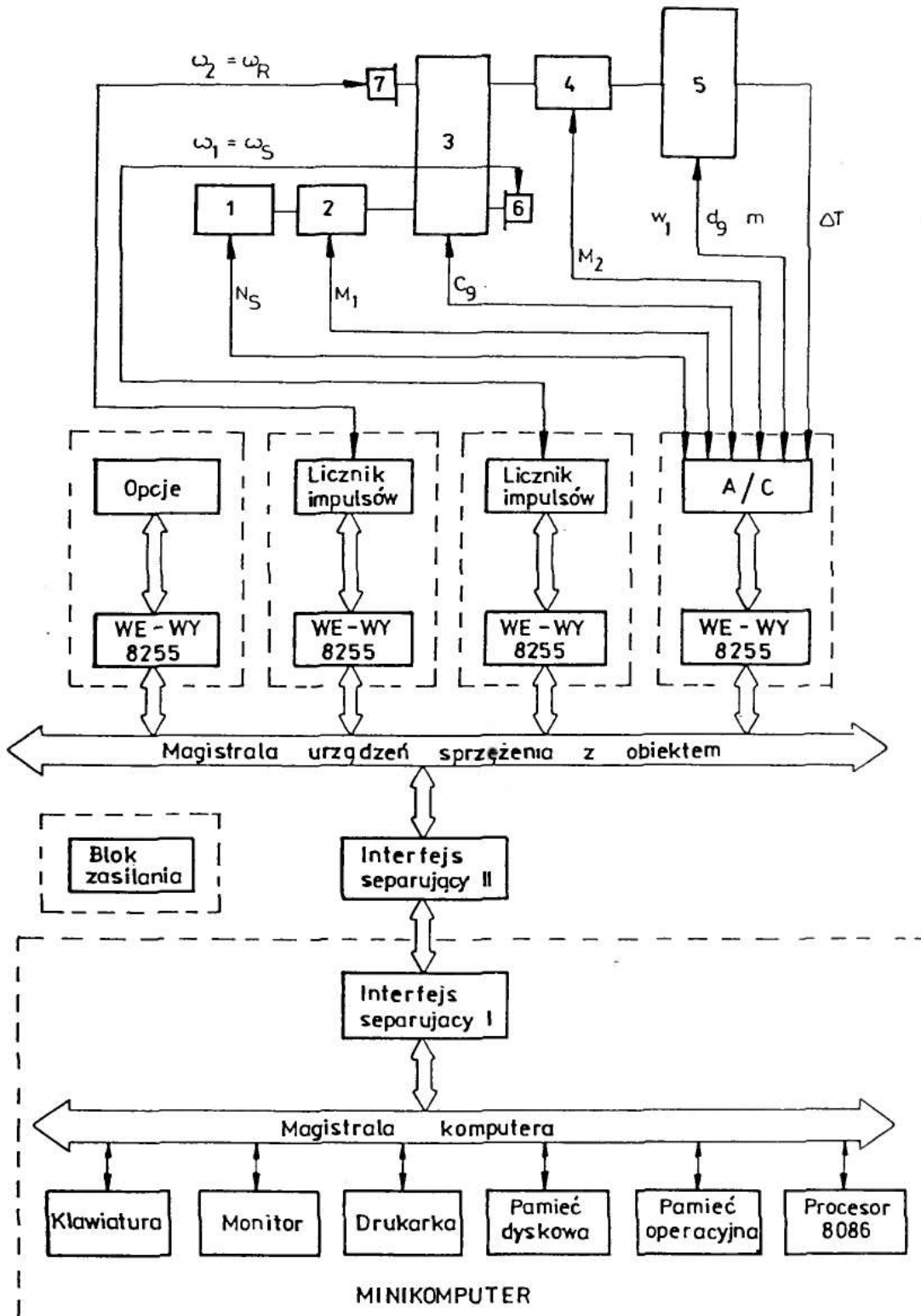
Cechy ruchu układu rozdrabniacza wielotarczowego i ich zakres zmienności

Lp	Parametr	Zakres zmienności
1	Prędkość liniowa otworów w tarczach v_i	0...15,6 m/s
2	Różnica prędkości między tarczami $\Delta\omega_i$	0...157,8 rad/s
3	Nierównomierność kinematyczna Δ_k	2,2...16,9 %
4	Nierównomierność dynamiczna Δ_d	1,95...32,8 %
5	Nierównomierność ruchu Δ_r	3,33...54,4 %
6	Sterowanie prędkością wału rozdrabniacza b	bezstopniowy
7	Przepływ masy przez rozdrabniacz	szczelinowy
8	Szczelina zasilająca F_z	0...0,067 m ²
9	Kierunek obrotów	współbieżny, przeciwbieżny
10	Odbiór produktu	okresowy, ciągły
11	Masa rozdrobnionego ziarna m	48000 kg
12	Łączny czas użytkowania rozdrabniacza t	ponad 1300 h
13	Łączny czas użytkowania układu napędowego t	2700 h

3.6. Stanowisko badawcze

3.6.1. Układ pomiarowy

Stanowisko badawcze służy do identyfikacji danych o chwilowych kątach obrotu, prędkościach, przyspieszeniach, strumieniach masy, przyrostach temperatury, momentach i siłach rozdrabniania.



Rys. 11 Struktura i elementy techniki pomiarowej PSI PC-IBM

Schemat blokowy i relacje powiązań na stanowisku badawczym pokazano na rys.11.

- 1 - silnik,
- 2,4 - momentomierz,
- 3 - przekładnia,
- 5 - rozdrabniacz,
- 6,7 - przetwornik obrotowo - impulsowy

Stanowisko badawcze składa się z (rys.11) :

- silnika prądu stałego 1 z tyrystorowym układem regulacji prędkości obrotowej ,
- momentomierza indukcyjnego 2 do pomiaru momentu obrotowego M_1 ,
- przekładni z pasem zębatym 3,
- momentomierza indukcyjnego 4 do pomiaru momentu obrotowego M_2 ,
- wielotarczowego rozdrabniacza nasion 5,
- przetworników impulsowych 6,7 kąta ruchu.

Silnik elektryczny 1 napędza poprzez momentomierz wejściowy 2, przekładnię 3 i momentomierz oporów rozdrabniania 4 rozdrabniacz wielotarczowy 5. Na wale wejściowym i wyjściowym przekładni 3 znajdują się przetworniki obrotowo - impulsowe kąta ruchu 6, 7.

Sterowanie, przetwarzanie sygnałów, reprezentacja wyników realizowane są za pomocą pomiarowego systemu informacyjnego PSI rys.11.

3.6.2. Technika pomiaru wskaźników modelu

System pomiarowy jest zbiorem środków technicznych podporządkowanych wspólnemu celowi i ogólnemu algorytmowi działania, przeznaczony do automatycznego uzyskiwania informacji bezpośrednio z obiektu w celu przekształcenia, pomiaru, przetworzenia, utrwalenia i przedstawienia w formie dostosowanej do wykorzystania przez człowieka oraz dla wprowadzenia do zautomatyzowanego urządzenia sterującego [151].

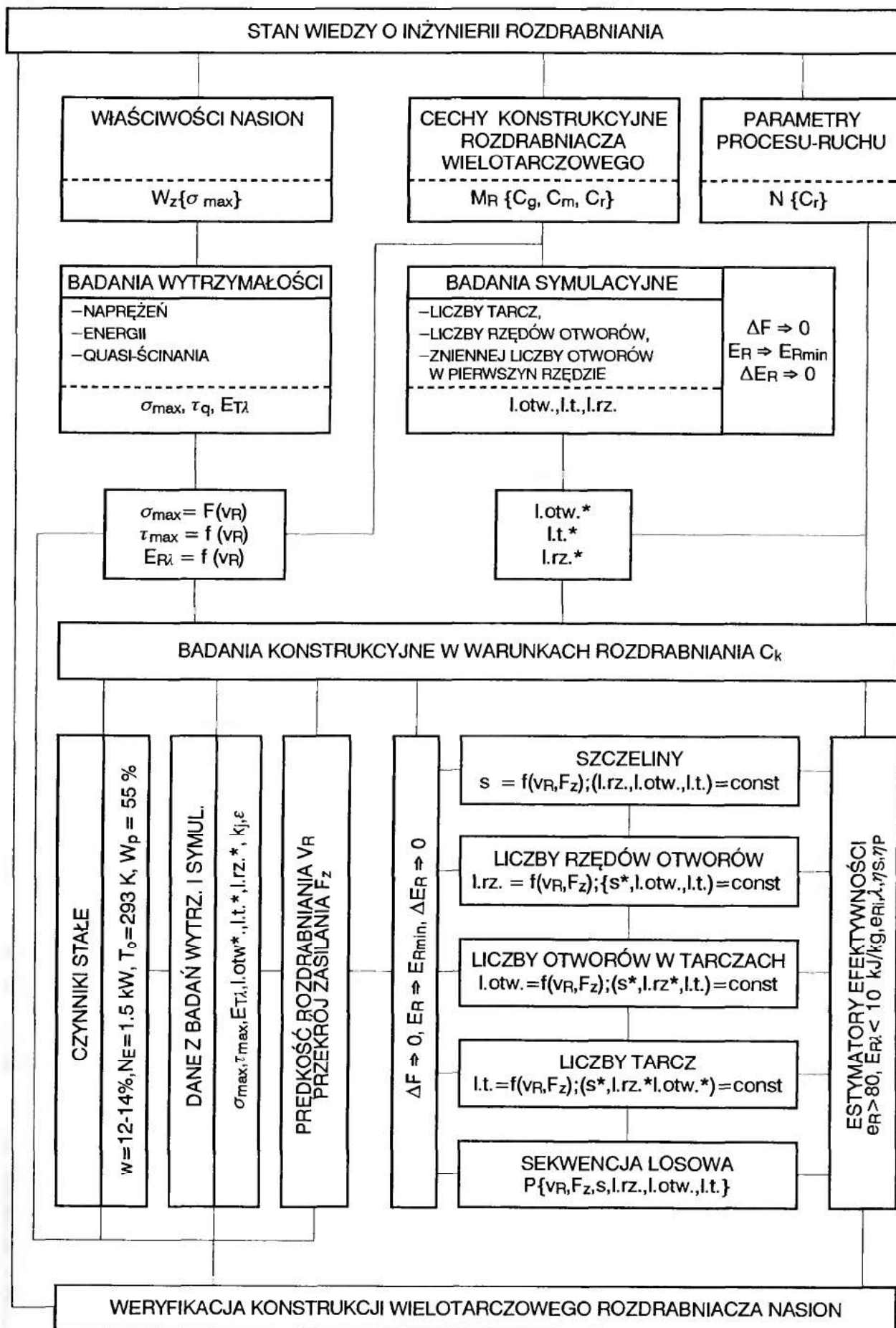
Technika pomiaru systemem pomiarowym PSI wspomaganym komputerem klasy IBM jest nowoczesnym sposobem postępowania badawczego [8, 9, 10, 11, 24, 50]. Algorytm postępowania badawczego pokazano na rys.12.

System ten umożliwia zbieranie danych pochodzących od:

- dwóch przetworników momentu obrotowego M_1 i M_2 , lub siły rozdrabniającej PR (na stanowisku wytrzymałościowym),
- trzech przetworników strumienia masy \dot{m}_{1-3} — do określenia natężenia przepływu masy,
- przetwornika przyrostu temperatury produktu ΔT ,
- indentyfikatora wielkości cząsteczek d_g ,
- rejestratora wybranych cech konstrukcyjnych - głównie geometrycznych C_g - układu technicznego lub wybranych właściwości materiału ziarnistego,
- co najmniej dwóch przetworników obrotowo - impulsowych typu CPPC do określania składników charakterystyk ruchowych.

Parametry sygnałów pobieranych z CPPC :

- sygnał impulsów o amplitudzie 12 V,



Rys. 12 Algorytm postępowania badawczego

- maksymalna częstotliwość pracy 40 kHz, co daje możliwość pomiaru prędkości obrotowej do 5000 1/min (525 rad/s),
- 250 impulsów na obrót (z możliwością 1000 imp/obr),

Parametry rejestratora masy usypowej \dot{m} (dm/dt) :

- przetwornik przemieszczeń liniowych o błędzie liniowości $< 1\%$,
- wzmacniacz napięciowy o napięciu wyjściowym $+2, +10$ V,

Pozostałe przetworniki i rejestratory przystosowane są do pracy z tensometrycznym mostkiem dynamicznym (np. TDA-6) lub przetwornikami wskaźnikowymi (np. WT-1) o następujących parametrach sygnałów wejściowych :

- napięcie w przedziale $+ 2$ V,
- maksymalna częstotliwość sygnału 300 Hz.

Częstotliwość próbkowania sygnałów pomiarowych można zmieniać w zakresie od kilkudziesięciu Hz do 300 Hz. Czas pomiaru (zależny od częstotliwości) od $10 \cdot 10^{-3}$ s do kilku sekund.

3.6.3. Rejestracja i przetwarzanie danych

System umożliwia wykonanie i zapamiętanie 99 doświadczeń. Każde doświadczenie może składać się z przeszło 400 pomiarów. Jeden pomiar to 100 realizacji i około 1500 bajtów pamięci dyskowej. Każde doświadczenie może być słownie opisane w 4 wierszach po 50 znaków.

Rejestracja sygnałów pobieranych z czujników obiektowych odbywa się w cyklu automatycznym w pamięci dyskowej. Pierwsze przetwarzanie następuje podczas rozkodowania postaci cyfrowej sygnału zarejestrowanego w pamięci dyskowej na wartość liczbową wskaźnika opisującego badaną zmienną. Następnie tak przygotowane wartości zmiennych mogą być przekazane do nowego lub innego pliku, drukarki lub na monitor komputera.

Zasadnicze przetwarzanie danych dotyczy wyznaczania wartości liczbowej 16 zdefiniowanych wskaźników materiału rozdrabnianego, cech rozdrabniacza i właściwości procesu rozdrabniania.

Przetwarzanie danych odbywa się również dla potrzeb tabelarycznej i graficznej prezentacji wyników.

Kolejne przetwarzanie dotyczy analizy statystycznej wyników badań — polegającej na obliczeniu wartości średniej, odchylenia standardowego przy współpracy z standardowymi procedurami statystyki matematycznej ; analizy merytorycznej wyników — polegającej na przekształceniu funkcji obiektu badań w jego model matematyczny, a w dalszej kolejności estymacji.

3.7. Miejsce przeprowadzenia badań

Zasadniczą część badań zrealizowano na Wydziale Mechanicznym ATR w Bydgoszczy w Katedrze Maszyn i Pojazdów Rolniczych. Badania wskaźników efektywności energetycznej nasion zbóż prowadzono przy współpracy Katedry Żywienia Zwierząt i Gospodarki Paszowej Wydziału Zootechnicznego ATR w Bydgoszczy.

Rozdział 4.

Metodyka badań własnych

4.1. Uwagi wstępne

Metodyka badań konstrukcyjnych to zbiór sposobów mających na celu wyznaczenie zależności funkcjonalnych między wielkościami charakteryzującymi obiekt badań (wyznaczenie wartości wielkości) [127].

Obiektem badań jest konstrukcja układu funkcjonalnego i napędowego rozdrabniacza wielotarczowego weryfikowana w procesie rozdrabniania wskaźnikami energochłonności i innymi wskaźnikami procesu.

Metodyka obejmuje całkowicie lub częściowo następujące zagadnienia :

- modelowanie konstrukcji zespołu rozdrabniającego i napędowego,
- badanie efektywnościowych charakterystyk ruchowych rozdrabniacza dla ustalonego materiału,
- planowanie i realizację doświadczeń,
- analizę merytoryczną i statystyczną wyników.

4.2. Model obiektu badań

W wielu pracach do oceny energochłonności rozdrabniania nasion stosowano zależność matematyczną [19, 24, 28, 40, 77, 107, 136, 162] :

$$E_R = \frac{P_R \ v_R \ t}{\eta_S \ \eta_P} \quad (26)$$

gdzie:

E_R	- energochłonność rozdrabniania maszynowego, kJ/kg,
P_R	- obciążenie siłą rozdrabniającą, N,
v_R	- prędkość rozdrabniania, m/s,
t	- czas trwania cyklu, s,
η_S	- sprawność silnika, —,
η_P	- sprawność przekładni, —.

Zależność ta jak inne modele spotykane dotąd, nie uwzględnia specyfiki rozdrabniania dla celów paszowych — związanych z podwyższeniem skuteczności żywienia.

Stosując definicję wskaźnika efektywności rozdrabniania^{*} (zależność (Z.2-9)) oraz po podstawieniu do niej danych z zależności (26) oraz określeniu przyrostu energii strawnej śruty w stosunku do strawności całych nasion otrzymuje się :

Ogólny model efektywności energetycznej wielotarczowego rozdrabniania

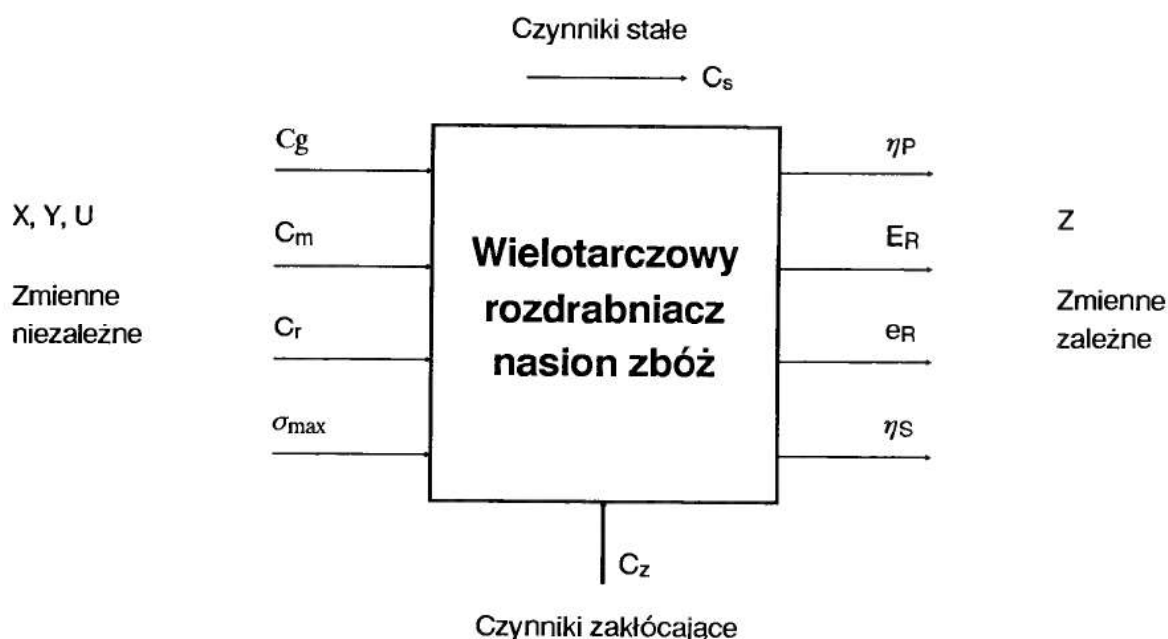
$$e_R = \frac{(\eta_{bio} - \eta_z) E_{brutto} \eta_S \eta_P}{\left(k_j v_R + \sigma_{max} F_R + \epsilon F_R' v_R^2 \right) v_R t M_k} \quad (27)$$

gdzie :

- η_{bio} - wskaźnik strawności produktu rozdrabniania, —, (0,50 - 0,98),
- η_z - wskaźnik strawności całych nasion, —, (0,40 - 0,50),
- E_{brutto} - energia brutto nasion, MJ/kg, (pszenżyto $E_{brutto} = 16,1$ MJ/kg),
- k_j - współczynnik oporów ruchu jałowego, Nsm^{-1} ,
- σ_{max} - naprężenia towarzyszące odkształceniom trwałym, Nm^{-2} ,
- ϵ - współczynnik oporów dynamicznych, Ns^2m^{-4} ,
- M_k - współczynnik krotności rozpatrywanej masy do 1 kg,
- F_R, F_R' - przekrój rozdrabniania, m^2 .

Opisy matematyczne zmiennych podanych w zależności (27), uzyskuje się z badań doświadczalnych lub danych zawartych w tabelach żywienia, charakterystyki silników i przekładni z badań eksploatacyjnych funkcjonalności.

4.3. Zmienne modelu efektywności energetycznej rozdrabniania



Rys. 13 Zmienne, stałe i zakłócenia obiektu badań

* e_R - wskaźnik efektywności energetycznej rozdrabniania jest miarą przyrostu energii strawnej śruty i nakładu energii na rozdrabnianie maszynowe (Z.2-9). Biologiczny wskaźnik rozdrabniania wyraża efekt przyrostu energii strawnej w produkcie rozdrabniania odnoszony do całych nasion i nakład energii mechanicznej poniesiony podczas rozdrabniania na uzyskanie tego przyrostu (Z.1-16)

Podczas planowania doświadczeń przyjęto następujące definicje:

- zbiór zmiennych niezależnych jako:

$$X, \{x_1, x_2, \dots, x_i\}, \{x_k : k = 1, 2, \dots, i\}, \{x_k\} \quad (28)$$

$$Y, \{y_1, y_2, \dots, y_i\}, \{y_k : k = 1, 2, \dots, i\}, \{y_k\} \quad (29)$$

$$U, \{u_1, u_2, \dots, u_i\}, \{u_k : k = 1, 2, \dots, i\}, \{u_k\} \quad (30)$$

gdzie :

- X - zbiór cech konstrukcyjnych zespołu rozdrabniającego MR i jego modelu wytrzymałościowego W_z ,
- Y - zbiór cech konstrukcyjnych zespołu napędowego N,
- U - zbiór relacji w złożonym układzie technicznym U;

- zbiór zmiennych zależnych (związanych z funkcją celu):

$$Z, \{z_1, z_2, \dots, z_w\}, \{z_p : p = 1, 2, \dots, w\}, \{z_p\} \quad (31)$$

gdzie:

- Z - zbiór zmiennych zależnych,
- w - jest liczbą możliwych odpowiedzi – stanów wskaźników jakości rozdrabniania – na kombinatoryczny układ zmiennych niezależnych;

- zbiór stałych:

$$C, \{c_1, c_2, \dots, c_s\} \quad (32)$$

gdzie:

- C - zbiór stałych opisujący wybrane właściwości materiału rozdrabnianego, procesu, pomiaru i otoczenia.

Przyjęto zmodyfikowany program statyczny zdeterminowany kompletny z sekwencją losową typu PS/DK + R [35,36,127] (Rys.12).

Wśród zmiennych niezależnych wyróżniono :

- ♦ cechy ruchu elementów rozdrabniających, warunkujące rozdrabnianie i poziom zużycia energii C_r :
 - prędkość obrotowa, kątowna, liniowa elementu rozdrabniającego w zakresie ($v_R = 0,1$ do $4,8$ m/s), zdefiniowana jako wielkość fizyczna charakteryzująca ruch obrotowy, kątowny i liniowy elementu rozdrabniającego w przestrzeni rozdrabniania wielotarczowego,
- ♦ wytrzymałość materiału rozdrabnianego, wywołująca opór określany za pomocą prób wytrzymałościowych w warunkach modelowych σ_{max} :
 - naprężenia quasi - ścinające, jako wartość liczbową ilorazu siły występującej podczas trwałego rozdzielania ziaren i obliczonego przekroju rozdrabniania,
- ♦ konstrukcja jest to opisywalny matematycznie układ stanów i struktur zespołu rozdrabniającego oraz jego modeli fizycznych C_g, C_m ;
 - cechy konstrukcyjne zespołu rozdrabniającego w obliczeniach symulacyjnych.
 - liczba tarcz w pakiecie zespołu roboczego wielotarczowego rozdrabniacza nasion l.t. ,

- liczba otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy l.otw. ,
- liczba rzędów otworów w pojedynczej tarczy l.rz.,
- współczynnik oporów ruchu jałowego k_j , $Ns\,m^{-1}$,
- naprężenia towarzyszące odkształceniom trwałym podczas rozdrabniania σ_{max} , Nm^{-2} ,
- współczynnik oporów dynamicznych uwzględniający dodatkowe opory od materiału znajdującego się między tarczami elementu rozdrabniającego rozdrabniacza wielotarczowego ϵ , Ns^2m^{-4} ,
- współczynnik krotności rozpatrywanej masy do 1 kg M_k ,
- przekrój rozdrabniania FR , m^2 , (opisany w pkt 4.5),

natomiast w eksperymencie fizycznym:

- szczelina między poszczególnymi tarczami z pakietu tarcz elementu roboczego wielotarczowego rozdrabniacza nasion \bar{s} , mm,
- liczba rzędów otworów w tarczy l.rz.,
- liczba otworów w tarczy l.otw. ,
- liczba tarcz l.t.,
- szczelina zasilaającą rozdrabniacz w nasiona do rozdrabniania F_z , m^2 ,

Przyjęto następujące czynniki stałe materiału, maszyny i procesu:

- nasiona pszenżyta Largo,
- wilgotność materiału 12 - 14%,
- materiał konstrukcyjny stal,
- rodzaj silnika 1,5 kW,
- rodzaj przekładni pasowo - zębata,
- temperatura i wilgotność powietrza (20°C, 55 %),
- wskaźnik strawności produktu rozdrabniania η_{bio} (0,50 - 0,98), —,
- wskaźnik strawności całych nasion η_z (0,40 - 0,50), —,
- energia brutto nasion E_{brutto} , dla pszenżyta 16,1 MJ/kg.

Do wyznaczenia zmiennych zależnych przyjęto :

♦ składowe materiału:

- d_0 - średni wymiar cząstek przed rozdrobnieniem ziarna,
- d_k - średni wymiar cząstek po rozdrobnieniu ziarna,
- d_z - zredukowana średnica ziarna odpowiada średnicy kuli o objętości ziarna,
- $f < 0,5$ - frakcja śruty o wymiarze mniejszym od 0,5 mm,
- $0,5 < f < 1,5$ - frakcja śruty o wymiarze zawartym między 0,5 i 1,5 mm,
- $f > 1,5$ - frakcja śruty większa od 1,5 mm,

♦ składowe ruchu:

- ω_1 - prędkość kątowna wału wejściowego przekładni,
- ω_2 - prędkość kątowna wału wyjściowego przekładni,
- M_1 - moment obrotowy na wale wejściowym przekładni,
- M_2 - moment obrotowy na wale wyjściowym przekładni,

- η_S - sprawność silnika,
- η_P - sprawność przekładni.

przebiegi chwilowe wymienionych charakterystyk pozwalają określić:

- przełożenie kinematyczne przekładni:

$$i_k = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (33)$$

- przełożenie dynamiczne:

$$i_d = \frac{M_2}{M_1} \quad (34)$$

- moc na wejściu przekładni równą mocy na wyjściu silnika:

$$N_1 = N_S = \omega_1 \cdot N_1 \quad (35)$$

- moc na wyjściu przekładni równą mocy na rozdrabnianie:

$$N_2 = N_R = \omega_2 \cdot N_2 \quad (36)$$

♦ wskaźniki ogólnie energetyczne i estymatory wielotarczowego rozdrabniacza nasion:

- \dot{m} - strumień masy zdefiniowany jako przyrost ilości materiału rozdrobnionego w poszczególnych frakcjach wymiarowych w czasie, dm/dt ,
- W_1 - wydajność masowa rozdrabniacza rozumiana jako ilość produktu rozdrabniania w funkcji czasu, kg/h ,
- E_R - energochłonność - jednostkowe zużycie energii - jako ilość energii potrzebnej do wyprodukowania jednego kilograma produktu spełniającego kryteria rozdrobnienia, kJ/kg ,
- e_R - wskaźnik efektywności energetycznej rozdrabniania (pkt.4.2), –.

Na podstawie powyższej klasyfikacji zmiennych przyjęto schemat badań (rys.12, rys.13), uwzględniający również czynniki zakłócające, które występowały w eksperymencie fizycznym na skutek niedoskonałości aparatury i błędów odczytu.

4.4. Modelowanie quasi - ścinania w warunkach maszyny wytrzymałościowej

Modele wytrzymałościowe przedstawione na rys.3 i rys.4 służą do analizy obciążeń i odkształceń nasion w warunkach maszyny wytrzymałościowej i rozdrabniacza. Analiza wytrzymałościowa prowadzona jest z uwzględnieniem złożoności różnych oddziaływań. Jak wiadomo, realizacja czystego ścinania jest technicznie niemożliwa. W przypadku modelu płytowego z otworami – występuje przyrost momentu gnącego w funkcji grubości płyt (h_1, h_2, h_3 - rys.3). Nie ma więc – wykluczając pojedyncze przekroje, w których wartość momentu gnącego jest równa zero – ścinania ziarna bez jego równoczesnego zginania oraz – zakładając, że przekrój ziarna ulega przesunięciu – skręcania. Stąd sposób rozdrabniania podobny do ścinania technicznego nazwano quasi - ścinaniem technologicznym.

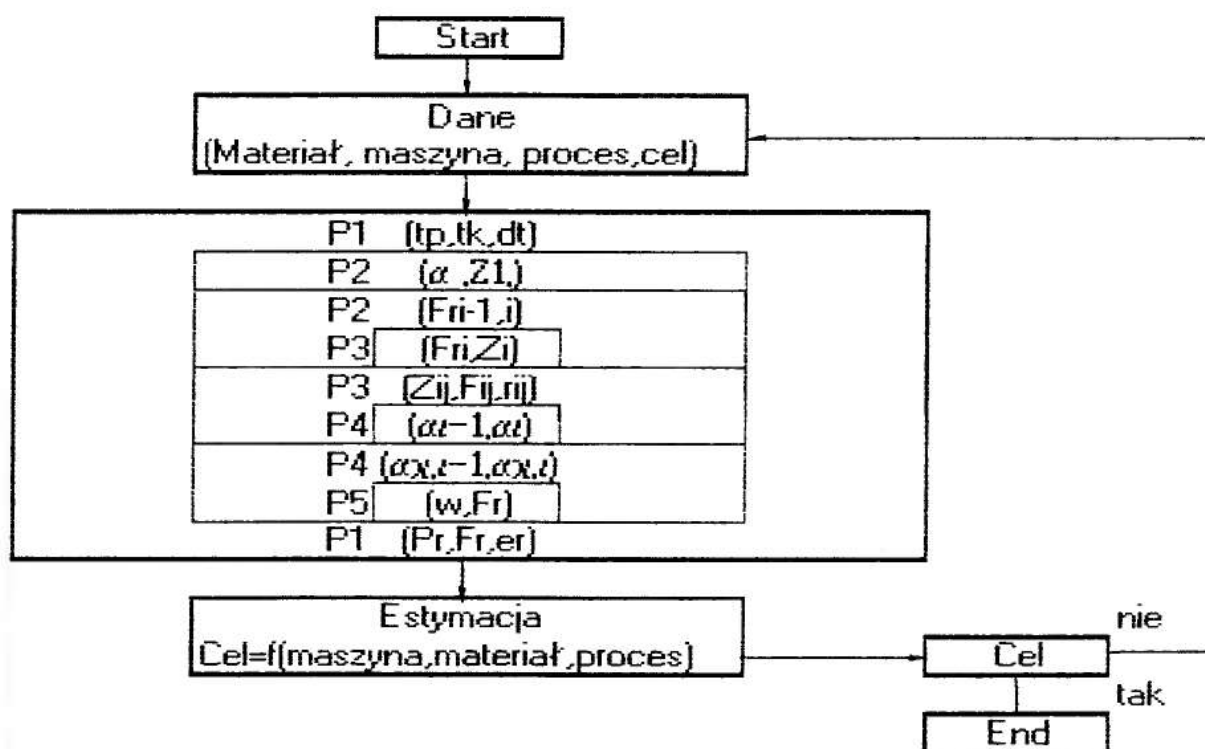
W programie badań obciążeń rozdrabniających wyróżniono : modelowanie fizyczne quasi - ścinania, ściskanie jako model rozdrabniania bijakowego, zmiany prędkości elementu rozdrabniającego.

Praca rozdrabniania wyznaczana jest na podstawie całkowania przebiegów z prób wytrzymałościowych lub – w przypadku rozdrabniania maszynowego – przebiegów rzeczywistych charakterystyk ruchowych maszyny za pomocą systemu pomiarowego PSI.

4.5. Obliczanie przekroju i oporów rozdrabniania wielotarczowego

Rozdrabniacze wielotarczowe należą do tej grupy nielicznych rozdrabniaczy, dla których istnieje możliwość obliczenia chwilowej powierzchni rozdrabniania.

Program badań obejmował obliczenia symulacyjne przekroju rozdrabniania i oporów rozdrabniania i na podstawie tych obliczeń podejmowano decyzje o rozwiązaniu konstrukcyjnym rozdrabniacza, który wykorzystano do dalszych badań fizycznych rys 14.



Rys. 14 Schemat blokowy

Obliczenia symulacyjne przekroju oporów i charakterystyk energetycznych rozdrabniania prowadzono według niżej podanych kroków rys.14:

- wczytanie danych o materiale, maszynie, procesie i celu rozdrabniania,
- analiza warunkowa powierzchni rozdrabniania i obliczenia dla zmiennych: czasu, kąta wyróżnionego otworu, liczby tarcz, liczby otworów, liczby rzędów otworów tarczy,
- symulacja obciążeń rozdrabniania P_R , biologicznego wskaźnika rozdrabniania e_R i energochłonności E_R dla zmiennych sprawności, charakterystyk materiału rozdrabnianego, cech konstrukcyjnych rozdrabniacza oraz przedziałów czasu,
- prezentacja i ocena uzyskanych wyników wspomagania konstrukcji.

Dzięki wykorzystaniu zależności geometrycznych skrócono kilkakrotnie czas obliczeń – w stosunku do metody całkowania powierzchniowego nawet do 14 - to krotnie.

Na rys.15, pokazano menu główne oraz sposób wprowadzania danych o materiale, maszynie i procesie do procedury Test2, natomiast w Tablicy 8 przedstawiono dane z obliczeń symulacyjnych.

SYMULACJA PRZESKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA			
DANE	OBLICZENIA	WYNIKI	KONIEC
Material			
Maszyna			
Proces			
	Material		
	sigma		
	Eb		
	eta_Big	(pz) :	1.1884
	eta_Z	(p) :	0.7665
		(z) :	1.2643
		(o) :	3.9946
		(j) :	1.2607

SYMULACJA PRZESKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA			
DANE	OBLICZENIA	WYNIKI	KONIEC
Material			
Maszyna			
Proces			
	Maszyna		
	r	0.0075	
	l.t.	7	
	l.rz.	2	
	l.otw.	9	
	r0	0.060	
	da1	2	
	dr1	0.030	
	da2	2	
	dr2	0.025	
	eta_s	0.80	
	eta_p	0.80	

SYMULACJA PRZESKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA			
DANE	OBLICZENIA	WYNIKI	KONIEC
Material			
Maszyna			
Proces			
	Proces		
	Czas		
	w0	8.00	
	dw	8.00	tp 0.0000
	kj	3.2286	tk 0.0100
	vr	0.1900	dt 0.0005
	eps	8.9800	
	kd	8.6760	
	DeltaF		

Rys. 15 Sposób wprowadzania danych do procedury Test2 - obliczenia symulacyjne

WYDZIAŁ MECHANICZNY A T R Bydgoszcz					CPBR – 10.17/II				
Obiekt badań								OB	
1	P J Z 0	2	P J Z 0	3	P J Z 0	4	P J Z 0		
Model obciążenia								MO	
CS	P J Z 0	CZ	P J Z 0	CI	P J Z 0	CN	P J Z 0		
Warunki badań: <ul style="list-style-type: none"> - temperatura otoczenia: °C K - wilgotność względna otoczenia: % - wilgotność względna ziarna: % 									
Aparatura									
Obciążenia:									
zakres:			czas:			prędkość posuwu:			
F			t			V _p			
Rejestracja: przetożenie									
Wyniki pomiarów:									
L _p	F	Δl	l	σ	L _p	F	Δl	l	σ
1					6				
2					7				
3					8				
4					9				
5					10				
Uwagi dotyczące pękania:									

Rys. 16 Karta informacyjna badań wytrzymałościowych nasion

4.6. Zapis i dokumentacja wyników

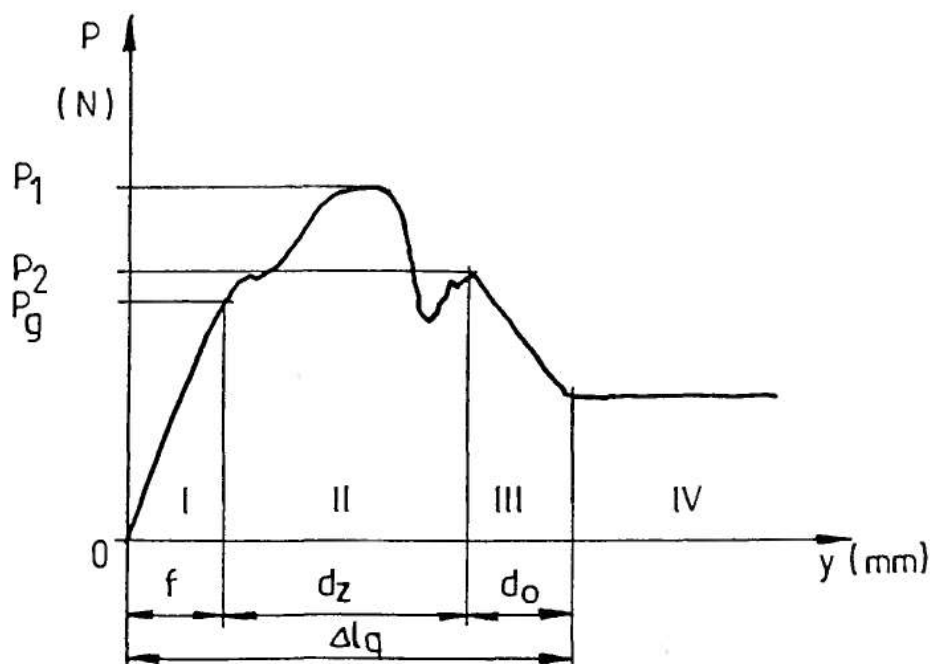
Rejestrację wyników prowadzono z wykorzystaniem papierowych (teblice i wykresy), magnetycznych (dysk elastyczny i twardy) nośników informacji.

4.6.1. Dane z badań wytrzymałościowych

W karcie informacyjnej badań rys.16 oprócz danych identyfikujących problem badawczy oraz wykonawcę wydzielono miejsce na dane o :

- obiekcie badań (ziarna całe, połówki, ćwiartki),
- modelu obciążenia (ściskanie, quasi - ścinanie),
- warunkach badań,
- parametrach aparatury badawczej (zakresy obciążenia, nastawy wzmocnienia itp.),
- rejestracji (przemieszczeń i obciążeń, wg wykresu wytrzymałościowego rys. 17),
- uwagach dotyczących np. przebiegu pęknięcia (miejsce inicjacji, kierunek rozchodzenia itp.).

W postaci przebiegu wytrzymałościowego, który powstaje podczas prowadzenia prób z quasi - ścinaniem technologicznym, występują charakterystyczne fazy związane z dominującymi zjawiskami.



Rys. 17 Wykres przemieszczeń i obciążeń nasion pszenżyta (15 nasion w przyrządzie wytrzymałościowym)

gdzie :

- faza I zadawania obciążeń zginających; odkształcenie f przy obciążeniu P_g ,
- faza II ścinania na drodze d_z i sile maksymalnej P_{1max} ,
- faza III przemieszczania części odciętych między płaskownikami w końcowej fazie ścinania (rys.4); odkształcenie d_o przy sile P_{2max}
- faza IV wzajemnego oddziaływania kawałków nasion i powierzchni płaskowników.

Tablica 8

TEST 2 - symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800

Eta z 0.500

CECHY MASZYN ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
 liczba tarcz : 7
 liczba rzędów otworów w tarczy : 2
 liczba otworów w 1 tarczy : 9
 promień rozmieszczenia otworów
 w pierwszej tarczy : 0.060 m
 moc silnika : 1.5 kW
 sprawność silnika : 0.80
 rodzaj przekładni : pasowa
 sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 sczas końcowy t_k - 0.01000 skrok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s

warunek rozdrabniania : $c1c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)

sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/mprędkość liniowa krawędzi rozdrab. v_r : 0.1000 m/swspółczynnik oporów dynamicznych ϵ_p : 8.9800 Ns²/m⁴współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12przyrost powierzchni ΔF pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kgpszenica (p) - 0.8300 m²/kgżyto (z) - 0.7600 m²/kgowies (o) - 1.1100 m²/kgjęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

 $\Delta \epsilon$

pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg

pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg

żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg

owies (o) - 4.9500E+6 J/kg

jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica 8

TEST 2 - symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr (pz) N	Pr (p) N	Pr (z) N	Pr (o) N	Pr (j) N
0.0000	0.0005541	79.34	51.29	84.39	265.93	84.15
0.0005	0.0005056	72.43	46.83	77.03	242.69	76.82
0.0010	0.0005055	72.41	46.82	77.01	242.62	76.79
0.0015	0.0005544	79.39	51.32	84.44	266.09	84.20
0.0020	0.0005048	72.31	46.75	76.90	242.28	76.69
0.0025	0.0005545	79.40	51.33	84.45	266.13	84.21
0.0030	0.0005055	72.42	46.82	77.02	242.66	76.80
0.0035	0.0005053	72.39	46.81	76.99	242.56	76.77
0.0040	0.0005539	79.32	51.27	84.36	265.85	84.13
0.0045	0.0005544	79.39	51.32	84.44	266.08	84.20
0.0050	0.0004570	65.49	42.36	69.66	219.38	69.46
0.0055	0.0005057	72.43	46.83	77.04	242.71	76.82
0.0060	0.0005535	79.25	51.23	84.29	265.63	84.05
0.0065	0.0005063	72.53	46.89	77.14	243.03	76.92
0.0070	0.0004569	65.48	42.35	69.64	219.32	69.44
0.0075	0.0005539	79.31	51.27	84.36	265.84	84.12
0.0080	0.0005538	79.30	51.26	84.35	265.80	84.11
0.0085	0.0004569	65.49	42.35	69.65	219.36	69.45
0.0090	0.0005057	72.44	46.84	77.04	242.72	76.82
0.0095	0.0005539	79.31	51.27	84.36	265.84	84.12

fmin= 0.0004569

fmax= 0.0005545

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	553.1 553.5	1707.30 1406.64	0.85 0.70	65.48 79.40	8.7333 8.7257
(p)	808.6 809.7	1816.74 1496.81	0.91 0.75	42.35 51.33	6.0102 6.0021
(z)	520.4 520.9	1663.52 1370.57	0.83 0.69	69.64 84.45	9.0501 9.0428
(o)	118.9 118.9	2429.62 2001.76	1.21 1.00	219.32 266.13	41.6302 41.6194
(j)	535.6 536.0	1641.64 1352.54	0.82 0.68	69.44 84.21	8.9058 8.8985

4.6.2. Dane z obliczeń symulacyjnych

Dane z obliczeń symulacyjnych gromadzono w postaci tabulogramów składających się z dwóch części (tablica 8). Pierwsza część dokumentuje zmienne materiału, maszyny i procesu w zadanych programem wartościach (strona tytułowa). W drugiej części zawarte są dane o chwilowym przekroju i oporach oraz podstawowe wartości kryteriów efektywności energetycznej. W tej części drukowane są wartości ekstremów przekroju, oporów, efektywności energetycznej i krotności próbek.

Zbiory danych z obliczeń symulacyjnych i wyniki badań wstępnych wykorzystano w procesie wyznaczania wskaźnika efektywności energetycznej rozdrabniania (zależność (27) : F_R , k_j , ϵ , P_R) i w analizie cech konstrukcyjnych według pomocniczych kryteriów równomierności i minimalizacji obciążeń.

4.6.3. Dane z badań fizycznych

Dane z badań fizycznych obejmowały, między innymi, zestawienia prędkości kątowej, momentów obrotowych, mocy i sprawności mechanicznej przy wielotarczowym rozdrabnianiu nasion pszenżyta Largo.

Zestawienie wyników wstępnych do wyznaczenia podstawowych charakterystyk strumienia napędowego podano na przykładzie doświadczenia nr 8 (rys.18) i tablicy 9, w której zawarto informacje o chwilowych wartościach:

- momentu obrotowego na wale silnika i przekładni M_1 , Nm,
- momentu obrotowego na wale wyjściowym przekładni i wejściowym rozdrabniacza M_2 , Nm,
- prędkości kątowej wału wejściowego przekładni napędzającej rozdrabniacz ω_1 , rad/s,
- prędkości kątowej wału wyjściowego przekładni i jednocześnie wejściowego rozdrabniacza ω_2 , rad/s,
- mocy w strumieniu napędowym między silnikiem i przekładnią N_1 , W,
- mocy w strumieniu napędowym między przekładnią i rozdrabniaczem N_2 , W,

lub:

- współczynnika sprawności mechanicznej układu napędowego $\eta_{1/2}$, —,

Doswiadczenie numer 8

Opis słowny doswiadczenia

K.Bielinski:Badania energetycznej efektyw.wielotarczowego rozdrabniacza nasion;9 tarcz,pszenżyto w $\approx 12,6\%$, sil. elektr.1,5 kW,przekładnia zębata BANDO, zmienne:predk.rozdr.,zasilanie pszenżytem in.

Moment wejsciowy maksymalny	47.50
Moment wyjsciowy maksymalny	45.50
Czas probkowania w milisekundach	1000
Wykonano	98 pomiarow

Rys. 18 Przykład opisu doświadczenia, strona tytułowa doświadczenia nr. 8

Tablica 9

Lista wskaźników efektywności energetycznej oraz przykładowe wyniki dla siedmiu wskaźników charakterystyk ruchowych

F O R M A T O W A N I E W Y D R U K U

Typ wyniku/kolumny	0	Koniec pracy
1 Moment wejsciov	2 Moment wyjsciov	
3 Predkosc katowa wejsciov	4 Predkosc katowa wyjsciov	
5 Przyspieszenie wejsciov	6 Przyspieszenie wyjsciov	
7 Moc wejsciov	8 Moc wyjsciov	
9 Praca wejsciov	10 Praca wyjsciov	
11 Poslizg	12 Przelozenie kinematyczne	
13 Przelozenie dynamiczne	14 Sprawnosc mechaniczna	
15 Niesprawnosc mechaniczna	16 Liczba porzadkowa	

Nacisnij SPACJE

Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
1	5.236	9.21	77.9	40.21	408.0	370.5	0.908
2	5.610	9.57	77.9	40.21	437.1	384.7	0.880
3	4.862	8.50	77.9	37.70	378.8	320.6	0.846
4	6.358	9.92	77.9	37.70	495.4	374.0	0.755
5	5.236	9.21	77.9	40.21	408.0	370.5	0.908
6	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
7	5.610	9.57	77.9	40.21	437.1	384.7	0.880
8	5.984	9.92	77.9	40.21	466.2	399.0	0.856
9	5.610	9.21	75.4	37.70	423.0	347.3	0.821
10	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
11	5.984	9.21	77.9	37.70	466.2	347.3	0.745
12	5.610	9.21	75.4	40.21	423.0	370.5	0.876
13	6.358	9.92	80.4	37.70	511.4	374.0	0.731
14	5.610	8.50	77.9	40.21	437.1	342.0	0.782
15	5.610	9.21	77.9	40.21	437.1	370.5	0.848
16	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
17	5.610	9.57	75.4	37.70	423.0	360.7	0.853
18	5.236	8.50	80.4	40.21	421.1	342.0	0.812
19	5.236	9.57	77.9	37.70	408.0	360.7	0.884
20	5.610	9.21	75.4	40.21	423.0	370.5	0.876

DOSWIADCZENIE NR 8 POMIAR 8

?? nacisnij dowolny klawisz

Tablica 9

Lista wskaźników efektywności energetycznej oraz przykładowe wyniki dla siedmiu wskaźników charakterystyk ruchowych c.d.

Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
21	5.236	9.57	80.4	37.70	421.1	360.7	0.856
22	5.610	9.57	75.4	40.21	423.0	384.7	0.909
23	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
24	6.358	10.28	80.4	40.21	511.4	413.2	0.808
25	5.984	9.57	75.4	37.70	451.2	360.7	0.799
26	5.236	8.86	77.9	37.70	408.0	333.9	0.819
27	5.984	9.92	75.4	40.21	451.2	399.0	0.884
28	6.358	9.57	75.4	37.70	479.4	360.7	0.752
29	5.236	9.21	77.9	37.70	408.0	347.3	0.851
30	5.610	9.21	80.4	40.21	451.2	370.5	0.821
31	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
32	6.358	9.57	77.9	40.21	495.4	384.7	0.777
33	5.236	9.21	77.9	37.70	408.0	347.3	0.851
34	5.236	8.86	77.9	40.21	408.0	356.2	0.873
35	5.610	9.21	75.4	37.70	423.0	347.3	0.821
36	5.610	9.92	80.4	40.21	451.2	399.0	0.884
37	5.236	8.86	77.9	37.70	408.0	333.9	0.819
38	5.610	9.21	77.9	40.21	437.1	370.5	0.848
39	6.358	9.92	77.9	37.70	495.4	374.0	0.755
40	5.984	9.57	77.9	40.21	466.2	384.7	0.825

DOSWIADCZENIE NR 8 POMIAR 8

?? nacisnij dowolny klawisz

Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
41	6.358	9.57	75.4	37.70	479.4	360.7	0.752
42	5.610	9.21	80.4	40.21	451.2	370.5	0.821
43	5.610	9.21	75.4	37.70	423.0	347.3	0.821
44	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
45	6.358	9.57	75.4	40.21	479.4	384.7	0.802
46	5.610	8.86	77.9	37.70	437.1	333.9	0.764
47	5.984	9.21	80.4	40.21	481.3	370.5	0.770
48	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
49	5.610	9.21	75.4	40.21	423.0	370.5	0.876
50	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
51	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
52	5.610	9.21	75.4	40.21	423.0	370.5	0.876
53	5.610	9.21	80.4	40.21	451.2	370.5	0.821
54	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
55	5.610	9.57	77.9	40.21	437.1	384.7	0.880
56	6.358	10.28	77.9	37.70	495.4	387.4	0.782
57	5.610	9.21	77.9	40.21	437.1	370.5	0.848
58	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
59	5.236	9.21	77.9	40.21	408.0	370.5	0.908
60	6.358	9.92	77.9	37.70	495.4	374.0	0.755

DOSWIADCZENIE NR 8 POMIAR 8

?? nacisnij dowolny klawisz

Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
61	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
62	5.610	9.57	77.9	40.21	437.1	384.7	0.880
63	5.236	9.21	75.4	37.70	394.8	347.3	0.880
64	5.984	9.21	80.4	40.21	481.3	370.5	0.770
65	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
66	5.236	8.86	77.9	40.21	408.0	356.2	0.873
67	5.236	8.86	75.4	37.70	394.8	333.9	0.846

Tablica 9

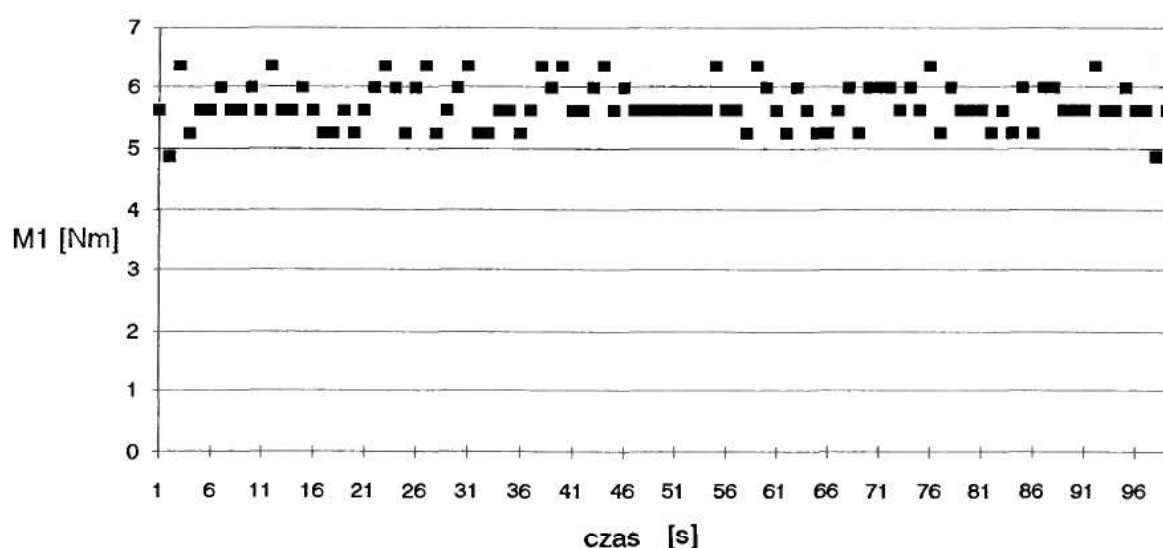
Lista wskaźników efektywności energetycznej oraz przykładowe wyniki dla siedmiu wskaźników charakterystyk ruchowych c.d.

68	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
69	5.984	9.21	77.9	40.21	466.2	370.5	0.795
70	5.236	8.86	75.4	37.70	394.8	333.9	0.846
71	5.984	9.57	80.4	40.21	481.3	384.7	0.799
72	5.984	9.92	77.9	37.70	466.2	374.0	0.802
73	5.984	9.92	77.9	40.21	466.2	399.0	0.856
74	5.610	8.86	75.4	37.70	423.0	333.9	0.709
75	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
76	5.610	9.57	75.4	40.21	423.0	384.7	0.909
77	6.358	10.28	80.4	37.70	511.4	387.4	0.758
78	5.236	8.86	77.9	40.21	408.0	356.2	0.873
79	5.984	9.57	77.9	37.70	466.2	360.7	0.774
80	5.610	9.21	77.9	40.21	437.1	370.5	0.848
DOSWIADCZENIE NR 8 POMIAR 8							
?? naciśnij dowolny klawisz							
Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
81	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
82	5.610	9.21	77.9	40.21	437.1	370.5	0.848
83	5.236	8.50	77.9	40.21	408.0	342.0	0.838
84	5.610	9.92	77.9	37.70	437.1	374.0	0.856
85	5.236	8.86	77.9	37.70	408.0	333.9	0.819
86	5.984	9.57	77.9	40.21	466.2	384.7	0.825
87	5.236	8.86	75.4	37.70	394.8	333.9	0.846
88	5.984	9.92	80.4	40.21	481.3	399.0	0.829
89	5.984	9.57	77.9	40.21	466.2	384.7	0.825
90	5.610	9.21	75.4	37.70	423.0	347.3	0.821
91	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
92	5.610	9.21	77.9	37.70	437.1	347.3	0.795
93	6.358	10.28	75.4	40.21	479.4	413.2	0.862
94	5.610	9.57	80.4	37.70	451.2	360.7	0.799
95	5.610	9.21	77.9	40.21	437.1	370.5	0.848
96	5.984	9.57	77.9	40.21	466.2	384.7	0.825
97	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
98	5.610	9.57	77.9	37.70	437.1	360.7	0.825
99	4.862	8.86	77.9	40.21	378.8	356.2	0.940
100	5.610	9.57	77.9	40.21	437.1	384.7	0.880
DOSWIADCZENIE NR 8 POMIAR 8							
?? naciśnij dowolny klawisz							
WARTOSC SREDNIA							
Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
50	5.696	9.39	77.7	38.88	442.7	364.9	0.826
ODCHYLENIE STANDARDOWE							
Lp	M1	M2	w1	w2	N1	N2	eta1/2
0	0.126	0.08	0.0	0.06	0.1	0.1	0.108

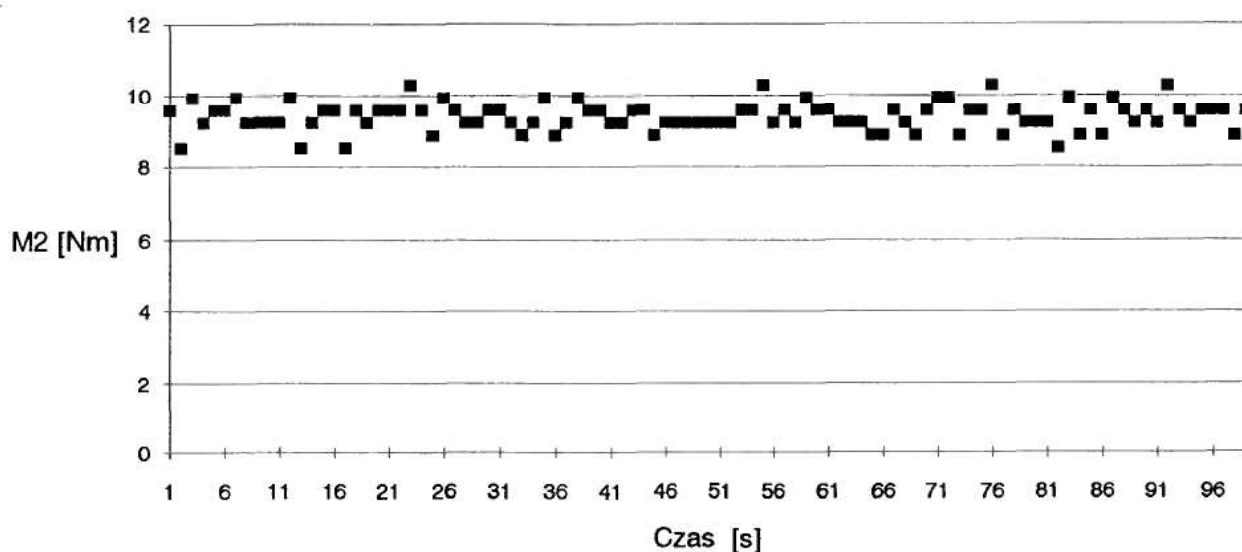
- przełożenia kinematycznego realizowanego przez przekładnię mechaniczną i_k , –,
- przełożenia dynamicznego realizowanego w strumieniu napędowym przekładni mechanicznej i_d , –,
- współczynnika sprawności mechanicznej obiektu badań,
- wartości średnich przebiegów i odchyłeń standardowych.

W tablicy 9 podano przykładowe wyniki w postaci tabelarycznej dla siedmiu wskaźników charakterystyk ruchowych, 100 rejestracji z czasem próbkowania 1 s, ich wartości średnich i odchyłeń standardowych.

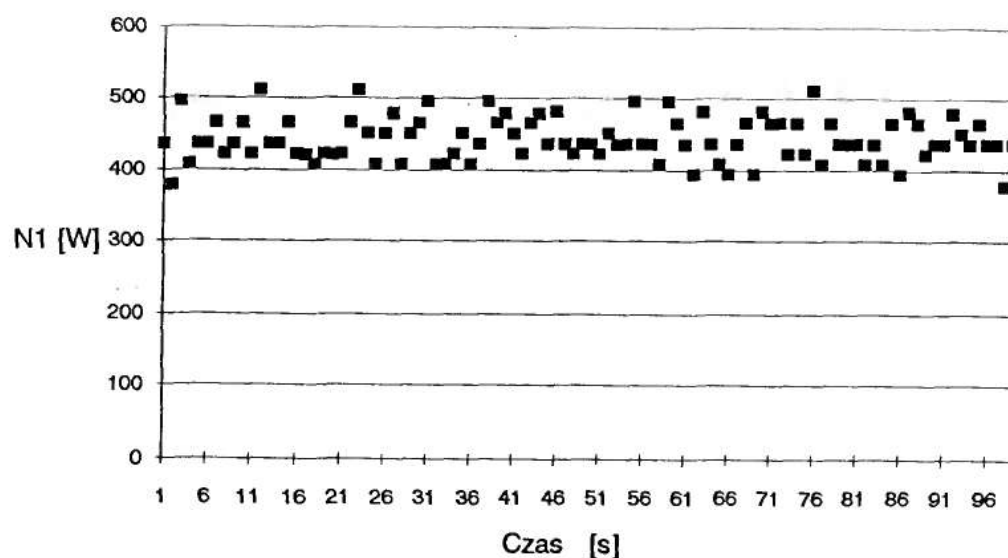
Natomiast na rys.19, rys.20, rys.21, rys.22, rys.23, przedstawiono przykładowe graficzne rejestracje zależności momentu obrotowego i mocy na wale silnika i wale rozdrabniacza oraz sprawności mechanicznej układu funkcjonalnego w zależności od czasu rozdrabniania.



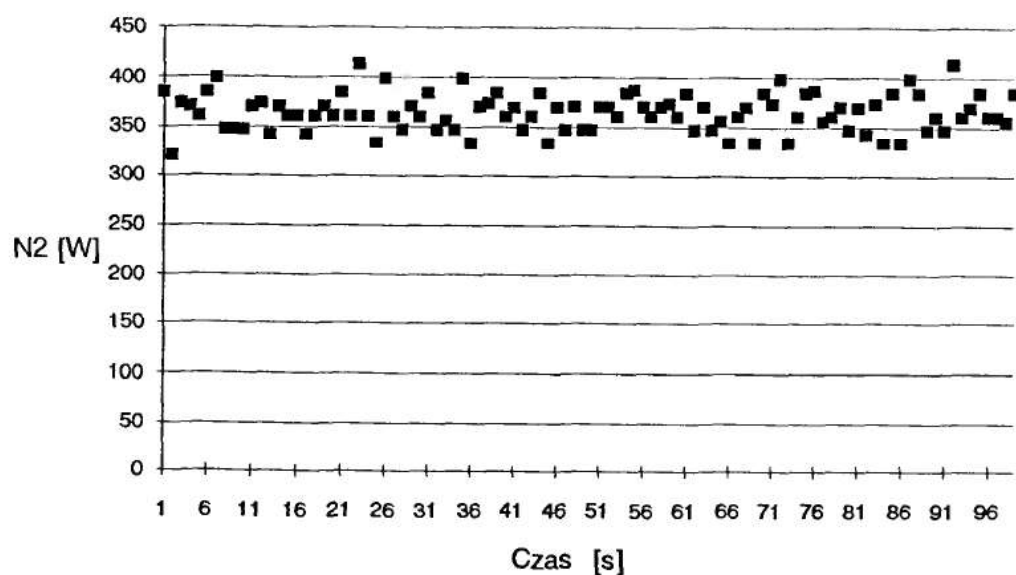
Rys. 19 Moment obrotowy na wale silnika w funkcji czasu; rozdrabniacz wielotarczowy, pszenżyto Largo, prędkość rozdrabniania 1 m/s



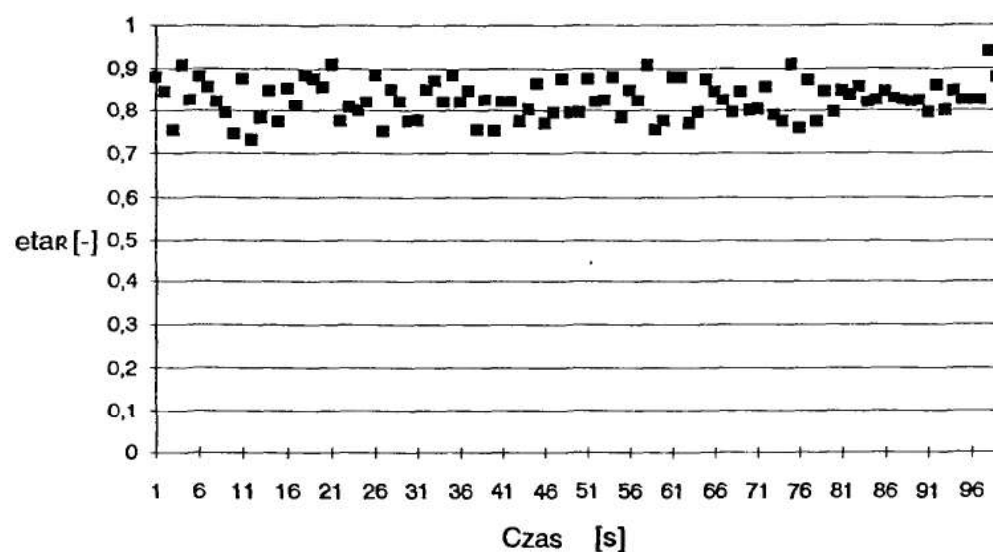
Rys. 20 Moment obrotowy na wale rozdrabniacza w funkcji czasu; rozdrabniacz wielotarczowy, pszenżyto Largo, prędkość rozdrabniania 1 m/s



Rys. 21 Moc na wale silnika w funkcji czasu; rozdrabniacz wielotarczowy, pszenżyto Largo, prędkość rozdrabniania 1 m/s



Rys. 22 Moc na wale rozdrabniacza w funkcji czasu; rozdrabniacz wielotarczowy, pszenżyto Largo, prędkość rozdrabniania 1 m/s



Rys. 23 Sprawność mechaniczna przekładni pasowo - zębatej w funkcji czasu; rozdrabniacz wielotarczowy, pszenżyto Largo, prędkość rozdrabniania 1 m/s

Na kolejnych rysunkach podano przykładowe rejestracje graficzne wyników badań wydajności i jednostkowego zużycia energii przy wielotarczowym rozdrabnianiu nasion pszenżyta Largo.

Wyniki badań wydajności, jednostkowego zużycia energii, przez złożony układ techniczny w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami podano na przykładzie tablicy 10.

Pozostałe wyniki w formie tabelarycznej umieszczono w załączniku Z.5

Tablica 10

Wydajność rozdrabniania wielotarczowego w zależności od szerokości szczeliny między tarczami

si [mm]	W1 [kg/h]						
	seria1	seria2	seria3	seria4	seria5	Srednia	obliczona
0,8	20,65	21,73	22,46	21,57	20,17	21,32	18,123
1,0	25,10	22,68	21,67	23,85	23,70	23,40	24,190
1,2	24,45	26,13	24,56	27,32	28,24	26,14	30,251
1,4	31,23	33,04	30,60	32,14	35,62	32,53	36,305
1,6	43,38	45,53	48,28	46,38	41,85	45,08	42,353
1,8	52,19	51,20	52,74	46,75	50,93	50,76	48,395
2,0	54,94	60,08	56,76	53,86	58,44	56,82	54,430
2,2	58,31	63,22	56,30	63,13	63,29	60,85	60,459
2,4	67,10	64,18	60,80	65,47	62,35	63,98	66,481

Zestawienia w załączniku Z.5 dotyczą szczególnych danych z badań rozdrabniania pszenżyta. Na rys.34 (w rozdziale 5) przedstawiono interpretację graficzną wydajności, na rys.39 jednostkowego zużycia energii, na rys.31, rys.32, rys.33 poszczególnych frakcji produktu rozdrabniania na rys.35 przyrostu temperatury, na rys.36 sprawności rozdrabniania, na rys.37 momentu na wale rozdrabniacza, na rys.38 mocy na wale rozdrabniacza, na rys.40 wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji zmian szerokości szczeliny s przy quasi - ścinaniu technologicznym.

W załączniku Z.3 przedstawiono wyniki pomiarów temperatury nasion pszenżyta w komorze zasypowej i temperatury nasion rozdrobnionych podczas rozdrabniania wielotarczowego w funkcji czasu rozdrabniania 4 kg pszenżyta.

W załączniku Z.6 przedstawiono w zestawieniu porównawczym główne parametry różnych typów rozdrabniaczy bijakowych i rozdrabniacza wielotarczowego ERGOP.

Dokumentacja badań zawiera dokładny opis próby badań wraz z tabelaryczną i graficzną prezentacją wyników.

Informacje dotyczące poszczególnych grup obiektów tj. materiału, maszyny i procesu gromadzone są w postaci zdjęć, zestawień tabelarycznych i wykresów oraz kart informacyjnych z badań.

4.7. Opracowanie wytycznych i zakres analizy wyników

Analizę statystyczną wyników badań prowadzono przy współpracy z standardowymi procedurami statystyki matematycznej takimi jak Statgraphics, Graphpad, Statistica oraz nowoczesnymi arkuszami kalkulacyjnymi takimi jak Excel, QuatroPro. W wyniku tej analizy uzyskano wartości średnie, odchylenia standardowe, postaci regresji prostoliniowej i nieliniowej, współczynniki korelacji i determinacji.

Analiza wyników uwzględnia aspekty:

- statystyczny – umożliwiający otrzymanie funkcji obiektu badań, czyli pewnej zależności aproksymującej wyniki badań,
- merytoryczny – mający na celu przekształcenie funkcji obiektu badań w jego model matematyczny.

Schemat analizy wyników podczas obliczeń symulacyjnych pokazano na rys. 14.

4.8. Estymacja modelu

Dla przyjętych wskaźników i założeń metodycznych, rozwiązanie postawionego zadania konstrukcyjnego polega na uzyskaniu wskaźnika energetycznej efektywności rozdrabniania ziarna zbóż zmierzającego do maksimum (zależność (27)):

$$(x^* \in \Phi) : \left\{ \bigwedge_{x \in \Phi} e_R(x) \leq e_R(x^*) \right\} \quad (37)$$

gdzie:

x^* - rozwiązanie zadania,

Φ - obszar dopuszczalny wektora cech konstrukcyjnych x .

Ponieważ z założenia:

$$e_R \Rightarrow \max \text{ to } \begin{cases} W_1 \Rightarrow \max \\ E_R \Rightarrow \min \\ \eta_o \Rightarrow 1 \\ \eta_{bio} \Rightarrow 1 \end{cases} \quad (38)$$

więc poszukiwaną wartość wskaźnika e_R (np. $e_R \geq 80$) otrzymuje się dla:

$$e_{Rx} = e_R(C_{kx}, C_{Rx}) \quad (39)$$

gdzie:

C_{kx} - poszukiwane cechy konstrukcyjne zespołu rozdrabniającego i napędowego,

C_{Rx} - poszukiwane cechy ruchu elementów rozdrabniania.

Zależność (39) stanowi ogólną odpowiedź i rozwiązanie zadania polegającego na poszukiwaniu najkorzystniejszej postaci rozdrabniacza ze względu na rozdrabniany materiał i realizowany proces techniczny.

Cechy konstrukcyjne zespołu roboczego rozdrabniacza wielotarczowego nasion należy tak dobrać, aby funkcja celu osiągała wartość maksymalną (ze względu na wartość wskaź-

nika e_R) lub minimalną (ze względu na wartość wskaźnika jednostkowego zużycia energii E_R). Punkt, w którym wartość funkcji celu spełnia wymagane kryterium nazywa się rozwiązaniem zadania: $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$. Rozwiązanie jest z obszaru dopuszczalnego $x^* \in \Phi$.

Zasadę wspomagania w kierunku uzyskania rozwiązania ekstremalnego można zapisać:

$$(x^* \in \Phi) : \left\{ \bigwedge_{x \in \Phi} Z(x) \geq Z(x^*) \right\} \quad (40)$$

w przypadku minimalizacji zużycia energii ($Z = E_R$),

albo:

$$(x^* \in \Phi) : \left\{ \bigwedge_{x \in \Phi} Z(x) \leq Z(x^*) \right\} \quad (41)$$

w przypadku maksymalizacji energetycznego wskaźnika rozdrabniania ($Z = e_R$).

Przewiduje się wykorzystanie większej liczby funkcji celu, chociaż wskaźnik energetyczny ma znaczenie uniwersalne.

Jeżeli znany jest docelowy punkt w przestrzeni celów (np. $E_R \leq 10$ kJ/kg lub $e_R \geq 80$ [50]) – to przeprowadzić można postępowanie zmierzające do zbliżenia się do zadanego rozwiązania. Postępowanie to polega na poszukiwaniu takiego x , dla którego odległość w sensie wybranej normy (np. normy euklidesowej) w przestrzeni celów osiąga minimum. W ten sposób otrzymuje się nową funkcję celu w postaci odległości między stanem docelowym, a stanem obliczonym w przestrzeni celów:

$$Z_d(x) = \|Z_{\min} - Z(x)\| \quad (42)$$

gdzie:

Z_d - odległość między wektorem jakości rozwiązania $Z(x)$ i rozwiązaniem docelowego Z_{\min} .

W przypadku normy euklidesowej odległość (42) wyraża się następującym wzorem:

$$Z_{di}(x) = \left\{ \sum_{i=1} [Z_{imin} - Z_i(x)]^2 \right\}^{1/2} \quad (43)$$

gdzie:

Z_{imin} - wartość jednostkowego zużycia energii dla rozwiązania docelowego,

$Z_i(x)$ - wartość jednostkowego zużycia energii dla projektowanego rozwiązania.

Podobnie ocenia się rozwiązanie konstrukcyjno - technologiczne ze względu na kryterium e_{Rmax} . W tym przypadku zakłada się dopuszczalne pole tolerancji od zadanej wartości nominalnej i prowadzi minimalizację różnic sterując głównie parametrami obiektu.

Ze względu na złożony, ale matematycznie wyznaczalny charakter obliczeń przekroju, oporów i jednostkowego zużycia energii na rozdrabnianie wielotarczowe, wprowadza się dla potrzeb obliczeń symulacyjnych dodatkowe estymatory rozwiązania docelowego :

- kryterium minimalnej różnicy przekrojów dla rozpatrywanego przedziału czasu:

$$\Delta F = F_{\max} - F_{\min} \Rightarrow 0$$

- kryterium minimum energochłonności bezwzględnej :

$$E_R \Rightarrow E_{R\min}$$

- kryterium minimalnej różnicy energochłonności dla rozpatrywanego przedziału czasu:

$$\Delta E_R = E_{R\max} - E_{R\min} \Rightarrow 0$$

4.9. Uwagi końcowe

Podany sposób postępowania dla zmiennych cech konstrukcyjnych wielotarczowego rozdrabniacza nasion – w zadanym obszarze parametrów technologicznych – prowadzi do wyznaczenia zależności matematycznych opisujących efektywność energetyczną przetwórstwa. Przetwórstwa symulowanego za pomocą specjalnie opracowanych procedur matematycznych, wspomaganego badaniami wytrzymałościowymi i przetwórstwa w rzeczywistych warunkach maszyny zbudowanej dla potrzeb badań. Z tym, że najkorzystniejszy zbiór cech konstrukcyjnych, dla najwyższej efektywności energetycznej, zostaje wyznaczony na podstawie wypełnienia kryteriów weryfikujących zaproponowany model efektów i nakładów energii w przetwórstwie mechanicznym.

Rozdział 5.

Analiza wyników badań

Podstawą analizy statystycznej były tabulogramy wyników analizy regresji, których przykładowe wydruki zamieszczono na kolejnych rysunkach.

Dla przyjętych wskaźników i założeń metodycznych, rozwiązanie postawionego zadania konstrukcyjnego polega na uzyskaniu wskaźnika energetycznej efektywności rozdrabniania ziarna zbóż zmierzającego do maksimum (zależność (27)).

W pierwszej kolejności zostanie zaprezentowana analiza zmierzająca do opracowania zależności matematycznej reprezentującej wyniki, w odpowiedniej postaci do wykorzystania w procedurze wyznaczania przekroju i oporów rozdrabniania wielotarczowego.

5.1. Opracowanie zależności opisującej materiał rozdrabniany

Warunki, zakres i metodyka badań umożliwiły przeprowadzenie postępowania analitycznego nad właściwościami wytrzymałościowymi nasion poddawanych quasi-ścianiu. Opisami poszukiwanymi były : praca odkształcenia trwałego próbki nasion i naprężenia quasi-ścinające określonego przekroju rozdrabniającego. Statyczne warunki próby nie oddają w całości zjawiska zachodzącego podczas rozdrabniania maszynowego, ale wskazują zasadniczy charakter zachodzących prawidłowości.

Praca na odkształcenie trwałe nasion pszenżyta, w warunkach modelowych quasi-ściania istotnie maleje ze wzrostem prędkości liniowej zadawania obciążeń. Wpływ prędkości zadawania obciążeń rozdrabniających można identyfikować równaniem, którego współczynniki są istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, a postać jest następująca:

$$E_{T\lambda} = - 8,8654 \cdot 10^{-4} v_R + 0,6928, \text{ dla } R = - 0,9567 \quad (44)$$

Podana zależność dotyczy pracy na odkształcenie trwałe gramowej próbki pszenżyta w zakresie prędkości rozdrabniania:

$$0,1234 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} \leq v_R \leq 16,987 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$$

i kąta ostrza krawędzi otworu rozdrabniającego $\gamma = \pi/2$ (90°).

Liczba ziaren w próbie wytrzymałościowej wpływa istotnie na przebiegi pracy odkształcenia trwałego. Istotność występuje dla liczebności do 10 sztuk ziaren w modelu. Powyżej 11 ziaren w przyrządzie wytrzymałościowym wpływ liczby ziaren jest nieistotny.

Większa liczba ziaren w przyrządzie wytrzymałościowym jest wskazana, ze względu na wysoką reprezentatywność masową, ale powyżej 250 mm^2 przekroju ścinanego, podobnie jak w pracy [50], występują oddziaływania przyrządu na wskazania aparatury pomiarowej. Ustalono więc, że całkowita powierzchnia quasi-ścinania nie będzie większa od 200 mm^2 , co odpowiada przypadkowi dwucięcia gramowej próbki ziaren pszenżyta LARGO.

Możliwości wykorzystania prezentowanych funkcji są ograniczone. Nie ma rozdrabniania wielotarczowego w tak niskim zakresie prędkości, nie ma także możliwości prowadzenia prób wytrzymałościowych dla wyższych prędkości belki.

Jako składowe do określenia względnej sprawności rozdrabniania przyjmuje się najwyższe wartości pracy odkształcenia trwałego (jako najmniej korzystne) ze względu na zjawiska towarzyszące zmianie prędkości i cech konstrukcyjnych elementu rozdrabniającego:

$$\text{dla pszenżyta Largo } E_{\tau\lambda} = 2,8223 \text{ kJ/kg.}$$

Przyczyny zmienności pracy odkształcenia trwałego należy wiązać ze sposobem ustawienia ziarna lub jego części w przyrządzie wytrzymałościowym. Inne wyniki dla tych samych przekrojów — uzyskiwano dla hybrydów łuska-bielmo-łuska, inne dla łuska-bielmo, a inne dla bielma-łuski. Podane rezultaty dotyczą losowego ustawienia nasion i ich części w przyrządzie wytrzymałościowym (rys.16).

Podobnie jak praca odkształcenia trwałego, również naprężenia zastępcze w warunkach quasi - ścinania maleją istotnie ze wzrostem prędkości liniowej zadawania obciążeń. Wpływ ten można identyfikować liniową funkcją regresji, której współczynniki są istotne na poziomie $\alpha=0,05$ dla pszenżyta :

$$\tau_q = - 4,9967 \cdot 10^{-4} v_R + 1,1884, \text{ dla } R = -0,9021 \quad (45)$$

Podany opis dotyczy ograniczonego zakresu prędkości rozdrabniania :

$$0,1234 \cdot 10^{-2} \text{ m/s} < v_R < 16,987 \cdot 10^{-2} \text{ m/s.}$$

Dla podkreślenia dominującej składowej stosowano symbol naprężeń stycznych τ .

Naprężenia przy quasi - ścinaniu ziaren pszenżyta, o podstawowych zakresach właściwości fizycznych, są niższe niż przy ściskaniu do określonego odkształcenia trwałego o trudnym do ustalenia przyroście powierzchni właściwej. W przypadku dwucięcia — według zasady quasi - ścinania — przyrost powierzchni właściwej jest równy $4 F_R$. Dla pszenżyta naprężenia przy quasi-ścinaniu są kilka razy niższe, niż przy ściskaniu (do 8 - miu razy), —

w porównaniu z danymi zawartymi w pracy Kwiecińskiego [103, 104] i wynikami badań Kolowcy [96, 97].

Naprężenia przy quasi - ścinaniu są porównywalne, co do wartości, z naprężeniami przy rozłupywaniu [104].

Jako wartości naprężeń stosowane w badaniach symulacyjnych i fizycznych z rozdrabniaczem wielotarczowym przyjmuje się wartość z badań najmniej korzystną:

dla pszenżyta $\tau_{qmax} = \sigma_{max} = 1,1884 \text{ MPa}$.

Dla symulacji obciążeń rozdrabniających przy innych rodzajach nasion wykorzystuje się dane z pracy [54]. Dane te dotyczą :

- pszenicy ($\tau_{qmax} = 0,7665 \text{ MPa}$),
- żyta ($\tau_{qmax} = 1,2673 \text{ MPa}$),
- owsa ($\tau_{qmax} = 3,9946 \text{ MPa}$)
- jęczmienia ($\tau_{qmax} = 1,2607 \text{ MPa}$).

W drugiej kolejności zostaną zaprezentowane wyniki analizy wpływu wybranych cech konstrukcyjnych rozdrabniacza wielotarczowego na równomierność i minimalizację obciążeń roboczych.

5.2.Cechy konstrukcyjne rozdrabniacza wielotarczowego spełniające pomocnicze kryterium efektywności energetycznej

Zjawisko towarzyszące przemieszczaniu tarcz ze zmienną liczbą otworów przepustowo-rozdrabniających charakteryzuje się :

- postacią geometryczną przebiegu przekroju (obciążenia),
- zmiennością amplitudy siły (przekroju) rozdrabniającej,
- zmiennością częstotliwości i czasu trwania impulsu obciążenia rozdrabniającego,

w zakresie postaci geometrycznej obciążenia wyróżnia się :

- przebieg prostoliniowy z wyraźnymi zakłóceniami rys.24,
- zmiennym czasem trwania impulsu prostokątnego rys.25, rys.26, rys.27, rys.28, rys.29,
- kombinacje wymienionych przebiegów, np. rosnąco - malejący z krótkim impulsem prostokątnym rys. 26, rys.28.

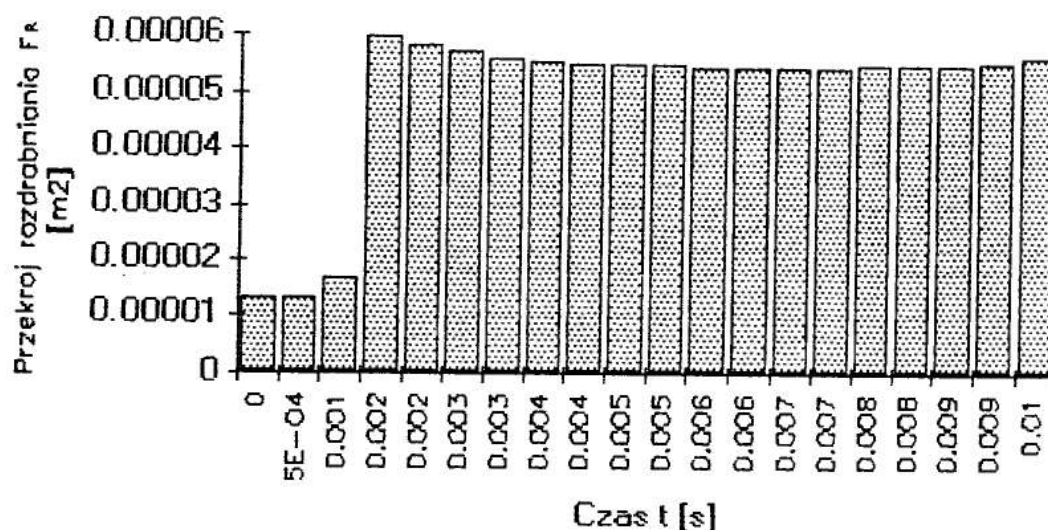
Proces projektowo-konstrukcyjny rozdrabniaczy wielotarczowych musi być prowadzony w zupełnie nowych warunkach. Nie ma wiele informacji pomocniczych. Trzeba od podstaw poszukiwać własnych rozwiązań. Bardzo pomocny jest eksperyment symulacyjny.

W ramach obliczeń symulacyjnych przeprowadzono następujące badania:

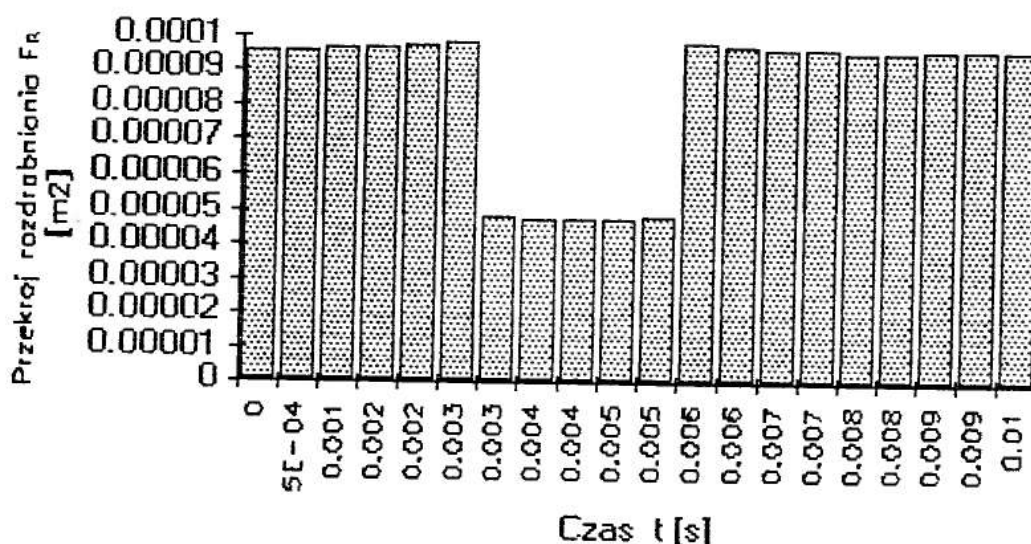
● Badania nad zmienną liczbą otworów w pierwszym rzędzie, pierwszej tarczy

Badania prowadzone dla :

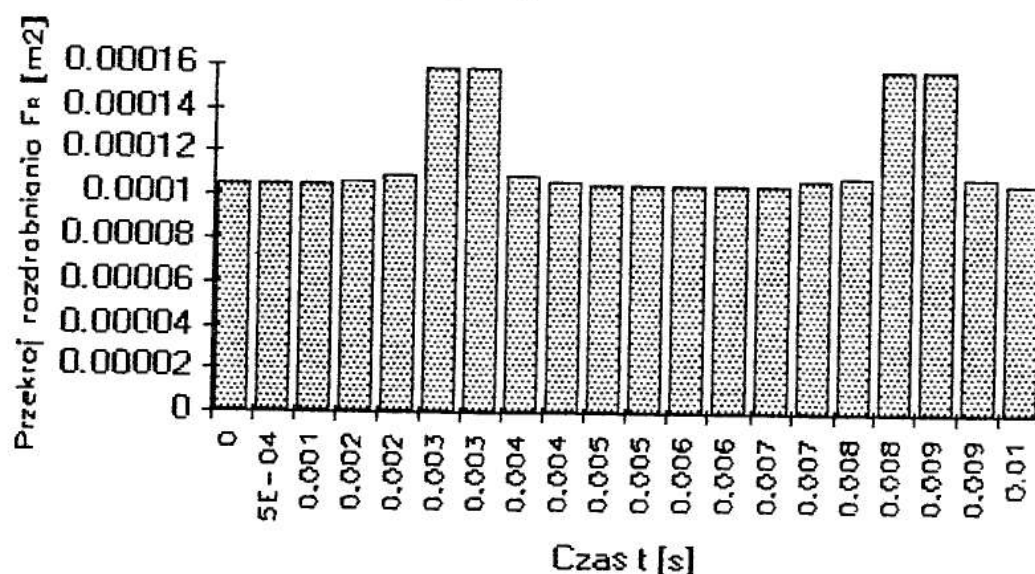
- liczby tarcz l.t.=3,
- liczby rzędów otworów l.rz.=1,



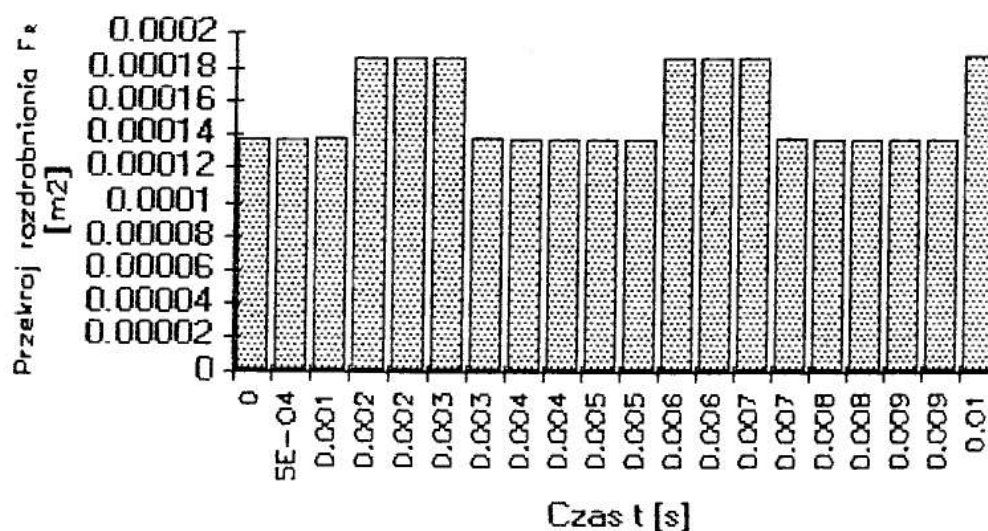
Rys. 24 Zależność przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 5 - ciu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy



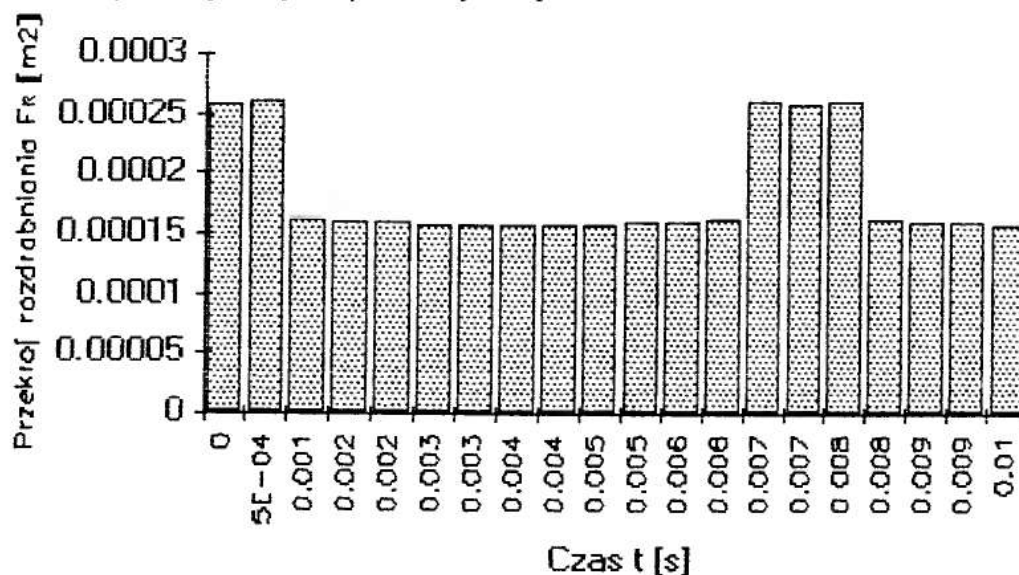
Rys. 25 Zależność przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 7 - miu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy



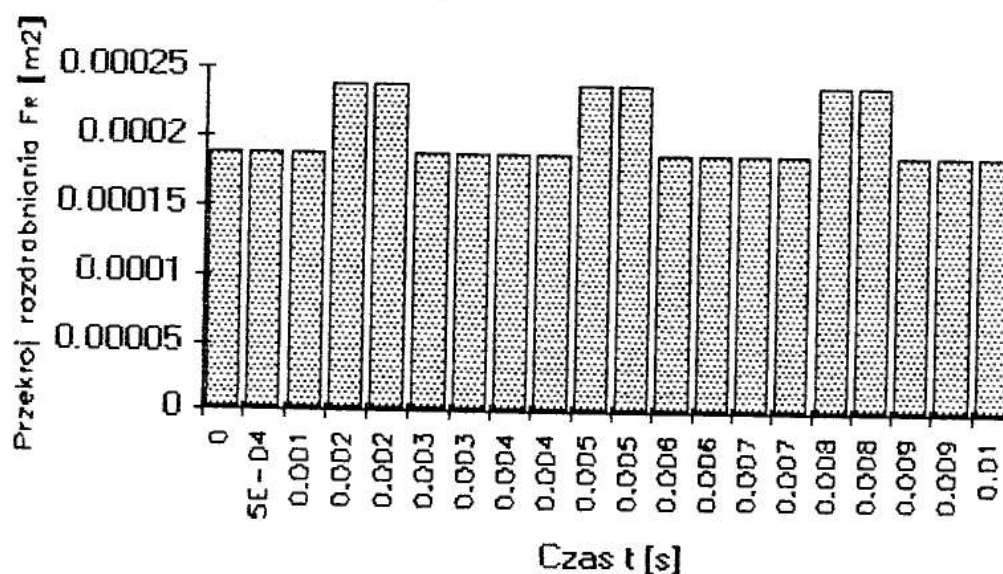
Rys. 26 Zależność przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 9 - ciu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy



Rys. 27 Zależność przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 11 - stu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy



Rys. 28 Zależność przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 12 - stu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy



Rys. 29 Zależność przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 13 - stu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy

– pozostałych stałych cech materiału, maszyny i procesu
 pozwoliły na uzyskanie rozwiązania konstrukcyjnego dla liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy spełniającej kryteria podane w pkt. 4.8 jako:

$l_{otw.*} = 9$ otworów, przy rozdrabnianiu pszenżyta.

W załączniku nr 4 przedstawiono wyniki przeprowadzonej symulacji obliczenia przekroju i oporów rozdrabniania w formie tabelarycznej.

Na rys.24 przedstawiono wykres zależności przekroju rozdrabniania w funkcji czasu $F_R = f(t)$ dla 5 - ciu otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy, a na kolejnych rysunkach podano tę samą zależność dla zmiennej liczby otworów w pierwszej tarczy. Na rys.25 dla 7 - miu otworów w tarczy, na rys.26 dla 9 - ciu otworów w tarczy, na rys.27 dla 11-tu otworów w tarczy, na rys.28 dla 12 - tu otworów w tarczy, na rys.29 dla 13 - tu otworów w tarczy.

Natomiast zależność wartości minimalnych i maksymalnych wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy

$e_{Rmin} / e_{Rmax} = f(l.o.)$ podano na rys. 30 ,

a zależność energochłonności

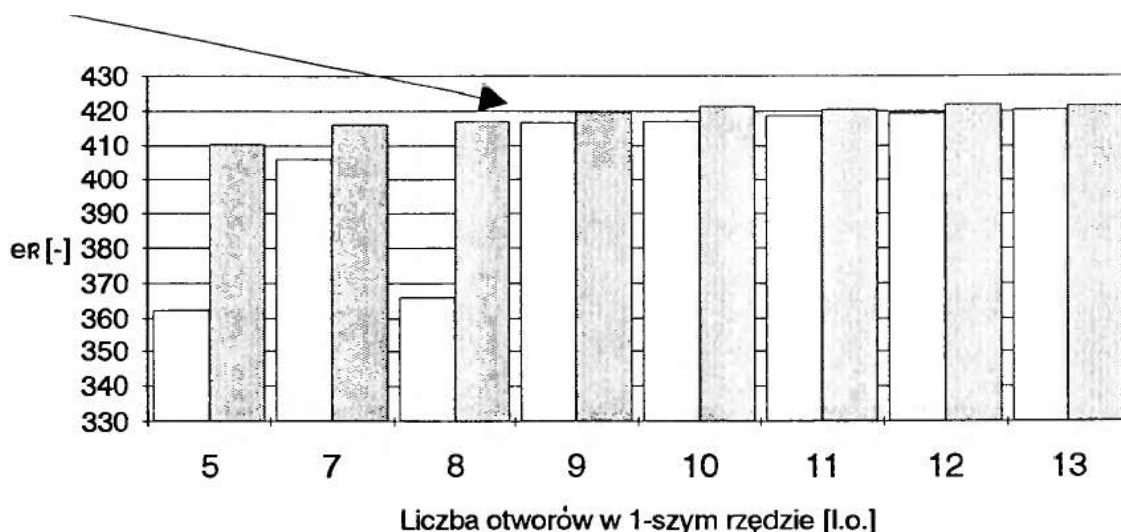
$E_{Rmin} / E_{Rmax} = f(l.o.)$

w funkcji liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy na rys.31.

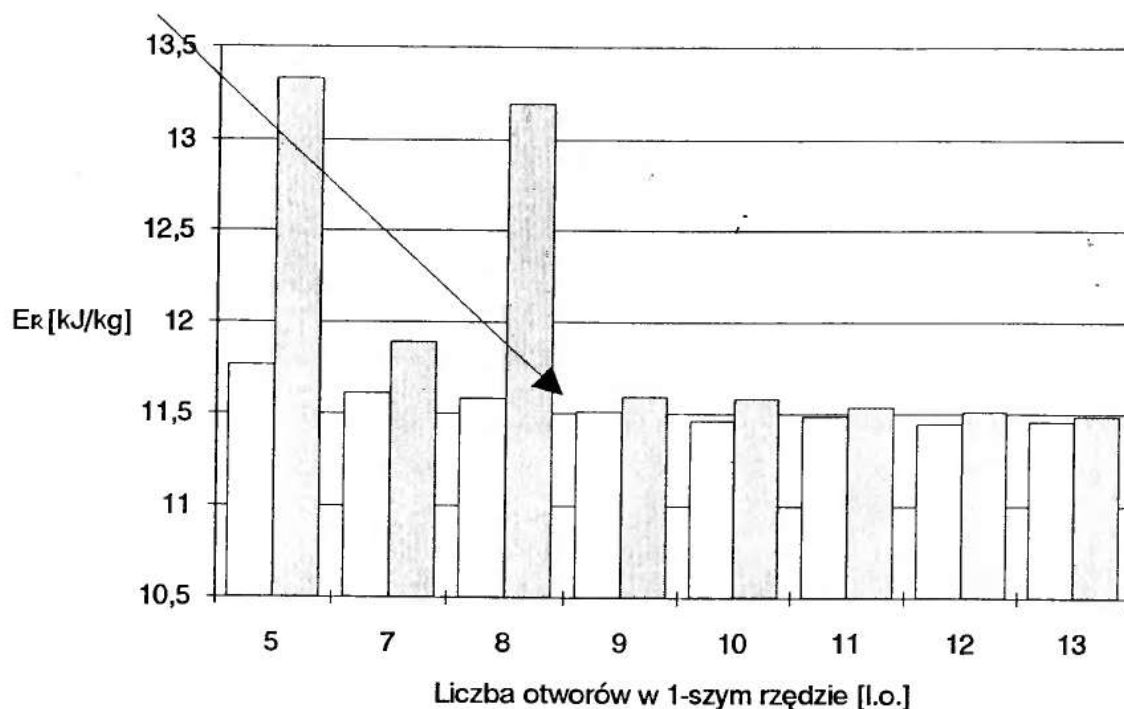
● Badania nad zmienną liczbą rzędów otworów w tarczach

Badania prowadzone dla :

- liczby tarcz $l.t.=3$,
- liczby otworów w 1 - szym rzędzie pierwszej tarczy spełniającej kryteria podane w pkt.4.8 $l_{otw.*}=9$,
- pozostałych stałych cech materiału, maszyny i procesu



Rys. 30 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy $e_{Rmin} / e_{Rmax} = f(l.o.)$



Rys. 31 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych energochłonności w funkcji liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy $E_{Rmin} / E_{Rmax} = f(l.o.)$

pozwołyły na uzyskanie rozwiązania konstrukcyjnego dla liczby rzędów otworów w tarczy spełniającej kryteria zamieszczone w pkt.4.8:

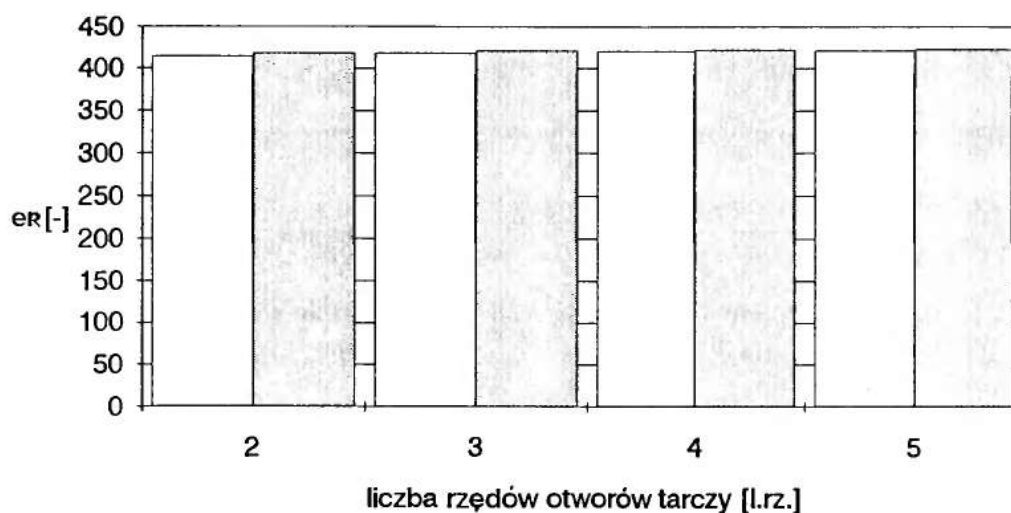
$l.rz.^* = 2$ rzędy, przy rozdrabnianiu pszenżyta.

Na rys.32, pokazano zależności wartości minimalnych i maksymalnych wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji liczby rzędów otworów w tarczy

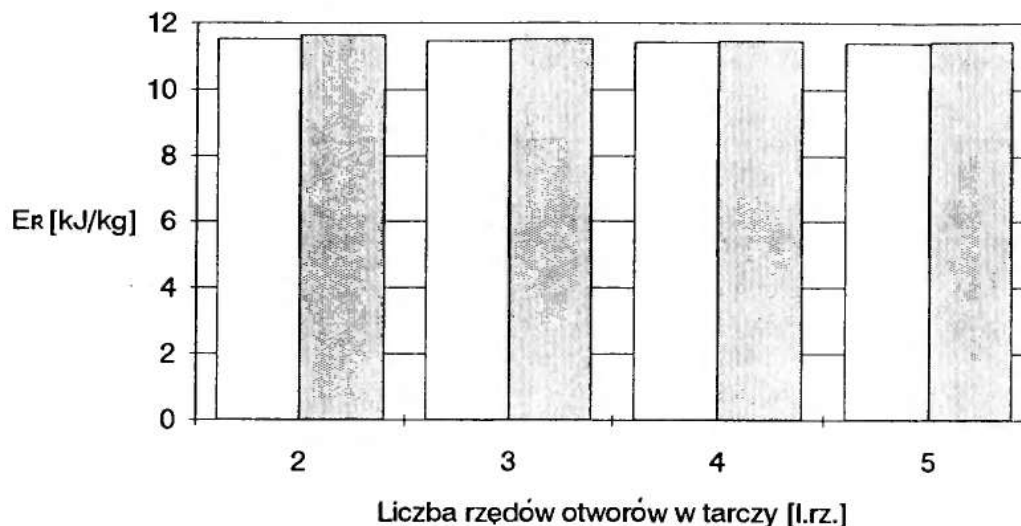
$$e_{Rmin} / e_{Rmax} = f(l.rz.),$$

a na rys.33 energochłonności w funkcji liczby rzędów otworów w tarczy

$$E_{Rmin} / E_{Rmax} = f(l.rz.).$$



Rys. 32 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji liczby rzędów otworów w tarczy $e_{Rmin} / e_{Rmax} = f(l.rz.)$



Rys. 33 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych energochłonności w funkcji liczby rzędów otworów w tarczy $E_{Rmin} / E_{Rmax} = f(l.rz.)$

● Badania nad zmienną liczbą tarcz w pakiecie elementu rozdrabniającego

Badania prowadzone dla :

- liczby rzędów otworów spełniającej kryteria zamieszczone w pkt.4.8 $l.rz.^* = 2$,
- liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy spełniającej kryteria zamieszczone w pkt.4.8 $l.otw.^* = 9$,
- pozostałych stałych cech materiału, maszyny i procesu

pozwoły na uzyskanie rozwiązania konstrukcyjnego dla liczby tarcz spełniającej kryteria podane w pkt.4.8:

$l.t.^* = 7$ tarcz, przy rozdrabnianiu pszenżyta.

Na rys.34 przedstawiono zależność przekroju rozdrabniania w funkcji liczby tarcz w pakiecie elementu rozdrabniającego $Fr = f(l.t.)$, natomiast na rys.35 podano zależność wartości minimalnych i maksymalnych wskaźnika efektywności energetycznej

$$e_{Rmin} / e_{Rmax} = f(l.t.),$$

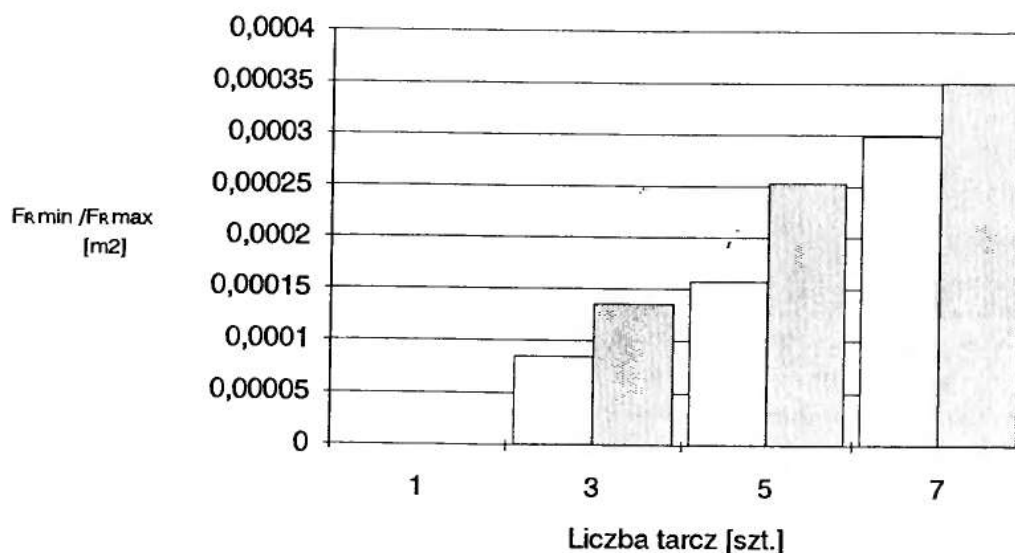
a na rys.36 zależność wartości minimalnych i maksymalnych energochłonności

$$E_{Rmin} / E_{Rmax} = f(l.rz.) \text{ w funkcji liczby tarcz w pakiecie elementu rozdrabniającego.}$$

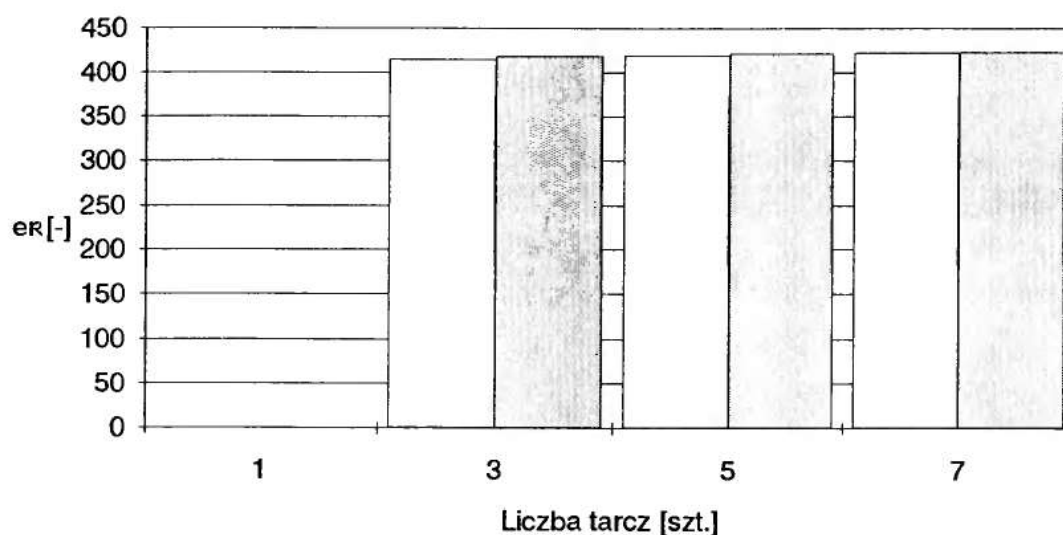
Wypełnienie efektywnościowych kryteriów pomocniczych występuje dla zespołu roboczego rozdrabniacza wielotarczowego o następujących cechach konstrukcyjnych elementów:

- liczba otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy jest równa $l.otw.^* = 9$,
- liczba rzędów otworów w tarczach pakietu rozdrabniającego wynosi $l.rz.^* = 2$,
- liczba tarcz w pakiecie rozdrabniającym $l.t.^* = 7$ tarcz.

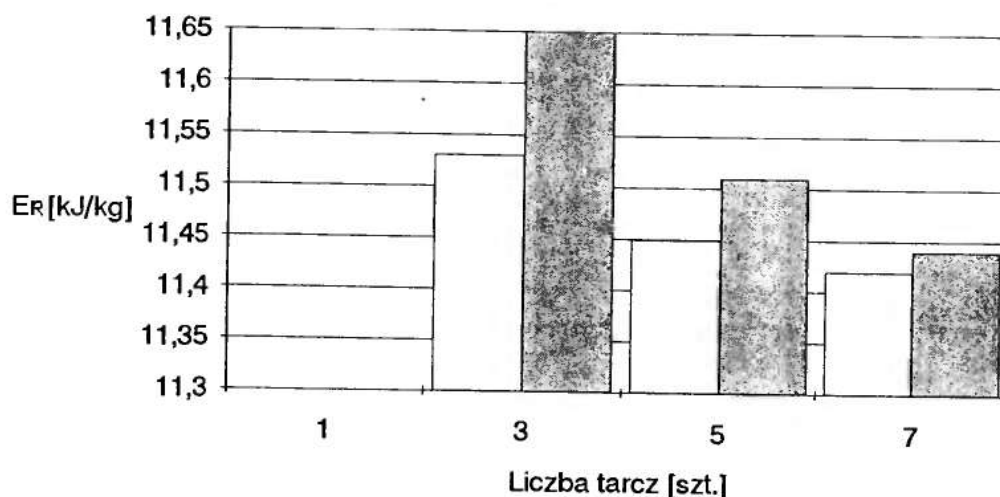
Wyniki analizy eksperymentu symulacyjnego pozwoliły, zgodnie z przyjętą metodyką, zaproponować wstępną postać konstrukcyjną rzeczywistego rozdrabniacza wielotarczowego, podstawowe cechy konstrukcyjne oraz ograniczyły obszar poszukiwania rozwiązań. Sprawdzenie rozwiązania następuje w sekwencji losowej.



Rys. 34 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych przekroju rozdrabniania w funkcji liczby tarcz elementu rozdrabniającego $F_{Rmin} / F_{Rmax} = f(l.t.)$



Rys. 35 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji liczby tarcz elementu rozdrabniającego $e_{Rmin} / e_{Rmax} = f(l.t.)$



Rys. 36 Zależność wartości minimalnych i maksymalnych energochłonności w funkcji liczby tarcz elementu rozdrabniającego $E_{Rmin} / E_{Rmax} = f(l.t.)$

5.3. Zależność efektywności energetycznej rozdrabniania i charakterystyk ruchowych

Przedział prędkości, dla minimum zużycia energii przy rozdrabnianiu nasion zbóż, opisują wartości liczbowe 0,77 m/s do 0,86 m/s [49].

Na rys.37 przedstawiono m. in. zależności momentu obrotowego na wale rozdrabniacza, a na rys.38 mocy w funkcji szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego.

Wpływ zmian szerokości szczeliny s między tarczami na moment obrotowy na wale rozdrabniacza można przedstawić za pomocą równania regresji nieliniowej (rys.37) :

$$M_R = 9,64 + 13s - 4,87s^2, \text{ dla } R^2 = 0,673 \quad (46)$$

Wpływ zmian szerokości szczeliny między tarczami na moc na wale rozdrabniacza można przedstawić za pomocą równania regresji nieliniowej (rys. 38) :

$$N_R = 88,33 + 88,02s - 33,64s^2, \text{ dla } R^2 = 0,723 \quad (47)$$

Sprawność przekładni pasowej z pasem zębatym w zależności od pojedynczych cech konstrukcyjnych i zmiennego obciążenia siłą rozdrabniającą, jako zależność statystyczna, jest opisywana równaniem [54] :

$$\eta_P = 1,3144 \cdot 10^{-7} P_R + 0,8926, \text{ dla } R = 0,542 \quad (48)$$

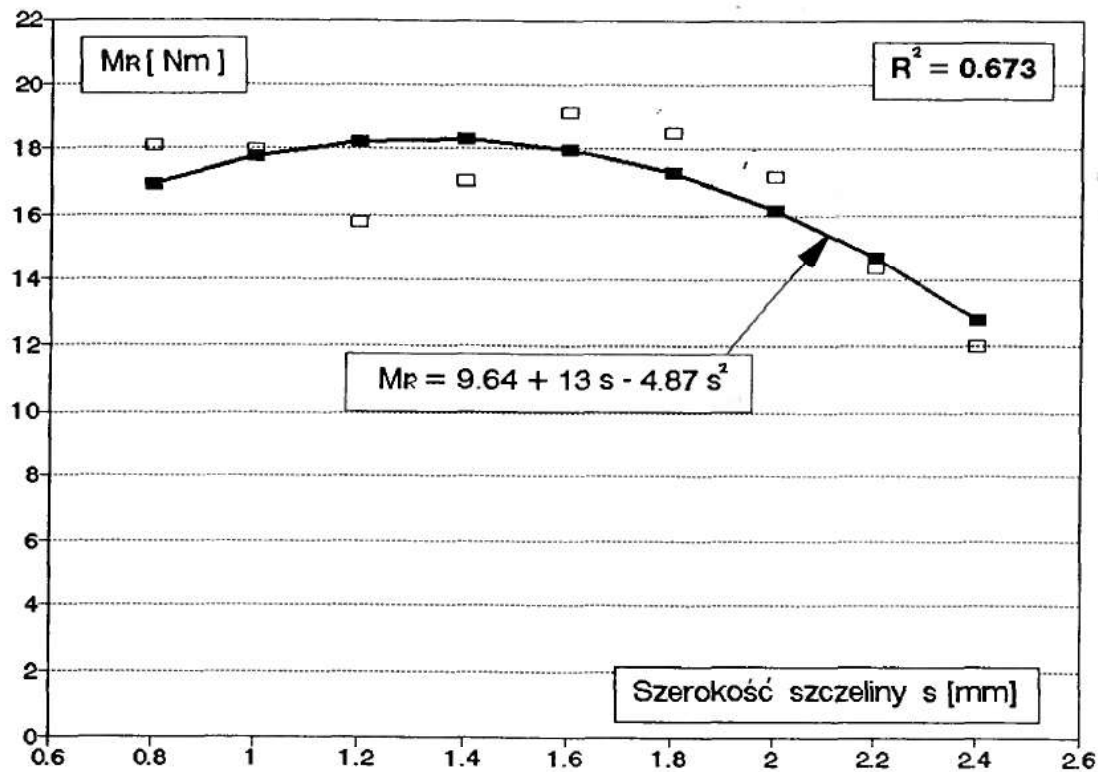
gdzie :

P_R - opory rozdrabniania, N,

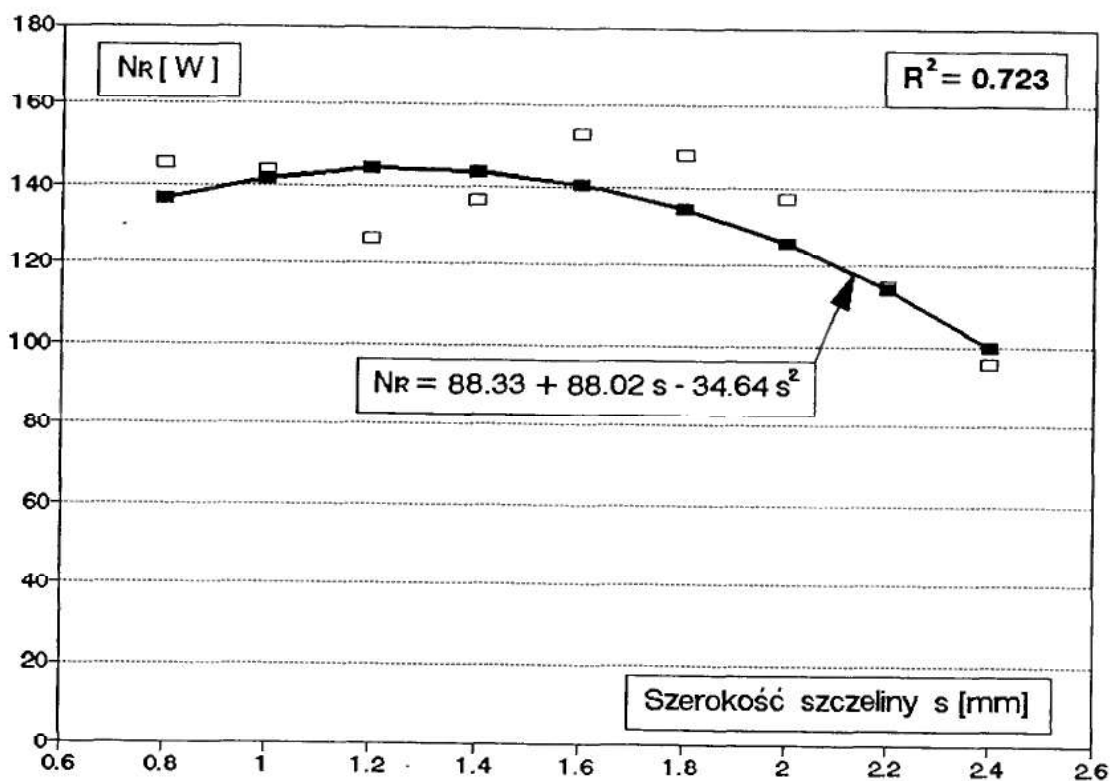
dla warunków według zakresów badawczych.

Sprawność silnika elektrycznego zależy od poziomu i charakteru obciążenia. Sprawność poniżej 60% występuje w początkowej fazie rozdrabniania z małą wydajnością masową – stąd wysoka energochłonność procesu. Każdy wzrost wartości charakterystyki ruchowej wpływa na podwyższenie energetycznej efektywności rozdrabniania wielotarczowego. Umieszczenie sprawności silnika i przekładni mechanicznej w liczniku modelu według zależności (27) powoduje, że nawet mały wzrost, rzędu 0,01 sprawności układu napędowego może wywołać wzrost efektywności energetycznej, w liczbach bezwzględnych do 80 kJ/kg produktu rozdrobnionego.

Poszukiwanie przekładni mechanicznej ze względu na kryteria energetyczne prowadzi do wyboru do napędu rozdrabniacza przekładni z pasem zębatym. Silnik elektryczny powinien natomiast być tak dobrany, aby jego obciążenie nie było niższe od 0,75 - 0,85 mocy znamionowej. Jedynie ten zakres obciążenia gwarantuje $\eta_s = 80 \%$ i sprawność przekładni $\eta_P = 80 \%$.



Rys. 37 Zależność momentu obrotowego rozdrabniacza w funkcji szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $M_R = f(s)$



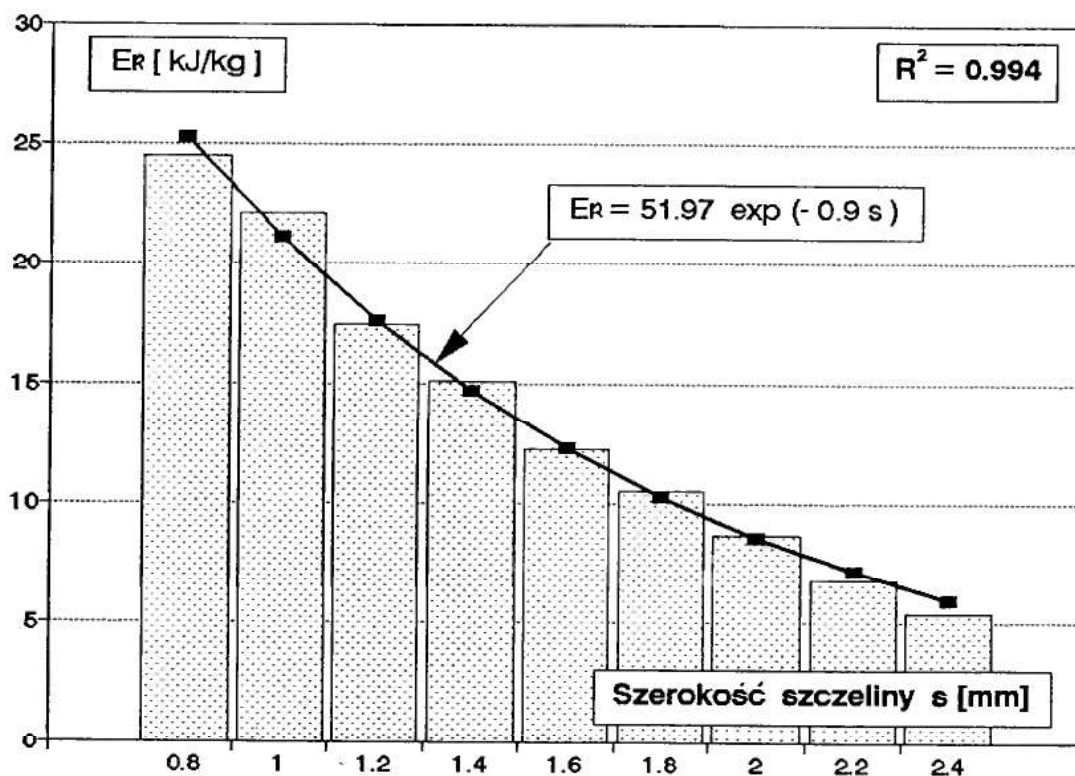
Rys. 38 Zależność mocy rozdrabniacza w funkcji szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $N_R = f(s)$

– dla pszenżyta. Materiał porozdrobnieniu na krawędziach, poddawany jest na drodze wyjścia z przestrzeni między tarczami dodatkowym oddziaływaniom. Realizowane jest wtórne rozdrabnianie międzypłytowe przez ściskanie i skręcanie cząstek [54].

Wpływ zmian szerokości szczeliny na energochłonność E_R przedstawiono na rys.39. Zależność tę można opisać następującym równaniem regresji

$$E_R = 51,97e^{(-0,9s)}, \text{ dla } R^2 = 0,994 \quad (49)$$

Zgodnie z istotą metody badawczej, poszukiwana jest zależność pomiędzy zmiennymi: właściwościami ziaren, cechami konstrukcyjnymi zespołu rozdrabniającego i parametrami rozdrabniania a jakością rozdrabniania. Wnioskowanie na podstawie przebiegów charakterystyk rozdrabniania jest więc konieczne, jako etap pośredni w analizie wyników, ale niewystarczający ze względu na podwyższanie wartości paszowej śruty jako celu rozdrabniania.



Rys. 39 Zależność energochłonności w funkcji szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $E_R = f(s)$

Ze względu na podatność organiczną produktu najbardziej pożądaną frakcją produktu rozdrabniania jest frakcja o wymiarze pomiędzy $(0,5 < f < 1,5)$ mm. Po analizie sitowej i pomiarach wagowych otrzymano wyniki pokazane na rys.40, rys.41, rys.42. Dobierając cechy konstrukcyjne głównie szerokość szczeliny s można uzyskać odpowiednie proporcje poszczególnych frakcji z uwzględnieniem podatności organicznej każdej z tych frakcji. Z punktu widzenia tej podatności należy zmierzać do najmniejszej zawartości frakcji pylistej $f < 0,5$ oraz frakcji $f > 1,5$.

cechy konstrukcyjne głównie szerokość szczeliny s można uzyskać odpowiednie proporcje poszczególnych frakcji z uwzględnieniem podatności organicznej każdej z tych frakcji. Z punktu widzenia tej podatności należy zmierzać do najmniejszej zawartości frakcji pylistej $f < 0,5$ oraz frakcji grubej $f > 1,5$.

Analiza statystyczna tych pomiarów wykazała, że frakcje o wymiarach $f < 0,5$ i $f > 1,5$ można opisać zależnością regresji nieliniowej - wykładniczej (rys.40, rys.42):

$$f < 0,5 = 0,999 e^{(-1.87s)}, \text{ dla } R^2 = 0,955 \quad (50)$$

$$f > 1,5 = 0,022 e^{(1.12s)}, \text{ dla } R^2 = 0,994 \quad (51)$$

natomiast zmienność wartości frakcji $0,5 < f < 1,5$ w funkcji zmian szerokości szczeliny s można opisać wielomianem drugiego stopnia (rys.41):

$$0,5 < f < 1,5 = 0,31 + 0,71s - 0,24s^2, \text{ dla } R^2 = 0,954 \quad (52)$$

Przyrost temperatury mierzonej między wsadem i produktem w trakcie rozdrabniania przedstawiono na rys.43. Zależność tę można opisać równaniem regresji nieliniowej:

$$\Delta T = 43,88 e^{(0.91s)}, \text{ dla } R^2 = 0,996 \quad (53)$$

Zmiany wartości wydajności W_1 rozdrabniacza wielotarczowego w funkcji zmian szerokości szczeliny s przedstawiono na rys.44. Równanie regresji nieliniowej dla $W_1 = f(s)$ jest następujące:

$$W_1 = -6,21 + 30,48s - 0,08s^2, \text{ dla } R^2 = 0,97 \quad (54)$$

Natomiast wpływ zmian szerokości szczeliny na sprawność rozdrabniania η_R pokazano na rys.45. Równanie regresji nieliniowej opisujące tę zależność ma następującą postać:

$$\eta_R = 0,013 e^{(0.999s)}, \text{ dla } R^2 = 0,995 \quad (55)$$

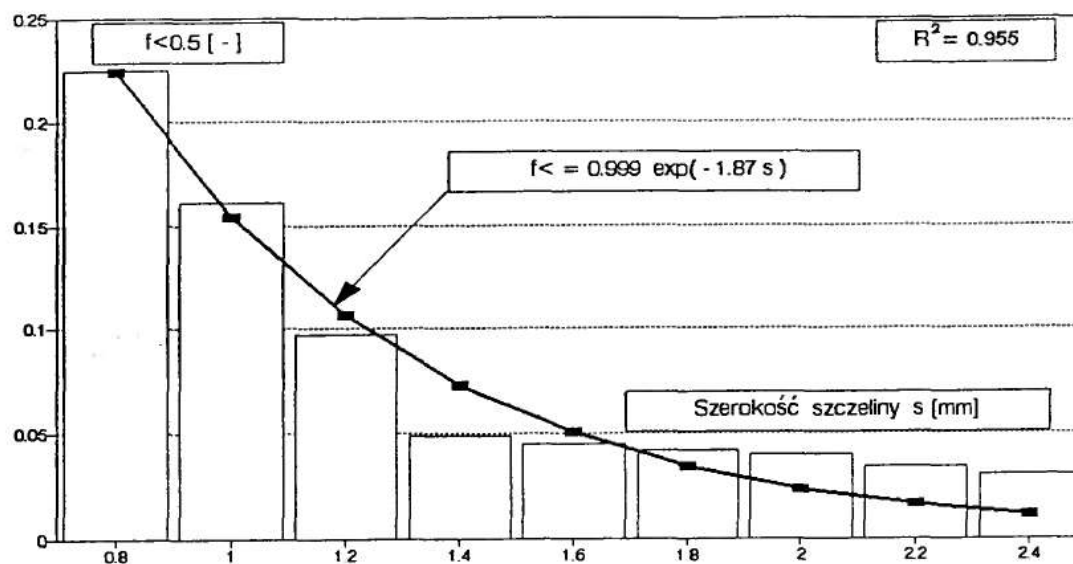
5.5. Efektywność energetyczna rozdrabniacza wielotarczowego

Ponieważ celem rozdrabniania nasion na cele paszowe jest uzyskanie największej ilości produktu najbardziej podatnego na trawienie, istotnym wskaźnikiem uwzględniającym tak postawiony cel rozdrabniania jest wskaźnik efektywności energetycznej wielotarczowego rozdrabniania nasion zbóż.

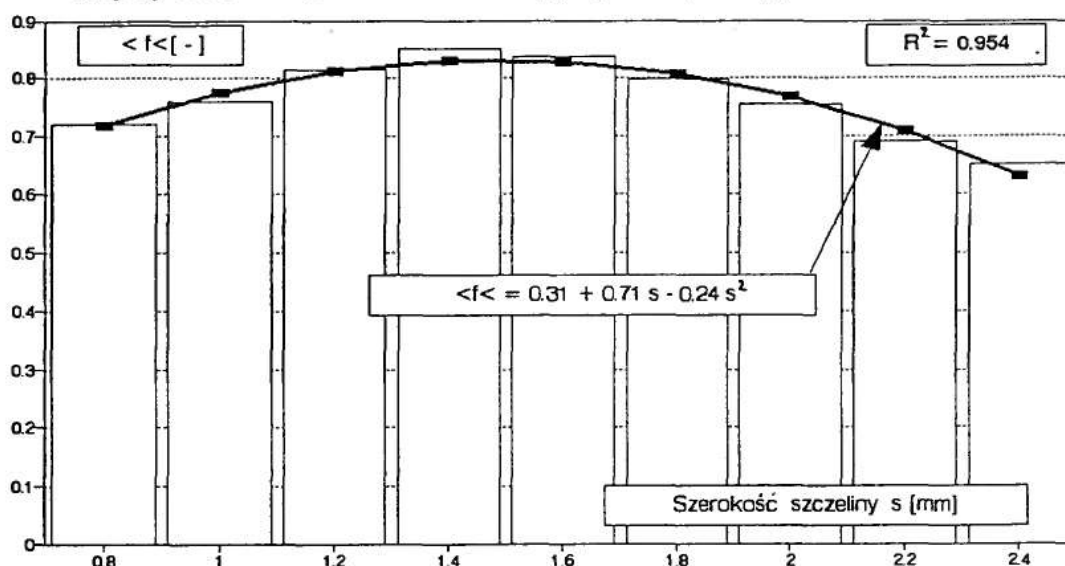
Wpływ zmian szerokości szczeliny na wskaźnik efektywności energetycznej pokazano na rys.46. Postać równania regresji nieliniowej opisującego taką zależność podano poniżej:

$$e_R = 19,72 + 111,03s - 33,35s^2, \text{ dla } R^2 = 0,869 \quad (56)$$

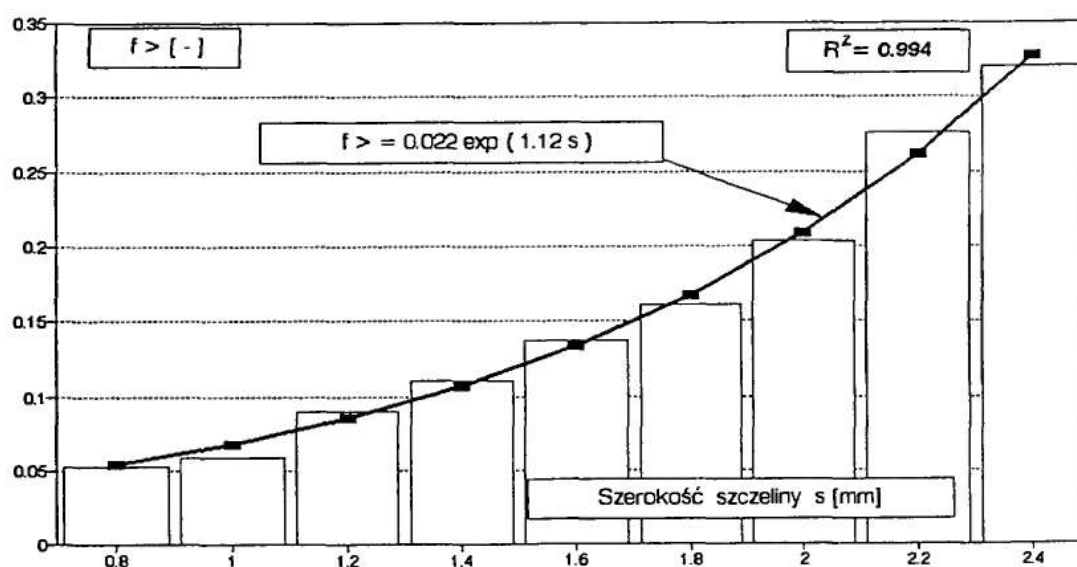
Z punktu widzenia eksploatacji wielotarczowych rozdrabniaczy nasion zbóż można wyodrębnić zakres zmienności szerokości szczeliny między tarczami s , który nieistotnie



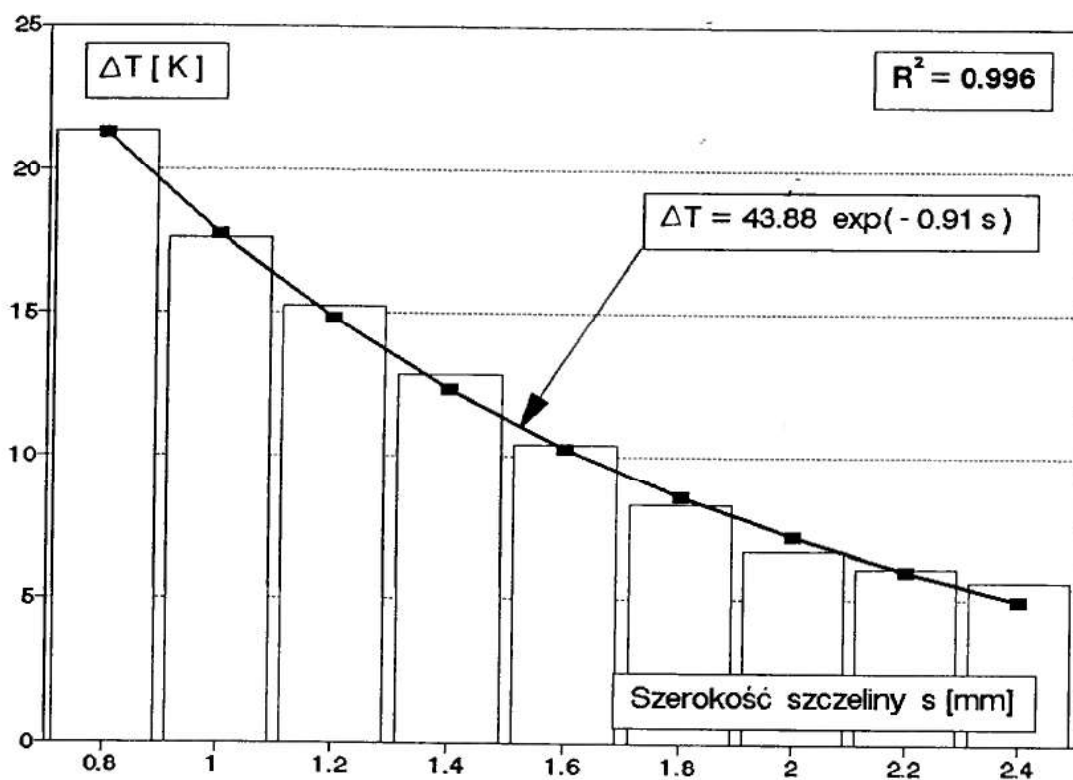
Rys. 40 Zależność frakcji $f < 0,5$ materiału rozdrobnionego w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $f < 0,5 = f(s)$



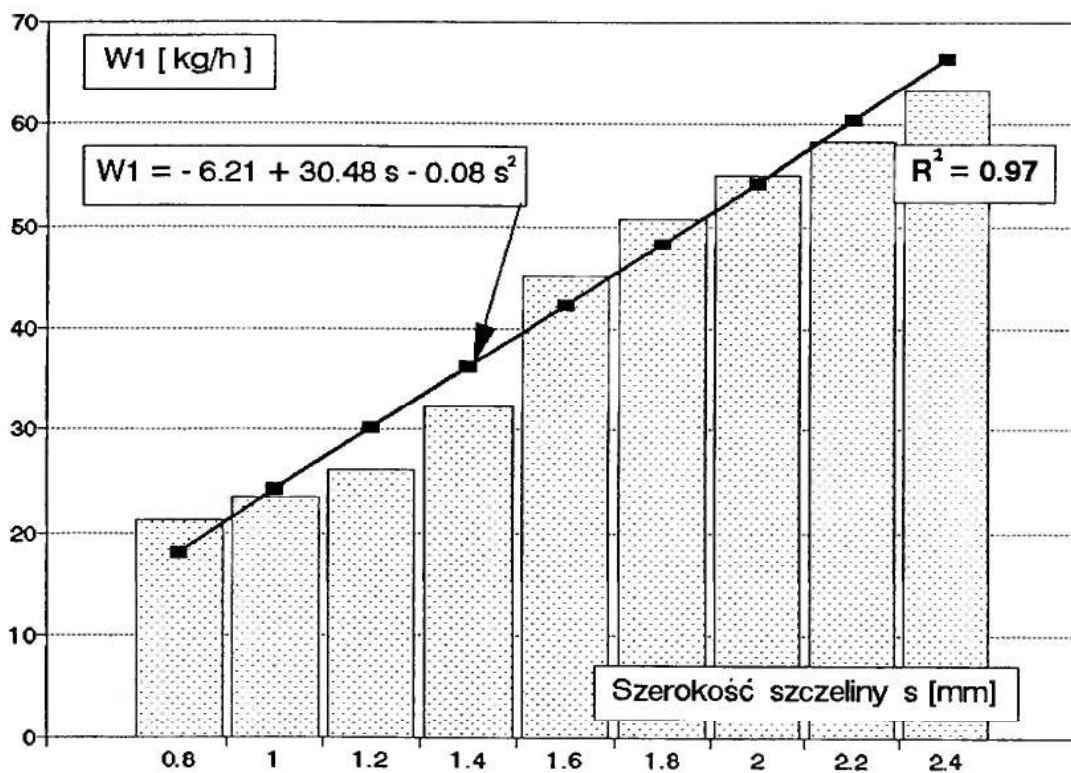
Rys. 41 Zależność frakcji $0,5 < f < 1,5$ materiału rozdrobnionego w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $0,5 < f < 1,5 = f(s)$



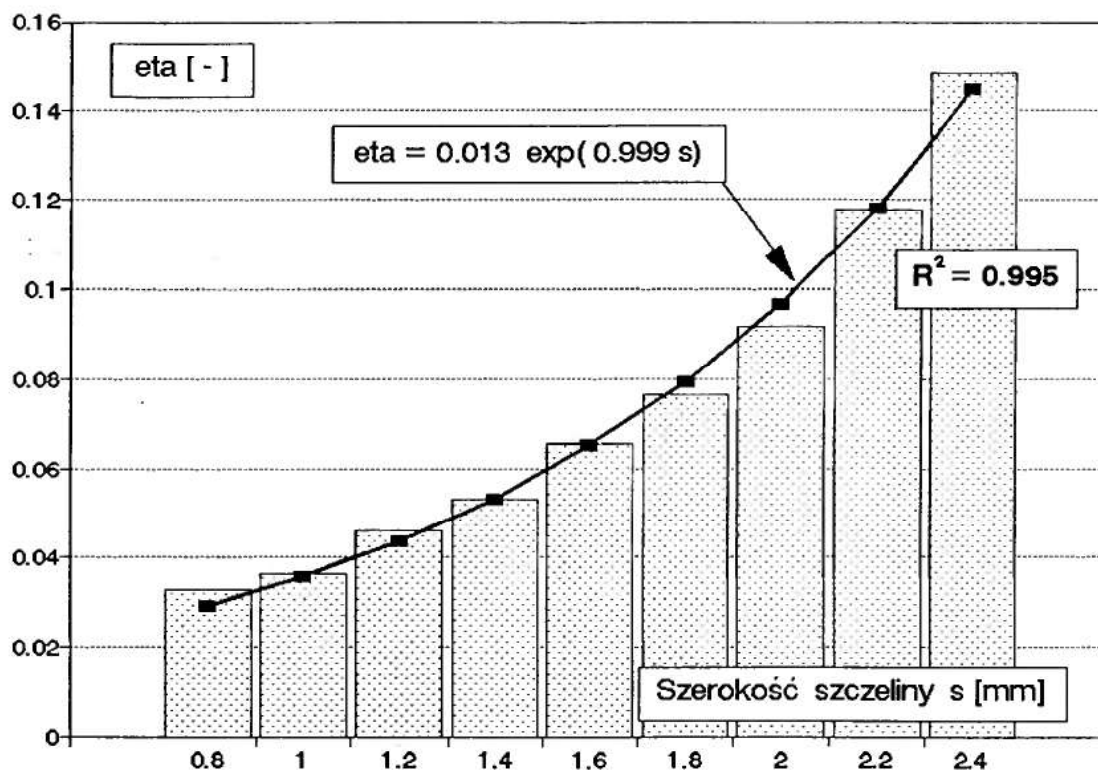
Rys. 42 Zależność frakcji $f > 1,5$ materiału rozdrobnionego w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $f > 1,5 = f(s)$



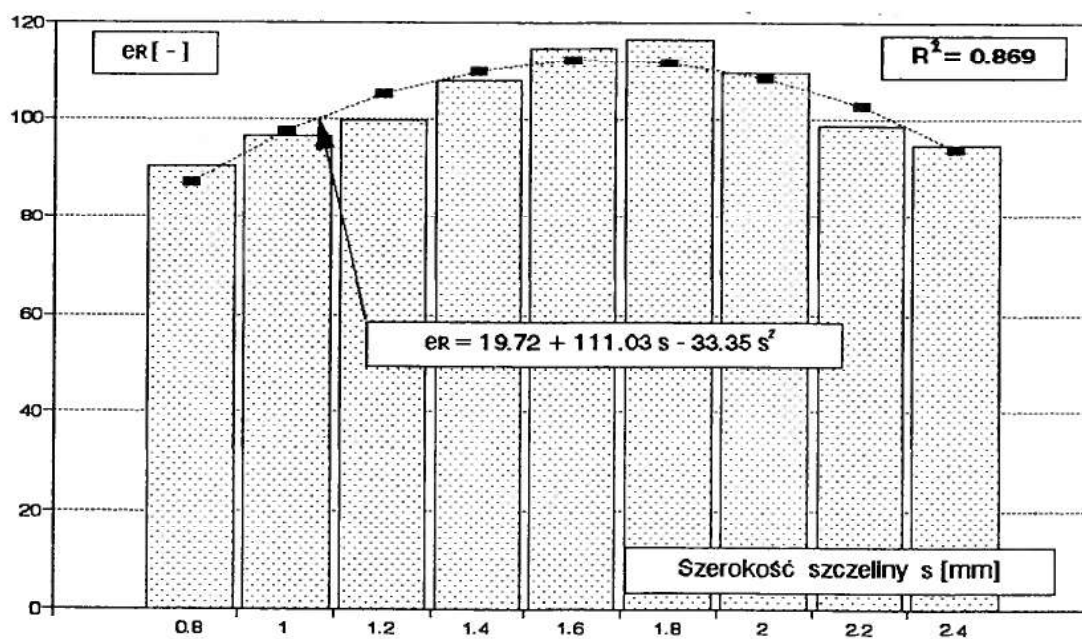
Rys. 43 Zależność przyrostu temperatury w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $\Delta T = f(s)$



Rys. 44 Zależność wydajności w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $W_1 = f(s)$



Rys. 45 Zależność sprawności rozdrabniania w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $\eta_R = f(s)$



Rys. 46 Zależność wskaźnika efektywności energetycznej w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami elementu rozdrabniającego $e_R = f(s)$

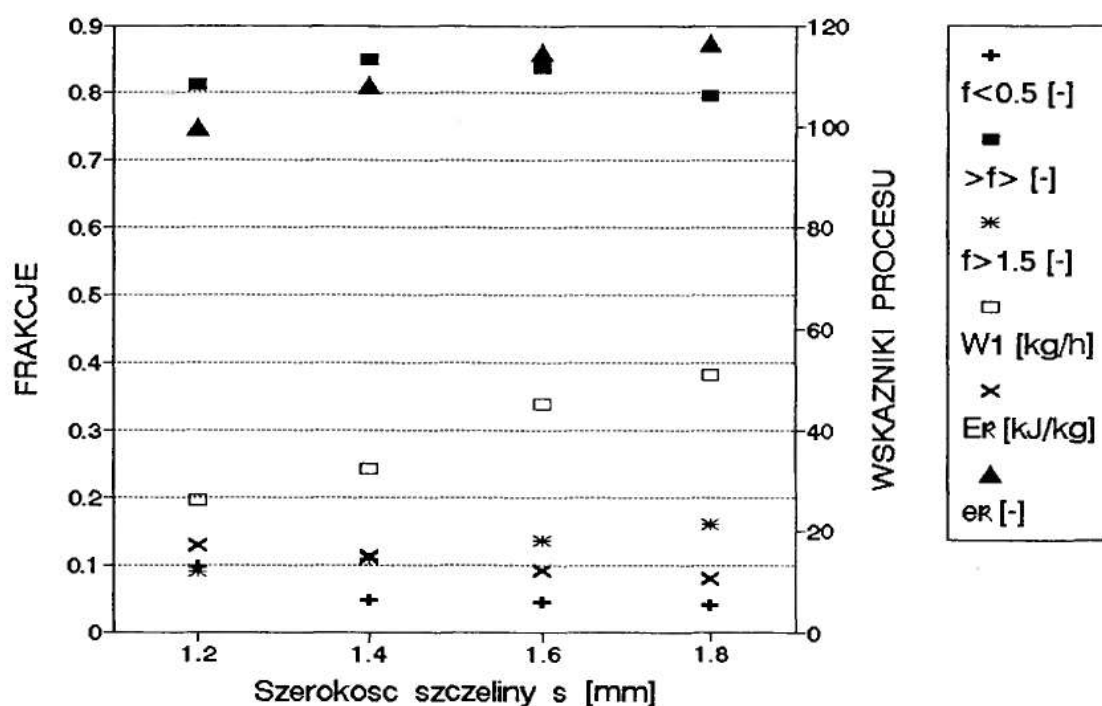
wpływa na podstawowe wskaźniki efektywności rozdrabniania. Natomiast łączny wpływ szerokości szczeliny, liczby rzędów otworów, liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy i liczby tarcz, można opisać równaniem regresji wielokrotnej, którego współczynniki są istotne na poziomie $\alpha = 0,05$:

$$e_R = -0,4704 s - 0,0957 \text{ l.rz.} + 0,48738 \text{ l.otw.} + 1,0421 \text{ l.t.} \quad \text{dla } R = 0,97 \quad (57)$$

Na rys. 47 przedstawiono zmienność głównych wskaźników efektywności rozdrabniania tj. wydajności W_1 , jednostkowego zużycia energii E_R , wskaźnika efektywności energetycznej e_R oraz frakcji f w funkcji zmian szerokości szczeliny między tarczami s w zakresie od 1,2 do 1,8 mm.

W załączniku nr 7 pokazano wydruki z procedury do wyznaczania regresji nieliniowej i współczynnika determinacji.

Pojedynczych równań regresji wskaźnika efektywności energetycznej opracowano, dla potrzeb łącznej analizy wpływu cech konstrukcyjnych i parametrów przetwórstwa, ponad 50. Prezentację ograniczono do najważniejszej zależności, obejmującej szczelinę między tarczami s jako cechę, która warunkuje rozdrabnianie. Wypełnienie kryterium jednostkowego zużycia energii (rozdział 4.0) $E_R \leq 10 \text{ kJ/kg}$ występuje dla szczeliny $s = 1,85 \text{ mm}$ (rys.39). Wartość wskaźnika efektywności energetycznej (rozdział 4.0) $e_R \geq 80$ jest dla podawanej wartości szczeliny $s = 1,85$ również spełniona – zgodnie z przyjętym kryterium w rozdziale 4.8. Efektywność energetyczna rozdrabniacza wielotarczowego nie ma wspólnego ekstremum z jednostkowym zużyciem energii (rys.39 i rys.46).



Rys. 47 Zestawienie wskaźników procesu i frakcji

Świadczy to o większej informatywności modelu efektywności energetycznej opartego na zależności (27) niż, spotykanego w wielu pracach, a opartego na jednostkowym zużyciu energii - zależność (26). Model według zależności (27) uwzględnia efekt energetyczny rozdrabniania w materiale rozdrabnianym, stąd jego szczególna przydatność do oceny procesów przetwórstwa mechanicznego pasz. Ocena poprawności modelu w przestrzeni badanych cech konstrukcyjnych rozdrabniacza, parametrów procesu przetwórstwa i pszen-żyta Largo wykazuje rozbieżność między obiektem na poziomie względnym $e_{rel}(x) \geq 11,5\%$. Rozbieżność między modelem i obiektem może być zmniejszona przez dosterowanie modelu lub zmiany w obiekcie. W przyjętym zakresie badawczym wszelkie zmiany w modelu muszą być merytorycznie uzasadnione, ponieważ większość składników modelu określa się na podstawie eksperymentów fizycznych (η_z , η_{bio} , η_s , η_p , E_{brutto} , P_R) lub obliczeń według równań matematycznych (F_R , σ_{max} , η_R).

Podobnie sterowanie cechami konstrukcyjnymi rozdrabniacza wielotarczowego jako obiektu jest realizowane tylko w obszarze cech dopuszczalnych.

Słabą stroną przyjętego modelu według zależności (27) jest brak możliwości ścisłego opisu relacji między przekrojem rozdrabniania F_R , a powierzchnią rozdrabniania między krawędziami otworów S_R . Nie ma, na obecnym etapie rozwoju wiedzy i techniki, takiego sposobu i opisu, które pozwalałyby objąć wszystkie zjawiska zachodzące w przestrzeni wielotarczowej podczas transportu i rozdrabniania. Dodatkowym utrudnieniem w dosterowaniu modelu są zjawiska drgań, a szczególnie ich losowy charakter oraz zmienność właściwości w przestrzeni pojedynczych ziaren (włókno, gaz, tłuszcz, woda, łuska).

Dlatego uzyskana rozbieżność między modelem, a obiektem należy uznać za dopuszczalną – jest ona najniższa wśród dotychczasowych prac badawczych.

Ponadto przyjęty i zweryfikowany model okazał się wygodnym narzędziem wspomagania procesu konstruowania w zakresie doboru podstawowych cech konstrukcyjnych rozdrabniacza nowej generacji. Model podatny na wspomaganie komputerowe konstrukcji i sam w sobie efektywny. Efektywny w doborze liczby otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy, liczby tarcz w pakiecie rozdrabniającym i liczby rzędów otworów w tarczach. Weryfikacja rezultatów eksperymentu symulacyjnego w warunkach konstrukcyjnych - na etapie budowy rozdrabniacza - podkreśla najmocniej znaczenie praktyczne procedury Test2 dla wspomagania konstrukcji wielotarczowych rozdrabniaczy nasion.

Na podstawie dotychczasowych wyników badań własnych została zaproponowana postać konstrukcyjna i wymiary rozdrabniacza, które zostaną wdrożone dla potrzeb przetwórstwa rolno - spożywczego w Przedsiębiorstwie Rolnym Kobylniki-Piaski (woj. bydgoskie).

Rozdział 6.

Cechy konstrukcyjne rozdrabniacza wielotarczowego spełniające kryteria efektywności energetycznej

Krytyczna analiza aktualnego stanu wiedzy i techniki rozdrabniania, opracowana metodyka wraz z precyzyjną techniką pomiarową zapewniają odpowiednią informatywność badań strumienia ruchowego i masowo - energetycznego procesu wielotarczowego rozdrabniania nasion, zbóż pozwalają wyznaczyć wartości cech konstrukcyjnych i parametry energetyczne wielotarczowego rozdrabniania nasion, których wystąpienie umożliwia uzyskanie najmniejszego jednostkowego zużycia energii przy odpowiedniej skuteczności organicznej procesu.

Wykorzystując uniwersalny model energetycznego wskaźnika rozdrabniania nasion na cele paszowe według zależności (27), przeprowadzono postępowanie konstrukcyjne związane z doбором cech konstrukcyjnych przestrzeni rozdrabniania, zakresów ruchowych silnika i przekładni dla wybranych rodzajów nasion, a prowadzące do wyznaczenia cech konstrukcyjnych (z obszaru dopuszczalnego), zapewniających najwyższą wartość tego wskaźnika.

Rozwiązanie konstrukcyjne, które umożliwia uzyskanie najniższego jednostkowego zużycia energii i odpowiedniej podatności biologicznej produktu opisane jest następującymi wartościami cech konstrukcyjnych, z obszaru dopuszczalnego przestrzeni rozdrabniania:

- ♦ cechy konstrukcyjne zespołu rozdrabniającego:
 - grubość tarcz nieparzystych $h_1^* = 10,00 \text{ mm}$,
 - grubość tarcz parzystych $h_2^* = 8,00 \text{ mm}$,
 - szczelina między tarczmi $s_i^* = 1,85 \text{ mm}$,
 - średnica otworów roboczych $d_i^* = 15,00 \text{ mm}$.
 - kąt krawędzi otworu $\gamma_i^* = 90^\circ$,
 - podziałka otworów $t_0^* = t_r^* = 25,00 \text{ mm}$,
 - chropowatość powierzchni $R_a^* = 10 \mu\text{m}$,
 - średnica zewnętrzna tarcz $D_z^* = 180,00 \text{ mm}$
 - średnica rozmieszczenia otworów $D_o^* = 111,46 \text{ mm}$

- liczba tarcz w pakiecie rozdrabniającym $l.t.^*=7$,
 - liczba rzędów otworów w tarczach $l.rz.^*=2$,
 - liczba otworów w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy $l.otw.^*=9$,
 - promień otworów rozdrabniających $r^*=0,0075$ m,
 - promień rozmieszczenia otworów przepustowo-rozdrabniających, w pierwszym rzędzie pierwszej tarczy $r_o^*=0,06$ m,
 - przyrost liczby otworów w sąsiednim (większym) rzędzie otworów tej samej tarczy $d_{m1}^*=2$,
 - przyrost promienia rozmieszczenia otworów w rzędzie sąsiednim niższej tarczy $d_{r1}^*=0,03$ m,
 - przyrost liczby otworów w rzędzie sąsiednim niższej tarczy $d_{m2}^*=2$,
 - Przyrost promienia rozmieszczenia otworów na sąsiednim obwodzie tej samej tarczy $d_{r2}^*=0,025$ m,
 - stałe cechy konstrukcyjne według rozwiązań serii próbnej ERGOP-CPBR 10.17/II.
- ♦ charakterystyki układu napędowego
- sprawność silnika $\eta_s \geq 0,80$,
 - sprawność przekładni $\eta_p \geq 0,80$,
 - nierównomierność kinematyczna $\Delta_k^* \leq 0,345$,
 - prędkość kątowa wału rozdrabniacza $8,22 \text{ rad/s} < \omega_2^* < 16,88 \text{ rad/s}$,
 - liniowa prędkość rozdrabniania $v_R^*=1 \text{ m/s}$,
- ♦ czas rozdrabniania modelowego $t_R^* < 1200 \text{ h}$.

Zużycie energii, przy rozdrabnianiu ziaren według zasady quasi - ścinania zależy od charakterystyki sprawnościowej silnika, przekładni i cech konstrukcyjnych elementów biorących udział w rozdrabnianiu.

Zużycie energii podczas rozdrabniania maszynowego, według zasady quasi - ścinania, zależy od poziomu odwzorowania warunków modelowych, charakterystyki sprawnościowej silnika, przekładni i stanu cech konstrukcyjnych elementów uczestniczących w rozdrabnianiu oraz zmienności charakterystyk ruchowych układu technicznego w czasie użytkowania.

Główną przyczyną obniżenia zużycia energii na rozdrabnianie nawet do kilku razy w stosunku do przyrostu wartości energii strawnej jest zaprojektowanie procesu rozdrabniania wykorzystującego, między innymi, podatność ziaren zbóż na ścinanie z jednoczesną możliwością sterowania cechami ruchu i konstrukcji krawędzi rozdrabniającej.

Wnioski

Wielotarczowe rozdrabniacze nasion należą do grupy maszyn o małym zakresie prędkości liniowej elementu rozdrabniającego. Na obecnym etapie rozwoju techniki może to być traktowane jako zaleta i jako wada. Zaleta w tym sensie, że prędkość rzędu 1 m/s jest prędkością ekologiczną tzn. sprzyjającą zachowaniu cech biologicznych produktu. Wadą - ze względu na wysokie prędkości obrotowe silników elektrycznych (1500 obr/min) stosowanych powszechnie do napędu maszyn.

Przewidując wykorzystanie rezultatów z badań realizowanych w ramach pracy, należy, uwzględnić aktualne ograniczenia wynikające ze stanu techniki i ekologii.

Wyniki badań i ich analiza w zakresie efektywności energetycznej rozdrabniaczy wielotarczowych ziaren upoważniają do wyciągnięcia wniosków i ustaleń końcowych.

Wnioski końcowe z rozprawy o charakterze poznawczym są więc następujące :

1. Usystematyzowany, według koncepcji ocen energetycznych, stan wiedzy i badań rozdrabniaczy umożliwia wyodrębnienie szerokiego zakresu badań efektywności energetycznej rozdrabniaczy wielotarczowych.
2. Dla zaistnienia warunków właściwych do wnioskowania o szczegółowych relacjach efektów i nakładów energetycznych zaprojektowano i wykonano system informacyjny PSI współdziałający z komputerem klasy IBM, a zweryfikowana metodyka potwierdza wysoką dokładność komputerowego bloku wspomagania eksperymentu cyfrowego i fizycznego.
3. Relacje energetyczne w procesie rozdrabniania wielotarczowego opisuje z odpowiednim poziomem dokładności model wskaźnika efektywności energetycznej w postaci zależności (27), w którym mianownik obejmuje nakłady energetyczne (maszynowe), a licznik efekty energetyczne w materiale rozdrabnianym. Zależność pomiędzy wskaźnikiem efektywności energetycznej rozdrabniacza, a szczeliną między tarczami s , liczbą rzędów otworów l.rz., liczbą otworów l.otw. i liczbą tarcz l.t. w zespole rozdrabniającym można opisać zależnością matematyczną o postaci :

$$e_R = -0,4704 s - 0,0957 \text{ l.rz.} + 0,48738 \text{ l.otw.} + 1,0421 \text{ l.t.} \text{ dla } R = 0,97$$

Dokładność opisu, oceniana kryteriami konstrukcyjnymi (symulacja (33) i (36)), w zakresie zgodności modelu i obiektu można doprowadzić sterując modelem do poziomu zgodności tych dwóch $e_{Rd}(x) = Z_d(x) = Q(x) \leq 11.5 \%$.

4. Dla zaistnienia maksimum sprawności procesu i podatności biologicznej pszenżyta Largo wystarczy spełnienie cech konstrukcyjnych i parametrów przetwórstwa z obszaru dopuszczalnego, ale spełniających kryteria efektywności energetycznej (rozwiązanie szczegółowe w rozdziale 6.), natomiast z badań cyfrowych – symulacyjnych wynika, że sprawność procesu i strawność produktu rozdrabniania zależą w sposób istotny od gatunku rozdrabnianego ziarna i mechanizmu wywołania odkształceń trwałych.
5. Nie ma logicznego związku między sprawnością procesu a strawnością produktu rozdrabniania. Można natomiast opisać przyrost strawności produktu energochłonnością procesu, która jest miarą skuteczności działań konstrukcyjnych nad rozdrabniaczem wielotarczowym i technologicznych nad procesem przetwórstwa.

Z rozprawy wynikają również wnioski o charakterze użytkowym. Ważniejsze z nich przedstawiono poniżej :

6. Odpowiednio zaproponowana strategia wspomagania konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych np. w oparciu o procedury wykorzystane w obliczeniach symulacyjnych (zależności (17) do (25)) może być wygodnym narzędziem projektowania, konstruowania, a przede wszystkim estymacji uzyskanego modelu konstrukcyjnego. Zaleca się więc stosowanie procedury Test2 do celów projektowo-konstrukcyjnych oraz dydaktycznych - w zakresie obliczania oporów rozdrabniania P_R , przekroju F_R i innych charakterystyk konstrukcyjnych .
7. Przeprowadzone badania wykazały, że istnieją podstawy do ciągłego podwyższania skuteczności działań technicznych w oparciu, między innymi o wskaźniki efektywności energetycznej rozdrabniania ziaren zbóż. Badania wykazały również potencjalne możliwości wykorzystania techniki pomiarowej PSI – standard IBM do badań innych materiałów rozdrabnianych i innych maszyn w zakresie efektywności energetycznej przetwórstwa dla potrzeb żywieniowych. Efektywności rozumianej szerzej niż energetycznie.

Rezultaty poznawcze rozprawy mogą być wykorzystane do dalszych badań, n.p. w kierunku bliższego wyjaśnienia przebiegu scharakteryzowanych zależności na podstawie zmian materiału, konstrukcji zespołu rozdrabniającego i wybranych cech ruchu.

Natomiast rezultaty użytkowe mogą być wykorzystane w produkcyjnym procesie wytwarzania i eksploatacji rozdrabniaczy wielotarczowych oraz w procesie dydaktycznym z zakresu wspomagania konstrukcji rozdrabniaczy wielotarczowych.

Wykaz literatury

- [1] Austin L.B.: Zur theorie der Zerkleinerung. Aufbereitungstechnik, 1/1966
- [2] Austin L.B.: A commentary on the Kick, Bond and Rittinger Laws of Grinding. Powder Technology 7/1973, s. 315 - 317
- [3] Barabaszkin W.P.: Molotkowyje i rotornyje drobilki. Nedra, Moskwa 983
- [4] Bartkowiak A.: Podstawowe algorytmy statystyki matematycznej. PWN Warszawa 1979
- [5] Baumgart S.: Zur Vergleich von Zerkleinerungsergebnissen der Einzelkornzerkleinerung bei verschiedenen Beanspruchungsarten. Powder Technology Nr 8/1973, s. 107 - 115
- [6] Bergner E.: Zum Einfluss des Zerkleinerungsprozesses auf die Verdulichkeit von Getreidekornen. Archiv. für Tiernährung. T 33, 6 1983, s. 2 - 3
- [7] Bernhardt H.: Zur mechanischen Aktivierung in Feinzerkleinerungsmaschinen. Dechema – Monogr. 76/1976, s. 213 - 225
- [8] Bieliński K., Jazdon A. : Układ sterowania i regulacji wzbudnika drgań modelującego nierówności nawierzchni dróg. Zagadnienia Eksploatacji Maszyn, PAN Zeszyt 2/1985
- [9] Bieliński K., Szala J., Topoliński T. : Stanowisko do badań zmęczeniowych elementów konstrukcyjnych pojazdów jednośladowych - wyniki badań. XIII Sympozjon PKM Świnoujście 1987
- [10] Bieliński K., Topoliński T., Jurkiewicz A.: System komputerowego sterowania stanowisk do badań zmęczeniowych. III Krajowa Konferencja Naukowo - Techniczna nt. Przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, sterowaniu i kontroli. AT - R Bydgoszcz 1988
- [11] Bieliński K.: Technika pomiaru jednostkowego zużycia energii przy wielotarczowym rozdrabnianiu nasion. Konferencja z okazji XL - lecia AT - R Bydgoszcz nt. Maszyny w procesach rozdrabniania materiałów rolniczych - spożywczych, Bydgoszcz 1992, s. 87 - 94
- [12] Bieliński M.: Podstawy i badanie podatności termoplastycznych tworzyw wtórnych na wybrane procesy przetwórstwa. Zeszyty Naukowe, ATR Rozprawy nr 48, Bydgoszcz 1992
- [13] Boss J.: Badania nad energią podczas rozdrabniania ziaren zbóż. Przegląd Zbożowo Młynarski 6/1986, s. 3 - 7
- [14] Brandt K.: Anmerkungen zur Beurteilung von Hammermühlen. Die Mühle 15/1970
- [15] Bródka B.: Rozdrabnianie jako podstawowa czynność technologiczna. Biuletyn Informacyjny Przem. Pasz. 1/1970

- [16] Buchar J., Dusek J., Svoboda J.: The behaviour of rocks at stress wave loading. Dechema - Monogr. 79/1976, s. 115 - 129
- [17] Byszewski W., Haman J.: Gleba, maszyna, roślina. PWN Warszawa 1977
- [18] Chwiej M.: Aparatura przemysłu spożywczego. Maszyny i aparaty. PWN Warszawa 1977
- [19] Chwiej M.: Próba doboru podstawowych wielkości konstrukcyjnych rozdrabniarki bijakowej w aspekcie wydajności i zużycia energii. Roczniki Nauk Rol. PAN T.76, z. 3, PWN Warszawa 1986.
- [20] Coffron J.W., Long W.E.: Technika sprzęgania układów w systemach mikroprocesorowych. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1988
- [21] Cowin S.C.: The Theory of Static Loads in Bins. J. of Appl. Mech. Trans. ASME 44/3 1977, s. 409 - 412
- [22] Cowin S.C.: Waves of Dilatancy in a Granular Material with Incompressible Granules. J. of Engin. Sci. Vol.19/1981, s. 993 - 1008
- [23] Dietrych J.: System i konstrukcja. WNT Warszawa 1985
- [24] Dirsa R., Jurkiewicz A., Flizikowski J.: Technika pomiaru charakterystyk układu napędowego maszyn rozdrabniających. III Krajowa Konferencja n.t. Przetwarzanie sygnałów w telekomunikacji, sterowaniu i kontroli, AT - R, Bydgoszcz, 1988, s. 295 - 300
- [25] Dmitrewski J.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T.3, PWRiL Warszawa 1978
- [26] Drescher A.: Zagadnienia doświadczalnej weryfikacji modelu ciała rozdrobnionego o wzmocnieniu gęstościowym. Rozpr. Inż. 20/1972, s. 351 - 387
- [27] Drescher A.: Badania mechanizmów plastycznego płynięcia materiałów ziarnistych. Rozprawa habil. IPPT Warszawa 1975
- [28] Dulcet E.: Badania funkcjonalne prototypu rozdrabniacza bijakowego H - 155. BZ - 86/81 Prace AT - R Bydgoszcz 1982
- [29] Dziama A.: Metody konstruowania maszyn. PWN Warszawa 1985
- [30] Energetyczne systemy wartościowania pasz. Materiały z seminarium 6 - 7 III 1985 AT - R Bydgoszcz
- [31] Erickson J.: Wheat versus corn in pelleted and meal diets. J. of Animal Science 7/1980
- [32] Fiala J., Jelinek A.: Fizykalni własnosti zemedelskich materialu. Zem.Technika. t. 17, z. 5 1971
- [33] Flizikowski J.: Badania trwałości bezstopniowych przekładni impulsowych stosowanych w maszynach rolniczych. Cz.I. Zesz. Nauk. AT - R, Mechanika 30, Bydgoszcz 1986, s. 5 - 18
- [34] Flizikowski J.: Badania trwałości bezstopniowych przekładni impulsowych stosowanych w maszynach rolniczych. Cz.II. Zesz. Nauk. AT - R, Mechanika 30, Bydgoszcz 1986, s. 19 - 32
- [35] Flizikowski J.: Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych układów funkcjonalnych i napędowych na energochłonność rozdrabniania nasion zbóż. Prace CPBR 10.17 - AT - R BZ - 235/86, Bydgoszcz 1986, 1988, 1989, 1990
- [36] Flizikowski J.: Wpływ rozwiązań konstrukcyjnych układów funkcjonalnych i napędowych maszyn na energochłonność rozdrabniania ziaren zbóż. CPBR 10.17. BZ - 84/86, AT - R; Bydgoszcz 1986
- [37] Flizikowski J.: Badania konstrukcyjne rozdrabniaczy. Szkoła Letnia, AR, Lublin 1987
- [38] Flizikowski J., Bieliński M.: Rozdrabniacz wielotarczowy zwłaszcza do materiałów ziarnistych. Patent RP P - 140486, UP, Warszawa 1988
- [39] Flizikowski J., Bieliński M.: Rozdrabniacz zwłaszcza do materiałów ziarnistych. Patent RP P - 144566, UP, Warszawa 1988
- [40] Flizikowski J., Bieliński M.: Beurteilen von Regelgetrieben für Kunststoffverarbeitungsmaschinen. Maschinenmarkt, Würzburg 97 (1991) 41, s. 44 - 49.

- [41] Flizikowski J., Mikołajczak J.: Strawność śruty zbożowej przy różnych technologiach rozdrabniania. Mat. Konf. Inżynieria Rozdrabniaczy. AT - R Bydgoszcz 1992, s. 109 - 117
- [42] Flizikowski J.: Technika identyfikacji wskaźników rozdrabniania. Roczniki Nauk Rolniczych, PAN TOM 79, C-3, Warszawa 1992, s.97-114
- [43] Flizikowski J.: Sprawność rozdrabniania. BS - 33/91, Bydgoszcz 1992
- [44] Flizikowski J.: Wskaźnik energetycznej efektywności rozdrabniania ziaren zbóż. IV Sympozjum Kanafojskiego, Płock 1988, s. 166 - 169
- [45] Flizikowski J., Bieliński M.: Wirkungsgrad und Ungleichförmigkeit von stufenlosen Schaltwerkgetrieben für Kunststoffverarbeitung. Maschinenmarkt, Würzburg 97 (1991) 32, s.68-71
- [46] Flizikowski J.: Dynamische Belastung verringern bei Zahnriemengetrieben während der Übergangsphasen. Maschinenmarkt, Würzburg 98 (1992) 38, s.128-132
- [47] Flizikowski J., Bieliński M.: Entwurf einer Mehrscheibenmaschine für Plastzerkleinerung. Technomer '87 Karl - Marx - Stadt 1987 s. 11 - 19
- [48] Flizikowski J.: Modell der Zerkleinerungsprozess - Charakteristiken in der Mehrscheibenchneidmühle. Teil I. ZFL - EFS, 41 (1990) Nr. 6, s. 31 - 36
- [49] Flizikowski J.: Modell der Zerkleinerungsprozess - Charakteristiken in der Mehrscheibenchneidmühle. Teil II. ZFL - EFS, 41 (1990) Nr. 7 - 8, s. 37 - 42
- [50] Flizikowski J.: Badania i podstawy konstrukcyjne wielotarczowych rozdrabniaczy nasion. Zeszyty Naukowe, AT - R Rozprawy nr 42, Bydgoszcz 1990
- [51] Flizikowski J.: Die Quasi - Scherung zur Zerkleinerung von Getreidekörnern. ZFL - EFS, 42 (1991) nr. 10, s. 56 - 60
- [52] Flizikowski J., Bieliński K.: Komputerowe wspomaganie konstruowania wielotarczowych rozdrabniaczy nasion. III Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Problemy techniki rolniczej i leśnej” SGGW - AR, Warszawa 1992, s.538-541
- [53] Friedrich W.: Factors Affecting the Particle Reduction Process in Hammermills. Die Mühle, z. 48, s. 648; z. 49, s. 660 1959
- [54] Friedrich W.: Wpływ własności fizycznych surowców na procesy technologiczne zachodzące przy sporządzaniu mieszanki paszowej. Biul. Inf. Przem. Paszowego nr 1/1971, s. 92 PWN Warszawa 1967
- [55] Gajdowicz M.: Porównanie sprawności ogólnej pojazdu. Archiwum Bud. Masz. t. 33, z. 3 PAN Warszawa 1986, s. 294 - 309
- [56] Gąska R., Kolowca J., Slipek Z.: Próba statystycznego opisu empirycznych rozkładów cech mechanicznych pszenicy. Roczn. Nauk Roln. Seria C t. 73, z. 4 1978
- [57] Gąska R., Kolowca J., Slipek Z.: Wpływ obciążeń mechanicznych na wartość biologiczną ziarna pszenicy. Roczn. Nauk Roln. Seria C, t. 73, z. 4 1978
- [58] Gąska R., Kolowca J.: Wpływ stopnia uwilgocenia ziarna na powstawanie mechanicznych uszkodzeń. Zesz. Probl. Nauk Roln. z. 202 1978
- [59] Gehrke B.: Übertragungsgleichungen für die Zerkleinerungskenngrößen bei der Vermahlung von Mais in Siebhammermühlen verschiedener Größe. T.U. Braunschweig 1971
- [60] Gehrke B.: Untersuchungen an einer Siebprallmühle mit Schlagleistenrotor. Sonderdruck aus Aufbereit. - Tech. Roczn. 12/1971, z. 4, s. 194 - 202
- [61] Giergiel J., Uhl T.: Podstawowe problemy identyfikacji układów mechanicznych. Mechanika 11, Z.N.P.Rz. Rzeszów 1986
- [62] Giergiel J.: Metoda identyfikacji układów mechanicznych przy wymuszeniu uderzeniowym. Arch. Bud. Maszyn t. 33, z. 3 PAN Warszawa 1986, s. 321 - 337

- [63] Geldemeister H. H.: Bruchphenomene und Spannungsfeld in prallbeanspruchten Kugeln. Dechema - Monogr. 79/1976, s. 131 - 149
- [64] Glebov L.: Skorost udara pelnovo izmielenia ziarna pri proizvodstwie kombikormov. Mukomolno - Elv. i Kombikor. Promish. 8/1979
- [65] Golec S., Kwiatkowski M.: Badania nad wpływem wilgotności surowców zbożowych na wydajność i energochłonność procesu rozdrabniania. Biul. Inf. Przem. Paszowego 1 - 2/1982
- [66] Golec S., Kwiatkowski M., Zawiślak K.: Wpływ dwustopniowego rozdrabniania na energochłonność procesu i jakość otrzymanych śrut. Biul. Inf. Przem. Paszowego 1/1983, s. 28 - 38
- [67] Greń J.: Statystyka matematyczna, modele i zadania. PWN Warszawa 1982
- [68] Grochowicz J.: Wpływ niektórych czynników na proces rozdrabniania surowców rozdrabniaczami bijakowymi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 225/1980, s. 209 - 217
- [69] Grochowicz J.: Technologia produkcji mieszanek paszowych. PWRiL, Warszawa 1985
- [70] Grochowicz J.: Niektóre zagadnienia odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne. Zesz. Probl. Nauk Roln. z. 112 1971
- [71] Grochowicz J., Laskowski J.: Analiza czynników wpływających na parametry pracy rozdrabniaczy bijakowych. Biul. Inf. Przem. Paszowego 1/1979, s. 4
- [72] Grochowicz J.: Badania zmian niektórych fizycznych cech mieszanek paszowych w wyniku ich rozdrabniania młynkiem młotkowym. Roczn. Nauk Roln. Seria C, t. 75, z. 2 1980
- [73] Haman J., Zdanowicz A.: O potrzebie rozszerzenia studiów nad reologią materiałów w rolnictwie. Roczn. Nauk Roln. Seria C, t. 68, z. 2 1968
- [74] Hanzelik F.: Poznakomy u deformacji rostlin pri zatageni. Polnohospodarstvo Vsak Bratislava 8/1968
- [75] Hanzelik F.: Energia na deformacji u zarn jecmana pri dynamickom a statickom zatageni. Zam. Technika 8/1979
- [76] Huizing J.A.: Korrelhardheidzmetr. Jearverslag Wageningen 1969
- [77] Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa : Sprawozdania z badań kwalifikacyjnych rozdrabniaczy za lata 1975 - 1987
- [78] Iracki L.: Rozwiązania technologiczne w wytwórniach pasz na świecie. Przegląd Zboż. - Młyn. 3 - 4/1986
- [79] Jankowski S.: Zarys technologii zbóż i strączkowych jadalnych. PWN, Warszawa 1967
- [80] Jankowski S.: Wzajemne ustawienie rowków par walców. Przegląd Zboż. - Młyn. 7 - 8/1985
- [81] Jankowski S.: Zarys technologii młynarstwa i paszarstwa. WNT Warszawa 1981
- [82] Jindal V.K., Austin L.G.: The Kinetics of Hammer Milling of Maize. Powder Technology 14/1976, s. 35 - 39
- [83] Jurga R.: Przemiał pszenicy obecnie i kierunki postępu technologicznego. Przegląd Zboż. - Młyn. 5/1986, s. 22
- [84] Jurga R., Kowalewski W.: Propozycje udoskonalenia konstrukcji maszyn i urządzeń krajowych. Przegląd Zboż. - Młyn. 4/1985
- [85] Kalwaj J., Ciucias J.: Zmodernizowany rozdrabniacz bijakowy. Przegląd Zboż. - Młyn. 3/1983, s. 27
- [86] Kalwaj J.: Analiza możliwości zmniejszenia energochłonności rozdrabniacza udarowego ziarna zbóż przez zastosowanie wymuszonego przepływu powietrza. Mechanika 24 Z.N. AT - R Bydgoszcz 1981

- [87] Kalwaj J.: Ocena parametrów technologicznych nowej konstrukcji rozdrabniacza bijakowego do zbóż. Konferencja z okazji XL - lecia AT - R Bydgoszcz nt. Maszyny w procesach rozdrabniania materiałów rolno - spożywczych, Bydgoszcz 1992, s. 131 - 139
- [88] Kanafojski Cz., Karwowski T.: Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. T. 2 PWRiL Warszawa 1972
- [89] Kerlin H.P.: Zerkleinerung von Kohle als Einzelkorn und von kollektiv. T.U. Braunschweig 1980
- [90] Kikiewicz Z.: Zagadnienia podwyższania niezawodności złożonych obiektów na przykładzie maszyn papierniczych. Mechanika 24 Z.N. AT - R Bydgoszcz 1981, s. 77 - 89
- [91] Kikiewicz Z., Grzegórski J.: New view on the refining proces of fibre materiale indisc andconical refiners. Konferencja z okazji XL - lecia AT - R Bydgoszcz nt. Maszyny w procesach rozdrabniania materiałów rolno - spożywczych, Bydgoszcz 1992, s. 6-13
- [92] Kikiewicz Z., Flizikowski J., Bieliński M.: A mathematical model of the comminution process in multiple disc cutting mill. TiAE Prague 1992, s. 283-289
- [93] Klimienko N., Kirpicznikow F.: Isledovania regima roboty mołotkovych drobiłok. Nauka Elev. i Kombikormovaja Prom. Moskwa 4/1972
- [94] Kocańda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęzeniowych. PWN Warszawa 1985
- [95] Kocańda S., Dietrych J.: Podstawy konstrukcji maszyn. PWN Warszawa 1971
- [96] Kolowca J.: Badania nad wytrzymałością ziarna zbóż. Z.N. WSR w Krakowie z. 14/1977
- [97] Kolowca J.: Badania nad wytrzymałością ziarna pszenicy na powstawanie mechanicznych uszkodzeń. Roczn. Nauk Roln. Seria C, t. 71, z. 3 1974
- [98] Kolowca J., Ptaszek K.: Pomiar wielkości geometrycznych ziarna zbóż. Roczn. Nauk Roln. Seria C, t. 71, z. 2 1974
- [99] Kottel N.: Die Hammermühle einer der Hauptmaschinen in der Kraftfutterindustrie. Die Mühle 13/1975
- [100] Koziej J.: Stan mechanizacji produkcji zwierzęcej w gospodarstwach indywidualnych. Roczn. Nauk Roln. Seria C t. 74, z. 2 1980
- [101] Koziej J.: Urządzenia techniczne w rolnictwie. PWRiL Warszawa 1982
- [102] Kulka Z., Libura A., Nadachowski M.: Przetworniki analogowo - cyfrowe i cyfrowo - analogowe. WKŁ, Warszawa 1987
- [103] Kwieciński A.: Maszyny do produkcji zwierzęcej. Skrypt AR Lublin 1975
- [104] Kwieciński A.: Maszyny i urządzenia w produkcji zwierzęcej. PWN Warszawa 1984
- [105] Leśniewski J.: Metoda oceny stopnia rozdrabniania surowców i mieszanek paszowych. Biul. Inf. Przem. Paszowego 1 - 2/1982
- [106] Levinson M.: Displacement and Velocity Fields in Hoppers. Powder Technology 16/1977, s. 29 - 43
- [107] Liepe L.: Zur Modellierung der Zerkleinerung in der Hammermühle. Disertation A, T.U. Dresden 1986
- [108] Lipiński M., Słomkowski J.: Badania niektórych właściwości fizycznych brykietów. Przegląd Hodowlany 18/1976, s. 6
- [109] Mańczak K.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WN - T Warszawa 1970
- [110] Mohsenin N.N.: Physical Properties of Plant and Animal Materials, Vol 1, Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers, New York 1970

- [111] Mościcki L.: Tendencje rozwojowe w konstrukcji rozdrabniaczy bijakowych w przemyśle paszowym. *Przemysł Spoż.* 10/1975
- [112] Mróz Z.: Podstawy teorii plastyczności ośrodków rozdrabnianych. Ossolineum Wrocław 1972
- [113] Mróz Z.: Doskonalenie metod badania parametrów płynięcia materiałów ziarnistych. *Prace IPPT* nr 54, 1973
- [114] Muszyński H.: Wstęp do metodologii pedagogiki. PWN Warszawa 1970
- [115] Nowak A.: Teoretyczne podstawy rozdrabniania ciał stałych. *Prace Nauk. - Bad. Inst. Masz. Spoż.* Warszawa 1972
- [116] Nowak A.: Badania wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych rozdrabniającego zespołu bijakowego na efektywność rozdrabniania materiałów ziarnistych. P.P. Poznań 1976
- [117] Nowakowski W.: Systemy interfejsu w miernictwie. WKŁ, Warszawa 1987
- [118] Nowicki W.: Proces pelzania w warunkach jednoosiowego ściskania ziarna pszenicy, żyta i jęczmienia. *Przegl. Zboż. - Młyn.* 12/1978
- [119] Oepek D.: Zerkleinerungstechnik - eine Übersicht. *Verfahrenstechnik* 10 nr 5/1976, s. 285 - 289
- [120] Pabis S.: Metodologia i metody nauk empirycznych. PWN Warszawa 1985
- [121] Pahl M., Landwehr D.: Abkühlverhalten von Pfeffer bei der Kaltzerkleinerung. *ZFL Karlsruhe* 8/1987, s. 660 - 673
- [122] Pfost H.B.: Grindig and Rolling. Feed Manufacturing Technology. Amer. Feed Manufac. Ass. Inc. Arlington 1976
- [123] Piłat J.: Wpływ śrutowania i gnicenia na strawność i wartość pokarmową ziarna jęczmienia w żywieniu tuczników. *Prace AT - R Bydgoszcz WZ* 35/1985
- [124] Pieriegudow W.: Metoda najmniejszych kwadratów i jej zastosowanie. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 1967
- [125] Podkówka W.: Metody intensyfikacji produkcji zwierzęcej w oparciu o regionalną bazę paszową. *Sprawozdania Naukowe AT - R Bydgoszcz CPBR* 10.17/1987 - 90
- [126] Polański Z.: Współczesne metody badań doświadczalnych. Wiedza Pow. Warszawa 1978
- [127] Polański Z.: Planowanie doświadczeń w technice. PWN Warszawa 1984
- [128] Popko H.: Maszyny przemysłu spożywczego - ćwiczenia laboratoryjne. Politechnika Lubelska - Wydawnictwo uczelniane, Lublin 1986
- [129] Popko H.: Maszyny przemysłu spożywczego. Wydawnictwa PL Lublin 1983, 1987
- [130] Popko R.: Ćwiczenia laboratoryjne z techniki ogólnej przemysłu spożywczego. Wydawnictwo PL Lublin 1982
- [131] Przedpełski S. i in.: Ocena technologii produkcji przemysłowych mieszanek paszowych rozdrabnianych po zmieszaniu surowców. *Biul. Inf. Przem. Paszowego* 3 - 4/1972, s. 57
- [132] Ptacin S.: Izменение качеств семян под воздействием ударных нагрузок. *Вестник Сиелкохоз. Наук* 7/1967
- [133] Praca zbiorowa: Sprężysto - plastyczne modele ośrodków rozdrobnionych. Ossolineum 1980
- [134] Pytkowski W.: Organizacja badań i ocena prac naukowych. PWN Warszawa 1981
- [135] Rak J., Flizikowski J.: Technologische Probleme der Zahnriemenherstellung. *Technische Rundschau* nr 5/1989, s. 24 - 27
- [136] Rawa T.: Wpływ zmiennych parametrów pracy rozdrabniaczy bijakowych na efektywność rozdrabniania ziarna. A. R. Lublin 1980

- [137] Richtlinien 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf 1986
- [138] Rumpf H.: Mechanische Verfahrenstechnik. Carl Hanser Verlag München 1975
- [139] Rumpf H.: Wirtschaftlichkeit und ekonomische Bedeutung des Zerkleiners. Dechema - Monogr. 79/1976, s. 19 - 41
- [140] Ruszczyc Z.: Żywnienie zwierząt i paszoznawstwo. PWRiL Warszawa 1988
- [141] Sikora R.: Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. PWN, Warszawa 1987
- [142] Sikora R., Flizikowski J., Makhief A.A.: Następstwa zmian cech materiałowych koła zębatego z poliamidu przekładni pasowo - zębatej. Archiwum Nauki o Materiałach 1990
- [143] Skrzypiński J.: Mechaniczne uszlachetnianie surowców. Przegląd Zboż. - Młyn. 1 - 2/1986
- [144] Strona J.: Uszkodzenia nasion, przyczyny i zapobieganie. PWRiL Warszawa 1977
- [145] Szala J.: Obciążenia i trwałość zmęczeniowa elementów maszyn - materiały podstaw konstrukcji maszyn Wyd. AT - R Bydgoszcz 1989
- [146] Szala J.: Podstawowe zagadnienia w konstruowaniu maszyn. Wyd. AT - R Bydgoszcz 1990
- [147] Szot B., Grundas S., Grochowicz J.: Metodyka określania odporności ziarna zbóż na odkształcenia mechaniczne. Roczn. Nauk Roln. Seria C t. 70, z. 3 1973
- [148] Szot B.: Metodyczne aspekty oceny cech fizycznych ziarna pszenicy. Roczn. Nauk Roln. Seria D t. 160 1976
- [149] Szot B., Horabik J.: Zagadnienia mechaniki ośrodków sypkich pochodzenia rolniczego. Problemy Agrofizyki 33/1980
- [150] Szumera Z.: Rozdrabnianie komponentów paszowych. Przegląd Zboż. - Młyn. 4/1979
- [151] Szumielewicz B., Słomski B., Styburski W.: Pomiary elektroniczne w technice. WN - T, Warszawa 1982
- [152] Tim Z.: Optymalizacja parametrów organów roboczych rozdrabniaczy bijakowych do suchych pasz objętościowych. P.P. Poznań 1978
- [153] Trojanowski P.: Energochłonność produkcji pasz przemysłowych i kierunki poszukiwania rezerw energetycznych. Przegląd Zboż. - Młyn. 12/1976
- [154] Tylżanowski J.: Badania nad rozdrabnianiem wybranych surowców paszowych w młewniku walcowym i młynku strumieniowo - powietrznym. Biul. Inf. Przem. Paszowego 3/1975, s. 39
- [155] Unruch R.: Rozdrabniacze bijakowe. Prace PIMR Poznań 3/1983
- [156] Uzarowicz L.: Maszyny i urządzenia młyńskie. WSiP Chorzów 1977
- [157] Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WN - T Warszawa 1973
- [158] Wójcicki Z.: Efekty i efektywność postępu technicznego w rolnictwie. Masz. i Ciąg. Rolnicze 1/1986
- [159] Ziomba S.: Samowystarczalność żywieniowa a wydajność produkcyjna rolnictwa. Nowe Rolnictwo 1 - 2/1986
- [160] Żernicki W.: Metody oceny pasz granulowanych. Biul. Inf. Przem. Paszowego 3/1970, s. 33

Skrypty, katalogi i normy

- [161] AGRIS: Zbiór światowej literatury z zakresu rozdrabniania FAL - RFN, G.Englert 1975 - 1986
- [162] Das Futterbewertungssystem VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1972
- [163] DLG Futterwerttabelle für Schweine
- [164] DLG Prüfberichte 3309, 3196, 2955, 3419, 3618
- [165] DLG Verlag: Zerkleinerung. Frankfurt am Main 1980
- [166] Katalog SPOMASZ: Maszyny i urządzenia dla przemysłu spożywczego
T.1. Maszyny i urządzenia dla przemysłu zbożowo - paszowego. WEMA Warszawa 1979
- [167] NAGEMA: Zerkleinerungsmaschinen. Berlin 1987
- [168] PN - 67/R - 64804: Przetwory zbożowe przeznaczone na paszę. Śruty Zbożowe.
- [169] PN - 68/R - 64798: Pasze. Oznaczanie rozdrabniania.
- [163] PN - 68/R - 74017: Ziarna zbóż. Oznaczanie masy 1000 ziaren.
- [164] PN - 69/R - 74016: Ziarna zbóż. Oznaczanie szkodników i zanieczyszczeń, zaśmiecenia.
- [165] PN - 71/C - 04501: Analiza sitowa. Wytyczne wykonania.
- [166] PN - 73/R - 74007: Ziarno zbóż. Oznaczanie gęstości.
- [167] PN - 75/R - 64769: Pasze. Pobieranie próbek.
- [168] PN - 75/R - 64787: Pasze. Oznaczanie szkodników zbożowo - mącznych i zanieczyszczeń.
- [169] PN - 76/R - 64752: Pasze. Oznaczanie wilgotności.
- [170] PN - 81/N - 01306: Hałas maszyn. Metody pomiaru.
- [171] PN - 84/R - 64798: Pasze. Oznaczanie rozdrabniania.
- [172] PN - 82/R - 74011: Ziarno zbóż. Oznaczanie gęstości.
- [173] Szczęsny B. i in.: Typizacja maszyn i urządzeń dla przemysłu paszowego.
Cz. I i II. Centralne Laboratorium Przemysłu Paszowego, Lublin 1975
- [174] Podkówka W.: Główne kierunki gospodarki żywnościowej.
Materiały KŻiGP, AT - R Bydgoszcz 1986
- [175] Ziółcka M., Kuźdowicz J., Kielanowski J.: Tabele składu chemicznego i wartości pokarmowej pasz krajowych. PAN Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt. PWN Warszawa 1979

Załącznik 1

Zestawienie właściwości energetycznych materiałów rozdrabnianych

Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania pomiarowe
(Z.1-1)	Griffith (1920)	<p>Energia rozwoju pęknięcia :</p> $\Delta U = 4 l \gamma - \frac{\Pi l^2 \sigma^2}{E}$ <p> ΔU - całkowita energia rozwoju pęknięcia, l - długość szczeliny, γ - energia powierzchniowa na utworzenie nowej swobodnej powierzchni, σ - naprężenia przy rozciąganiu, E - współczynnik sprężystości materiału rozdrabnianego. </p>	Trudny pomiar długości szczeliny, zastosowanie do ośrodków jednorodnych.
(Z.1-2)		<p>Naprężenie krytyczne przy pękaniu :</p> $\sigma_{KR} = \sqrt{\frac{2E}{\Pi l_{KR}}}$ <p> l_{KR} - krytyczna długość szczeliny, σ_{KR} - krytyczne naprężenie . </p>	Trudny pomiar długości szczeliny, zastosowanie do ośrodków jednorodnych.
(Z.1-3)		<p>Odporność na pęknięcie :</p> $K_C = \sigma_{KR} \sqrt{\pi l_{KR}} = \sqrt{2E \gamma_{KR}}$	
(Z.1-4)	Behrens (1965) Rumpf (1965) Schoner (1976) Dmitrewski (1978)	<p>Naprężenia w miejscu zderzenia bijaka z materiałem rozdrabnianym :</p> $\sigma_{max} = B m^n v^{2n} r^{-3n} E^{1-n}$ <p> σ_{max} - maksymalne naprężenie w miejscu zderzenia, B - współczynnik proporcjonalności, m - masa cząstki, v - prędkość zderzenia, r - promień cząstki, n - stała, zależna od charakteru zderzenia. </p>	Stosowana tylko do rozdrabniaczy bijakowych z bijakami stałymi i ruchomymi.
(Z.1-5)		<p>Maksymalne naprężenia w miejscu zderzenia wg Herza :</p> $\sigma_{max} = 0,098^{1/5} \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^{1/5} v^{2/5} \left(\frac{1}{r_1} \frac{1}{r_2} \right)^{3/5} \left(\frac{1 - v_1^2}{E_1} + \frac{1 - v_2^2}{E_2} \right)^{-4/5}$ <p> m_1, m_2 - masa bijaka i masa cząsteczki, r_1, r_2 - promień bijaka, v_1, v_2 - liczba Poissona dla obu ciał, E_1, E_2 - współczynniki sprężystości bijaka i cząstki. </p>	Stosowana tylko do rozdrabniaczy bijakowych z bijakami stałymi i ruchomymi.
(Z.1-6)		<p>Po uproszczeniu wzór (Z.1-5) przyjmuje postać :</p> $\sigma_{max} = 0,098^{1/5} m_2^{1/5} v^{2/5} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)^{3/5} \left(\frac{1 - v_2^2}{E_2} \right)^{-4/5}$	
(Z.1-7)	Schonert (1976) Kerlin (1980)	<p>Maksymalna siła działająca w fazie zderzenia :</p> $P_{max} = \frac{2}{3} \Pi \frac{d^2}{4} \sigma_{max}$	Stosowana tylko do rozdrabniaczy bijakowych z bijakami stałymi i ruchomymi.
(Z.1-8)		$\frac{d}{2} = r_1 v^{2/5} \left[(1 + k) (1 - v_1) \frac{\rho_2}{E_1} \right]^{1/5} 1,325$	
(Z.1-9)		$K = \frac{(1 - v_2^2) E_1}{(1 - v_1^2) E_2}$ <p> r_1 - promień rozdrabnianej cząstki, r_2 - gęstość rozdrabnianego materiału. </p>	

Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania pomiarowe
(Z.1-10)		<p>Czas uderzenia :</p> $\tau = 2,174 \left[\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \left(\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 \left(\frac{1 - \nu_1}{E_1} \right) (1 + K) v^{-1} \right]$ <p>Po uwzględnieniu zjawisk towarzyszących odkształceniu trwałemu i rozpadowi :</p> $\tau = \left[r - \sqrt{r^2 - \frac{d_2}{4}} \right] v^{-1}$ <p>d - średnica powierzchni kontaktu przed rozpoczęciem pęknięcia.</p>	Stosowana tylko do rozdrabniaczy bijakowych z bijakami stałymi i ruchomymi.
(Z.1-11)			
(Z.1-12)	Flizikowski (1986)	<p>Dla przypadku quasi-ścinania technologicznego ziaren, siła oporów rozdrabniania :</p> $P_R = C_1 C_2 \frac{1}{\operatorname{tg} \tau} f(F_R)$ <p> P_R - jednostkowy opór rozdrabniania, C_1 - współczynnik uwzględniający geometryczne cechy konstrukcyjne krawędzi rozdrabniających, C_2 - współczynnik uwzględniający właściwości wytrzymałościowe materiału, $f(F_R)$ - pewna funkcja zależna od przekroju warstwy rozdrabnianego materiału, τ - kąt cięcia ślizgowego. </p> <p>Przy stałych warunkach rozdrabniania :</p> $C = C_1 C_2 f(F_R)$ <p>i wówczas w warunkach modelowych :</p> $P_R = C \frac{1}{\operatorname{tg} \tau}$ <p>Siła rozdrabniania :</p> $P_R = \frac{P_R F_R \cos \tau (1 + \mu \operatorname{tg} \tau)}{\sin \chi}$ <p> μ - współczynnik tarcia, χ - kąt między ostrzami rozdrabniających otworów , F_R - przekrój powierzchni rozdrabnianej. </p>	<p>Analogia do modelu Melnikowa, trudności w wykorzystaniu modelu do badań efektywności energetycznej.</p>
(Z.1-13)			
(Z.1-14)			
(Z.1-15)			<p>Analogia do modelu Melnikowa, trudności w wykorzystaniu modelu do badań efektywności energetycznej.</p>
(Z.1-16)	Podkówa Mikołajczak Flizikowski (1987)	<p>Strawność produktu. Biologiczny wskaźnik rozdrobnienia :</p> $\eta_{bio} = \sum f_{xi} \eta_{bioxi}$ <p> f_{xi} - udział masowy sruły o i - tym wymiarze, η_{bioxi} - strawność suchej masy in vitro lub in vivo dla i - tego wymiaru cząstek. </p> <p>Model energetyczny quasi - ścinania nasion zbóż:</p> $E_{T\lambda} = E_I + E_{II} + E_{III} + E_{IV}$ <p> E_I - zużycie energii na zginanie i owalizację poprzeczną nasion, E_{II} - zużycie energii na ścinanie nasion, E_{III} - zużycie energii na przemieszczanie nasion pomiędzy płaskownikami w końcowej fazie ścinania, E_{IV} - zużycie energii podczas wzajemnego oddziaływania kawałków nasion i powierzchni płaskowników. </p>	<p>Do celów badań naukowych, w naukach technicznych, zasadniczo przydatna ocena tylko w warunkach in vitro - jako zbliżona do oceny obiektywnej.</p> <p>Bilans energetyczny zjawiska napotyka na trudności w zakresie zjawisk cieplnych, przepływów i drgań oraz losowości przejść, przemieszczeń, przekształceń. .</p>
(Z.1-17)			
(Z.1-18)	Kerlin (1980)	<p>Funkcje aproksymujące Rosina - Rammlera - Sperlinga (RRS) : - uproszczona funkcja RRS :</p> $\bar{R} = e^{-ax}$	Opis o znaczeniu statystycznym, wymaga dużych umiejętności merytorycznych.

Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania pomiarowe
(Z.1-19)	Flizikowski (1987)	- standardowa funkcja RRS : $\bar{R} = e^{-(ax)^n}$	
(Z.1-20)		- modyfikowana funkcja RRS : $\bar{R} = b e^{-(ax)^n} + c$	
(Z.1-21)		- przetransformowana funkcja RRS : $\bar{R} = e^{-(ax)^n}; t = \frac{x}{x_0 - x}$ \bar{R} - dopełnienie przesiewu, x - wymiar cząstki, x_0 - średnica otworu, a, t, n - parametry równań.	
(Z.1-22)	Kerlin (1980)	Przyrost powierzchni w rozdrabniaczu bijakowym $2F_R = \frac{1}{\rho x_0} \left[\left(0,0355 \frac{x_0}{x_w} \right)^{-0,29D/D_w + 1,32} \right] \frac{V_R}{V_w} e^{1,795/n^2}$ $x_w = 1 \text{ mm}, D_w = 1 \text{ m}, v_w = 1 \text{ m/s}, n = 0,9.$	Opis o znaczeniu statystycznym, wymaga dużych umiejętności merytorycznych.
(Z.1-23)	Flizikowski (1987)	Przyrost powierzchni w rozdrabniaczu wielotarczowym $2F_R = \frac{6}{\rho} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} e^{-(a/s_i)^n} \frac{n}{x^2} dx$ $2F_R$ - przyrost powierzchni równy podwójnej powierzchni rozdrabniania, s_i - średnia wartość szczeliny między tarczami, a, n - parametry zależne od cech konstrukcyjnych rozdrabniacza, x - wymiar cząstki.	Opis o znaczeniu statystycznym, wymaga dużych umiejętności merytorycznych.
(Z.1-24)		Wydajność procesu rozdrabniania określa się stopniem rozdrobnienia λ: $\lambda = \frac{d_0}{d}$ d - średni rozmiar cząstek po rozdrobnieniu, d_0 - średni rozmiar cząstek przed rozdrobnieniem.	
(Z.1-25)		Przyrost powierzchni właściwej jest wskaźnikiem efektu rozdrabniania. $\Delta F = F - F_0$ F - powierzchnia właściwa po rozdrobnieniu, F_0 - powierzchnia właściwa przed rozdrobnieniem.	
(Z.1-26)		Przyjmując założenie, że cząstki materiału mają kształt kulisty to powierzchnia jednej cząstki wynosi: $F_{cz} = \frac{6V_{cz}}{d_{cz}} = \frac{6m_{cz}}{\rho d_{cz}}$ m_{cz} - masa cząstki, d_{cz} - średnica cząstki, ρ - gęstość materiału.	

Ograniczenia w zakresie pomiaru i interpretacji przekroju, powierzchni i głębokości penetracji soków trawiennych w przypadku rozdrabniania dla pasz.

Załącznik 2

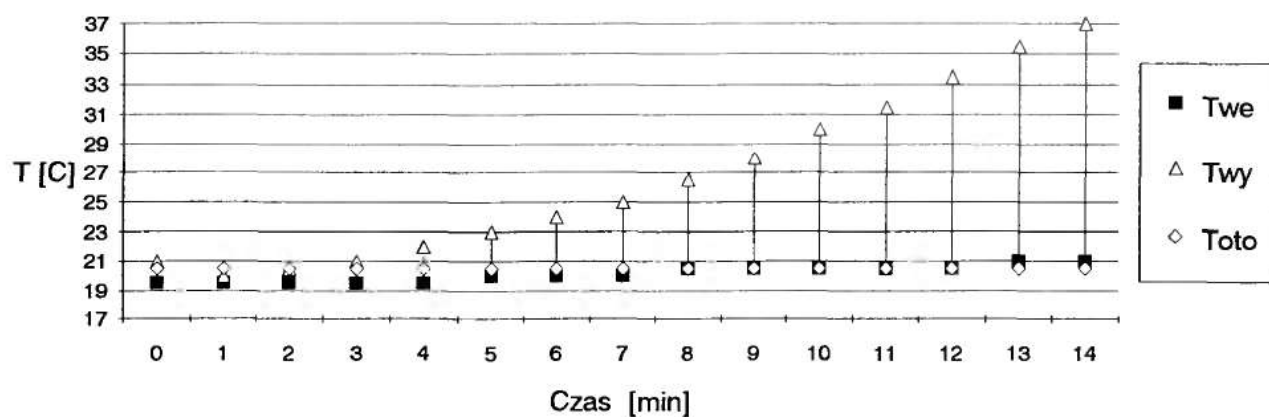
Zestawienie właściwości i opisów procesu rozdrabniania

Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania pomiarowe
(Z.2-1)	Powszechnie stosowana	<p>Zużycie energii towarzyszące rozdrabnianiu rzeczywistego strumienia masy:</p> $E_{Rl} = \frac{N_R}{W_l}$ <p>Jednostkowa praca rozdrabniania:</p> $L_{Rj} = n b v^2$	Dokładność technik pomiarowych.
(Z.2-2)			
(Z.2-3)	Kerlin (1980)	<p>Nakład energii na wytworzenie nowych powierzchni:</p> $E_R = \frac{(M_R - M_j) \frac{2 v}{D m}}{\frac{6,39}{\rho x_o} \left[\left(0,0355 \frac{x_o}{x_w} \right)^{-0,29} \frac{D}{D_w} + 1,32 \right] \frac{v}{v_w} e^{1,795k^{-2}}}$ <p> M_R - moment obrotowy na osi rozdrabniacza, M_j - moment obrotowy ruchu jałowego, D - średnica komory rozdrabniania, x_o - średnica otworów w sicie rozdrabniacza, k - stała wpływu prędkości, w - indeks wartości względnej w programie badań. </p>	Dokładność technik pomiarowych.
(Z.2-4)	Boss (1986)	<p>Energochłonność rozdrabniania:</p> $E_R = \frac{1}{m} \left[\int_0^{\tau} N(\tau) d\tau - N_j \tau_{sr} \right]$ <p> $N(t)$ - moc pobierana przez rozdrabniacz w chwili t, N_j - moc na realizację biegu jałowego, τ_{sr} - średni czas odczytany z wykresu. </p> <p>Jako rozwiązanie zależności (Z.2-4) przyjmuje się:</p> $E_R = C_B \frac{2}{x_z^{0,5}} (\lambda^{0,5} - 1)$ <p> C_B - stała równania Bonda, $C_B = 587$ dla pszenicy, $C_B = 352$ dla owsa, $C_B = 623$ dla jęczmienia, x_z - wymiar początkowy ziarna, λ - stopień rozdrobnienia. </p>	
(Z.2-5)			
(Z.2-6)	Flizkowski (1987)	<p>Energochłonność układu technicznego do rozdrabniania:</p> $E_R = \frac{(k_j v_R + \sigma_{max} F_R + \varepsilon F_R v_R^2) v_R t}{\eta_S \eta_P}$ <p> F_R - powierzchnia wtórnych oddziaływań po zasadniczym rozdrobnieniu, k_j - współczynnik oporów ruchu jałowego, v_R - prędkość rozdrabniania, σ_{max} - maksymalne naprężenia w miejscu oddziaływania elementu rozdrabniającego na materiał, F_R - pole rozdrabnianego przekroju, ε - współczynnik proporcjonalności. </p>	Dokładność techniki pomiarowej i podatność konstrukcji na obliczanie podstawowych relacji wymiarowych.
(Z.2-7)	Nowak (1976) Chwiej (1986)	<p>Wydajność z uwzględnieniem czynników badanych:</p> $W = a v^2 + b v + c (x_o - x_w) + d (N - N_w) + e (l - l_w)$ <p> W - wydajność procesu rozdrabniania, $a, b, c, d, e, x_w, N_w, l_w$ - stałe dla danego modelu rozdrabniacza i rodzaju ziarna, l - długość bijaka, N - moc napędu. </p>	Dokładność technik pomiarowych.

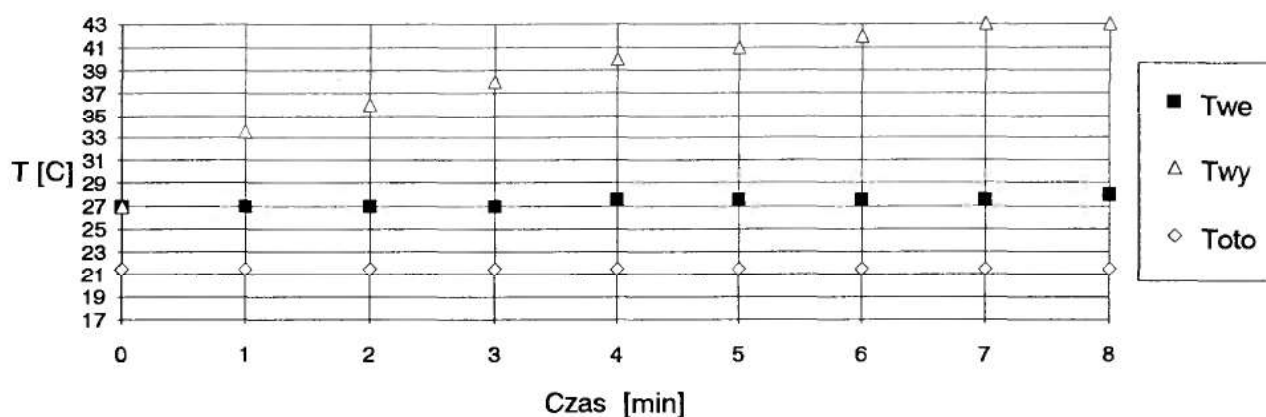
Lp	Autor pracy lub teorii	Istota i zakres merytoryczny opisu	Ograniczenia, uwarunkowania pomiarowe
(Z.2-8)	Flizikowski (1987)	<p>Wydajność rozdrabniacza wielotarczowego:</p> $W = \Pi \rho_s \Sigma d_i s_i \psi_i v_{si}$ <p> ρ_s - masa usypowa, d_i - średnica i - tej tarczy, s_i - szczelina przy i - tej tarczy, ψ_i - współczynnik wypełnienia i - tej szczeliny roboczej, v_{si} - prędkość produktu opuszczającego rozdrabniacz na i - tej tarczy. </p>	Dokładność technik pomiarowych.
(Z.2-9)	Flizikowski (1987)	<p>Wskaźnik efektywności rozdrabniania nasion zbóż:</p> $e_R = \frac{\Delta E_{bio}}{E_R}$ <p> e_R - wskaźnik efektywności rozdrabniania nasion zbóż, ΔE_{bio} - przyrost energii wyzwolonej przez rozdrabnianie, E_R - energochłonność rozdrabniania maszynowego. </p>	Dokładność technik pomiarowych, współdziałania kilku dyscyplin naukowych, współpraca z komputerem

Załącznik 3

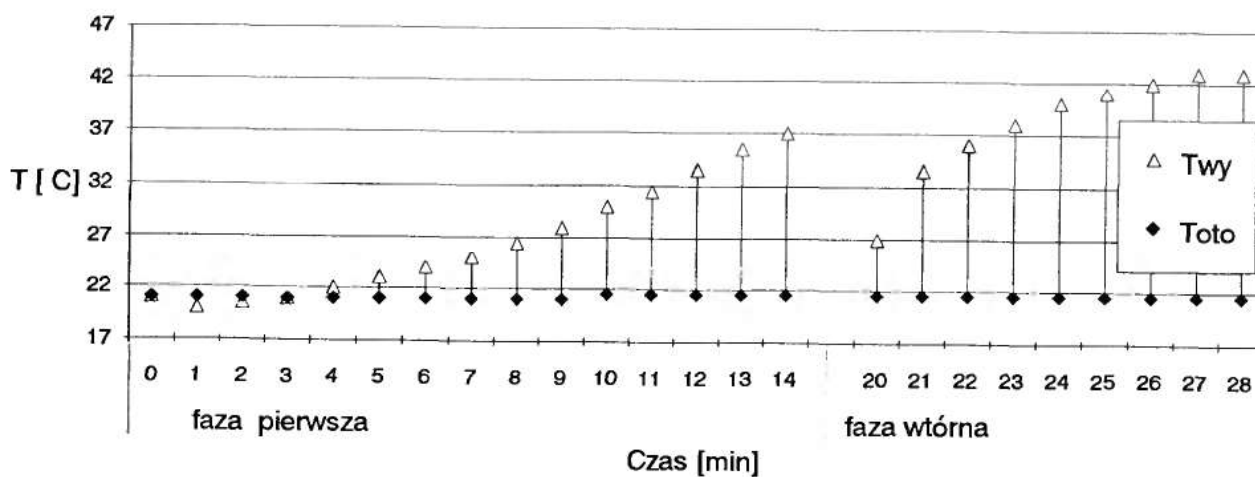
Wyniki badań nad temperaturą wsadu i produktu rozdrabniania



Rys. Z.3-1 Temperatura wsadu Twe i produktu Twy w funkcji czasu; Toto = 21°C



Rys. Z.3-2 Temperatura wsadu Twe i produktu Twy w funkcji czasu przy wtórnym rozdrabnianiu; Toto = 21°C



Rys. Z.3-3 Temperatura produktu Twy w funkcji czasu przy pierwszym i wtórnym rozdrabnianiu; Toto = 21°C

Załącznik 4

**Ważniejsze wyniki obliczeń przekroju i oporów
rozdrabniania z procedury symulacyjnej**

Tablica Z.4-1

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZYN ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 1
liczba otworów w 1 tarczy : 5
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $c1c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_{ps} : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-1

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0000130	2.17	1.52	2.29	6.54	2.28
0.0005	0.0000130	2.18	1.52	2.30	6.58	2.30
0.0010	0.0000614	9.09	5.97	9.65	29.78	9.62
0.0015	0.0000598	8.85	5.82	9.40	28.99	9.37
0.0020	0.0000583	8.64	5.69	9.17	28.29	9.15
0.0025	0.0000571	8.46	5.57	8.98	27.68	8.96
0.0030	0.0000560	8.31	5.48	8.82	27.18	8.80
0.0035	0.0000553	8.21	5.41	8.71	26.82	8.68
0.0040	0.0000550	8.16	5.38	8.66	26.67	8.64
0.0045	0.0000548	8.13	5.36	8.63	26.57	8.61
0.0050	0.0000546	8.11	5.34	8.61	26.50	8.58
0.0055	0.0000545	8.09	5.34	8.59	26.45	8.57
0.0060	0.0000544	8.09	5.33	8.58	26.42	8.56
0.0065	0.0000544	8.09	5.33	8.58	26.42	8.56
0.0070	0.0000545	8.10	5.34	8.59	26.45	8.57
0.0075	0.0000546	8.11	5.35	8.61	26.50	8.58
0.0080	0.0000548	8.13	5.36	8.63	26.58	8.61
0.0085	0.0000550	8.16	5.38	8.66	26.68	8.64
0.0090	0.0000553	8.21	5.41	8.71	26.84	8.69
0.0095	0.0000561	8.32	5.48	8.83	27.21	8.81

fmin= 0.0000130

fmax= 0.0000614

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	362.2 410.0	60161.94 12694.34	30.08 6.35	2.17 9.09	13.3325 11.7687
(p)	490.5 590.5	64018.47 13508.08	32.01 6.75	1.52 5.97	9.8993 8.2352
(z)	343.1 386.0	58619.32 12368.85	29.31 6.18	2.29 9.65	13.6970 12.1733
(o)	086.0 090.5	85615.06 18065.02	42.81 9.03	6.54 29.78	57.1146 54.8892
(j)	353.0 398.5	57848.01 12206.10	28.92 6.10	2.28 9.62	13.4837 11.9800

Tablica Z.4-2

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZyny ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 1
liczba otworów w 1 tarczy : 8
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $cic1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrab. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_p : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-2

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0000139	2.31	1.60	2.44	7.00	2.43
0.0005	0.0001095	15.93	10.39	16.93	52.79	16.88
0.0010	0.0001060	15.44	10.07	16.41	51.14	16.36
0.0015	0.0001030	15.02	9.80	15.95	49.71	15.91
0.0020	0.0001006	14.67	9.58	15.59	48.54	15.54
0.0025	0.0000990	14.44	9.43	15.34	47.78	15.30
0.0030	0.0000980	14.30	9.34	15.19	47.31	15.15
0.0035	0.0000972	14.18	9.26	15.06	46.89	15.02
0.0040	0.0000964	14.08	9.19	14.95	46.55	14.91
0.0045	0.0000958	13.99	9.14	14.86	46.27	14.82
0.0050	0.0000954	13.93	9.10	14.79	46.05	14.75
0.0055	0.0000951	13.88	9.07	14.75	45.89	14.70
0.0060	0.0000949	13.85	9.05	14.71	45.79	14.67
0.0065	0.0000948	13.84	9.04	14.70	45.76	14.66
0.0070	0.0000948	13.85	9.05	14.71	45.78	14.67
0.0075	0.0000950	13.87	9.06	14.74	45.87	14.70
0.0080	0.0000953	13.92	9.09	14.78	46.01	14.74
0.0085	0.0000958	13.98	9.13	14.85	46.22	14.81
0.0090	0.0000963	14.06	9.18	14.94	46.49	14.89
0.0095	0.0000970	14.16	9.25	15.04	46.83	15.00

fmin= 0.0000139

fmax= 0.0001095

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	366.3 416.1	55993.52 7126.25	28.00 3.56	2.31 15.93	13.1952 11.5853
(p)	498.0 604.1	59582.85 7583.06	29.79 3.79	1.60 10.39	9.7532 8.0400
(z)	347.2 392.1	54557.79 6943.53	27.28 3.47	2.44 16.93	13.5632 11.9945
(o)	087.2 090.2	79683.09 10141.21	39.84 5.07	7.00 52.79	56.9192 54.6281
(j)	357.7 404.1	53839.92 6852.17	26.92 3.43	2.43 16.88	13.3517 11.8037

Tablica Z.4-3

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZyny ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 1
liczba otworów w 1 tarczy : 10
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_p : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-3

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0001103	16.05	10.46	17.05	53.18	17.00
0.0005	0.0001109	16.13	10.52	17.14	53.47	17.10
0.0010	0.0001126	16.38	10.68	17.41	54.31	17.36
0.0015	0.0001140	16.69	10.88	17.74	55.34	17.69
0.0020	0.0001173	17.05	11.11	18.11	56.53	18.06
0.0025	0.0001201	17.44	11.37	18.54	57.87	18.49
0.0030	0.0001231	17.88	11.65	19.01	59.35	18.95
0.0035	0.0001265	18.36	11.96	19.52	60.97	19.46
0.0040	0.0002274	32.75	21.24	34.83	109.33	34.73
0.0045	0.0002272	32.72	21.22	34.79	109.23	34.70
0.0050	0.0002272	32.73	21.22	34.80	109.25	34.70
0.0055	0.0001290	18.72	12.19	19.90	62.17	19.84
0.0060	0.0001255	18.22	11.86	19.36	60.47	19.31
0.0065	0.0001222	17.75	11.56	18.86	58.90	18.81
0.0070	0.0001192	17.32	11.29	18.41	57.46	18.35
0.0075	0.0001165	16.93	11.04	17.99	56.16	17.94
0.0080	0.0001141	16.59	10.82	17.63	55.01	17.50
0.0085	0.0001121	16.30	10.63	17.32	54.04	17.28
0.0090	0.0001105	16.09	10.49	17.09	53.31	17.05
0.0095	0.0001103	16.05	10.47	17.06	53.20	17.01

fmin= 0.0001103

fmax= 0.0002274

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	417.1 421.3	7074.20 3429.88	3.54 1.71	16.05 32.75	11.5836 11.4635
(p)	604.5 614.8	7527.68 3649.74	3.76 1.82	10.46 21.24	8.0382 7.9104
(z)	392.7 396.8	6892.81 3341.93	3.45 1.67	17.05 34.83	11.9929 11.8759
(o)	090.0 090.1	10067.13 4880.98	5.03 2.44	53.18 109.33	54.6257 54.4548
(j)	404.8 408.9	6802.12 3297.96	3.40 1.65	17.00 34.73	11.8020 11.6866

Tablica Z.4-4

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZYN ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 1
liczba otworów w 1 tarczy : 13
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_p : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-4

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0001863	26.89	17.46	28.59	89.63	28.51
0.0005	0.0001867	26.94	17.49	28.64	89.79	28.56
0.0010	0.0001878	27.11	17.60	28.82	90.36	28.74
0.0015	0.0002363	34.03	22.06	36.18	113.61	36.08
0.0020	0.0002365	34.05	22.08	36.21	113.70	36.10
0.0025	0.0001868	26.96	17.50	28.66	89.85	28.58
0.0030	0.0001863	26.89	17.46	28.59	89.63	28.51
0.0035	0.0001865	26.93	17.48	28.62	89.74	28.54
0.0040	0.0001876	27.07	17.58	28.78	90.24	28.70
0.0045	0.0002363	34.03	22.06	36.18	113.62	36.08
0.0050	0.0002365	34.04	22.07	36.20	113.67	36.10
0.0055	0.0001869	26.98	17.52	28.68	89.92	28.60
0.0060	0.0001863	26.90	17.46	28.59	89.64	28.51
0.0065	0.0001865	26.91	17.47	28.61	89.70	28.53
0.0070	0.0001873	27.04	17.55	28.75	90.12	28.66
0.0075	0.0002364	34.03	22.06	36.18	113.63	36.08
0.0080	0.0002364	34.04	22.07	36.19	113.65	36.09
0.0085	0.0001871	27.00	17.53	28.71	90.00	28.63
0.0090	0.0001864	26.90	17.47	28.60	89.66	28.52
0.0095	0.0001864	26.90	17.47	28.60	89.67	28.52

fmin= 0.0001863

fmax= 0.0002365

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	420.9 421.2	4186.81 3297.91	2.09 1.65	26.89 34.05	11.4884 11.4591
(p)	612.6 614.5	4455.20 3509.31	2.23 1.75	17.46 22.08	7.9370 7.9058
(z)	395.1 396.2	4079.46 3213.34	2.04 1.61	28.59 36.21	11.9002 11.8717
(o)	090.9 090.0	5958.16 4693.17	2.98 2.35	89.63 113.70	54.4903 54.4487
(j)	407.7 408.8	4025.78 3171.06	2.01 1.59	28.51 36.10	11.7105 11.6824

Tablica Z.4-5

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZYNY ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 2 ~
liczba otworów w 1 tarczy : 5
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_p : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-5

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0000869	12.72	8.32	13.51	41.99	13.47
0.0005	0.0000865	12.66	8.28	13.45	41.79	13.41
0.0010	0.0001332	19.60	12.76	20.83	65.12	20.77
0.0015	0.0001348	19.54	12.72	20.77	64.92	20.71
0.0020	0.0001350	19.58	12.74	20.81	65.04	20.75
0.0025	0.0001357	19.67	12.80	20.91	65.37	20.85
0.0030	0.0000873	12.78	8.35	13.57	42.18	13.53
0.0035	0.0000861	12.60	8.24	13.38	41.59	13.35
0.0040	0.0000855	12.52	8.19	13.29	41.30	13.26
0.0045	0.0000852	12.47	8.16	13.25	41.15	13.21
0.0050	0.0000851	12.46	8.15	13.23	41.12	13.20
0.0055	0.0000853	12.48	8.17	13.26	41.19	13.22
0.0060	0.0000857	12.54	8.20	13.32	41.39	13.28
0.0065	0.0001333	19.34	12.59	20.55	64.24	20.50
0.0070	0.0001314	19.06	12.41	20.26	63.32	20.20
0.0075	0.0001298	18.83	12.26	20.01	62.53	19.96
0.0080	0.0001286	18.66	12.15	19.83	61.97	19.78
0.0085	0.0001284	18.64	12.14	19.81	61.89	19.75
0.0090	0.0001291	18.74	12.20	19.92	62.23	19.86
0.0095	0.0001312	19.04	12.40	20.24	63.24	20.18

fmin= 0.0000851

fmax= 0.0001357

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	414.4 418.1	9165.35 5748.17	4.58 2.87	12.46 19.67	11.6524 11.5399
(p)	599.6 608.4	9752.87 6116.64	4.88 3.06	8.15 12.80	8.1115 7.9917
(z)	390.1 394.2	8930.34 5600.78	4.47 2.80	13.23 20.91	12.0600 11.9503
(o)	090.7 090.0	13043.00 8180.08	6.52 4.09	41.12 65.37	54.7237 54.5635

Tablica Z.4-6

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ
Eta bio	0.800		
Eta z	0.500		

CECHY MASZyny ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego	: tarcze z otworami
liczba tarcz	: 5
liczba rzędów otworów w tarczy	: 2
liczba otworów w 1 tarczy	: 5
promień rozmieszczenia otworów w pierwszej tarczy	: 0.060 m
moc silnika	: 1.5 kW
sprawnosc silnika	: 0.80
rodzaj przekładni	: pasowa
sprawnosc przekładni	: 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy	tp - 0.00000 s
czas końcowy	tk - 0.01000 s
krok analizy	dt - 0.00050 s
gradient prędkości	- 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania	: $c1 < R$ (odległość środków analizowanych otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa	: narastająca prędkość tarcz
współczynnik ruchu jałowego	kj : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn.	vr : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych	eps : 8.9800 Ns ² /m ⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań	kd : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju	psi : 0.12

przyrost powierzchni	delta F
pszenżyto (pz) -	0.7800 m ² /kg
pszenica (p) -	0.8300 m ² /kg
żyto (z) -	0.7600 m ² /kg
owies (o) -	1.1100 m ² /kg
jęczmień (j) -	0.7500 m ² /kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

	delta eta
pszenżyto (pz) -	4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) -	4.8600E+6 J/kg
żyto (z) -	4.7100E+6 J/kg
owies (o) -	4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) -	4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-6

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0002052	29.59	19.20	31.45	98.68	31.37
0.0005	0.0002066	29.79	19.33	31.67	99.38	31.58
0.0010	0.0001578	22.82	14.84	24.26	75.95	24.19
0.0015	0.0002056	29.65	19.24	31.52	98.90	31.43
0.0020	0.0002049	29.54	19.17	31.41	98.54	31.32
0.0025	0.0002533	36.45	23.63	38.76	121.76	38.65
0.0030	0.0002521	36.28	23.51	38.58	121.19	38.47
0.0035	0.0002522	36.29	23.52	38.59	121.23	38.48
0.0040	0.0002536	36.49	23.65	38.80	121.90	38.69
0.0045	0.0002069	29.82	19.35	31.71	99.48	31.62
0.0050	0.0001575	22.78	14.81	24.21	75.81	24.15
0.0055	0.0001572	22.74	14.78	24.17	75.67	24.10
0.0060	0.0001575	22.78	14.81	24.22	75.82	24.15
0.0065	0.0002068	29.82	19.35	31.70	99.46	31.61
0.0070	0.0002536	36.48	23.65	38.79	121.87	38.68
0.0075	0.0002522	36.29	23.52	38.59	121.22	38.48
0.0080	0.0002522	36.28	23.52	38.58	121.19	38.47
0.0085	0.0002534	36.46	23.63	38.77	121.79	38.66
0.0090	0.0002049	29.55	19.17	31.41	98.55	31.32
0.0095	0.0002057	29.65	19.24	31.53	98.91	31.44

fmin= 0.0001572

fmax= 0.0002536

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	419.7 421.4	4962.36 3075.44	2.48 1.54	22.74 36.49	11.5140 11.4518
(p)	610.7 615.2	5280.46 3272.59	2.64 1.64	14.78 23.65	7.9642 7.8900
(z)	395.1 397.7	4835.12 2996.58	2.42 1.50	24.17 38.80	11.9251 11.8645
(o)	090.6 090.9	7061.83 4376.59	3.53 2.19	75.67 121.90	54.5267 54.4382

Tablica Z.4-7

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800

Eta z 0.500

CECHY MASZYNY ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
 liczba tarcz : 7
 liczba rzędów otworów w tarczy : 2
 liczba otworów w 1 tarczy : 5
 promień rozmieszczenia otworów
 w pierwszej tarczy : 0.060 m
 moc silnika : 1.5 kW
 sprawność silnika : 0.80
 rodzaj przekładni : pasowa
 sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
 czas końcowy t_k - 0.01000 s
 krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
 warunek rozdrabniania : $cic1 < R$ (odległość środków analizowanych
 otworów mniejsza od ich promienia)
 sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
 prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
 współczynnik oporów dynamicznych ϵ_{ps} : 8.9800 Ns²/m⁴
 współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
 współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
 pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
 pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
 żyto (z) - 0.7600 m²/kg
 owies (o) - 1.1100 m²/kg
 jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
 pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
 pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
 żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
 owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
 jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-7

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Fr(pz) N	Fr(p) N	Fr(z) N	Fr(o) N	Fr(j) N
0.0000	0.0003474	49.86	32.27	53.02	166.83	52.87
0.0005	0.0003467	49.77	32.21	52.92	166.52	52.77
0.0010	0.0003480	49.95	32.33	53.12	167.13	52.97
0.0015	0.0003006	43.19	27.97	45.93	144.41	45.80
0.0020	0.0003507	50.34	32.58	53.53	168.43	53.38
0.0025	0.0003475	49.88	32.29	53.04	166.89	52.89
0.0030	0.0003464	49.73	32.19	52.88	166.39	52.73
0.0035	0.0003470	49.81	32.24	52.97	166.65	52.82
0.0040	0.0003494	50.15	32.46	53.33	167.81	53.18
0.0045	0.0003013	43.29	28.04	46.04	144.76	45.91
0.0050	0.0002997	43.07	27.89	45.80	144.00	45.67
0.0055	0.0003469	49.79	32.23	52.95	166.59	52.80
0.0060	0.0003470	49.80	32.24	52.96	166.65	52.81
0.0065	0.0003488	50.06	32.40	53.24	167.51	53.09
0.0070	0.0003493	50.13	32.45	53.32	167.76	53.17
0.0075	0.0002994	43.02	27.86	45.75	143.86	45.62
0.0080	0.0002991	42.97	27.83	45.70	143.69	45.57
0.0085	0.0003477	49.91	32.31	53.08	167.00	52.93
0.0090	0.0003491	50.10	32.43	53.28	167.65	53.13
0.0095	0.0003482	49.98	32.35	53.15	167.24	53.00

fmin= 0.0002991

fmax= 0.0003507

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	422.4 422.5	2607.98 2224.13	1.30 1.11	42.97 50.34	11.4364 11.4238
(p)	616.6 617.6	2775.15 2366.70	1.39 1.18	27.83 32.58	7.8816 7.8682
(z)	397.4 397.4	2541.10 2167.10	1.27 1.08	45.70 53.53	11.8495 11.8372
(o)	091.5 091.1	3711.35 3165.11	1.86 1.58	143.69 168.43	54.4163 54.3983

Tablica Z.4-8

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZyny ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 3
liczba otworów w 1 tarczy : 5
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $c1c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_{ps} : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-8

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0001390	20.14	13.10	21.40	66.93	21.34
0.0005	0.0001896	27.36	17.76	29.08	91.19	29.00
0.0010	0.0002378	34.24	22.20	36.40	114.32	36.30
0.0015	0.0002375	34.19	22.16	36.35	114.15	36.25
0.0020	0.0001889	27.26	17.70	28.98	90.88	28.90
0.0025	0.0001871	27.00	17.53	28.70	89.99	28.62
0.0030	0.0001367	19.82	12.90	21.07	65.87	21.01
0.0035	0.0001344	19.49	12.69	20.72	64.76	20.66
0.0040	0.0001338	19.40	12.63	20.62	64.44	20.56
0.0045	0.0001337	19.39	12.62	20.61	64.42	20.55
0.0050	0.0001350	19.58	12.74	20.81	65.06	20.75
0.0055	0.0001373	19.91	12.96	21.16	66.16	21.10
0.0060	0.0001887	27.23	17.68	28.95	90.78	28.87
0.0065	0.0002360	33.98	22.03	36.13	113.44	36.02
0.0070	0.0002341	33.71	21.86	35.84	112.56	35.74
0.0075	0.0001836	26.51	17.21	28.18	88.35	28.10
0.0080	0.0001799	25.98	16.87	27.62	86.57	27.54
0.0085	0.0001778	25.68	16.68	27.30	85.57	27.23
0.0090	0.0001775	25.63	16.65	27.25	85.40	27.17
0.0095	0.0001795	25.92	16.84	27.56	86.38	27.48

fmin= 0.0001337

fmax= 0.0002378

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	418.8 421.5	5832.91 3279.79	2.92 1.64	19.39 34.24	11.5427 11.4585
(p)	607.4 614.8	6206.81 3490.03	3.10 1.75	12.62 22.20	7.9947 7.9052
(z)	394.1 396.2	5683.35 3195.69	2.84 1.60	20.61 36.40	11.9530 11.8711
(o)	090.2 090.9	8300.68 4667.39	4.15 2.33	64.42 114.32	54.5675 54.4478

Tablica Z.4-9

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania

TEST 2: SYMULACJA PRZEKROJU I OPORÓW ROZDRABNIANIA
MODEL QUASI SCINANIA - SYM

CECHY MATERIAŁU ROZDRABNIANEGO

	sigma		Ebrutto
pszenżyto (pz) -	1.1884	MPa	16.10 MJ
pszenica (p) -	0.7665	MPa	16.20 MJ
żyto (z) -	1.2643	MPa	15.70 MJ
owies (o) -	3.9946	MPa	16.50 MJ
jęczmień (j) -	1.2607	MPa	15.90 MJ

Eta bio 0.800
Eta z 0.500

CECHY MASZYN ROZDRABNIAJĄCEJ

rodzaj elementu rozdrabniającego : tarcze z otworami
liczba tarcz : 3
liczba rzędów otworów w tarczy : 4
liczba otworów w 1 tarczy : 5
promień rozmieszczenia otworów
w pierwszej tarczy : 0.060 m
moc silnika : 1.5 kW
sprawność silnika : 0.80
rodzaj przekładni : pasowa
sprawność przekładni : 0.80

CECHY PROCESU ROZDRABNIANIA

czas początkowy t_p - 0.00000 s
czas końcowy t_k - 0.01000 s
krok analizy dt - 0.00050 s

gradient prędkości - 8.0 rad/s
warunek rozdrabniania : $c1c1 < R$ (odległość środków analizowanych
otworów mniejsza od ich promienia)
sekwencja ruchowa : narastająca prędkość tarcz

współczynnik ruchu jałowego k_j : 3.2286 Ns/m
prędkość liniowa krawędzi rozdrabn. v_r : 0.1000 m/s
współczynnik oporów dynamicznych ϵ_{ps} : 8.9800 Ns²/m⁴
współczynnik wtórnych oddziaływań k_d : 8.6760
współczynnik wypełnienia przekroju ψ : 0.12

przyrost powierzchni ΔF
pszenżyto (pz) - 0.7800 m²/kg
pszenica (p) - 0.8300 m²/kg
żyto (z) - 0.7600 m²/kg
owies (o) - 1.1100 m²/kg
jęczmień (j) - 0.7500 m²/kg

CEL ROZDRABNIANIA : podwyższenie strawności materiału

$\Delta \eta$
pszenżyto (pz) - 4.8300E+6 J/kg
pszenica (p) - 4.8600E+6 J/kg
żyto (z) - 4.7100E+6 J/kg
owies (o) - 4.9500E+6 J/kg
jęczmień (j) - 4.7700E+6 J/kg

Tablica Z.4-9

TEST 2 - Symulacja przekroju i oporów rozdrabniania c.d.

t s	F m2	Pr(pz) N	Pr(p) N	Pr(z) N	Pr(o) N	Pr(j) N
0.0000	0.0002182	31.44	20.39	33.43	104.92	33.33
0.0005	0.0002649	38.09	24.68	40.51	127.28	40.39
0.0010	0.0003103	44.58	28.87	47.40	149.08	47.27
0.0015	0.0003088	44.36	28.73	47.17	148.35	47.04
0.0020	0.0002603	37.45	24.27	39.82	125.10	39.70
0.0025	0.0002597	37.36	24.21	39.73	124.83	39.62
0.0030	0.0002124	30.61	19.86	32.55	102.14	32.46
0.0035	0.0002141	30.85	20.01	32.80	102.94	32.71
0.0040	0.0002133	30.73	19.94	32.68	102.55	32.58
0.0045	0.0002092	30.16	19.57	32.07	100.62	31.98
0.0050	0.0002077	29.94	19.42	31.83	99.86	31.74
0.0055	0.0002087	30.09	19.52	31.99	100.37	31.90
0.0060	0.0002601	37.41	24.25	39.78	124.99	39.67
0.0065	0.0003086	44.33	28.70	47.14	148.23	47.00
0.0070	0.0003096	44.47	28.80	47.29	148.72	47.16
0.0075	0.0002630	37.84	24.52	40.23	126.42	40.12
0.0080	0.0002596	37.35	24.21	39.72	124.78	39.60
0.0085	0.0002536	36.48	23.64	38.79	121.86	38.68
0.0090	0.0002502	36.00	23.34	38.28	120.26	38.17
0.0095	0.0002509	36.11	23.40	38.39	120.61	38.29

fmin= 0.0002077

fmax= 0.0003103

Nasiona	er min/max	Mk max/min	Tk max/min	Pr min/max	Ee max/min
(pz)	420.4 422.9	3756.22 2513.50	1.88 1.26	29.94 44.58	11.4742 11.4333
(p)	613.5 616.0	3997.00 2674.63	2.00 1.34	19.42 28.87	7.9219 7.8783
(z)	396.4 397.9	3659.91 2449.05	1.83 1.22	31.83 47.40	11.8864 11.8465
(o)	090.1 091.3	5345.39 3576.91	2.67 1.79	99.86 149.08	54.4701 54.4119
(i)	407.4	3611.75	1.81	31.74	11.6868

Załącznik 5

**Wyniki badań wskaźników energetycznych rozdrabniania
pszenżyta w rozdrabniaczu wielotarczowym**

Tablica Z.5-1

Wyniki pomiarów frakcji $f < 0.5$

s [mm]	$f < 0.5$ [-]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	0.211	0.236	0.230	0.238	0.211	0.225	0.2242
1.0	0.175	0.165	0.154	0.151	0.159	0.161	0.1543
1.2	0.095	0.091	0.093	0.096	0.105	0.097	0.1062
1.4	0.045	0.047	0.052	0.050	0.049	0.049	0.0731
1.6	0.049	0.044	0.043	0.048	0.043	0.045	0.0503
1.8	0.045	0.040	0.041	0.038	0.044	0.042	0.0346
2.0	0.040	0.043	0.040	0.037	0.042	0.040	0.0238
2.2	0.033	0.030	0.037	0.038	0.033	0.034	0.0164
2.4	0.032	0.028	0.027	0.032	0.033	0.030	0.0113

Tablica Z.5-2

Wyniki pomiarów frakcji $0.5 < f < 1.5$

s [mm]	$0.5 < f < 1.5$ [-]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	0.74	0.69	0.72	0.76	0.67	0.720	0.7187
1.0	0.71	0.73	0.75	0.82	0.78	0.760	0.7744
1.2	0.85	0.81	0.74	0.83	0.83	0.813	0.8111
1.4	0.80	0.90	0.82	0.91	0.84	0.850	0.8287
1.6	0.88	0.89	0.75	0.81	0.87	0.838	0.8273
1.8	0.85	0.77	0.75	0.81	0.80	0.797	0.8068
2.0	0.78	0.74	0.71	0.79	0.77	0.756	0.7673
2.2	0.65	0.64	0.75	0.70	0.71	0.690	0.7087
2.4	0.62	0.69	0.65	0.70	0.61	0.650	0.6311

Tablica Z.5-3

Wyniki pomiarów frakcji $f > 1.5$

s [mm]	$f > 1.5$ [-]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	0.056	0.049	0.047	0.053	0.055	0.052	0.0543
1.0	0.055	0.058	0.063	0.065	0.056	0.059	0.0679
1.2	0.099	0.087	0.092	0.081	0.094	0.090	0.0851
1.4	0.104	0.103	0.117	0.106	0.121	0.110	0.1065
1.6	0.145	0.140	0.135	0.131	0.133	0.137	0.1333
1.8	0.173	0.168	0.159	0.156	0.150	0.161	0.1668
2.0	0.217	0.206	0.195	0.201	0.202	0.204	0.2088
2.2	0.285	0.279	0.268	0.289	0.257	0.276	0.2614
2.4	0.347	0.305	0.312	0.305	0.329	0.320	0.3272

Tablica Z.5-4

Wyniki pomiarów sprawności rozdrabniania η_R

s [mm]	η_R [-]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	0.0311	0.0309	0.0345	0.0337	0.0335	0.0327	0.0292
1.0	0.0378	0.0388	0.0348	0.0360	0.0338	0.0362	0.0356
1.2	0.0438	0.0426	0.0457	0.0485	0.0479	0.0460	0.0435
1.4	0.0521	0.0511	0.0573	0.0539	0.0511	0.0530	0.0532
1.6	0.0634	0.0685	0.0640	0.0663	0.0656	0.0656	0.0649
1.8	0.0750	0.0734	0.0759	0.0782	0.0784	0.0762	0.0793
2.0	0.0953	0.0947	0.0901	0.0911	0.0903	0.0920	0.0968
2.2	0.1036	0.1085	0.1291	0.1235	0.1235	0.1176	0.1183
2.4	0.1651	0.1389	0.1369	0.1398	0.1597	0.1481	0.1445

Tablica Z.5-5

Wyniki pomiarów przyrostu temperatury ΔT

s [mm]	ΔT [K]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	20.4	19.6	18.6	22.9	24.8	21.3	21.25
1.0	17.9	19.4	15.8	16.9	17.9	17.6	17.73
1.2	14.8	15.4	14.2	16.3	15.3	15.2	14.79
1.4	13.3	12.0	13.1	12.3	13.5	12.8	12.34
1.6	11.5	10.9	10.2	9.6	9.9	10.4	10.29
1.8	8.3	7.5	8.9	8.7	8.2	8.3	8.58
2.0	7.1	7.5	6.0	6.9	6.1	6.7	7.16
2.2	6.6	6.2	5.9	5.7	6.2	6.1	5.97
2.4	6.0	6.1	5.3	5.5	5.3	5.6	4.98

Tablica Z.5-6

Wyniki pomiarów wskaźnika efektywności energetycznej η_K

s [mm]	η_K [-]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	86.6	92.7	92.7	89.5	89.9	90.3	87.20
1.0	99.2	95.7	88.9	98.9	99.3	96.4	97.40
1.2	106.8	101.5	95.3	93.3	101.9	99.8	104.93
1.4	105.9	103.2	110.4	111.0	108.7	107.8	109.80
1.6	115.1	113.3	119.9	113.1	111.8	114.6	111.99
1.8	121.5	118.5	111.9	111.9	118.4	116.4	111.52
2.0	115.2	103.5	101.3	121.8	105.3	109.4	108.38
2.2	100.8	95.2	96.5	103.1	97.1	98.5	102.57
2.4	90.1	93.2	102.2	97.2	91.0	94.7	94.09

Tablica Z.5-7

Wyniki pomiarów energochłonności E_k

s [mm]	E_k [kJ/kg]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	22.2	20.8	28.9	25.9	24.8	24.5	25.27
1.0	24.8	20.1	23.1	21.5	21.2	22.1	21.10
1.2	21.3	20.4	17.0	14.9	13.6	17.4	17.62
1.4	14.1	17.9	14.2	15.0	14.2	15.1	14.71
1.6	12.1	7.9	15.3	13.8	11.9	12.2	12.29
1.8	11.5	12.5	9.3	8.9	10.2	10.5	10.26
2.0	8.1	7.4	11.6	9.6	7.0	8.7	8.57
2.2	7.2	6.1	6.9	7.7	5.9	6.8	7.15
2.4	4.9	4.4	6.6	6.0	5.1	5.4	5.97

Tablica Z.5-8

Wyniki pomiarów momentu M_F na wale rozdrabniacza

s [mm]	M_F [Nm]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	21.11	15.39	18.18	20.91	15.05	18.13	16.927
1.0	15.49	16.22	18.41	19.54	20.15	17.96	17.774
1.2	18.31	14.22	15.68	15.11	15.62	15.79	18.231
1.4	15.21	19.11	16.02	17.92	17.01	17.05	18.297
1.6	17.42	19.12	20.34	19.45	19.17	19.10	17.974
1.8	17.10	19.56	16.23	19.50	20.16	18.51	17.261
2.0	18.41	16.13	19.14	16.11	16.02	17.16	16.158
2.2	12.19	15.19	16.18	15.11	13.18	14.37	14.665
2.4	10.34	14.87	11.98	10.93	11.84	12.00	12.782

Tablica Z.5-9

Wyniki pomiarów mocy N_F na wale rozdrabniacza

s [mm]	N_F [W]						
	seria 1	seria 2	seria 3	seria 4	seria 5	srednia	obliczona
0.8	134.92	156.11	162.45	132.87	139.01	145.07	136.579
1.0	128.22	135.87	157.18	148.65	148.35	143.65	141.711
1.2	143.23	111.56	128.22	123.44	125.26	126.34	144.071
1.4	156.11	113.61	141.61	130.88	139.94	136.43	143.660
1.6	135.56	174.33	150.32	148.79	154.92	152.78	140.477
1.8	141.72	159.28	161.12	144.34	133.85	148.06	134.523
2.0	121.33	118.62	158.41	156.21	132.00	137.31	125.797
2.2	110.99	107.38	129.49	117.87	108.97	114.94	114.300
2.4	90.73	99.18	85.25	107.73	96.95	95.97	100.031

Załącznik 6

**Zestawienie porównawcze głównych parametrów
różnych typów rozdrabniaczy**

Wskaźnik	Typ rozdrabniacza i kraj pochodzenia				
	OMT-2 Polska	DM Rosja	DFZC Szwajcaria	1400-2d Holandia	ERGOP Polska
Moc silnika [kW]	75	20	110	200	2.2
Predkość obrotowa [obr/min]	2950	3000	1500	3000	1450
Średnica otw. w sicie [mm]	4	4	3	5	1.6*
Wydajność [t/h]	10	2	12	30	0.18
Masa [kg]	1909	1000	1380	6800	76
Wymiary [m]	1x1.2x2.2	1.7x0.85x1.7	2.3x1.4x1.5	1.2x2.3x3.5	1x0.45x0.45
Żyżycie mocy na jedn. produkcji [kW/kg]	0.0398	0.02	0.0797	0.0291	0.0083
Jednostkowe zużycie energii [kJ/kg]	27	36	32.97	23.97	8.33

Rys. Z.6-1 Główne parametry różnych typów rozdrabniaczy bijakowych i rozdrabniacza wielotarczowego ERGOP;

* - szczelina między tarczami (wartość średnia)

**Wydruki z procedury do wyznaczania regresji
nieliniowej i współczynnika determinacji**

[2-10-1992] Energochłonność E_r w funkcji szerokości szczeliny s

Exponential decay

$$Y = A \exp(-B \cdot X) + C \exp(-D \cdot X) + E$$

Final Results. Sum of Squares= 2.316485 (df= 7)
Goodness-of-fit assessed using actual distances; r squared=0.994.

Parameter	Value	Std. Error	%Error
A	51.91036	2.033288	3.9%
B	.89986395	3.116E-02	3.5%
C	0	(Constant)	
D	(Irrelevant)		
E	0	(Constant)	

Fracja $0.5 < f < 1.5$ w funkcji szerokości szczeliny s

Polynomial (2)

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3 + E \cdot X^4$$

Final Results. Sum of Squares= 1.896E-03 (df= 6)
Goodness-of-fit assessed using actual distances; r squared=0.954.

Parameter	Value	Std. Error	%Error
A	.578058	.0611885	10.6%
B	-.5535599	8.183E-02	14.8%
C	.13803982	2.532E-02	18.3%
D	0	(Constant)	
E	0	(Constant)	

[20-09-1992] Wydajność W w funkcji szerokości szczeliny s

Polynomial (2)

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3 + E \cdot X^4$$

Final Results. Sum of Squares= 67.14628 (df= 6)
Goodness-of-fit assessed using actual distances; r squared=0.970.

Parameter	Value	Std. Error	%Error
A	-6.2138132	11.51591	>99.9%
B	30.47965	15.40143	50.5%
C	-8.279E-02	4.765407	>99.9%
D	0	(Constant)	
E	0	(Constant)	

[03-10-1992] Moment obrotowy M_r w funkcji szerokości szczeliny s

Polynomial (2)

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3 + E \cdot X^4$$

Final Results. Sum of Squares= 13.52362 (df= 6)
Goodness-of-fit assessed using actual distances; r squared=0.673.

Parameter	Value	Std. Error	%Error
A	9.640311	5.168137	53.6%
B	13.00818	6.911887	53.1%
C	-4.874685	2.138629	43.9%
D	0	(Constant)	
E	0	(Constant)	

[21-09-1992] Frakcja $> 1.5 \mu m$ w funkcji szerokości szczeliny s

Exponential growth

$$Y = A \cdot \exp(B \cdot X) + C \cdot \exp(D \cdot X)$$

Final Results. Sum of Squares= 4.585E-04 (df= 7)
Goodness-of-fit assessed using actual distances; r squared=0.994.

Parameter	Value	Std. Error	%Error
A	2.210E-02	1.900E-03	8.6%
B	1.1229137	4.069E-02	3.6%
C	0	(Constant)	
D	(Irrelevant)		

[21-07-1992] Moc N_r w funkcji szerokości szczeliny s

Polynomial (2)

$$Y = A + B \cdot X + C \cdot X^2 + D \cdot X^3 + E \cdot X^4$$

Final Results. Sum of Squares= 707.8284 (df= 6)
Goodness-of-fit assessed using actual distances; r squared=0.723.

Parameter	Value	Std. Error	%Error
A	88.334	37.38966	42.3%
B	88.02164	50.00508	56.8%
C	-34.64498	15.47223	44.7%
D	0	(Constant)	
E	0	(Constant)	

D-3

Truf