

# ACTA AGROPHYSICA



**Stanisław Sosnowski**

**PRZYCZYNY POWSTAWANIA  
USZKODZEŃ MECHANICZNYCH NASION FASOLI  
PODCZAS ZBIORU**

**130**

**Instytut Agrofizyki  
im. Bohdana Dobrzańskiego PAN  
w Lublinie**

**Rozprawy i Monografie  
2006 (1)**

### **Komitet Redakcyjny**

Redaktor Naczelny  
Ryszard T. Walczak, czł. koresp. PAN

Zastępca Redaktora Naczelnego  
Józef Horabik

Sekretarz Redakcji  
Wanda Woźniak

### **Rada Redakcyjna**

Tomasz Brandyk, czł. koresp. PAN – przewodniczący

Ryszard Dębicki	Jerzy Lipiec
Bohdan Dobrzański	Piotr P. Lewicki
Danuta Drozd	Stanisław Nawrocki, czł. rzecz. PAN
Franciszek Dubert	Edward Niedźwiecki
Tadeusz Filipek	Viliam Novák, Słowacja
Józef Fornal	Josef Pecen, Czechy
Jan Gliński, czł. rzecz. PAN	Tadeusz Przybysz
Grzegorz Józefaciuk	Stanisław Radwan, czł. koresp. PAU
Eugeniusz Kamiński	Jan Sielewiesiuk
Andrzej Kędziora	Witold Stępniewski
Tadeusz Kęsik	Zbigniew Ślipek
Krystyna Konstankiewicz	Bogusław Szot
Janusz Laskowski	

### **Opiniował do druku**

Prof. dr hab. Józef Kowalczyk

### **Adres redakcji**

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201  
20-290 Lublin 27, tel. (0-81) 744-50-61, e-mail: editor@demeter.ipan.lublin.pl  
<http://www.ipan.lublin.pl>

Publikacja indeksowana przez  
Polish Scientific Journal Contents – Life Sci. w sieci Internet  
pod adresem <http://psjc.icm.edu.pl>

©Copyright by Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, Lublin 2006

**ISSN 1234-4125**

Wydanie I. Nakład 170 egz. Ark. 5,7  
Skład komputerowy: Wanda Woźniak, Agata Woźniak  
Druk: Drukarnia *ALF-GRAF*, ul. Kościuszki 4, 20-006 Lublin

## SPIS TREŚCI

1. WSTĘP .....	5
2. CHARAKTERYSTYKA BIOLOGICZNA FASOLI .....	6
3. USZKODZENIA NASION W WARUNKACH OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH I METODY ICH OCENY .....	10
4. CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE POZIOM USZKODZEŃ MECHANICZNYCH NASION .....	15
4.1. Kształt nasion i miejsce ich obciążeń .....	15
4.2. Wilgotność nasion .....	18
4.3. Rodzaj i prędkość obciążeń dynamicznych .....	19
4.4. Krotność obciążeń i rodzaj materiału elementu udarowego .....	23
5. WARTOŚĆ SIEWNA NASION USZKODZONYCH .....	29
6. TECHNOLOGIE ZBIORU FASOLI .....	31
7. CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ PROCESU OMŁOTU .....	34
8. CHARAKTERYSTYKI ZESPOŁÓW MŁÓCĄCYCH .....	39
8.1. Adaptacje zespołów młócących kombajnów zbożowych do omłotu fasoli .....	41
8.2. Zespoły młócące do fasoli zwyczajnej .....	46
8.3. Zespoły młócące do fasoli szparagowej .....	52
9. PODSUMOWANIE.....	57
10. PIŚMIENNICTWO.....	58
11. STRESZCZENIE .....	63
12. SUMMARY .....	64

## 1. WSTĘP

Fasola pochodzi z Ameryki Środkowej i Południowej, gdzie jako jedna z najstarszych roślin uprawiana jest od ponad 7000 lat. Po odkryciu Ameryki przywieziono do Hiszpanii i Portugalii dwa gatunki – fasolę zwyczajną (*Phaseolus vulgaris* L.) i fasolę wielokwiatową (*Phaseolus multiflorus* L. Wild. syn. *Phaseolus coccineus* L.). W XVI wieku fasolę uprawiano w ogrodach botanicznych we Włoszech, Francji, Niemczech i w Anglii. W Polsce fasola zwyczajna była znana w końcu XVI wieku. Początkowo uprawiano ją jako roślinę ozdobną w klasycznych ogrodach, a dopiero w XVII wieku weszła do uprawy jako warzywo. W połowie XVII wieku fasola występowała już na terenie Prus Wschodnich, w Królewcu. W XVIII wieku jej uprawa znacznie się rozszerzyła, a w wieku XIX i na początku ubiegłego stulecia fasolę użytkowano przeważnie w formie suchych nasion [33,45].

Pomimo dużych wymagań temperaturowych zasięg geograficzny uprawy fasoli jest szeroki. Z uwagi na różne jej formy, o stosunkowo krótkim okresie wegetacji, uprawiana jest na wszystkich kontynentach, a w grupie roślin strączkowych zajmuje globalnie drugie miejsce, po soi, pod względem powierzchni zasiewów i plonów. Obszar uprawy fasoli w świecie wynosi około 23,2 mln ha przy zbiorze około 16,8 mln ton [48]. Największy areal uprawy fasoli występuje w krajach Ameryki (USA, Meksyk, Brazylia), Azji (Indie, Chiny) oraz niektórych krajach Afryki. W Europie największa powierzchnia zasiewów występuje w Rumunii, Portugalii, Rosji, na Ukrainie i Białorusi.

W Polsce, w uprawie polowej, rozpowszechnione są głównie formy karłowe fasoli zwyczajnej (*Phaseolus vulgaris*). Krajowa uprawa tego gatunku wynosi około 23 000 ha, a średnie plony nasion kształtują się na poziomie 20 dt·ha<sup>-1</sup> [49,85].

Nasiona fasoli stanowią cenny pokarm białkowy (średnio 25% białka), zwłaszcza w żywieniu człowieka. Białko fasoli charakteryzuje się wysoką wartością biologiczną, a nasiona posiadają również stosunkowo dużo fosforu i żelaza. Zawartość tłuszczu w nasionach jest mała i waha się w przedziale 1,8-2,6% [33].

Ze względu na niską zawartość tłuszczu, wysoką zawartość białka, związków mineralnych i witamin oraz włókna, a także obecność substancji tzw. bioaktywnych, nasiona roślin strączkowych, a głównie nasiona fasoli uważane są za cenny składnik racjonalnej diety. Artykuły spożywcze z udziałem nasion strączkowych powodują tzw. spłaszczenie krzywej cukrowej, obniżenie poziomu cholesterolu i trójglicerydów we krwi, co pozwala traktować je jako składniki diety zapobiegającej chorobom cywilizacyjnym. Wyniki badań epidemiologi-

cznych potwierdzają korzyści zdrowotne nasion roślin strączkowych, które objawiają się zmniejszeniem ryzyka chorób nowotworowych [48].

Fasola, jako roślina motylkowa podobnie jak wszystkie strączkowe jest dobrym przedplonem dla zbóż. Dzięki współżyciu z bakteriami brodawkowymi pozostawia w glebie od 60 do 120 kg N·ha<sup>-1</sup> oraz znaczne ilości masy organicznej w postaci resztek poźniwnych. Potencjalne korzyści z uprawy roślin strączkowych, w tym fasoli szczególnie są wielorakie i uznaje się je za ważne dla rolnictwa zrównoważonego.

Mimo licznych zalet uprawy fasoli jej powierzchnia w Polsce jest niewielka, a udział w strukturze zasiewów mniejszy niż w krajach Unii Europejskiej. Jedną z głównych przyczyn małego zainteresowania uprawą tej rośliny jest brak specjalistycznych maszyn do zbioru. Stosowane obecnie tradycyjne metody zbioru fasoli za pomocą maszyn przeznaczonych do zbioru innych roślin, np. zbożowych, charakteryzują się dużą energochłonnością i małą efektywnością ekonomiczną.

Stosowanie do zbioru fasoli kosiarek, kombajnów zbożowych i młocarni stacjonarnych do omłotu powoduje, według wielu badań [4,13,17,22,61,80,83], powstawanie nadmiernych strat plonu, które kształtują się w przedziale 30-60%. Straty te występują w formie ubytków nasion (25-30%) oraz nasion uszkodzonych mechanicznie (15-35%).

Trudności w zmechanizowaniu zbioru fasoli na suche nasiona są powodowane głównie niekorzystnymi anatomiczno-morfologicznymi i fizycznymi właściwościami rośliny [23,33,34,35,40], do których należą:

- nierównomierność dojrzewania,
- niskie osadzanie strąków na roślinach i ich wrażliwość na osypywanie się nasion,
- mała odporność nasion na uszkodzenia mechaniczne.

Znajomość właściwości fizycznych roślin uprawnych oraz zakresu ich zmienności posiada istotne znaczenie przy konstrukcji maszyn zbierających oraz do ustalania parametrów kinematycznych zespołów roboczych.

## 2. CHARAKTERYSTYKA BIOLOGICZNA FASOLI

W warunkach klimatycznych Europy uprawiane są 2 gatunki fasoli pochodzenia amerykańskiego: fasola zwyczajna (*Ph. vulgaris* L.) i fasola wielokwiatowa (*Ph. multiflorus* Wild, syn. *Ph. coccineus* L.).

W obrębie gatunku *Ph. vulgaris* L. biorąc pod uwagę długość łodygi wyróżnia się następujące odmiany botaniczne:

- karłową – var. *nanus* (Martens) o łodydze krótkiej (25-40 cm) i sztywnej, o 4-8 międzywęzłach;
- tyczkową – var. *communis* (Aschers), o łodydze wiotkiej, wijącej się, długości do 3 m, wymagającej podpory.

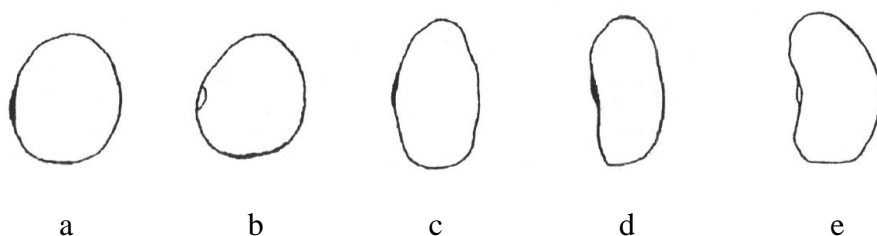
W uprawie polowej znaczenie gospodarcze mają tylko odmiany karłowe. Istnieją również formy pośrednie, tzw. biczykowate, o długości łodyg od 60 do 120 cm, nieco płożące się, lecz nie mające zdolności owijania się wokół podpory [33].

Strąki fasoli odmian karłowych są wielonasienne, osiągają długość od 7 do 20 cm. Wielkość, kształt i zabarwienie strąków są cechami odmianowymi. Istnieje zależność między kształtem strąka a kształtem nasion. Strąki długie i okrągłe w przekroju poprzecznym mają nasiona walcowate i wydłużone. W strąkach płaskich nasiona są spłaszczone, a w owalnych – raczej owalne [33,41,45].

Liczba nasion w strąku jest cechą zmienną, zależną od właściwości genetycznych gatunków i odmian, a także od umieszczenia strąka na piętach łodygi. Cecha ta jest ujemnie skorelowana z wielkością nasion. Strąki w środkowej części łodygi są najliczniej wypełnione. Odmiany fasoli przeznaczone do uprawy na suche nasiona mają strąki z silniej rozbudowaną warstwą pergaminową (sklerenchymą) niż odmiany szparagowe. Świadczy o tym zawartość włókna w suchej masie strąka, która u odmian szparagowych wynosi około 0,08%, a u odmian uprawianych na suche nasiona dochodzi do 1,6% [33]. Cechy takie jak: wielkość, kształt, barwa okrywy nasiennej, smak i czas gotowania odgrywają zasadnicze znaczenie w fasolach przeznaczonych na suche nasiona, są bowiem przetwarzane na cele spożywcze.

Wielkość nasion jest cechą charakterystyczną danej odmiany i jest na ogół wyrównana. Warunki wegetacji, a szczególnie wilgotność gleby i powietrza w okresie formowania owoców oraz zagęszczenie siewu mogą wpływać na wielkość nasion [33,45,79]. Masa 1000 nasion jest związana z ich wielkością i dla aktualnych polskich odmian waha się w przedziale 150-700 g [33,45].

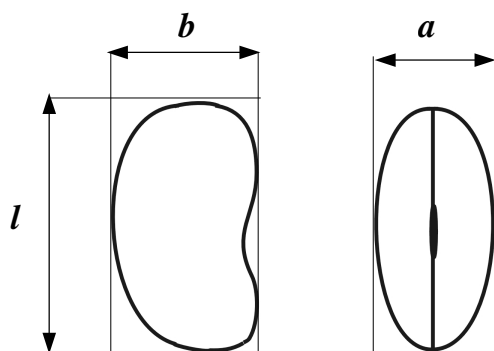
Kształt nasion jest cechą odmianową. Nasiona fasoli zwyczajnej mają kształt najczęściej kulisty jajowaty, owalny, cylindryczny, nerkowaty. Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyczne kształty nasion fasoli [45].



**Rys. 1.** Charakterystyczne kształty nasion fasoli: a – kulisty; b – jajowaty; c – owalny; d – cylindryczny; e – nerkowaty

**Fig. 1.** Characteristic shapes of bean seeds: a – spherical, b – egg-shaped, c – oval, d – cylindrical, e – kidney-shaped

Nasiona fasoli o wymienionych kształtach mogą występować jako bardziej lub mniej spłaszczone. Według klasyfikacji kształtów nasion [52], w przypadku kiedy  $a < b < l$  (rys. 2) nasiona należy uznawać za podłużne. Nasiona krajowych odmian fasoli cechują się powyższą proporcją wymiarów i dlatego można je określać jako podłużne.



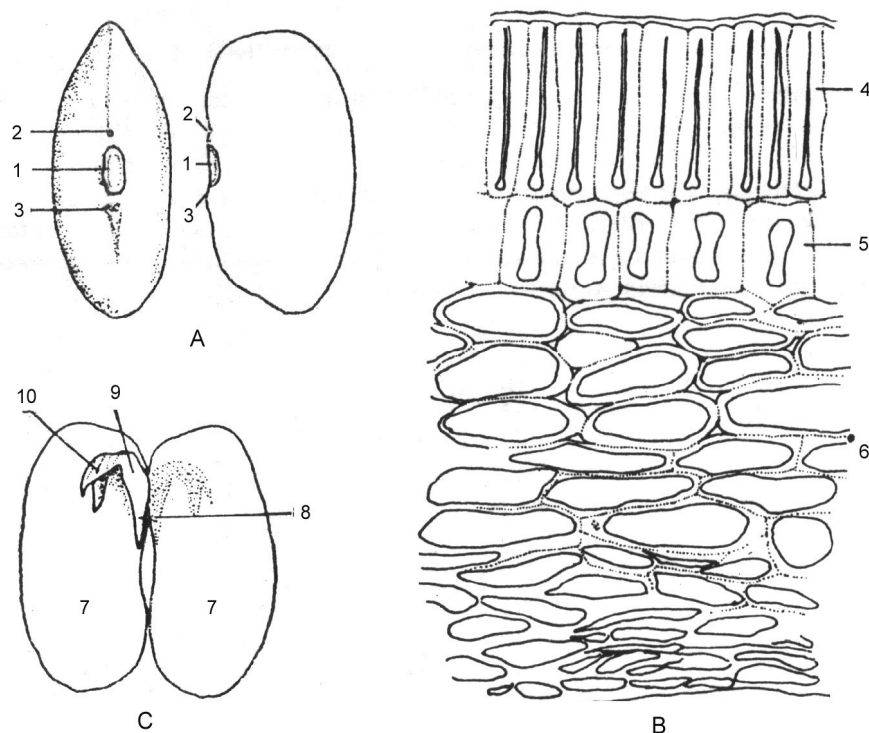
**Rys. 2.** Typowe rozmiary nasion fasoli:  $l$  – długość,  $b$  – szerokość,  $a$  – grubość

**Fig. 2.** Typical dimensions of bean seeds:  $l$  – length,  $b$  – width,  $a$  – thickness

W przypadku grubości nasiona mogą być znacznie zróżnicowane i dlatego według tej cechy powszechnie określa się je jako bardziej lub mniej spłaszczone.

Barwa łupiny nasiennej jest w dużym stopniu skorelowana z barwą kwiatów. Odmiany o kwiatkach białych mają nasiona białe, kremowe, kawowe lub brązowe, a odmiany o kwiatkach fioletowych i purpurowych mają nasiona ciemnobrunatne, ciemnooliwkowe, fioletowe lub czarne [33,45].

Na rysunku 3 przedstawiono budowę nasiona fasoli [25]. W nasionach tych w odróżnieniu od gatunków roślin jednoliściennych występują dwa liścienie gromadzące substancje zapasowe (białko i skrobię) okryte łupiną nasienną, która chroni nasienie przed wpływami zewnętrznymi. Pomiedzy liścieniami znajduje się korzonek zarodkowy – radícula, krótki hypokotyl oraz zawiązek pędu – plumula z dwoma małymi listkami młodocianymi.



**Rys. 3.** Budowa nasiona fasoli: A – wygląd zewnętrzny; B – budowa łupiny nasiennej; C – budowa zarodka: 1 – znaczek (*hilum*), 2 – okienko, 3 – guz nasienny, 4 – komórki palisadowe, 5 – hypoderma, 6 – komórki miękiszowe, 7 – liścienie, 8 – korzonek zarodkowy (*radicula*), 9 – kolanko podliścieniowe (*hypokotyl*), 10 – zawiązek pędu (*plumula*) z dwoma listkami młodocianymi  
**Fig. 3.** Bean seed structure: A – external view of bean seed; B – structure of bean seed cover; C – structure of bean seed germ: 1 – hilum, 2 – micropyle, 3 – seed nodule, 4 – palisade cells, 5 – hypoderm, 6 – parenchyma cells, 7 – cotyledons, 8 – radicle, 9 – hypocotyle, 10 – shoot ovary with two juvenile leaves



Okres wegetacji odmian fasoli karłowej zwyczajnej, uprawianych na suche nasiona, wynosi od 112 do 130 dni. Długość okresów rozwojowych poszczególnych typów i odmian zmienia się pod wpływem warunków uprawy. Aktualne odmiany fasoli zwyczajnej uprawianej na suche nasiona zakwitają po około 50-55 dniach od siewu, a fasola wielokwiatowa zakwita przeciętnie po 60 dniach [33].

### 3. USZKODZENIA NASION W WARUNKACH OBCIĄŻEŃ DYNAMICZNYCH I METODY ICH OCENY

Uszkodzenie mechaniczne nasion fasoli, podobnie jak i innych roślin uprawnych, rozumiane jest jako stan naruszenia naturalnej ciągłości tkanek. Straty jakościowe plonu w czasie mechanicznego zbioru nasion stanowią efekt tego typu uszkodzeń. Uszkodzenia powstają wskutek oddziaływania obciążeń, głównie dynamicznych, pochodzących od elementów roboczych maszyn. Obciążenia te przenoszone są bezpośrednio lub pośrednio (np. poprzez masę słomiastą) na nasiona. Skutki oddziaływania obciążeń objawiają się nie tylko w postaci pogorszenia wartości biologicznej nasion jako materiału siewnego, ale także wpływają na ich właściwości przechowalnicze i technologiczne [33,40,77].

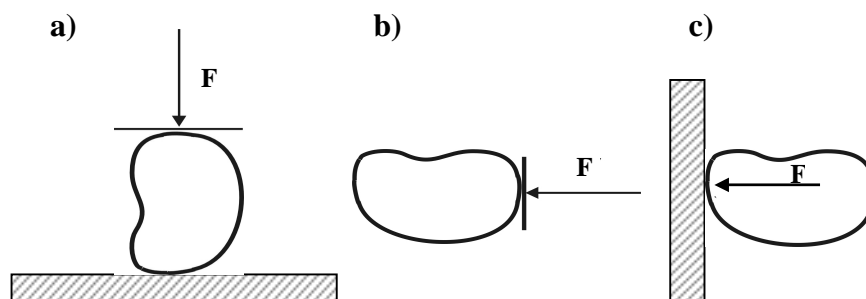
Badania odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne sprowadzają się w praktyce do wywołania określonego obciążenia i oceny poziomu uszkodzeń jako efektu głównego takiego obciążenia.

Z uwagi na specyficzny charakter pracy zespołów młócących maszyn do zbioru nasion roślin strączkowych, w tym fasoli na suche nasiona, konieczna jest wiedza na temat ich odporności na uszkodzenia mechaniczne głównie w trakcie obciążeń dynamicznych.

W warunkach laboratoryjnych obciążenia dynamiczne pojedynczych nasion mogą być realizowane między innymi poprzez:

- a) uderzenie z podparciem (rys. 4 a), gdzie nieruchomy obiekt uderzany jest elementem udarowym [20,58],
- b) uderzenie bez podparcia (rys.4 b) [66,67,71,78], w którym wirujące z określoną prędkością obrotową ramię uderza w badany obiekt,
- c) uderzenie obiektem w nieruchomą przeszkodę (rys.4 c) [68].

Biorąc pod uwagę charakter pracy zespołów młócących najbardziej zbliżonym do warunków rzeczywistych, w testach wytrzymałościowych, jest uderzenie bez podparcia oraz uderzenie badanym obiektem w nieruchomą przeszkodę.



**Rys. 4.** Sposoby udarowych obciążeń nasion: a) uderzenie z podparciem, b) uderzenie bez podparcia, c) uderzenie w nieruchomą przeszkodę

**Fig. 4.** Types of impact loads acting on seeds: a) impact with support, b) impact without support, c) impact against fixed obstacle

W praktyce, działania profilaktyczne, mające na celu zapobieganie powstawaniu uszkodzeń mechanicznych, sprowadzają się do ustalania granicznej wartości czynnika determinującego określone skutki fizyczne i biologiczne, jakie mogą wystąpić w technologii uprawy, zbioru, transportu i przechowywania nasion.

Uszkodzenia mechaniczne nasion można najogólniej podzielić na zewnętrzne i wewnętrzne. Uszkodzenia zewnętrzne spowodowane są głównie przez elementy robocze maszyn zbierających i transportujących, podczas gdy uszkodzenia wewnętrzne liścieni mogą być spowodowane również naprężeniami wewnętrznymi, które powstają pod wpływem gradientu temperatury i wilgotności. Uszkodzenia mechaniczne nasion można podzielić również na tak zwane makro- i mikrouszkodzenia. Jeżeli uszkodzenie polega na widocznej utracie jakichkolwiek części nasiona, to kwalifikuje się go jako makrouszkodzenie, jeśli natomiast fragmenty tkanek są uszkodzone, lecz nie oddzielają się od nasiona – to mamy do czynienia z mikrouszkodzeniem [77].

W powszechnie stosowanych metodach badań oceny jakości uszkodzeń mechanicznych nasion roślin strączkowych [8,52,72], za makrouszkodzenia uznawano widoczne pęknięcia okrywy, liścieni oraz ubytki jakichkolwiek ich części. Natomiast do mikrouszkodzeń wliczano niewidoczne mikropęknięcia okrywy nasiennej i liścieni, a wykrywalne były przy pomocy dodatkowych przyrządów lub specjalnych metod. O ile makrouszkodzenia są łatwe do identyfikacji, to klasyfikacja mikrouszkodzeń nastęrcza wiele wątpliwości.

W piśmiennictwie dotyczącym metod badania uszkodzeń mechanicznych ziarna na szczególną uwagę zasługują prace Strony [77]. Zaproponowany podział

metod na bezpośrednie i pośrednie, pozwala na wyodrębnienie ich cech charakterystycznych. Metody bezpośrednie związane są z oceną wizualną stanu powierzchni badanego obiektu lub jego obrazu i zawierają w sobie znaczną dozę subiektywizmu. Istota tej grupy metod polega na określeniu liczby uszkodzonych nasion oraz ich czystości w badanej grupie. Przy ocenie wizualnej ziarna stosuje się najczęściej lupę preparacyjną o 10-krotnym powiększeniu. Wynik analizy zależy w znacznym stopniu od doświadczenia osoby dokonującej oceny, ostrości jej wzroku, stopnia zmęczenia i szeregu innych obiektywnych czynników. W celu uzyskania większej dokładności pomiarów stosuje się określone modyfikacje w postaci barwienia badanego obiektu lub znaczniejszych powiększeń jego obrazu.

W badaniach zbóż stosowano płyn Lugola, ale znacznie lepszym dla klasyfikacji uszkodzeń mechanicznych ziarna okazał się mikrobarwnik Fast Green, który zastosował Koehler [38]. Barwnik ten znalazł powszechne zastosowanie w USA, przy wizualnej ocenie uszkodzeń ziarna kukurydzy.

Stosując wizualną metodę oceny uszkodzeń ziarna kukurydzy Shmidt i in. [54], a następnie Wall i Norris [82] wykazali bardzo duże zróżnicowanie w ocenie tego samego materiału, przeprowadzonej przez kilku obserwatorów. Do grupy metod bezpośrednich zalicza się również metodę rentgenograficzną [15,29,53]. Istotą tej metody jest zróżnicowana pochłaniałość miękkiego promieniowania X przez ośrodek o różnej gęstości. Wszystkie szczeliny i wolne przestrzenie powietrzne o odpowiedniej wielkości, znajdujące się w płaszczyźnie przechodzenia promieni X, można zarejestrować na zwykłej kliszy fotograficznej. Początkowo techniki rentgenograficzne stosowane były do kontroli wewnętrznych uszkodzeń ziarna, powodowanych przez insekty żerujące w spichrzach i magazynach portowych [12]. Obecnie zastosowanie lamp o napięciu 10-20 kV i natężeniu prądu od kilku do kilkudziesięciu mikroamperów pozwala na rejestrowanie uszkodzeń ziarna, których nie można wykryć na drodze barwienia. Stosując intensywne nawilżanie nasion w wodzie destylowanej przez 24 godziny stwierdzono wyraźnie widoczne mikrouszkodzenia okrywy nasiennej i liścieni [72].

Metody pośrednie pozwalają ocenić uszkodzenie na podstawie wielkości wartości parametrów, mających związek z wielkością uszkodzenia, z zachowaniem obiektywności oceny. Wśród metod pośrednich wyróżnia się trzy grupy:

1. Metody oparte na badaniu zdolności kiełkowania nasion. Stopień uszkodzenia nasion jest odnoszony do żywotności zarodka. Metoda ta ma duże, praktyczne znaczenie przy ocenie materiału reprodukcyjnego. Ocena zdolności kiełkowania służy jako wskaźnik jakościowy nasion, przy czym uszkodzenia

mechaniczne stanowią jeden z wielu czynników wpływających na wynik końcowy oceny. Z innych sposobów pomiaru żywotności zarodka, determinowanej poziomem uszkodzenia nasion jest ocena kiełkowania z zastosowaniem kwasu siarkowego. Nasiona zanurza się w 50% roztworze kwasu na 3 godziny, w temperaturze 20-21°C, a następnie przemywa wodą i umieszcza na 15 minut w 2% roztworze węglanu wapnia. Po ponownym przemyciu nasiona poddaje się procesowi kiełkowania. Caldwell i Hampson [9] stwierdzili, że kwas siarkowy penetruje tylko w miejscach uszkodzenia okrywy nasiennej i nie uszkadza zarodka, jeśli okrywa w okolicy zarodka nie jest naruszona. Modyfikacją tej metody jest kiełkowanie nasion na podłożu zwilżonym roztworem kwasu siarkowego o stężeniu 0,005-0,07%. Takie stężenie kwasu siarkowego nieco utrudnia proces kiełkowania nasion uszkodzonych, stwarzając zbliżone warunki do kiełkowania w polu [77]. Zasadniczą wadą tych metod jest przede wszystkim duża czasochłonność analiz.

2. Metody absorpcji wody lub roztworów barwiących z wykorzystaniem ich właściwości optycznych lub fluorescencyjnych.

Mc Ginty [44] stwierdził, że poziom uszkodzeń może być określony poprzez pomiar kinetyki absorpcji wody przez pory. Jednakże metoda ta w odniesieniu do ziarna uszkodzonego jest mało precyzyjna. Kinetyka absorpcji wody zależy nie tylko od poziomu uszkodzenia mechanicznego, lecz także od wilgotności początkowej, temperatury i przebiegu rozwoju ziarna [50].

Chowdhury i Buchele [10], w roku 1976 opublikowali pierwszą pracę na temat zastosowania metody kolorymetrycznej do określania uszkodzeń ziarna kukurydzy, wykorzystując w tym celu barwnik Fast Green. Istota tej metody polega na określeniu poziomu absorpcji barwnika na uszkodzonych powierzchniach ziaren. Szczegółowe badania w tym zakresie spowodowały, że metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w ocenie uszkodzeń mechanicznych ziarna kukurydzy w USA. Sposób przeprowadzania pomiarów jest prosty i szybki. Czas trwania analizy pojedynczej próbki nie przekracza 5 minut. Z kolei Christenbury i Buchele [11] zaproponowali nową metodę pomiaru uszkodzeń mechanicznych ziarna kukurydzy, wykorzystując fluorescencyjny barwnik białka. Istota tej metody polega na tym, że mechanicznie uszkodzone ziarno po rozdrobnieniu, w celu uzyskania jednorodnej substancji, zanurza się w cieczy zawierającej czynnik fluoryzujący, a następnie przy użyciu systemu fotoelektrycznego określa się natężenie światła fluorescencyjnego. Użyty barwnik fluoryzuje wówczas, gdy zwiąże się chemicznie z białkiem znajdującym się w ziarnie.

Do tej grupy metod zalicza się również metodę konduktometryczną [30], która polega na pomiarze przewodności jonowej testowanego roztworu, zawierającego sole soku komórkowego rozpuszczone w określonej objętości zdejonizowanej wody. Im wyższy jest poziom uszkodzeń mechanicznych w ziarnie, tym stężenie soli w roztworze i jego przewodność jest wyższa. Zasadniczą wadą tej metody jest jednodobowy okres przygotowywania roztworu testowego.

3. Metody o niewielkim znaczeniu praktycznym lecz istotnym z poznawczego punktu widzenia.

Należą do nich metody reologiczne [27,28,31,42], sprowadzające się do pomiaru zależności pomiędzy siłą i odkształceniem badanego obiektu z uwzględnieniem czasu trwania danego procesu. Reologiczne właściwości ziarna pod kątem oceny uszkodzeń badań Manbeck [42]. Stwierdził, że ze wzrostem poziomu uszkodzeń mechanicznych ziarna ciężar objętościowy i czas relaksacji naprężeń maleją liniowo, a odkształcenia wzrastają. Z innych badań w tym zakresie [26] wynika, że ze wzrostem zawartości białka wzrasta energia i poziom naprężeń osiowych w procesie ściskania. Metody te nie pozwalają jednak na wyodrębnienie różnic w poziomie uszkodzeń technologicznych z jakimi mamy do czynienia w trakcie mechanicznego zbioru i obróbki materiału. Wynika to przede wszystkim z małej reprezentatywności pojedynczych ziaren pobieranych do badań wytrzymałościowych w stosunku do poziomu uszkodzeń masy ziarna w badanej próbce.

Arnold i Roberts [1] opracowali metodę wyznaczania pola naprężeń w modelach elastooptycznych, którą zastosowali do analizy zachowania się ziarniaka pszenicy. Metody badań elastooptycznych mają znaczenie jedynie teoretyczne, gdyż pozwalają na formułowanie matematycznego opisu mechanizmu powstawania uszkodzeń w obiektach roślinnych.

Wymienione grupy metod badania uszkodzeń mechanicznych ziarna mają zarówno wady, jak i zalety. Wybór metody zależy przede wszystkim od wymagań stawianych przez użytkownika. Dla celów praktycznej oceny jakości ziarna najbardziej przydatne są metody szybkie i łatwe w stosowaniu, w których wpływ czynników subiektywnych na wynik końcowy jest maksymalnie ograniczony. Warunek znacznego ograniczenia wpływu czynników subiektywnych na ocenę spełniają metody pośrednie, w których wynik pomiaru rejestrowany jest przez miernik przyrządu.

#### 4. CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE POZIOM USZKODZEŃ MECHANICZNYCH NASION

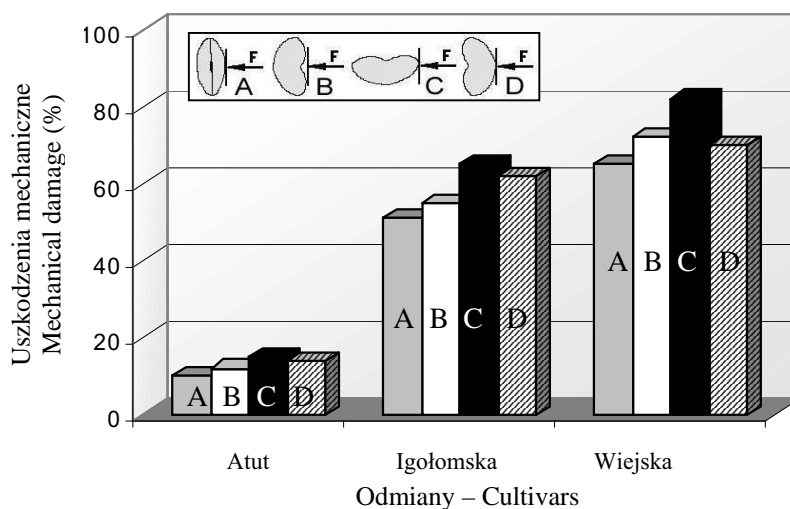
Na podstawie dotychczasowych badań [13,16,34,76] można stwierdzić, że w obrębie uprawianych roślin strączkowych najniższą odpornością na uszkodzenia mechaniczne charakteryzują się nasiona fasoli. Wyróżniają się one dużym zróżnicowaniem kształtów, wymiarów geometrycznych i masy [33,40]. Skład chemiczny poszczególnych gatunków nasion jest zróżnicowany zarówno pod względem ilościowym jak i jakościowym. Nasiona tych gatunków, które zawierają więcej tłuszczów są mniej podatne na uszkodzenia mechaniczne. Takim przykładem są nasiona soi o znacznym przedziale zawartości tłuszczów (18-22%), których odporność na uszkodzenia jest wyraźnie wyższa od nasion fasoli, gdzie zawartość tłuszczów zawiera się w przedziale 1,8-2% [16,35].

##### 4.1. Kształt nasion oraz miejsce obciążeń

Przy ocenie odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne należy brać pod uwagę miejsce przyłożenia siły. Z licznych badań [2,16,18,32,46] wynika, że nasiona roślin strączkowych wykazują największą podatność na uszkodzenia przy obciążeniach działających osiowo wzdłuż liścieni. Badania wykonane na kilku odmianach fasoli tę tezę potwierdzają [72]. Na rysunku 5 przedstawiono poziom uszkodzeń nasion trzech odmian fasoli: Atut, Igołomska i Wiejska uderzanych od strony bocznej (A), od strony zarodka (B), od wierzchołka (C) i od strony grzbietowej (D). Przy uderzeniach od strony wierzchołka (C), liczebność uszkodzonych nasion była najwyższa. Najmniej uszkodzonych nasion odnotowano w czasie uderzeń od strony bocznej (A). Podobne zróżnicowanie w odporności na uszkodzenia w zależności od miejsca działania sił odnotowano w czasie obciążeń ściskających [16,69]. Wierzchołek nasiona w porównaniu z pozostałymi miejscami charakteryzuje się dużą krzywizną powierzchni, co powoduje w czasie obciążeń występowanie krytycznych naprężeń wytrzymałościowych w tym miejscu. Ponadto obciążenia od strony płaszczyzny podziału liścieni mogą wywoływać ich przemieszczanie się, co z kolei może prowadzić do ścinania okrywy i połówkowania nasion. Opisany przebieg uszkodzeń ma miejsce głównie w zakresie niskich wilgotności nasion [16]. Powyższe spostrzeżenia należy uwzględnić w przypadku badań podatności nasion roślin strączkowych na uszkodzenia mechaniczne. O odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne w trakcie obciążeń udarowych bez podparcia decydują w dużym stopniu ich wymiary geometryczne i masa. Nasiona większe, o wyższej masie wykazują w trakcie uderzeń

mniejszą odporność na uszkodzenia niż nasiona mniejsze i o mniejszej masie [52,77].

Na rysunku 5 i w tabeli 1 przedstawiono wyniki badań własnych ilustrujących procentowy udział uszkodzonych nasion różnych odmian fasoli podczas obciążeń uderowych bez podparcia [72]. Przedstawione wyniki potwierdzają tę za-



**Rys. 5.** Uszkodzenia mechaniczne nasion różnych odmian fasoli

**Fig. 5.** Mechanical damage to seeds of various bean cultivars

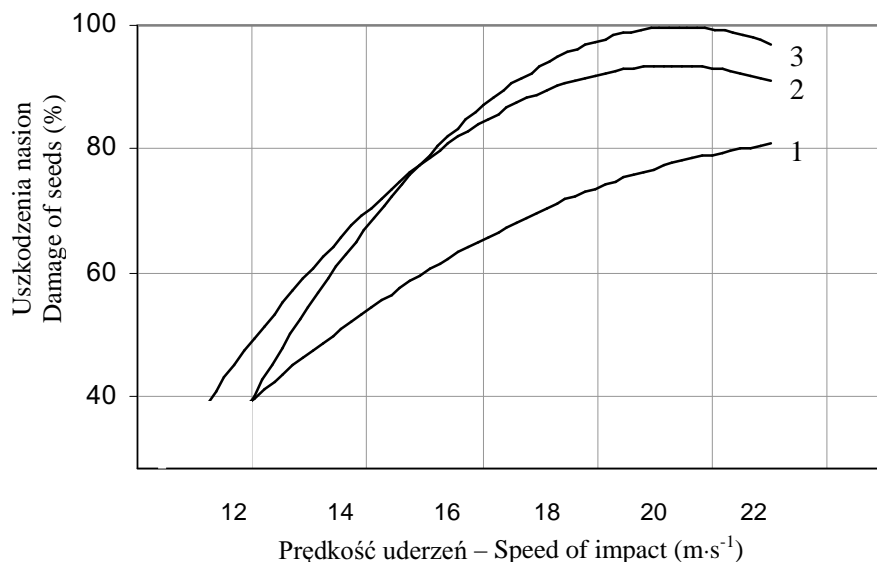
**Tabela 1.** Charakterystyka badanych odmian fasoli

**Table 1.** Characteristics of selected bean cultivars

Wyszczególnienie Specification	Atut			Igołomska			Wiejska		
	$\bar{x}$	$\delta$	V(x)	$\bar{x}$	$\delta$	V(x)	$\bar{x}$	$\delta$	V(x)
Długość Length (mm)	8,1	0,49	6,0	13,7	1,07	7,7	13,7	0,83	6,1
Szerokość Width (mm)	6,3	0,38	6,0	6,9	0,36	5,2	8,4	0,50	6,9
Grubość Thickness (mm)	5,2	0,27	5,2	5,7	0,46	8,0	7,6	0,40	5,2
Masa 1000 nasion Weight of 1000 seeds (g)	191,0	10,2	5,3	395,0	24,5	6,2	648,5	37,0	5,7

zależność, gdyż najniższą odpornością na uszkodzenia cechowała się odmiana Wiejska – o dużych nasionach i największej masie. Natomiast małe nasiona odmiany Atut, o znacznie mniejszej masie cechowały się kilkakrotnie większą odpornością na uszkodzenia od nasion odmiany Wiejska.

Na rysunku 6 przedstawiono zależności uszkodzeń mechanicznych różnych frakcji nasion fasoli odmiany Perlička od prędkości elementu uderowego [34]. Uzyskane wyniki wykazały, że nasiona grubsze, (frakcja powyżej 6 mm) były bardziej podatne na powstawanie uszkodzeń – głównie w zakresie wyższych prędkości uderzeń (ponad 15 m s<sup>-1</sup>) od frakcji nasion najmniejszych.



**Rys. 6.** Uszkodzenia mechaniczne nasion fasoli trzech frakcji: 1 – nasiona < 5 mm; 2 – nasiona 5-6 mm; 3 – nasiona > 6 mm

**Fig. 6.** Mechanical damage of bean seeds of three size fractions: 1 – seeds < 5 mm, 2 – seeds of 5-6 mm, 3 – seeds > 6 mm

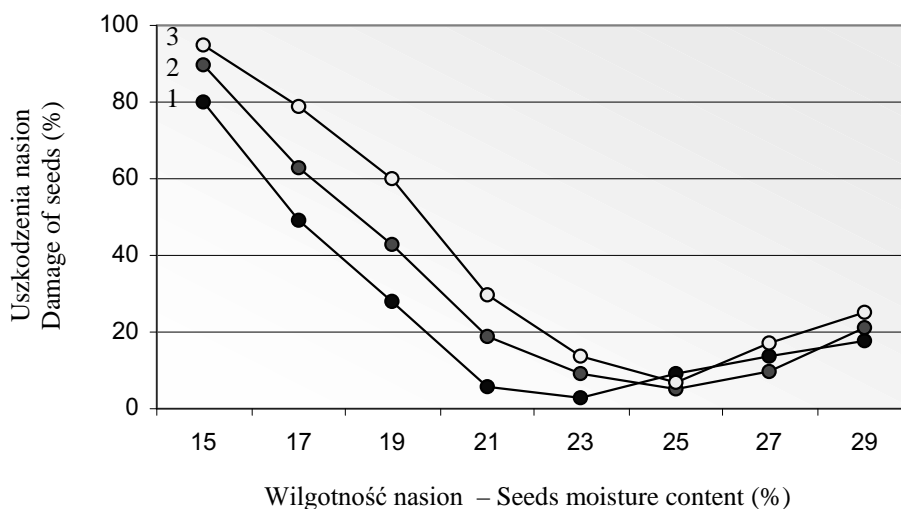
Przedstawione wyniki dowodzą, że w trakcie uderzeń występują duże wartości sił wzajemnego oddziaływania, których wielkość wzrasta z przyrostem masy nasion i kwadratem prędkości zgodnie z zasadą zachowania energii, powodując przekroczenie dopuszczalnych naprężeń poszczególnych tkanek, tj. okrywy nasiennej i liścieni albo tylko liścieni (w przypadku uszkodzeń wewnętrznych).



#### 4.2. Wilgotność nasion

Jednym z głównych czynników wpływających na zmienność fizycznych właściwości nasion jest ich wilgotność. Liczne badania wykazały, że istnieje zależność między poziomem wilgotności nasion a ich odpornością na uszkodzenia mechaniczne. Powszechnie wiadomo, że w warunkach obciążeń dynamicznych, przyrost wilgotności nasion fasoli w określonym przedziale, powoduje zwiększenie odporności na uszkodzenia mechaniczne [16,19,34,52,57].

W ramach badań własnych poddano obciążeniom udarowym bez podparcia nasiona różnych odmianach fasoli [70]. Na rysunku 7 przedstawiono poziom uszkodzeń mechanicznych nasion w zależności od ich wilgotności. W testowanych odmianach zaobserwowano występowanie najkorzystniejszych wilgotności, w przedziale których nasiona cechowały się najwyższą odpornością na uszkodzenia mechaniczne. Najkorzystniejsza wilgotność dla nasion odmiany Atut zawierała się w przedziale 21-23%, a dla nasion odmiany Igołomska i Wiejska w przedziale 23-25% .



**Rys. 7.** Uszkodzenia mechaniczne nasion fasoli w zależności od ich wilgotności. Odmiany: 1 – Atut, 2 – Igołomska, 3 – Wiejska

**Fig. 7.** Mechanical damage of bean seeds with relation to their moisture content. Cultivars: 1 – Atut, 2 – Igołomska, 3 – Wiejska

Poziom uszkodzeń zmieniał się wyraźnie w zależności od wilgotności. Przy niższych wilgotnościach przeważały uszkodzenia w formie połówkowania nasion, a przy wilgotnościach wyższych – pęknięcia okrywy nasiennej.

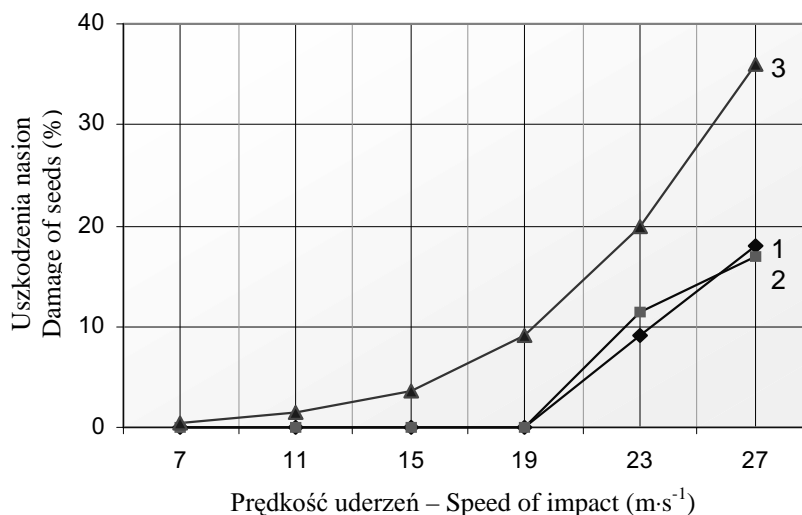
Przedstawione wyniki świadczą o tym, że zmiana wilgotności nasion powoduje zróżnicowanie ich właściwości plastyczno-sprężystych. Nasiona o niskiej wilgotności cechują się dużą sprężystością przy niewielkich odkształceniach, co w czasie uderzeń powoduje występowanie znacznych sił przy minimalnych odkształceniach doprowadzających do powstawania uszkodzeń. W miarę wzrostu wilgotności nasion do najkorzystniejszego przedziału, ich właściwości plastyczno-sprężyste zmieniają się, co prowadzi do zwiększania pochłaniania energii. Lokalnie występują większe odkształcenia, nie przekraczające jednak wartości deformacji sprężystej i w ten sposób nie dochodzi do uszkodzeń. Dalszy przyrost wilgotności nasion powoduje wyraźną utratę sprężystości i poprawę ich właściwości plastycznych. W tym przypadku dochodzi do trwałych deformacji, których skutkiem są pęknięciami okrywy nasiennej, liścieni lub obydwu części równocześnie. Nie zawsze wilgotność nasion decyduje o terminie zbioru. Zbiór fasoli przy wilgotności nasion w zakresie 21-25% może prowadzić do strat plonu w formie niedomłotów.

#### **4.3. Rodzaj i prędkość obciążeń dynamicznych**

Liczba uszkodzonych nasion oraz struktura uszkodzeń zależą głównie od prędkości elementu uderowego. Wzrost prędkości uderzeń powoduje większą liczebność uszkodzonych nasion, w których przeważają makrouszkodzenia w postaci pęknięć okrywy, połówkowania, itp [34,35].

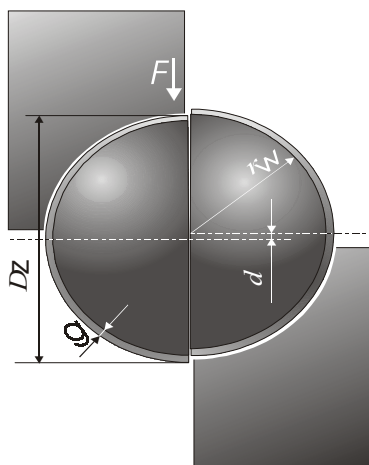
Rysunek 8 przedstawia wyniki badań własnych, dotyczących zmiany liczebności uszkodzonych nasion fasoli w zależności od prędkości uderzeń [70].

Obciążeniom udarowym zostały poddane nasiona w najkorzystniejszych zakresach wilgotności (23% – Atut, 25% – Igołomska i Wiejska), przy których zanotowano najwyższą odporność na uszkodzenia. Z uzyskanych danych wynika, że graniczne prędkości uderzeń, przy których nasiona nie ulegały uszkodzeniom były zróżnicowane i wynosiły odpowiednio:  $19 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla odmian Atut i Igołomska oraz  $7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  dla odmiany Wiejska. Nasiona tej odmiany wyróżniały się dużą masą, tj. ponad 3-krotnie większą od nasion odmiany Atut i prawie 2-krotnie większą od nasion odmiany Igołomska. Uzyskane rezultaty badań wskazują na potrzebę ich uwzględniania przy ustalaniu parametrów kinematycznych zespołów młócących podczas zbioru fasoli.



**Rys. 8.** Wpływ prędkości uderzeń na powstawanie uszkodzeń nasion różnych odmian fasoli: 1 – Atut; 2 – Igołomska; 3 – Wiejska

**Fig. 8.** Effect of impact speed on seeds damage of different bean cultivars: 1 – Atut; 2 – Igołomska; 3 – Wiejska



**Rys. 9.** Schemat procesu połówkowania nasion

**Fig. 9.** Schematic of the process of seed halving

Według Dobrzańskiego [16], korzystając z danych eksperymentalnych otrzymanych w quasi-statycznych testach wytrzymałościowych, można określić graniczną prędkość, powyżej której nasiono uderzające o przeszkodę lub elementy robocze maszyn ulega uszkodzeniu w formie połówkowania. Proces połówkowania to przypadek obciążenia nasiona siłą w zakresie niewielkiej deformacji, która mogłaby spowodować powstawanie naprężeń ścinających w okrywie nasiennej pomijając siłę związania liścieni przez zarodek. Na rysunku 9 przedstawiono schemat takiego procesu.

W celu określenia granicznej prędkości elementu uderowego należy wyznaczyć następujące parametry:

- a) pole powierzchni przekroju okrywy  $A_S$  podlegającej ścinaniu (rys. 10)

$$A_S = \pi (b g - g^2) + 2 (a-b) g ;$$

dla nasion okrągłych przyjęto, że  $a = b = D_Z$  stąd parametr  $A_S$  przyjmuje postać:

$$A_S = \pi (D_Z g - g^2) ; \quad (2)$$

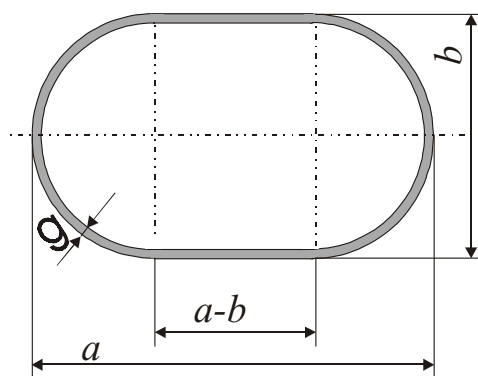
- b) napężenie w zakresie deformacji niszczącej (krytycznej):

$$\tau = \frac{F}{A_S} ;$$

- c) pracę deformacji niszczącej  $L$ :

$$L = \frac{F d}{2} .$$

Na rysunku 10 przedstawiono pole przekroju ścinanej okrywy [16].



**Rys. 10.** Pole przekroju ścinanej okrywy;  $a$  – długość nasiona;  $b$  – szerokość nasiona;  $c$  – grubość okrywy

**Fig. 10.** Section of area of sheared seed cover:  $a$  – seed length,  $b$  – seed width,  $c$  – seed cover thickness

Wartości obu parametrów można wyznaczyć eksperymentalnie w procesie układu przedstawionego na rysunku 9. Korzystając z zasady zachowania energii można obliczyć prędkość krytyczną elementu uderowego o masie  $m$  uderzającego

z graniczną prędkością  $V_p$ , który może spowodować uszkodzenie okrywy nasiennej. Porównując energię kinetyczną i pracę deformacji niszczącej w procesie połówkowania oraz przekształcając równanie:

$$\frac{m V_p^2}{2} = \frac{F d}{2} ;$$

otrzymuje się wyrażenie na prędkość krytyczną:

$$V_p = \sqrt{\frac{F d}{m}} .$$

Po przeprowadzeniu pomiarów według przedstawionej metodyki otrzymano dopuszczalne prędkości omłotu dla wybranych gatunków roślin strączkowych (tab. 2). Świadczą one o dużym zróżnicowaniu odporności na połówkowanie nasion poszczególnych gatunków i odmian.

**Tabela 2.** Graniczna prędkość omłotowa dla nasion roślin strączkowych o zróżnicowanej masie i wytrzymałości okrywy nasiennej na ścinanie

**Table 2.** Limit speed of threshing for seeds of leguminous plants with varied mass and shearing strength of seed cover

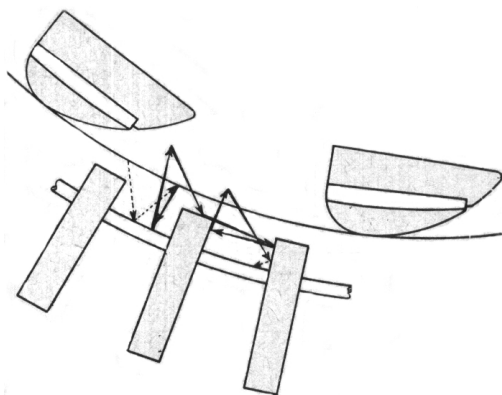
Gatunek Species	Odmiana Cultivar	Prędkość liniowa $V_0$ dla nasion Linear speed of threshing $V_0$ for seeds ( $m \cdot s^{-1}$ )				
		o różnej masie with different mass			wytrzymałości strength	
		$m_{sr}$	$m_{max}$	$m_{min}$	$L_{max}$	$L_{min}$
Bobik Broad	Nadwiślański	13,65	12,49	14,65	11,31	16,68
	Bronto	12,80	12,12	13,55	11,26	14,80
	Dino	10,09	9,35	11,03	9,12	10,96
Fasola Bean	Blanka	4,61	4,32	5,06	2,59	6,43
	Nida	4,95	4,62	5,19	3,32	6,35
	Segal	7,62	6,61	8,22	6,10	8,82
	Longina	5,30	4,98	5,99	3,66	6,55
Groch Pea	Agat	12,61	12,08	13,46	7,63	15,17
	Diament	14,84	14,09	16,40	7,40	20,28
	Sześciotyg.	12,57	11,84	13,25	6,43	17,06
Soja Soybean	Nawiko	20,92	19,22	21,98	6,00	38,74
	Polan	25,64	23,77	28,33	4,26	45,50

Uzyskane dane wskazują, że nasiona fasoli ulegały uszkodzeniom już przy niewielkich prędkościach, co potwierdza znaną wśród praktyków opinię o ich dużej podatności na połówkowanie. Najwyższe średnie wartości dopuszczalnej prędkości zanotowano dla nasion soi odmian Polan i Nawiko niezależnie od ich wymiarów geometrycznych. Wartości te mogą być jednak zawyżone, co związane jest z dużą plastycznością nasion soi (zawartość tłuszczu), dla których większa deformacja liścieni wpływa na wartość pracy deformacji niszczącej, w oparciu o którą wyznaczono graniczne prędkości omlotowe.

Mając na uwadze uproszczenia przyjęte w metodyce wyznaczania krytycznej prędkości w testach obciążeń statycznych, uzyskane wyniki należałoby porównać z rezultatami omlotu badanych odmian roślin strączkowych.

#### 4.4. Krotność obciążeń i rodzaj materiału elementu udarowego

Przy omlocie fasoli uszkodzeniom mechanicznym podlegają przede wszystkim te nasiona, które kilkakrotnie uderzają z dużą prędkością o elementy klepiska zanim przedostaną się poza szczelinę roboczą pomiędzy bębnum młocącym a klepiskiem (rys. 11).

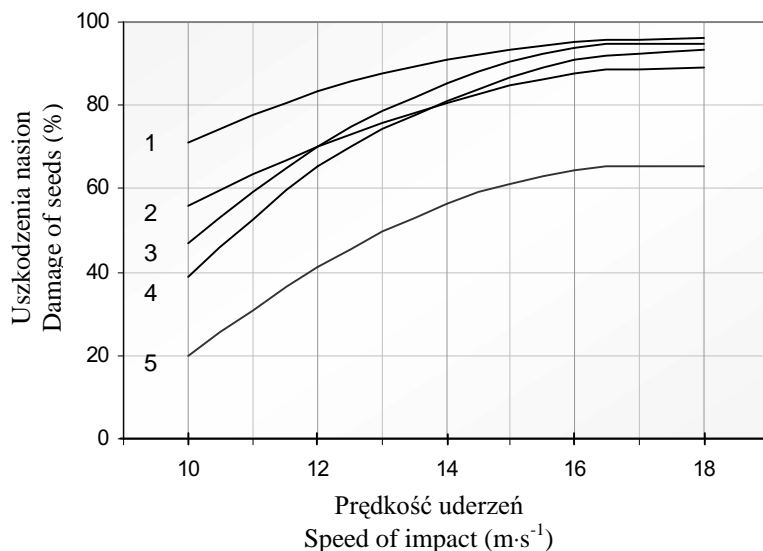


**Rys. 11.** Przykład wielokrotnego uderzania ziaren o listwy klepiska  
**Fig. 11.** Example of multiple impact of seeds against ribs of thresher concave

Badania za pomocą szybkich zdjęć filmowych wykazały, że prędkości ziaren w momencie uderzenia o listwy klepiska lub o cepy są często większe od prędkości obwodowej bębna młocącego [37].

Mając na uwadze wykorzystywanie do omlotu fasoli cepowych zespołów młocących kombajnów zbożowych, przeprowadzono badania wpływu wielokrotnych uderzeń na powstawanie mechanicznych uszkodzeń nasion fasoli [59].

Na rysunku 12 przedstawiono wyniki dotyczące wpływu wielokrotnych uderzeń elementu uderowego z różnych materiałów na powstawanie uszkodzeń nasion fasoli odmiany Perlička.



**Rys. 12.** Wpływ prędkości uderzeń na uszkodzenia mechaniczne nasion fasoli: 1 – stalowy element uderowy i stalowa przeszkoda, 2 – dwukrotne uderzenie elementem stalowym, 3 – element uderowy z PCV i stalowa przeszkoda, 4 – gumowy element uderowy i stalowa przeszkoda, 5 – dwukrotne uderzenie elementem uderowym z PCV

**Fig. 12.** Effect of impact speed on mechanical damage of bean seeds: 1 – steel impact element and steel obstacle, 2 – double impact with steel element, 3 – impact element of PVC and steel obstacle, 4 – rubber impact element and steel obstacle, 5 – double impact with impact element of PVC

Nasiona były uderzane elementem uderowym wykonanym ze stali, gumy (twardość 40 Shore A) i PCV (twardość 76 Shore A). Pomiar realizowano w dwóch wariantach:

1. dwukrotne uderzenie nasiona przez stalowy lub wykonany z PCV element uderowy.
2. jednokrotne uderzenie elementem uderowym, gdzie nasiono uderzało w nieruchomą przeszkodę stalową.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że liczebność uszkodzonych nasion była wyższa w przypadku drugiego wariantu obciążeń, tj. kiedy uderzane nasiona trafiały w nieruchomą stalową płytę. Zależność tę zaobserwowano głównie w zakresie wyższych prędkości uderzeń. Należy zwrócić uwagę na

wysoką liczebność uszkodzonych nasion przy drugim wariacie obciążeń z użyciem gumowego elementu udarowego. Powstałe uszkodzenia przekraczały liczebności uszkodzonych nasion po uderzeniach elementów udarowych ze stali i PCV w pierwszym wariacie obciążeń i były również wyższe od liczebności uszkodzonych nasion przy zastosowaniu elementu udarowego z PCV w drugim wariacie obciążeń. Znaczny procent uszkodzonych nasion przy drugim wariacie obciążeń wynikał z nadmiernej prędkości nasion uderzających w nieruchomą stalową płytę. Prędkość po odbiciu nasiona od elementu udarowego zależała głównie od współczynnika restytucji, a ten zależał od materiału elementu udarowego. Wartości współczynników restytucji „R” nasion badanej odmiany fasoli wynosiły:

- stal:  $R = 0,48$ ,
- PCV:  $R = 0,44$ ,
- guma:  $R = 0,58$ .

Znając wartość współczynnika restytucji i prędkość elementu udarowego, prędkość nasion po uderzeniu można określić ze wzoru:

$$V = V_U (1 + R),$$

gdzie:  $V_U$  – prędkość elementu udarowego ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ),  $R$  – współczynnik restytucji.

Po podstawieniu wartości dla poszczególnych materiałów, prędkość uderzeń nasion w nieruchomą płytę stalową można określić według następującej formuły:

$$V = 1,44 - 1,58 V_U$$

Z uzyskanej zależności wynika, że nasiona uderzały w nieruchomą płytę z prędkością wyższą od prędkości elementu udarowego w granicach od 44 do 58%, co skutkowało powstawaniem wyraźnych uszkodzeń nasion.

Uszkodzenia powstałe w czasie jednokrotnych uderzeń nasion przez element udarowy wykonany z testowanych materiałów różniły się istotnie [34]. W czasie uderzeń nasion o wilgotności 15,5% z prędkością  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  uszkodzenia wynosiły: dla stali – 52%, dla PCV – 27% i dla gumy – 0%. Uzyskane wartości uszkodzeń dowodzą, że najwłaściwszym materiałem do produkcji elementów bębna młócającego jest guma, pod warunkiem, że odbite nasiona nie będą uderzać w stalowe elementy klepiska. Uzyskane wyniki potwierdzają badania innych autorów [18], które dotyczyły nasion soi.

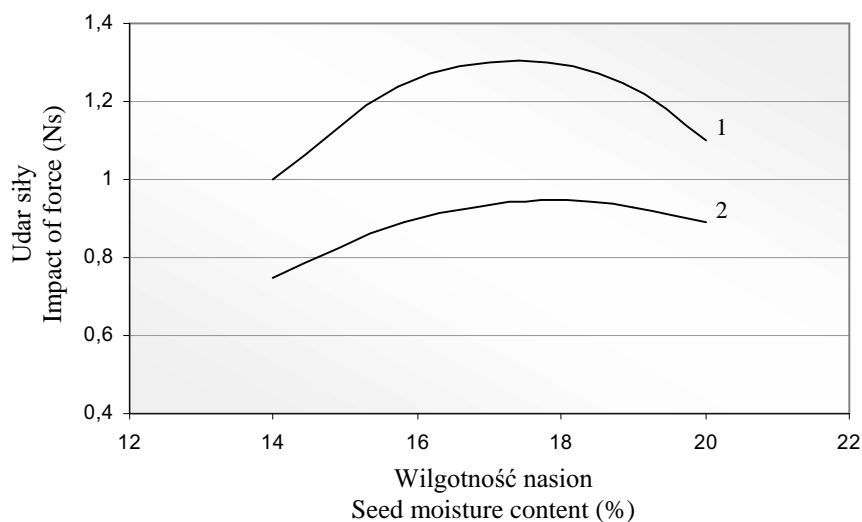
Zaobserwowane zależności są istotne przy konstrukcji zespołów omłotowych do fasoli. W pierwszej kolejności należy przeanalizować konstrukcję klepiska pod kątem zwiększenia jego przesiewalności i ograniczenia liczby elementów, o które mogłyby uderzać nasiona. Następnie można wprowadzać zmiany w bębnie młócającym, np. przez zastosowanie ogumionych cepów, zmniejszając w ten sposób skutki ich oddzia-



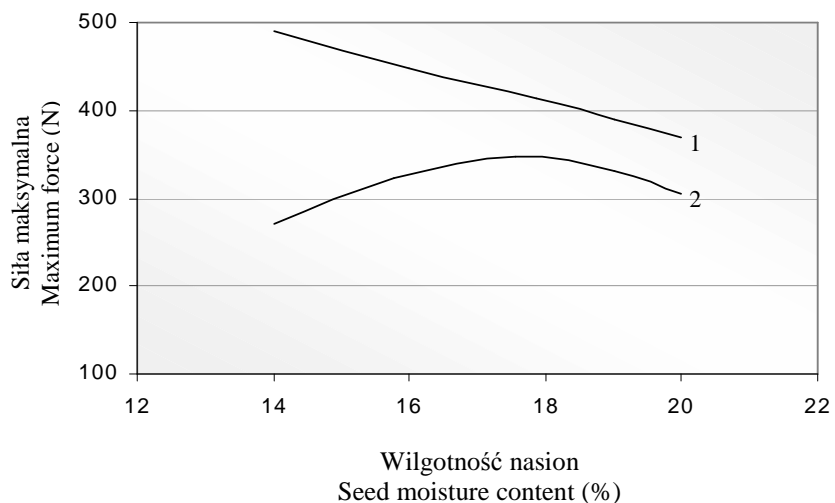
ływania na nasiona. Wprowadzenie jedynie modyfikacji bębna młócacego może nie przynieść oczekiwanego efektu, tzn. zmniejszenia uszkodzeń nasion.

W czasie pracy cepowych zespołów młócających dochodzi również do uderzeń nasion z podparciem, w sposób bezpośredni lub pośredni przez słomę. Do takich uderzeń dochodzi w momencie przemieszczania się masy roślinnej przez szczelinę roboczą pomiędzy obracającym się bębnum a nieruchomym klepiskiem. Z tego względu prowadzono badania nad powstawaniem uszkodzeń nasion w warunkach obciążeń dynamicznych z podparciem.

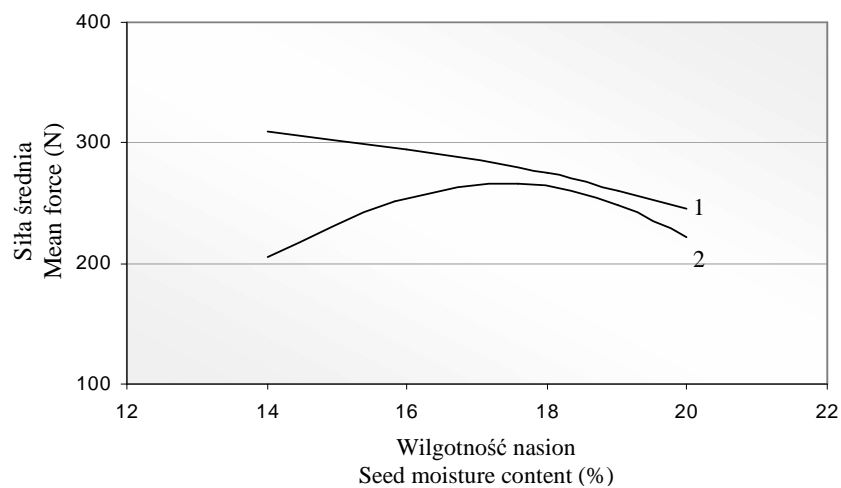
W ramach badań własnych przeprowadzono pomiary, w których element udarowy uderzał w nasiono umieszczone na stałej podporze [73]. Badaniom poddano nasiona fasoli odmiany Perlička o wilgotności w zakresie 14-20%. Pomiary wykonano przy zastosowaniu stalowego elementu udarowego oraz stalowego elementu udarowego z 4 mm warstwą gumy. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunkach 13-16.



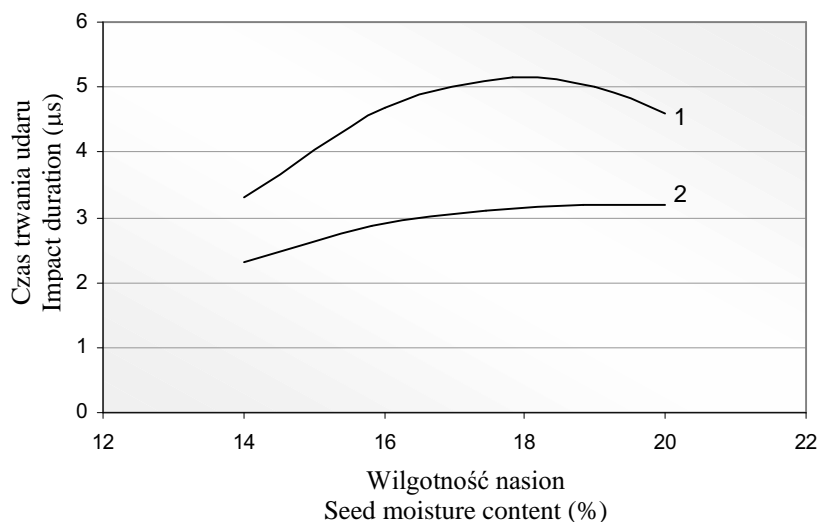
**Rys. 13.** Wielkość udarów siły w zależności od wilgotności nasion fasoli przy obciążeniach różnymi elementami udarowymi. 1 – element udarowy z warstwą gumy, 2 – stalowy element udarowy  
**Fig. 13.** Value of force impact with relation to bean seeds moisture in loading with various impact elements: 1 – rubber-coated impact element, 2 – steel impact



**Rys. 14.** Siła maksymalna w zależności od wilgotności nasion fasoli przy obciążeniach różnymi elementami uderowymi. 1 – element uderowy z warstwą gumy, 2 – stalowy element uderowy  
**Fig. 14.** Maximum force values with relation to bean seed moisture in loading with various impact elements: 1 – rubber-coated impact element, 2 – steel impact element



**Rys. 15.** Siła średnia w zależności od wilgotności nasion fasoli przy obciążeniach różnymi elementami uderowymi. 1 – element uderowy z warstwą gumy, 2 – stalowy element uderowy  
**Fig. 15.** Mean force values with relation to seed moisture in bean seed loading with various impact elements: 1 – rubber-coated impact element, 2 – steel impact element



**Rys. 16.** Czas trwania siły w zależności od wilgotności nasion fasoli przy obciążeniach różnymi elementami uderowymi. 1 – element uderowy z warstwą gumy, 2 – stalowy element uderowy

**Fig. 16.** Duration of effect of impact force with relation to bean seed moisture in loading with various impact elements: 1 – rubber-coated impact element, 2 – steel impact element

Wartości udaru siły (siły maksymalnej i średniej) zmieniły się z wilgotnością nasion i rodzajem materiału elementu uderowego. W czasie uderzeń elementu uderowego z warstwą gumy nasiona ulegały większym uszkodzeniom w porównaniu ze stalowym elementem uderowym. Zróżnicowanie wartości mierzonych wielkości fizycznych w czasie obciążeń spowodowane było różnymi właściwościami stosowanych materiałów elementu uderowego. W czasie uderzeń guma jako materiał sprężysty odkształcała się i oddziaływała na znacznie większą powierzchnię nasiona w porównaniu do stalowego elementu uderowego. W wyniku różnych sprężysto-elastycznych właściwości stali i gumy czas oddziaływania elementu uderowego na nasiona w trakcie obciążeń był różny. Przy uderzeniach stalowym elementem uderowym czas obciążenia nasion wynosił od 2,2 do 3,2  $\mu\text{s}$ , a przy uderzeniach elementem uderowym z warstwą gumy czas ten był znacznie dłuższy i wynosił 3,2-4,5  $\mu\text{s}$ .

Wielkości impulsów siły zależały również od wilgotności nasion. Najwyższe wartości impulsów sił oraz wartości maksymalnych i średnich sił odnotowano dla nasion o wilgotności 17-18%. Przy zastosowaniu elementu uderowego z warstwą gumy czas obciążeń nasion o wilgotności w podanym wyżej przedziale był

najdłuższy. Wydłużony czas oddziaływania sił na nasiona w czasie uderzeń, był spowodowany właściwościami sprężysto-elastycznymi zastosowanego elementu udarowego.

## 5. WARTOŚĆ SIEWNA NASION USZKODZONYCH

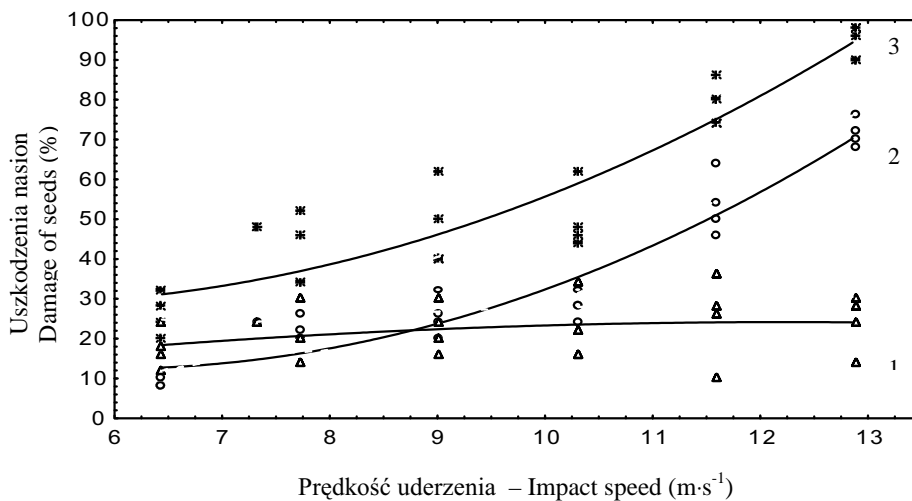
Powszechnie wiadomo, że uszkodzenia mechaniczne nasion pogarszają ich jakość, obniżają zdolność kiełkowania i wpływają ujemnie na produktywność roślin. Jednocześnie praktyka wykazuje, że ogólna liczba uszkodzonych nasion nie jest właściwym miernikiem jakości materiału siewnego i na tej podstawie nie można sądzić o zachowaniu się takich nasion w warunkach polowych [77]. Jedną z przyczyn obniżenia zdolności kiełkowania są mechaniczne uszkodzenia powstałe podczas zbioru i w procesie pozbiiorowej obróbki nasion [21,65].

Na rysunkach 17-19 przedstawiono wyniki badań wpływu uszkodzeń nasion fasoli na ich zdolność i energię kiełkowania [64]. Badaniom poddano nasiona fasoli odmiany Laura o wilgotności 11,5%, które były uderzane od strony wierzchołka przez obracający się stalowy element udarowy.

Pomiędzy liczebnością uszkodzonych nasion a ich zdolnością kiełkowania stwierdzono ujemną korelację. W miarę wzrostu uszkodzeń spadała zdolność i energia kiełkowania (rys. 17, 18). W zakresie ustalonego przedziału prędkości uderzeń ( $6,44-12,89 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) uszkodzenia wynosiły od 28 do 95%, a zdolność i energia kiełkowania obniżyła się z 98% do odpowiednio: 42 i 41%. Otrzymane wyniki znajdują potwierdzenie w badaniach przeprowadzanych również na nasionach innych roślin strączkowych [18].

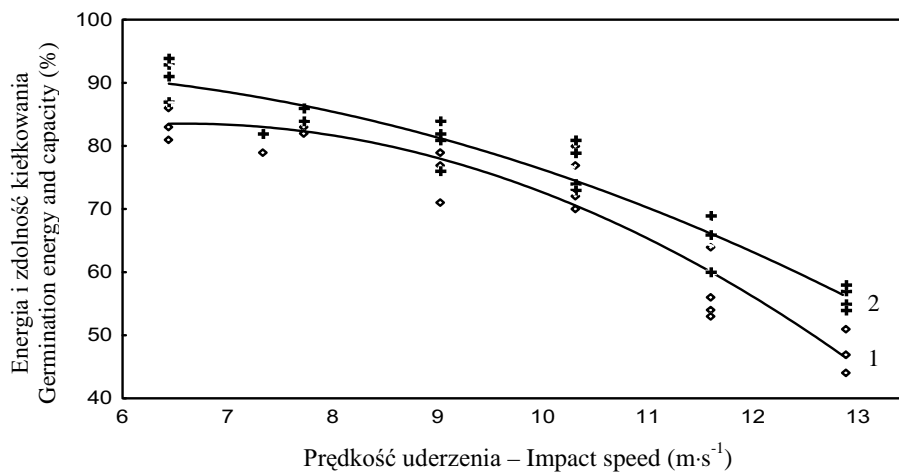
Główną przyczyną spadku zdolności i energii kiełkowania było występowanie nasion nienormalnie kiełkujących (rys. 19). Nasiona martwe występowały sporadycznie i nie miały znacznego wpływu na końcową zdolność kiełkowania. Z tego względu można założyć, że w czasie uderzeń dochodziło do naruszenia lub uszkodzenia zarodka, co w konsekwencji powodowało nienormalne kiełkowanie nasion. Mała liczba martwych nasion może świadczyć, że w minimalnym stopniu dochodziło do całkowitego uszkodzenia lub oderwania zarodków w czasie obciążenia.

Przedstawioną tezę potwierdzają badania Strony [77], w których wykazał, że maksymalne obniżenia energii i zdolności kiełkowania powodują głównie mechaniczne uszkodzenia zarodka.



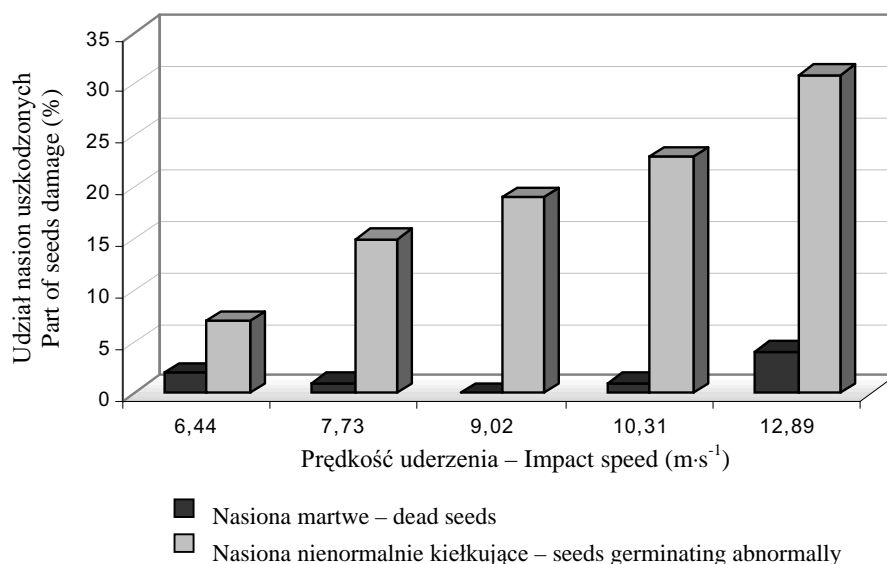
**Rys. 17.** Uszkodzenia mechaniczne nasion w zależności od prędkości uderzenia 1 – mikro-uszkodzenia, 2 – makrouszkodzenia, 3 – uszkodzenia ogółem

**Fig. 17.** Mechanical damage of bean seeds with relation to impact speed: 1 – micro-damage, 2 – macro-damage, 3 – total of damage



**Rys. 18.** Wpływ prędkości uderzenia na energię i zdolność kiełkowania nasion. 1 – energia kiełkowania nasion, 2 – zdolność kiełkowania nasion

**Fig. 18.** Effect of impact speed on germination energy and capacity of bean seeds: 1 – seed germination energy, 2 – seed germination capacity



**Rys. 19.** Procentowy udział martwych i nienormalnie kiełkujących nasion w zależności od prędkości uderzenia

**Fig. 19.** Part of dead and abnormally germinating seeds in relation to impact speed

## 6. TECHNOLOGIE ZBIORU FASOLI

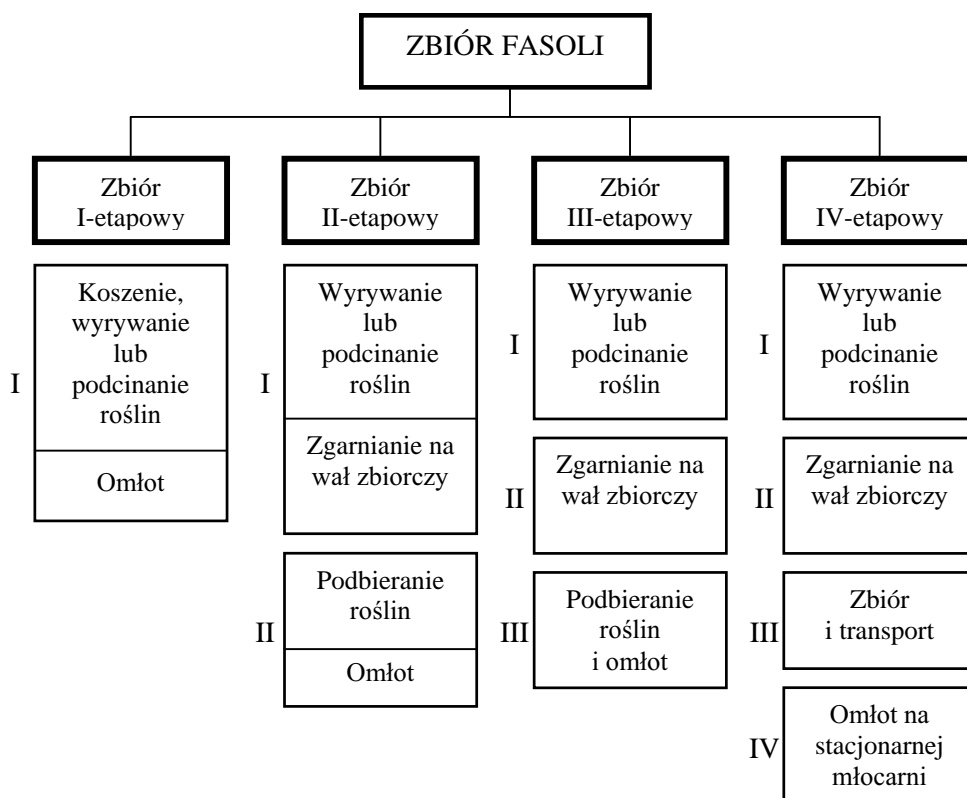
Mechanizacja zbioru fasoli napotyka na szereg trudności wynikających głównie z niekorzystnych właściwości biologicznych i fizycznych roślin [8,33,52,62, 77,83], do których zalicza się:

- odmienność pokroju różnych odmian fasoli, znacznie rozszerzająca zakres wymagań stawianych maszynom,
- niskie osadzanie strąków, co powoduje duże straty nasion w czasie ścięcia roślin,
- wrażliwość dojrzałych strąków na uderzenia, a tym samym osypywanie się nasion,
- nierównomierność dojrzewania roślin w obrębie plantacji, a także strąków na tej samej roślinie,
- mała odporność nasion na uszkodzenia mechaniczne, powstające podczas omłotu,
- podatność nasion na trwałe zanieczyszczenia pyłem glebowym, dyskwalifikujące je jako materiał konsumpcyjny i siewny.

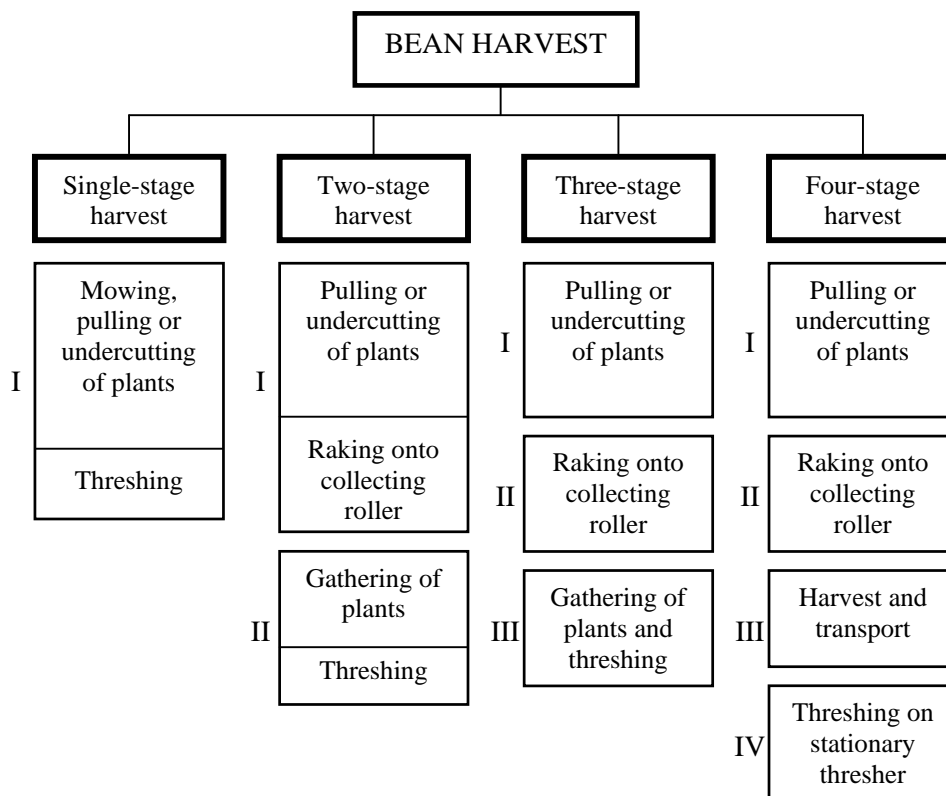
Wymienione właściwości utrudniają konstrukcje maszyn do zbioru pod względem wymagań agrotechnicznych tej rośliny. Zbiór fasoli przeprowadzany jest metodami jedno – i wieloetapowymi [5,14,17,24,62,83,84]. Światowe tendencje mechanizacji zbioru fasoli zmierzają jednak w kierunku zbioru dwuetapowego, w którym występuje wiele wariantów. Różnią się one głównie pierwszym etapem jakim jest zbieranie samych roślin. Etap ten może polegać na podcinaniu lub wrywaniu roślin albo naruszaniu systemu korzeniowego, a następnie układaniu ich w wały. Zbiór fasoli z wałów odbywać się może za pomocą adaptowanego kombajnu zbożowego lub kombajnu specjalistycznego.

Zbiór jednoetapowy związany jest z zastosowaniem adaptera do zbioru fasoli, który montuje się na kombajnie zbożowym w miejsce zespołu żniwnego, co umożliwi niskie ścinanie roślin, ich wrywanie lub podcinanie.

Na rysunku 20 przedstawiono schemat blokowy stosowanych technologii zbioru fasoli na suche ziarno.



**Rys. 20.** Technologie zbioru fasoli na suche nasiona



**Fig. 20.** Technologies of bean harvest for dry seeds

W krajowej praktyce rolniczej maszyny specjalistyczne do zbioru fasoli stosowane są w niewielkim stopniu. Używa się prostych narzędzi do podcinania roślin, kosiarki listwowe, a na małych plantacjach rośliny wrywane są ręcznie. Omłot przeprowadza się kombajnami zbożowymi lub stacjonarnymi młocarniami. Te metody zbioru są pracochłonne i powodują wysokie straty plonu – od 25 do 60%, z których znacząca część przypada na mechanicznie uszkodzone nasiona [4,22,61,62,83].



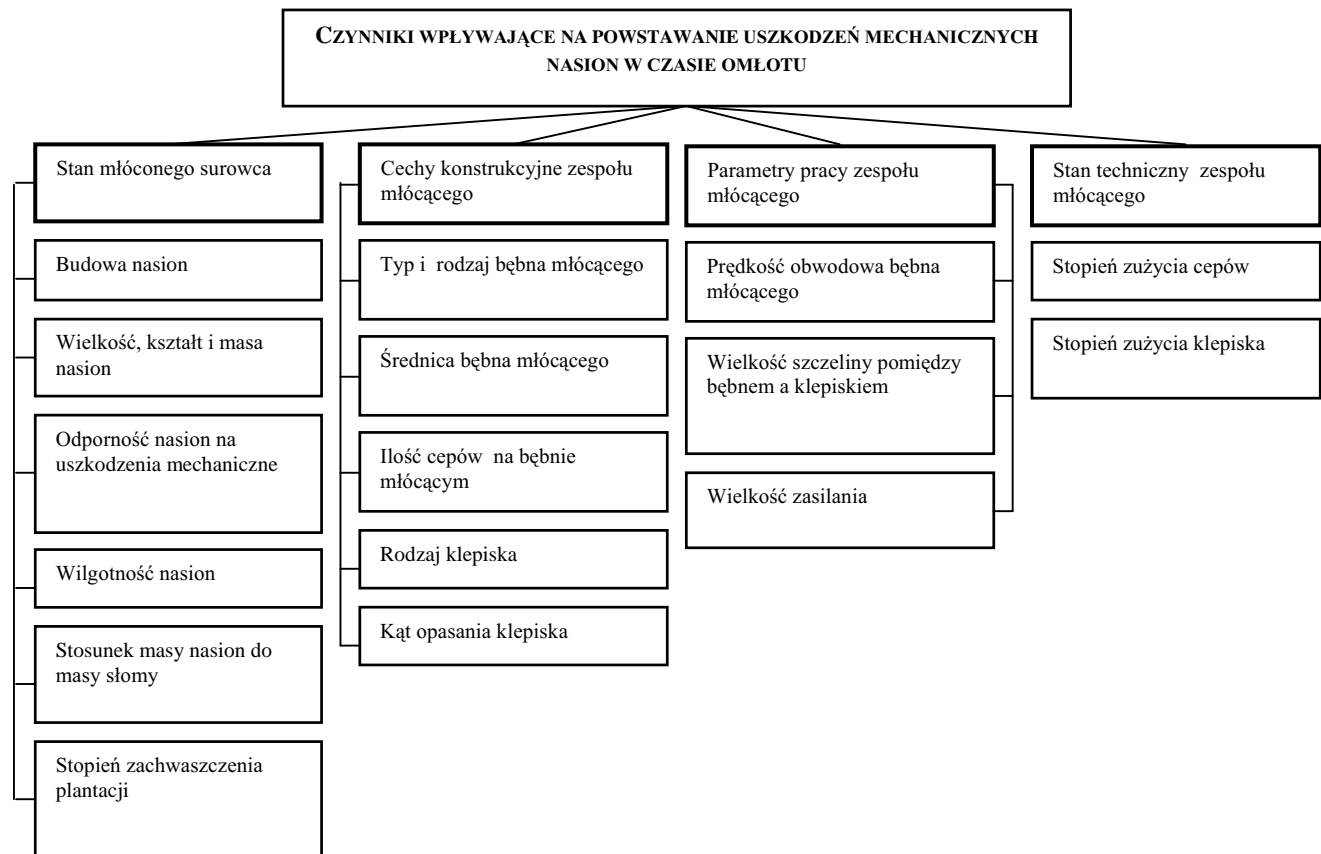
## 7. CZYNNIKI KSZTAŁTUJĄCE EFEKTYWNOŚĆ PROCESU OMŁOTU

Jak wynika z przeglądu literatury [86-88], oceny jakości pracy zespołów młócących dokonuje się na podstawie ogólnie przyjętych kryteriów, do których zaliczyć należy:

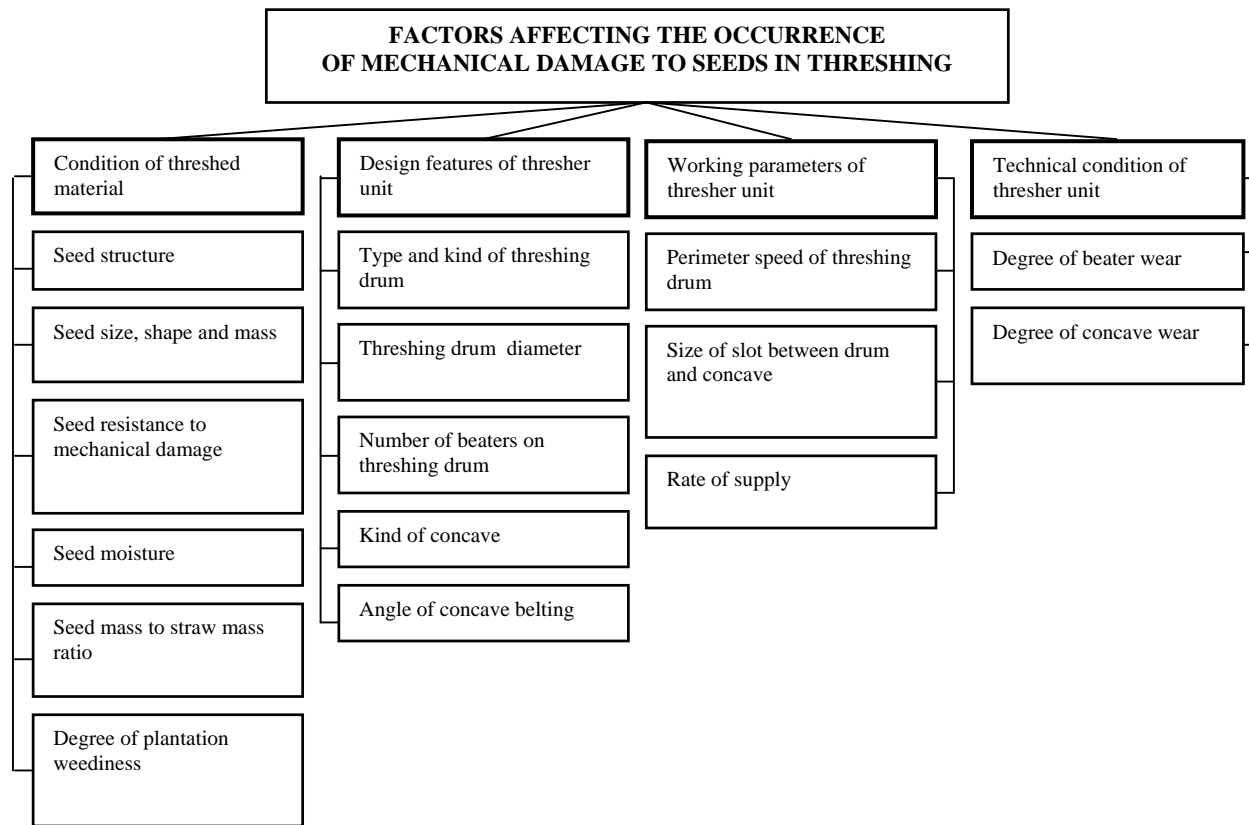
- straty ilościowe ziarna w młocarni do 1,5%,
- czystość ziarna nie mniejsza niż 97%,
- makrouszkodzenia ziarna do 2%.

Kombajny zbożowe stosowane są powszechnie do zbioru ziarna zbóż, a także roślin niezbożowych, w których znaczące miejsce zajmują rośliny strączkowe, a w ich obrębie fasola zwyczajna (*Ph. vulgaris* L.) uprawiana na suche nasiona.

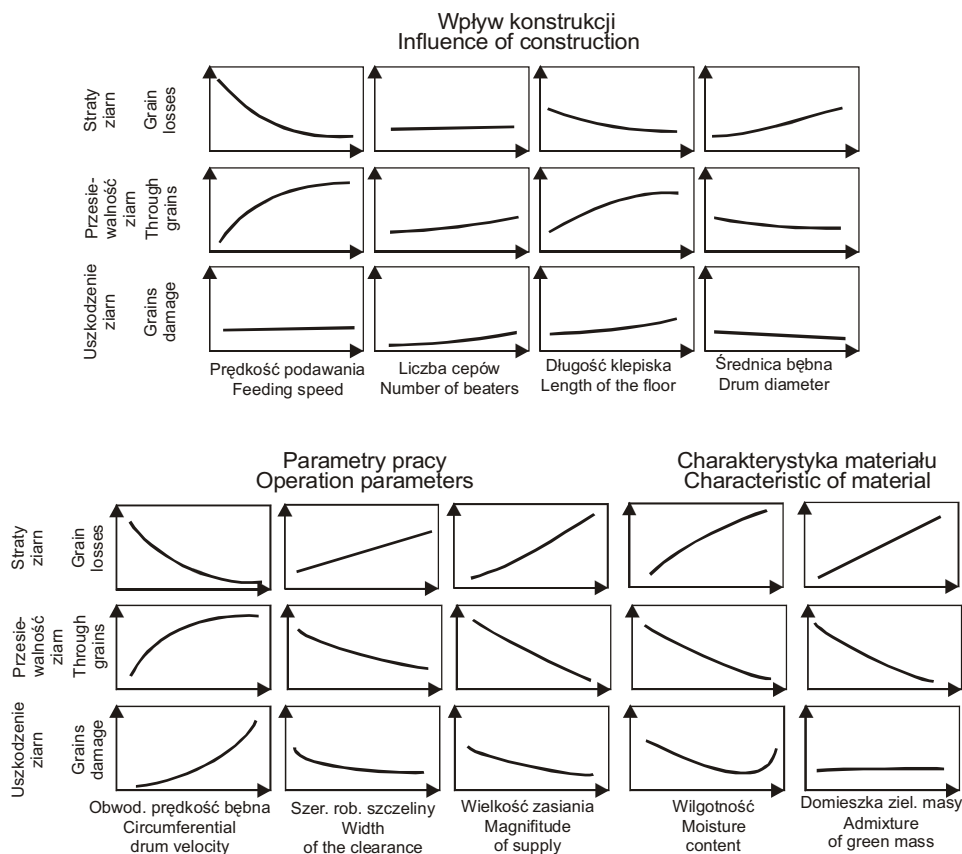
W kraju używa się głównie kombajnów zbożowych z cepowym zespołem młocącym. Na rysunku 21 przedstawiono klasyfikację czynników wpływających na jakość pracy cepowego zespołu młocącego. Znaczenie niektórych z tych czynników, w kontekście powstawania uszkodzeń mechanicznych nasion, omówiono w poprzednich rozdziałach. Wpływ pozostałych czynników na jakość omłotu przedstawia rysunek 22.



**Rys. 21.** Klasyfikacja czynników wpływających na jakość pracy cepowego zespołu młócającego



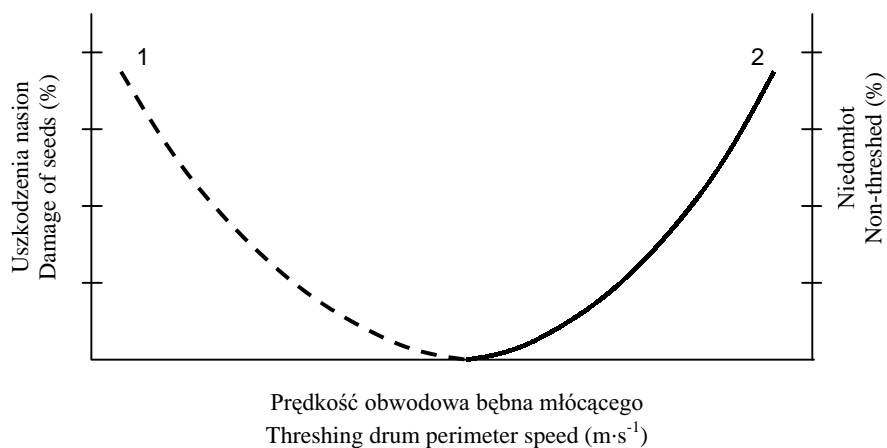
**Fig. 21.** Classification of factors affecting the quality of beater-type thresher unit operation



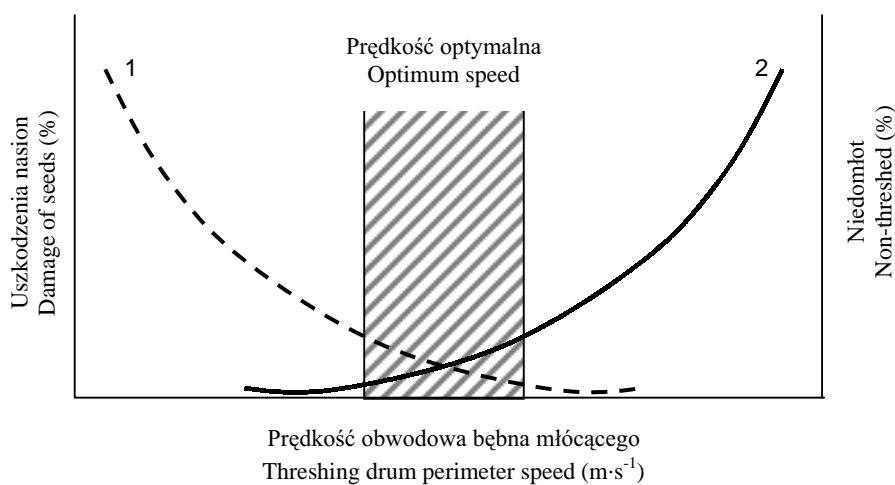
**Rys. 22.** Wpływ wybranych czynników na jakość omłotu  
**Fig. 22.** Effect of selected factors on threshing quality

Na jakość omłotu istotny wpływ mają parametry pracy zespołu młócającego. Idealny proces omłotu to taki, w czasie którego nie występują żadne straty w postaci niedomłotów i uszkodzeń mechanicznych nasion.

Na rysunku 23 przedstawiono przebieg idealnego procesu omłotowego, a na rysunku 24 przebieg procesu omłotowego najczęściej spotykanego w praktyce – ze stratami ziarna.



**Rys. 23.** Idealny proces omlotowy – bez strat. 1 – niedomłot, 2 – uszkodzenia ziarna  
**Fig. 23.** Ideal threshing process – no losses. 1 – non-threshed seed residue, 2 – damage to seeds



**Rys. 24.** Rzeczywisty proces omlotowy – ze stratami. 1 – niedomłot, 2 – uszkodzenia ziarna  
**Fig. 24.** Real threshing process – with losses. 1 – non-threshed seed residue, 2 – damage to seeds

Omlot bez strat jest nieosiągalny, ale przez ustawienie właściwej prędkości obwodowej bębna młocącego, szerokości szczeliny roboczej i wielkości zasilania straty te można ograniczyć do minimum (rys. 24). O doborze wymienionych parametrów roboczych decyduje bezpośrednio operator kombajnu.

## 8. CHARAKTERYSTYKI ZESPOŁÓW MŁÓCĄCYCH

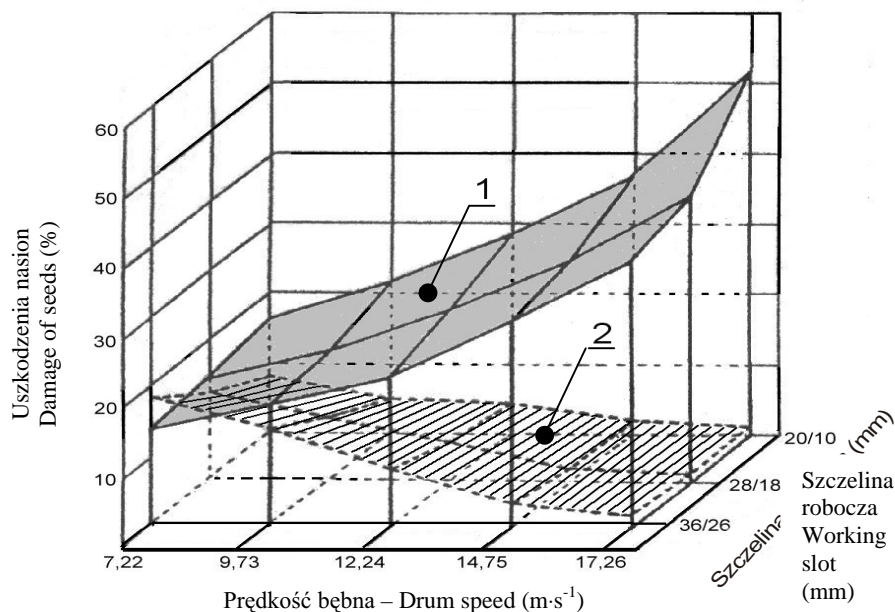
W tendencjach rozwoju konstrukcji zespołów do omłotu fasoli można zaobserwować dwa kierunki. Pierwszy, to adaptacje zespołów młócających kombajnów zbożowych, a drugi to konstrukcje zespołów przeznaczonych wyłącznie do omłotu fasoli. Badania wykazały, że kombajny zbożowe nie spełniają podstawowych wymagań agrotechnicznych przy zbiorze fasoli, głównie z powodu powstawania nadmiernych uszkodzeń mechanicznych nasion [7,13,14,84]. Podstawowym zespołem roboczym, powodującym mechaniczne uszkodzenia nasion jest zespół młócający [39,52, 81,84]. Potwierdzają to wyniki badań Sosnowskiego i Jecha [61], dotyczące oceny jakości omłotu fasoli kombajnem zbożowym Z 056 (tab. 3).

**Tabela 3.** Wpływ zespołów roboczych kombajnu Z 056 na mechaniczne uszkodzenia nasion fasoli  
**Table 3.** Effect of working assemblies of Z 056 combine on mechanical damage to bean seed

Odmiana Cultivar	Rodzaj uszkodzenia Kind of damage	Mechaniczne uszkodzenia nasion Mechanical damage to seed (%)				
		Zespoły robocze – Working assemblies				
		I	II	III	IV	V
Słowianka	Makrouszkodzenia Macro-damage	18,87	19,00	20,98	24,15	27,69
	Mikrouszkodzenia Micro-damage	27,76	28,10	28,30	29,10	40,90
	Razem Total	46,63	47,10	49,28	53,25	68,59
Saba	Makrouszkodzenia Macro-damage	16,67	17,05	24,84	25,04	30,25
	Mikrouszkodzenia Micro-damage	27,50	27,50	29,30	32,30	39,00
	Razem Total	44,17	44,55	54,14	57,34	69,25

Pomiarami objęto następujące zespoły robocze: I – zespół młócający, II – sita, III – przenośnik śrubowy ziarna, IV – podnośnik ziarna, V – przenośnik śrubowy rozładowniczy. Omłot przeprowadzono przy prędkości obwodowej bębna  $10,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Słowianka) i  $13,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (Saba). Wilgotność nasion badanych odmian wynosiła odpowiednio 16% i 15%. Do najwyższych uszkodzeń nasion dochodziło w zespole młócającym (44,17-46,63%) i śrubowym przenośniku rozładowniczym

(11,91-15,34%). W strukturze uszkodzeń przeważały mikrouszkodzenia w postaci pęknięć okrywy nasiennej. Straty w formie niedomłotu stanowiły od 2% (Słowianka) do 4% (Saba).



**Rys. 25.** Zależność mechanicznych uszkodzeń nasion i wartości niedomłotu od prędkości obwodowej bębna młócącego, przy różnych wielkościach szczeliny roboczej. 1 – uszkodzenia mechaniczne nasion, 2 – niedomłot

**Fig. 25.** Relationship of mechanical damage to seeds and level of non-threshed seed residue to perimeter speed of threshing drum at different working slot sizes. 1 – mechanical damage to seeds, 2 – non-threshed seed residue

Istotnym czynnikiem decydującym o jakości omłotu fasoli jest między innymi prędkość obwodowa bębna młócącego [36,43,47,55]. Powszechnie stosowane kombajny zbożowe nie posiadają możliwości regulacji obrotów bębna młócącego w zakresie niskich prędkości obwodowych. Z tego względu przeprowadzono badania jakości pracy zespołu młócącego kombajnem Z 056 na stacjonarnym stanowisku pomiarowym umożliwiającym między innymi omłot przy niskich prędkościach obwodowych bębna młócącego w zakresie od  $7,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Na rysunku 25 przedstawiono ilustrację uszkodzeń i niedomłotu nasion w zależności od prędkości obwodowej bębna i wielkości szczeliny pomiędzy bębniem a klepiskiem [74].

Z uzyskanych danych wynika, że najniższe uszkodzenia mechaniczne nasion wynosiły 14%, a poziom niedomłotu stanowił około 18%. Wzrost prędkości obwodowej bębna młócającego ponad  $7,22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  powodował istotny przyrost liczebności uszkodzonych nasion. Natomiast zwiększenie szczeliny roboczej pomiędzy bębniem młócającym a klepiskiem (wlot/wylot), w przedziale 20/10-36/26 mm w istotny sposób wpływało na spadek uszkodzeń nasion w przedziale wyższych prędkości obwodowych bębna młócającego ( $12,24 - 17,26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

### **8.1. Adaptacje zespołów młócających kombajnów zbożowych do omlotu fasoli**

W celu zmechanizowania zbioru fasoli dokonywano szeregu adaptacji kombajnów zbożowych. Dotyczyły one wprowadzania zmian w konstrukcji klepiska lub bębna młócającego, względnie w obydwu częściach zespołu młócającego [36,43, 51,56].

Do powszechnych rozwiązań adaptacyjnych konstrukcji cepowego zespołu młócającego należy stosowanie:

- gładkich cepów stalowych i osłon pomiędzy cepami,
- gumowych lub pogumowanych cepów oraz gumowych bębnow młócających,
- klepisk o zwiększonej przesiewalności.

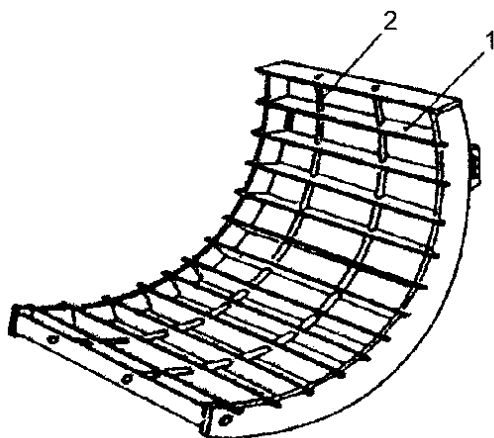
Gładkie cepy i osłony bębna, obniżały uszkodzenia nasion fasoli w granicach od 2 do 4%, a przy zastosowaniu gumowych lub pogumowanych cepów następował spadek liczebności uszkodzonych nasion o 5-10%. Lepszą jakość omlotu uzyskiwano z klepiskiem o zwiększonej przesiewalności [36,56,76].

Na rysunku 26 przedstawiono schemat listwowego klepiska bez poprzecznych elementów, a na rysunku 27 wyniki dotyczące wpływu zmian w konstrukcji cepowego zespołu młócającego na jakość omlotu fasoli przy różnych prędkościach obwodowych bębna młócającego [72].

Z uzyskanych danych wynika, że ogumione cepy z klepiskiem o zwiększonej przesiewalności powodowały spadek liczebności uszkodzonych nasion kosztem wzrostu niedomłotu głównie w zakresie niskich prędkości obwodowych bębna młócającego ( $7,22-9,79 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

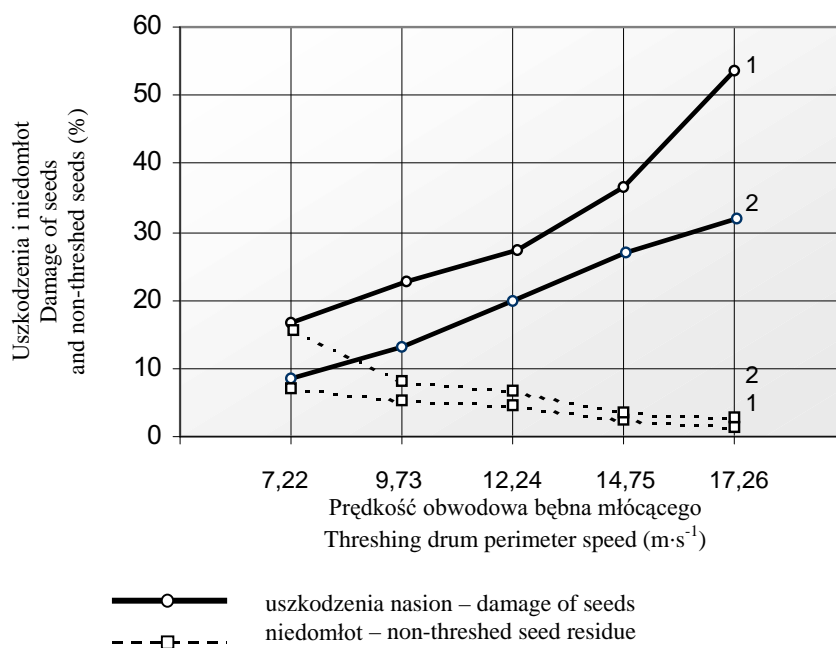
W celu poprawienia jakości omlotu, a głównie obniżenia uszkodzeń nasion poddano badaniom klepisko segmentowe o zwiększonej przesiewalności (bez wzdłużnych listew) [72]. Na rysunku 28 przedstawiono schemat tego rozwiązania, a na rysunku 29 zilustrowano wpływ zmiany konstrukcji klepiska na uszkodzenia i niedomłot nasion przy różnych prędkościach obwodowych bębna młócającego.





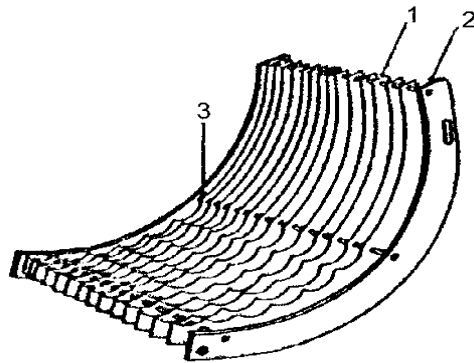
**Rys. 26.** Listwowe klepisko bez poprzecznych elementów. 1 – listwa klepiska, 2 – element poprzeczny.

**Fig. 26.** Rib-type threshing concave without cross-members. 1 – rib of concave, 2 – cross-member



**Rys. 27.** Wpływ prędkości bębna młócającego na mechaniczne uszkodzenia nasion i niedomłot przy zastosowaniu różnych rozwiązań konstrukcyjnych zespołów młócających. 1 – zespół młócający kombajnu Z 056, 2 – bęben młócający z ogumionymi cepami i klepisko bez poprzecznych elementów

**Fig. 27.** Effect of threshing drum speed on mechanical damage of seeds and non-threshed seed residue with various designs of threshing units. 1 – threshing unit of Z 056 combine, 2 – threshing drum with rubber-coated beaters and concave without cross-members

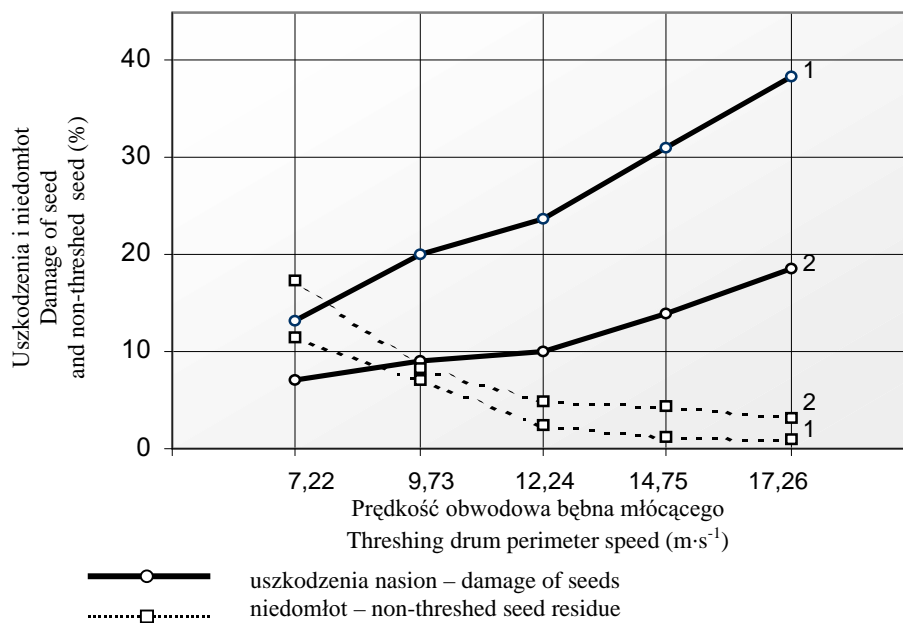


**Rys. 28.** Klepisko segmentowe.

1 – segment klepiska, 2 – bok klepiska,  
3 – łącznik mocujący

**Fig. 28.** Segmented concave.

1 – concave segment, 2 – concave side,  
3 – attachment pin

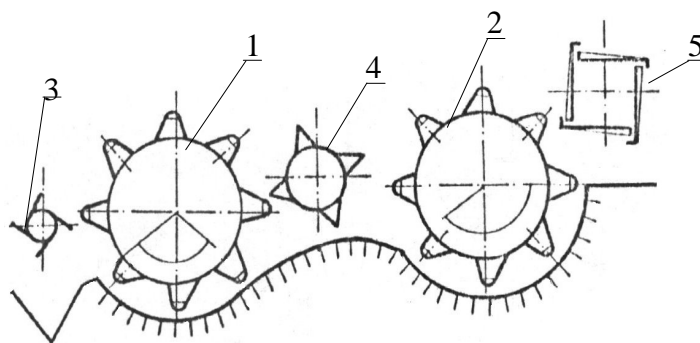


**Rys. 29.** Porównanie jakości omlotu fasoli różnymi zespołami młócającymi. 1 – cepowy zespół młócający kombajnu zbożowego Z 056, 2 – bęben młócający z ogumionymi cepami i klepisko segmentowe

**Fig. 29.** Comparison of bean threshing quality for different thresher units. 1 – beater-type thresher unit of Z 056 combine, 2 – threshing drum with rubber-coated beaters and segmented concave

Prezentowane klepisko we współpracy z bębniem młócającym wyposażonym w ogumione cepy powodowało w czasie omłotu fasoli spadek liczebności uszkodzonych nasion o około 50% – w stosunku do cepowego zespołu młócającego kombajnu Z 056. Natomiast niedomłot wzrósł w badanym przedziale prędkości obwodowej bębna młócającego od 2 do 6%.

W celu ograniczenia uszkodzeń nasion podejmowano próby omłotu fasoli dwubębnowym zespołem młócającym kombajnu zbożowego typu SK-6 [76]. Wyniki badań wykazały szereg niedostatków konstrukcyjnych wymienionego zespołu (rys. 30), które wpływały na powstawanie nadmiernych uszkodzeń nasion w granicach od 14 do 37%. Duża liczba części rotacyjnych, nadmierna długość klepisk i nieodpowiedni ich kształt, były przyczyną niskiej jakości pracy tego zespołu młócającego.

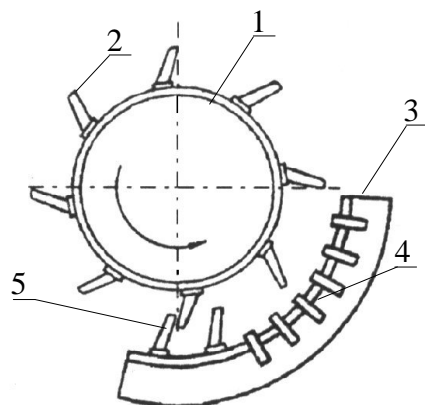


**Rys. 30.** Dwubębnowy zespół młócający kombajnu zbożowego SK – 6. 1 – pierwszy bęben młócający, 2 – drugi bęben młócający, 3 – bęben podający, 4 – separator, 5 – odrzutnik słomy

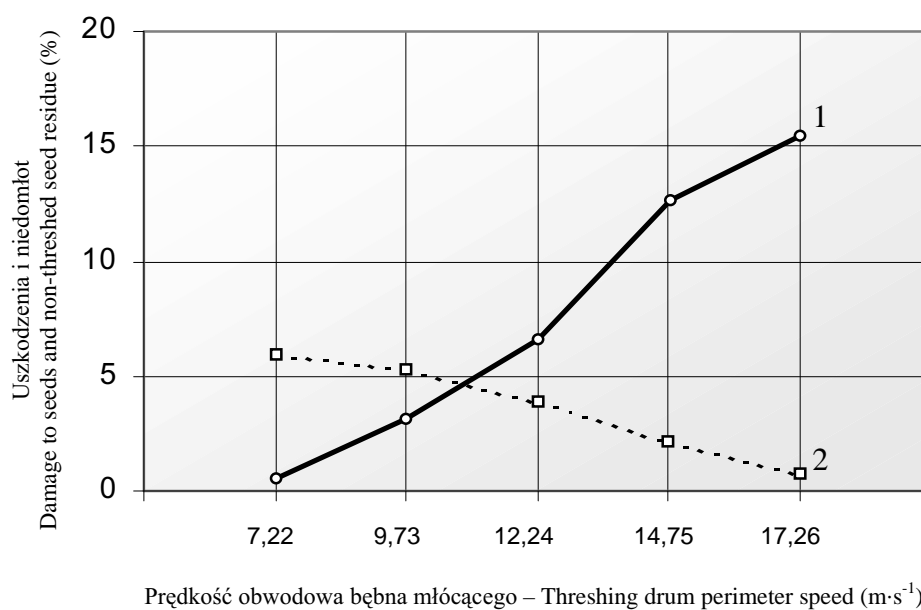
**Fig. 30.** Twin-drum threshing unit of SK-6 cereal combine. 1 – first threshing drum, 2 – second threshing drum, 3 – feeder drum, 4 – separator, 5 – straw ejector

Do omłotu fasoli stosowano również zębate zespoły młócające [14,43]. Uszkodzenia nasion przy omłocie tymi zespołami kształtowały się na poziomie około 15%.

W ramach badań własnych przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych ocenę zębatego zespołu przy omłocie fasoli odmiany Igołomska [63]. Wygląd konstrukcji badanego prototypu przedstawiono na rysunku 31. Na rysunku 32 zaprezentowano rezultaty przeprowadzonych badań. Przy zwiększaniu prędkości obwodowej bębna młócającego z  $7,22$  do  $17,26$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  następował przyrost liczebności uszkodzonych nasion z 1,5 do 16%, przy jednoczesnym spadku niedomłotu z 6 do 2%. Najniższe straty osiągnięto w czasie omłotu przy prędkości bębna  $9,73$   $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  (3% – uszkodzenia nasion, 5% – niedomłot) .



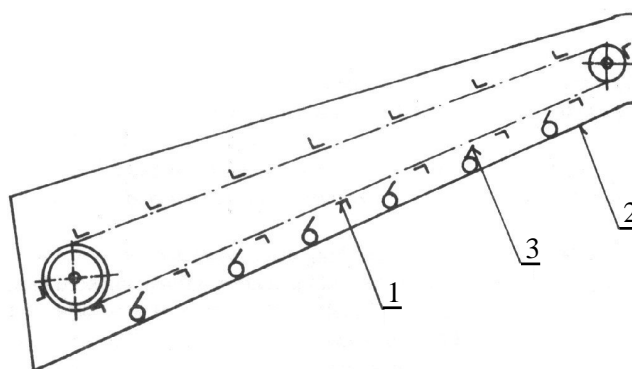
**Rys. 31.** Zębaty zespół młócający.  
1 – bęben, 2 – ząb bębna 3 – klepisko,  
4 – listwa poprzeczna, 5 – ząb klepiska  
**Fig. 31.** Cog-type threshing unit. 1 – drum,  
2 – drum cog, 3 – concave, 4 – cross rib,  
5 – concave cog



**Rys. 32.** Wpływ prędkości bębna zębatego zespołu młócającego na poziom uszkodzeń i niedomłotu fasoli. 1 – uszkodzenia nasion, 2 – niedomłot

**Fig. 32.** Effect of cog-type threshing unit drum speed on level of damage and non-threshed seed residue of bean. 1 – damage to seeds, 2 - non-threshed seed residue

W celu poprawienia efektów omłotu fasoli podejmowano próby podziału procesu omłotowego na dwa etapy: omłot wstępny i zasadniczy. W ramach badań własnych podjęto również próbę przystosowania przenośnika łańcuchowo-listwowego kombajnu zbożowego do wstępnego omłotu fasoli. Na rysunku 33 przedstawiono widok ogólny adaptowanego przenośnika łańcuchowo-listwowego [60].



**Rys. 33.** Adaptowany przenośnik pochyły kombajnu zbożowego Z 056 do wstępnego omłotu fasoli. 1 – kątownik poprzeczny, 2 – dolna obudowa przenośnika, 3 – palec sprężysty

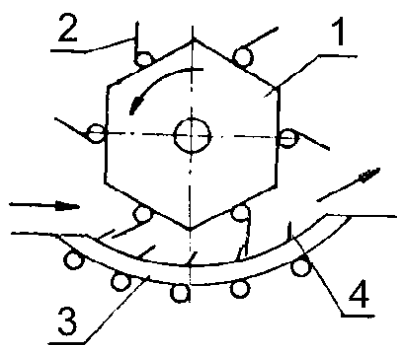
**Fig. 33.** Adapted sloped conveyor of Z 056 cereal combine for initial threshing of bean. 1 – cross angle bar, 2 – lower housing of conveyor, 3 – flexible finger

Wyniki pomiarów wykazały, że wymłacalność fasoli na przenośniku pochyłym wynosiła około 60% przy uszkodzeniach mechanicznych nasion w granicach 1,5%. Jednak podstawowym problemem w czasie omłotu był brak możliwości odseparowania nasion od słomy przed zespołem młójącym.

## 8.2. Zespoły młójące do fasoli zwyczajnej

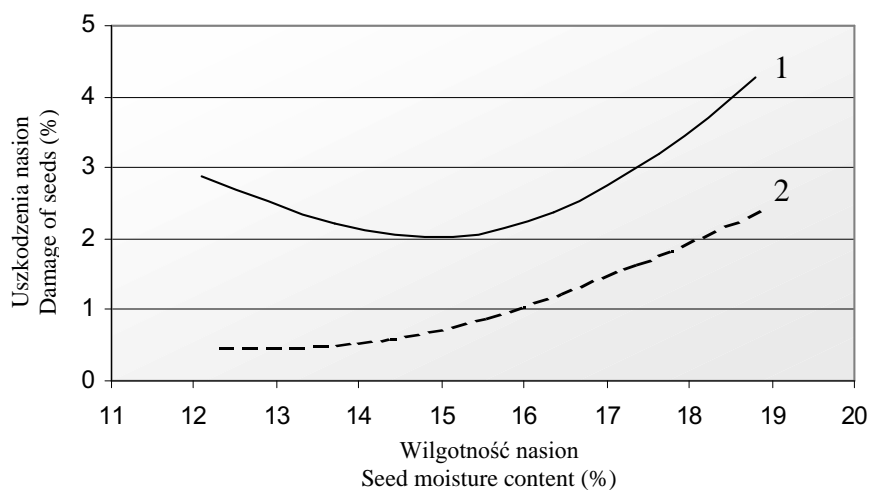
Maszyny specjalistyczne przeznaczone wyłącznie do zbioru fasoli używane są głównie przy produkcji na dużych plantacjach. Mogą one występować jako maszyny przyczepiane do ciągników lub kombajny samobieżne, w tym także kombajny zbożowe nowych generacji wyposażone w zamienne zespoły młójące do fasoli.

Firma Lillistone (USA) [56], w produkowanych do zbioru fasoli kombajnach, stosuje palcowe zespoły młójące. Na rysunku 34 przedstawiono palcowy zespół młójący tej firmy, a na rysunku 35 wyniki badań kombajnu Lillistone 6200, którym zbierano podciętą i zgarniętą w wały fasolę odmiany Alfa.



**Rys. 34.** Palcowy zespół młócający firmy Lillstone (USA): 1 – bęben, 2 – palec sprężysty, 3 – klepisko, 4 – palec klepiska

**Fig. 34.** Finger-type threshing unit of Lillstone (USA) combine: 1 – drum, 2 – flexible finger, 3 – concave, 4 – concave finger

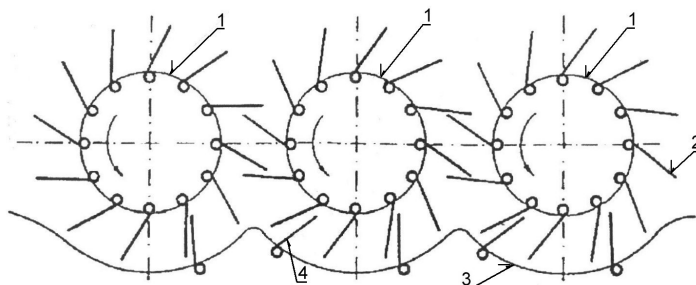


**Rys. 35.** Uszkodzenia mechaniczne nasion w zależności od ich wilgotności powstające podczas zbioru fasoli kombajnem Lillstone 6200. 1 – makrouszkodzenia nasion, 2 – mikrouszkodzenia nasion

**Fig. 35.** Fig. 35. Mechanical damage to seeds with relation to seed moisture, in seed harvesting with Lillstone 6200 combine. 1 – macro-damage to seeds, 2 – micro-damage to seeds

Jak wynika z uzyskanych danych (rys. 35) makro- i mikrouszkodzenia nasion zmieniały się w zależności od ich wilgotności i wynosiły odpowiednio: 2-4,3% i 0,5-2,3%. Najniższą wartość makrouszkodzeń odnotowano dla nasion zawierających około 15% wilgotności.

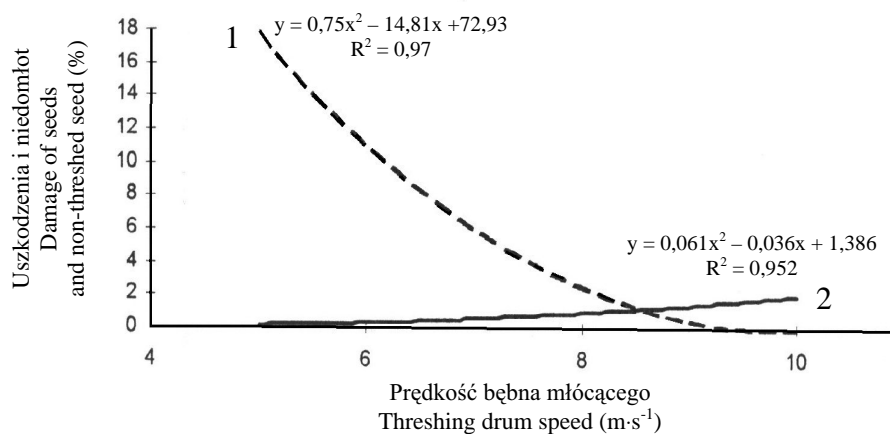
W ramach prowadzonych badań własnych wykonano i przebadano trzybębenowy palcowy zespół młócający. Na rysunku 36 przedstawiono schemat ogólny tego zespołu [75].



**Rys. 36.** Trzybębnowy palcowy zespół młócający do fasoli. 1 – bęben młócający, 2 – palec sprężysty bębna, 3 – perforowane klepisko, 4 – palec sprężysty klepiska

**Fig. 36.** Three-drum finger-type thresher unit for bean. 1 – threshing drum, 2 – flexible finger of drum, 3 – perforated concave, 4 – flexible finger of concave

Badania przeprowadzono na stacjonarnym stanowisku pomiarowym, gdzie poddano omlótowi fasolę odmiany Igołomska o wilgotności nasion w przedziale 17-18%. Najwyższą jakość omlotu (uszkodzenia nasion – około 2%, niedomłot około 1%) uzyskano przy prędkości obwodowej bębnow młócających w granicach  $9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (rys.37).

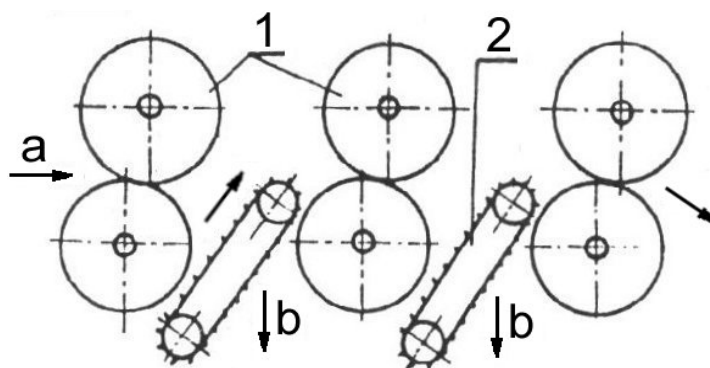


**Rys. 37.** Uszkodzenia i niedomłot fasoli w zależności od prędkości obwodowych bębnow młócających. 1 – niedomłot, 2 – uszkodzenia mechaniczne nasion

**Fig. 37.** Damage of seeds and non-threshed seed residue with relation to perimeter speeds of threshing drums. 1 – non-threshed seed residue, 2 – mechanical damage to seeds

Wysoka jakość omlotu fasoli przy zastosowaniu palcowego zespołu młócającego wynika z charakteru pracy sprężystych elementów roboczych. Wydzielanie nasion ze strąków jest skutkiem przeczesywania młóconej masy sprężystymi palcami bębnow przy niewielkich prędkościach. Sposób oddziaływania palców na młóconą masę ma szczególne znaczenie przy niskich wilgotnościach nasion fasoli, które są wrażliwe na uszkodzenia mechaniczne. Szczegółowe wyniki dotyczące badań prezentowanego zespołu młócającego opublikowano w pracach Sosnowskiego i Kuźniara [63,75].

W innym rozwiązaniu do omlotu fasoli zastosowano wielobębnowy zespół młócający, którego schemat przedstawiono na rysunku 38 [56].



**Rys. 38.** Wielobębnowy zespół młócający do fasoli: a – kierunek przemieszczania młóconej masy, b – separacja ziarna, 1 – gumowane bębny, 2 – przenośnik separacyjny

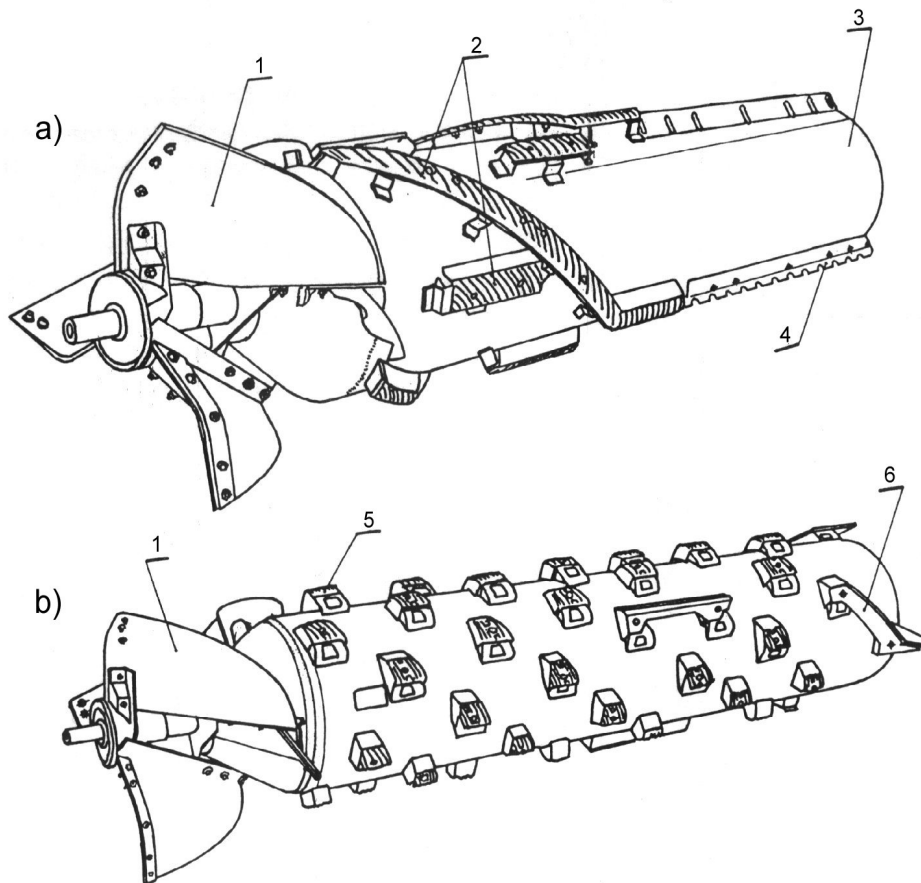
**Fig. 38.** Multi-drum bean thresher unit: a – movement direction of threshed mass, b – seed separation, 1 – rubber-coated drums, 2 – separating conveyor

Zespół ten składa się z trzech par bębnow o średnicy 300 mm, pokrytych warstwą gumy o grubości 25 mm. Bębny mocowane są na sprężynach odciążających, które umożliwiają odchylenie się od siebie przy określonym docisku w czasie przemieszczania młóconej masy roślinnej. Prędkość obwodowa pierwszej pary wynosi  $1,3-1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a drugiej i trzeciej pary odpowiednio o 10% wyżej. Przy omlocie fasoli wymienionym zespołem młócającym uszkodzenia mechaniczne nasion nie przekraczały 2,5%, a niedomłot wynosił około 1%. Omlot odbywał się przy niskich wilgotnościach nasion i strąków, tj. poniżej 13%.

W ostatnich latach coraz powszechniej do zbioru zbóż stosuje się kombajny z osiowym zespołem młócająco-wydzielającym, które wyróżniają się dużą wydajnością i niskimi uszkodzeniami ziarna. Powszechność stosowania tych kombajnów występuje nie tylko w USA i Kanadzie ale także w Europie.



Na rysunku 39 przedstawiono konstrukcję bębnow młójących stosowanych w kombajnach firmy Case [89].



**Rys. 39.** Osiowe bębny stosowane w kombajnach firmy Case IH: a) pierwszej generacji, b) nowej generacji: 1 – wciągająca łopatka bębna, 2 – cepy, 3 – powierzchnia cylindryczna, 4 – listwy separujące, 5 – krótkie cepy, 6 – element separująco-wygarniający  
**Fig. 39.** Axial drums used in combines from Case IH company: a) first generation, b) new generation: 1 – impeller blade, 2 – beaters, 3 – cylindrical surface, 4 – separating ribs, 5 – short beaters, 6 – separating-raking element

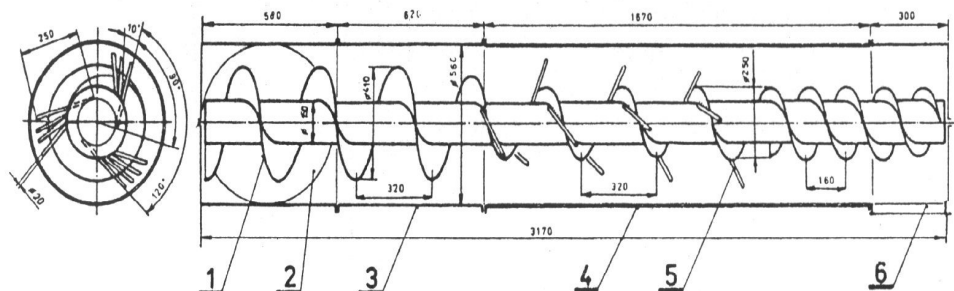
Konstrukcja osiowego zespołu młócającego składa się z wirnika bębna osiowego i stałego cylindra. W czasie omłotu masa roślinna jest przemieszczana ruchem śrubowym w szczelinie roboczej między obracającym się bębniem i stałym cylindrem. W czasie pracy, w przedniej części zespołu najpierw następuje proces omłotu, a następnie w tylnej części – proces separacji.

Omłot i separacja są wynikiem złożonego procesu wycierania, uderzeń i działania siły odśrodkowej. Kombajny zbożowe z osiowymi zespołami młócająco-wydzielającymi w porównaniu z kombajnami wyposażonymi w cepowe zespoły młócające w mniejszym stopniu uszkodzają ziarna. Spowodowane jest to innym sposobem wydzielania ziarna w zespołach osiowych. Polega on bowiem na wycieraniu młóconej masy, przemieszczającej się wokół cylindra na dużej długości, np. 2,8 m w kombajnie Case IH 2166. Procesy wydzielania ziarna odbywają się przy znacznie niższych prędkościach elementów roboczych bębna osiowego w porównaniu z cepowym zespołem młócającym. Mając na uwadze niską odporność nasion fasoli na uszkodzenia mechaniczne kombajny z osiowym zespołem młócająco-wydzielającym znalazły wykorzystanie do omłotu fasoli. Ograniczenie stosowania tych kombajnów w krajowym rolnictwie wynika z klimatu, który często uniemożliwia przeprowadzenie zbioru przy niskich wilgotnościach roślin.

W celu zwiększenia możliwości wykorzystywania tej konstrukcji kombajnów do zbioru roślin o wyższych wilgotnościach, znacznym zachwaszczeniu i zbóż wysokostomiatych, firma Case IH podjęła modernizację produkowanych kombajnów i wprowadziła do stosowanych pojedynczych wirników bębnow osiowych o długości 2820 mm, w miejsce dotychczasowych cepów i listew separujących, krótkich cepów rozmieszczonych śrubowo dookoła całej jego powierzchni cylindrycznej (rys. 39 b). Na skutek zwiększenia procesu wycierania podczas omłotu uzyskano mniejsze uszkodzenia ziarna. Pojedynczy wirnik o większych średnicach (od 610 do 762 mm) jest mniej podatny na owijanie, zwłaszcza długich łodyg o znacznym zachwaszczeniu plantacji i dużej wilgotności roślin.

Niektóre firmy produkujące kombajny z osiowym zespołem młócająco-wydzielającym wyposażają je w dodatkowe zespoły do omłotu roślin strączkowych. Przykładem może być firma Agrico Machinery Ltd (USA), która w wyposażeniu swoich kombajnów zbożowych posiada osiowy zespół młócająco-wydzielający do roślin strączkowych [56]. Na rysunku 40 przedstawiono widok ogólny tego zespołu.

Proces omłotu polega przede wszystkim na wycieraniu i przeczesywaniu młóconej masy przez sprężyste palce bębna. W trakcie omłotu fasoli o wilgotności około 15% prezentowanym zespołem młócającym, uszkodzenia mechaniczne nie przekraczały wartości 3%.



**Rys. 40.** Osiowy zespół młócający do roślin strączkowych firmy Agrico Machinery Ltd. (USA). 1 – śrubowy bęben młócający, 2 – otwór zasilający, 3 – klepisko gładkie, 4 – klepisko wycierająco-separujące, 5 – palec, 6 – otwór wylotowy

**Fig. 40.** Axial threshing unit for legumes of Agrico Machinery Ltd. (USA). 1 – worm-type threshing drum, 2 – feeder hole, 3 – smooth concave, 4 – abrasion-separation concave, 5 – finger, 6 – outlet

### 8.3. Zespoły młócające do zbioru fasoli szparagowej

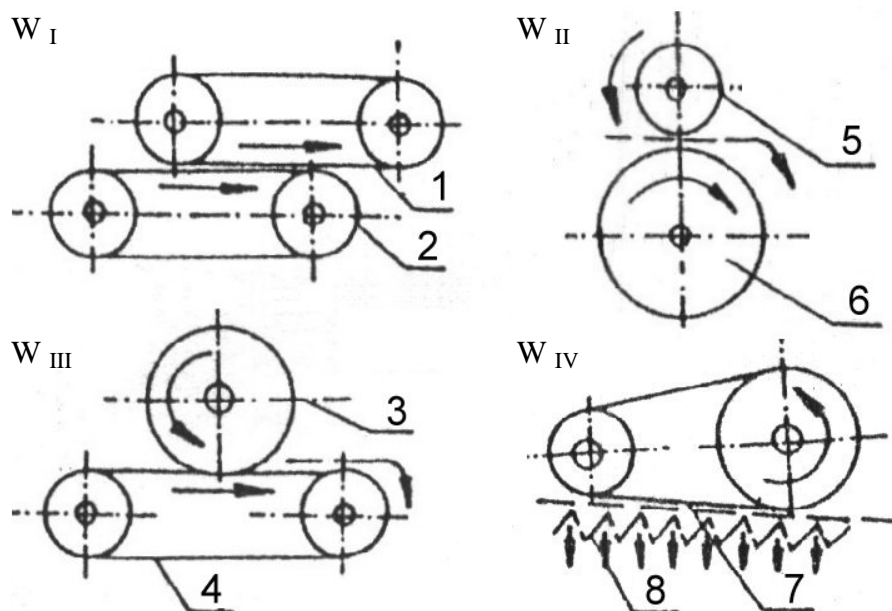
Omlót nasionków fasoli odmian szparagowych jest znacznie trudniejszy od omlotu fasoli uprawianej na suche nasiona. Wynika to z ich anatomiczno-morfologicznych i fizycznych właściwości [6,33]. Strąki są bezwłókniste i mięsiste, a przy omlocie łatwo się łamią poprzecznie pozostając z nasionami, co jest przyczyną dużych strat plonu w czasie zbioru głównie w formie niedomłotu. Ponadto nasiona odmian szparagowych podobnie jak nasiona odmian na suche ziarno łatwo ulegają mechanicznym uszkodzeniom.

Poszukiwaniem rozwiązań konstrukcji zespołów młócających do fasoli szparagowej zajmował się Bieganowski [6,7]. W swoich badaniach przetestował 4 warianty modelowych zespołów wycierających do omlotu fasoli, które przedstawiono na rysunku 41, oraz zespół młócający kombajnu Z 040.

Obejmowały one odpowiednio:

- $W_I$  – wycieranie nasion między dwoma współbieżnie poruszającymi się taśmami parciano-gumowymi o urzeźbionych powierzchniach. Podczas pomiarów taśma dolna poruszała się z prędkością  $1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a górna –  $4,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- $W_{II}$  – wycieranie nasion ze strąków między dwoma bębnami stalowymi urzeźbionej powierzchni, poruszającymi się z różnymi prędkościami obwodowymi: górny  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , dolny  $7,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , przy szczelinie wynoszącej 6 mm.

- $W_{III}$  – wycieranie nasion między taśmą gumową poruszającą się z prędkością postępową  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i współbieżnie obracającym się bębniem gumowym z prędkością obwodową  $12,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- $W_{IV}$  – wycieranie nasion między zębatą taśmą wykonaną z gumy poruszającą się z prędkością postępową  $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a nieruchomym klepiskiem ażurowym wykonanym z kątowników przy szczelinie roboczej wlot  $24 \text{ mm}$ , wylot  $8 \text{ mm}$ .
- $W_0$  – zespół młócający kombajnu zbożowego Z 040 z zabudowanymi przestrzeniami między cepami bębna o szczelinie roboczej  $36 \text{ mm}$  (wlot) i  $16 \text{ mm}$  (wylot), przy prędkości obwodowej bębna młócacego  $5,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .



**Rys. 41.** Schematy modelowych zespołów młócających do fasoli szparagowej. 1,2 – taśmy wycierające; 3 – bęben gumowy; 4 – taśma gumowa; 5-6 – stalowe bębny wycierające; 7 – zębata taśma wycierająca; 8 – klepisko ażurowe.

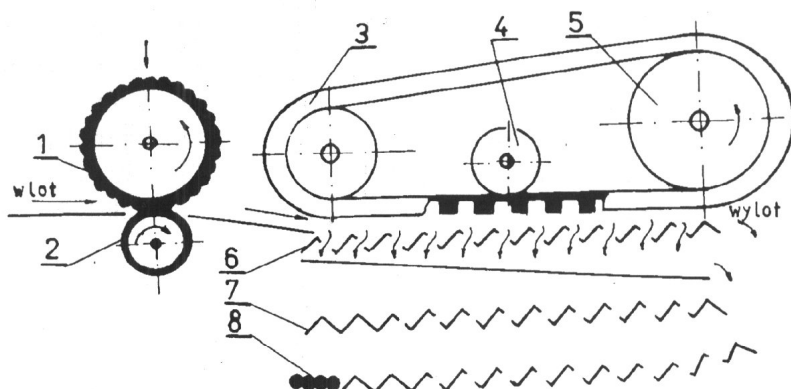
**Fig. 41.** Schematics of model threshing units for snap bean. 1,2 – abrasion belts, 3 – rubber drum, 4 – rubber band, 5,6 – steel abrasion drums, 7 – toothed abrasion band, 8 – perforated concave

**Tabela 4.** Wpływ konstrukcji zespołu młócającego na jakość omlotu fasoli badanych odmian  
**Table. 4.** Effect of thresher unit design on threshing quality of bean cultivars under study

Odmiana Cultivar	Wskaźnik jakości omlotu Index of threshing quality (%)	Warianty omlotu Variants of threshing				
		W <sub>0</sub>	W <sub>I</sub>	W <sub>II</sub>	W <sub>III</sub>	W <sub>IV</sub>
Aura	makrouszkodzenia macro-damage	12,10	0,20	4,70	2,30	3,30
	mikrouszkodzenia micro-damage	6,90	0,30	4,10	2,00	3,50
	niedomłot non-threshed residue	6,30	5,50	0,20	4,20	0,70
Złota Saxa	makrouszkodzenia macro-damage	13,20	0,70	2,40	4,56	1,27
	mikrouszkodzenia micro-damage	16,80	0,25	2,60	3,95	2,45
	niedomłot non-threshed residue	31,10	35,70	18,50	7,20	14,50

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 4, wskazuje, że do omlotu nasion fasoli odmiany Aura (posiadającej sztywne i pękające wzdłuż szwów strąki) najkorzystniejszy pod względem ilości uszkodzeń jest zespół W<sub>I</sub> – z gumowymi taśmami wycierającymi oraz W<sub>III</sub> – z gumowym bębniem i taśmą wycierającą. Zespoły W<sub>II</sub> – ze stalowymi bębnami oraz W<sub>IV</sub> z zębatą taśmą i klepiskiem powodowały najniższe straty w formie niedomłotów. Zespół W<sub>IV</sub> jest również jednym z bardziej korzystnych do omlotu fasoli szparagowej odmiany Złota Saxa posiadającej bezwłókniste, łamiące się poprzecznie strąki. Zespół młócający kombajnu Z 040 (wariant omlotu – W<sub>0</sub>) powodował od kilku do kilkunastu razy większe uszkodzenia mechaniczne nasion od pozostałych zespołów młócających, pomimo niskiej prędkości obwodowej bębna młócającego – 5,8 m·s<sup>-1</sup>.

Uwzględniając wyniki badań zawartych w tabeli 4 autor przeprowadził dalsze badania modelowego zespołu młócającego W<sub>IV</sub> z różnymi konstrukcjami klepisk charakteryzujących się odmienną przesiewalnością i aktywnością wycierania młóconej masy [3]. Na rysunku 42 przedstawiono schemat tego zespołu.



**Rys. 42.** Schemat zespołu młocącego: 1 – bęben zgniatający, 2 – rolka podporowa, 3 – zębata taśma wycierająca, 4 – rolka podporowa, 5 – bęben napędowy, 6 – klepisko uniwersalne, 7 – klepisko sekcyjne, 8 – klepisko sekcyjne wydłużone

**Fig. 42.** Schematic of thresher unit: 1 – crushing drum, 2 – support roller, 3 – toothed abrasion band, 4 – support roller, 5 – drive drum, 6 – universal concave, 7 – section concave, 8 – lengthened section concave

Do omłotu wykorzystano trzy klepiska, o różnej przesiewalności i aktywności wycierania:

- uniwersalne (rys. 42, poz. 6), wykonane ze stalowych kątowników 20/20 mm, w których w jednym z boków wykonano podłużne otwory o wymiarach 12/17 mm;
- sekcyjne (rys. 42, poz. 7) wykonane z takich samych kątowników, podzielone na sekcje: zaślepioną oraz trzy o zróżnicowanej, powiększającej się w kierunku wyłotu masy wielkości otworów, tj. 7/12; 8/15 i 10/15 mm;
- sekcyjne wydłużone (rys. 42, poz. 8), różniące się od sekcyjnego tylko wydłużoną i bardziej aktywną pierwszą sekcją, wykonaną z uźebrowanych, stykających się ze sobą prętów stalowych o średnicy 16 mm.

Pomiary prowadzono przy prędkości postępowej taśmy wycierającej  $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  i stałych parametrach bębna zgniatającego: nacisk –  $250 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ , prędkość obwodowa –  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Analiza wyników przedstawionych w tabeli 5 wykazała, że w czasie omłotu fasoli szparagowej najmniej korzystnym było klepisko sekcyjne wzdłużne. Dotyczyło to zwłaszcza uszkodzeń nasion, których wartość była najwyższa i wynosiła 8,6%. Wysokie uszkodzenia nasion powstałe na tym klepisku tłumaczyć należy bardziej aktywną, wydłużoną powierzchnią trącą sekcji klepiska

(uźebrowane pręty) w porównaniu do pozostałych klepisk wykonanych tylko z kątowników. Najniższe uszkodzenia nasion (4,5%) odnotowano przy zastosowaniu klepiska sekcijnego.

**Tabela 5.** Wpływ konstrukcji klepiska na jakość omlotu fasoli  
**Table 5.** Effect of thresher concave design on bean threshing quality

Wyszczególnienie – Specification	Jed. miary Unit	Typ klepiska – Type of concave		
		Uniwersalne Universal	Sekcyjne Section	Sekcyjne wydłużone lengthened section
Uszkodzenia nasion, w tym: Damage of seeds, incl.	%	5,8	4,5	8,6
• makrouszkodzenia macro-damage	%	3,9	3,5	5,5
• mikrouszkodzenia micro-damage	%	1,9	1,0	3,1
Niedomłot, w tym nasiona: Non-threshed residue, incl. seeds	%	24,0	8,6	3,3
• ze strąków w słomie from ears in straw	%	17,3	8,1	3,2
• ze strąków przesianych przez klepisko from ears screened through concave	%	6,7	0,5	0,1
Nasiona wymłócone przesiane przez klepisko Threshed seeds screened through concave	%	79,0	75,0	70,3

Wielkość niedomłotu przy poszczególnych klepiskach była zróżnicowana i wynosiła 3,3% na klepisku sekcyjnym wzdłużnym (najbardziej aktywnym), 8,6% na mniej aktywnym klepisku sekcyjnym i 24% na najmniej aktywnym klepisku uniwersalnym. Uzyskane wyniki wskazują na dalsze udoskonalanie klepiska sekcijnego i sekcijnego wzdłużnego.

## 9. PODSUMOWANIE

Mechanizacja zbioru fasoli napotyka na szereg trudności wynikających głównie z niekorzystnych właściwości biologicznych i fizycznych roślin, do których zalicza się: odmienność pokroju różnych odmian fasoli, niskie osadzenie strąków, wrażliwość dojrzałych strąków na osypywanie się nasion, małą odporność nasion na uszkodzenia mechaniczne, nierównomierność dojrzewania roślin w obrębie plantacji, a także strąków na tej samej roślinie.

Nasiona fasoli cechują się, wśród uprawianych roślin strączkowych, najniższą odpornością na uszkodzenia mechaniczne. Stosowanie do zbioru fasoli kombajnów zbożowych lub kosiarek i młocarni stacjonarnych, powoduje powstawanie strat w formie ubytków nasion (25-30%) oraz nasion uszkodzonych mechanicznie w ilości od 15 do 40%.

O podatności nasion fasoli na powstawanie uszkodzeń w głównej mierze decyduje kształt, wielkość oraz stopień ich uwilgotnienia. Stwierdzono występowanie korzystnego przedziału wilgotności (21-25%), w którym nasiona charakteryzowały się najwyższą odpornością na uszkodzenia. Ma to istotne znaczenie przy określaniu terminu zbioru.

W warunkach obciążeń dynamicznych na powstawanie uszkodzeń nasion miała wpływ prędkość i krotność uderzeń oraz materiał elementu udarowego. Graniczne prędkości uderzeń były zróżnicowane w zależności od odmiany i wilgotności nasion. Dla odmian drobnonasiennych ich wartości były ponad dwukrotnie wyższe od prędkości występujących u odmian grubonasiennych.

Przy ocenie wpływu krotności uderzeń nasion oraz rodzaju materiału elementu udarowego najniższe wartości uszkodzeń występowały przy zastosowaniu gumowego elementu udarowego pod warunkiem, że nasiona po uderzeniu nie trafiały w trwałą przeszkodę.

Światowe tendencje mechanizacji zbioru fasoli zmierzają w kierunku zbioru dwuetapowego, w którym występuje wiele wariantów. Różnią się one głównie pierwszym etapem jakim jest zbieranie samych roślin. Etap ten może polegać na podcinaniu lub wrywaniu roślin albo naruszaniu systemu korzeniowego, a następnie układaniu ich w wały. W drugim etapie zbiór fasoli z wałów odbywać się może za pomocą adaptowanego kombajnu zbożowego lub kombajnu specjalistycznego do zbioru fasoli.

Przy mechanicznym zbiorze fasoli nasiona są uszkodzane głównie w procesie omłotu, gdzie dochodzi do obciążeń dynamicznych pochodzących od elementów roboczych zespołów młócących. Z przeprowadzonej analizy wynika, że o pow-



stawianiu uszkodzeń nasion fasoli w czasie omłotu, decydują głównie cechy konstrukcyjne zespołów młócących. W celu ograniczenia uszkodzeń nasion fasoli dokonywano szeregu adaptacji cepowych i zębatych zespołów młócących kombajnów zbożowych. Polegały one głównie na zwiększeniu przesiewalności klepisk oraz na stosowaniu elementów gumowych w bębnach młócących. Spośród przedstawionych rozwiązań, najlepszą jakość pracy uzyskano wielobębnowym palcowym zespołem młocącym (3% – uszkodzenia nasion i 2% niedomłot). Zadowalające wyniki jakości omłotu fasoli osiągnięto kombajnem z wymiennym osiowym zespołem młocąco-wydzielającym do roślin strączkowych, w którym proces omłotu polegał głównie na wycieraniu i przeczesywaniu młóconej masy przez ślimakowo-palcowy bęben młocący.

Najkorzystniejszym rozwiązaniem do omłotu fasoli szparagowej pod względem liczebności uszkodzanych nasion, okazał się zespół młocący z gumowymi taśmami wycierającymi oraz z gumowym bębniem i taśmą wycierającą.

## 10. PIŚMIENNICTWO

1. **Arnold P.C., Roberts A.W.:** An investigation of stress fields in wheat grains, using photoelastic and numerical techniques. *J. Agric. Eng. Res.*, 14 (2), 126-133, 1983.
2. **Bartsch, James A., C. Gene Haugh, Kirk L. Athow and Robert M. Peart.:** Impact damage to soybean seed. *Transactions of the ASAE*, 29(2), 582-586, 1986.
3. **Bieganowski F. Kowalczyk J.:** Wpływ parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych modelowego zespołu młocącego na jakość omłotu fasoli szparagowej. *Acta Agrophysica*, 2(1), 21-29, 2003.
4. **Bieganowski F., Bichta M.:** Mechanizacja zbioru fasoli na nasiona. *Hasło Ogrodnicze*, 9, 14-15, 1985.
5. **Bieganowski F., Bichta M.:** Zbiór i omłot fasoli na suche nasiona. *Ogólnopolska Konferencja Naukowa. Strączkowe rośliny białkowe, I Fasola*, Lublin 25 Listopada 1994. Wydział Ogrodniczy AR Lublin, 81-91, 1994.
6. **Bieganowski F.:** Ocena jakości omłotu fasoli szparagowej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 365, 47-57, 1989.
7. **Bieganowski F.:** Uszkodzanie nasion fasoli w modelowych zespołach młócących. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 424, 13-17, 1995.
8. **Bieganowski F.:** Właściwości fizyczne fasoli szparagowej w aspekcie zbioru mechanicznego. *Rozprawa doktorska AR w Lublinie*, 1980.
9. **Caldwell F., Hampson G.:** Germination of acid-treated samples as a means of assessing mechanical damage in barley. *Institute of Brewing Journal*, 64, 319-326, 1985.
10. **Chowdhury M.H., Buchele W.F.:** Colorimetric determination of grain damage. *Transactions of the ASAE*, 19(5), 807-808 i 811, 1976.

11. **Christenbury G.D., Buchele W.F.:** Photoelectric system for measuring mechanical damage of corn. Transactions of the ASAE, 20(5), 972-975, 1977.
12. **Chung D.S., Converse M.H.:** Internal Damage of wheat by radiographical examination. Transactions of the ASAE, 13(3), 295-297 i 302, 1968.
13. **Dlabaja Z.:** Úpravy obilných kombajnov pre výmlat strukovín. Zemědělská Technika, 12, 707-719, 1983.
14. **Dlabaja Z.:** Výmlat fazule upraveným kombajnom E-512, Zemědělská Technika, 35, 145-152, 1989.
15. **Dobrzański B., jr., Banak E., Grundas S., Sosnowski S., Pecen J.:** Metoda rentgenograficzna w identyfikacji uszkodzeń wewnętrznych nasion fasoli szparagowej. Acta Agrophysica, 2(1), 31-38, 2003.
16. **Dobrzański B., jr.:** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica, 13, 1998.
17. **Duczmal W., Piechocka-Kaczmarkiewicz M.:** Przydatność odmian fasoli do mechanicznego zbioru nasion. Biuletyn Branżowy, 4, 25-29, 1991.
18. **Evans M.D., Holmes R.G., McDonald M.B.:** Impact damage to soybean seed as affected by surface hardness and seed orientation. Transactions of the ASAE, 33(1), 234-240, 1990.
19. **Frączek J., Stokłosa R.:** Uszkodzenia nasion fasoli w warunkach obciążeń dynamicznych i statycznych. Acta Agrophysica, 5(3), 613-623, 2005.
20. **Frączek J.:** Stanowisko do badań zmęczeniowych materiałów roślinnych. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 426, 55-63, 1995.
21. **Furtak J., Kowalczyk J.:** Ocena jakości omłotu soi. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 404, 57-63, 1992.
22. **Furtak J., Zaliwski A.:** Badania nad zbiorem mechanicznym nasion fasoli. Roczn. Nauk Roln., 76-C-2, 127-140, 1986.
23. **Furtak J., Zaliwski A.:** Mechanizacja zbioru fasoli na nasiona. Ogrodnictwo, 8, 207-209, 1977.
24. **Furtak J.:** Zbiór fasoli. Mechanizacja Rolnictwa, 3, 15-17, 1986.
25. **Górczyński T.:** Ćwiczenia z botaniki. PWN, 1979.
26. **Grundas S., Hnilica P.:** Typy endospermu ziarna pszenicy a jego właściwości mechaniczne. Materiały Szkoły Letniej „Fizyczne właściwości materiałów roślinnych”. Kazimierz Dolny, 6-10.09. s.12, 1983.
27. **Grundas S., Horabik J., Kuczyński A.:** Zachowanie się masy ziarna pszenicy podczas cyklicznych obciążeń statycznych. Roczn. Nauk.Roln., 74-C-2, 177-187,1980.
28. **Grundas S., Horabik J.:** Wpływ wilgotności na lepkosprężyste właściwości zboża. Biofizyka (prace doświadczalne). Wyd. WSR-P Siedlce. 299-316,1980.
29. **Grundas S., Sosnowski S., Pecen J.:** Meaning of wheat grain endosperm cracks detected by x-ray method”. Proceedings of the International Scientific Conference Agrotech Nitra, 125-129, 2002.
30. **Grundas S., Styk B., Kustermann M., Dorrer-Ibrahim D.:** A comparative study of mechanical damage to winter wheat grain using colorimetric and conductometric methods. 4. Tagung Physik und Landwirtschaft in Rostock. 146-153,1987.

31. **Hnilica P., Grundas S.:** Měření dynamického Youngova modulu endospermu obilí pulsní ultrazvukovou metodou. *Zemědělská Technika*, 29, 65-80, 1983.
32. **Hoki M., Pickett L.K.:** Factors affecting mechanical damage of navy beans. *Transactions of the ASAE*, 16(6), 1154-1157, 1973.
33. **Jasiński Z., Kotecki A.:** Szczegółowa uprawa roślin. Wyd. AR Wrocław, 1999.
34. **Jech J., Sosnowski S.:** Fyziko-mechaniczeskije swojstwa semjan bobowych. *Scientia Agriculturae Bohemoslovaca*, 2, 125-132, 1979.
35. **Jech J., Sosnowski S.:** Poškodenie semien strukovín pri rázoch. *Zemědělská Technika*, 3, 367-375, 1979.
36. **Jech J.:** Výmlat fazule. Veľkovýrobné technológie a mechanizácia pestovania strukovín. Zborník, Dom Techniky ČSVTS Banská Bystrica, 117-126, 1983.
37. **Kanafojski Cz., Karwowski T.:** Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. I,II Maszyny do zbioru ziemiopłodów, PWRiL Warszawa 1972.
38. **Koehler B.:** Pericarp injures in seed corn. *Biul. Illinois Agric. Exp. Station.*, 617-619, 1957.
39. **Konieczna M.:** Wpływ niektórych zespołów kombajnu Bizon Z 050 na uszkodzenia i właściwości biologiczne ziarna pszenicy. *Roczn. Nauk Roln., ser. C*, z. 4, 26-29, 1983.
40. **Korochoła J.:** Produkcja nasion roślin warzywnych. PWRiL Warszawa 1974.
41. **Kuźniar P.:** Wpływ wybranych czynników na podatność strąków fasoli na pękanie w aspekcie mechanicznego zbioru. Praca doktorska, AR Lublin 2000.
42. **Manbeck H.B., Nelson G.L.:** Methods and instrumentation for evaluating the stress-strain behavior of wheat in masse. *Transactions of the ASAE*, 15(5), 919-923, 1972.
43. **Masłow H.J.:** Maszyny dla uborki bobowych kultur. Moskwa 1973.
44. **Mc Ginty F.J.:** Development of a standard grain breakage tester. *ASAE Paper.*, 70-501, 1970.
45. **Niemirowicz-Szczyt K.:** Hodowla roślin warzywnych. SGGW Warszawa, 1993.
46. **Paulsen M.R., Nave W.R., Gray L.E.:** Soybean quality as affected by impact damage. *Transactions of the ASAE*, 24(6), 1577-1582, 1981.
47. **Pickett L.K.:** Mechanical damage and processing loss during navy bean harvesting. *Transactions of the ASAE*, 16(6), 1047-1050, 1973.
48. **Podleśny J.:** Rośliny strączkowe w Polsce i w krajach Unii Europejskiej. *Post. Nauk Roln.*, 4, 83-95, 2004.
49. **Podleśny J.:** Stan aktualny i perspektywy uprawy roślin strączkowych w Polsce, *Więś Jutra*, 3/80, 39-40, 2005.
50. **Pomeranz Y., Miller B.S.:** Wheat hardness: Its significance and determination. *Proc. 7-th World Cereal and Bread Congress in Prague*. 399-404, 1982.
51. **Poničan J.:** Effect of the threshing mechanism modification on the bean grain quality. *Advances in Agricultural Engineering 12-13 Oktober 1994 Nitra. Proceedings from the international scientific conference*, 189-199, 1994.
52. **Pugaczew A.N.:** Powreźdenje zerna maszinami. Kołos, Moskwa, 1976.
53. **Sawin W.N., Archipow M.W., Badenko A.L., Joffe J.K., Grun L.B.:** Rentgienografija dlja wyjawljenja wnutriennych powreźdienij i ich wlijanie na uroźajnyje kaczestwa siemjan. *Wiestn. S-Ch. Nauki.*, 10(301), 99-104, 1981.

54. **Schmidt J.L., Saul R.A., Steele J.L.:** Precision of estimating mechanical damage in shelled corn. US Dep. of Agric. Biul., 42-142, 1968.
55. **Singh B., Linvill D.E.:** Determining the effect of pod and grain moisture content on threshing loss and damage of navy beans. Transactions of the ASAE, 20(2), 226-231, 1977.
56. **Sloboda A., Jech J., Poničan J., Sinay J.:** Stroje na zber krmovín a zrnín. Teória, konštrukcia, rizika, Viena Košice, 2001.
57. **Sosnowski S., Gieroba J., Kuźniar P., Rataj V.:** Podatność na uszkodzenia mechaniczne nasion różnych odmian fasoli. Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 54, 319-327, 1998.
58. **Sosnowski S., Jech J., Rataj V.:** Dynamic stress of soybean seeds. Physical properties of agricultural materials and products. Hemisphere Publishing Corporation. Printed in the United States of America, 827-834, 1988.
59. **Sosnowski S., Jech J.:** Súčiniteľ restitúcie a pevnosť semien strukovín pri rôznej kombinácii rázov. Poľnohospodárstvo, 5, 453-461, 1981.
60. **Sosnowski S., Jech J.:** The influence of adjustment of a grain combine inclined conveyor on threshing effectiveness in bean. Scientia Agriculturae Bohemoslovaca, 24, 1, 77-85, 1992.
61. **Sosnowski S., Jech J.:** Vplyv mechanizmov mláťačky obilného kombajnu Bizon-Super (Z 056) na poškodenie semien fazule. Zemědělská Technika, 31 (L VIII), 11, 669-676, 1985.
62. **Sosnowski S., Kuźniar P.:** Possibilities of mechanical harvest of bean crops. Proceedings of the International Scientific Conference „Agrotech Nitra 2001”. 359-364, 2001.
63. **Sosnowski S., Kuźniar P.:** Potential for reduction of mechanical damage to bean seeds in the threshing process. International conference on agricultural engineering, Oslo, 24-27 August 1998, 451-452, 1998.
64. **Sosnowski S., Puchalski Cz., Jech J.:** Effect of loadnig type on quality of beans. Zemědělská Technika, (2), 44, 53-56, 1988.
65. **Sosnowski S., Pyzik J., Sosnowska E.:** Uszkodzenia mechaniczne nasion soi w procesie zbioru, czyszczenia i suszenia. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 64, 143-150, 1987.
66. **Sosnowski S., Rataj V.:** Rejestracja przebiegu obciążeń dynamicznych (uderzeń) na kliszy fotograficznej. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 404, 257-261, 1992.
67. **Sosnowski S., Šabík J., Jech J.:** Přístroj na sledování pevnosti semen při rázoch, Zemědělská Technika, 5, 275-280, 1979.
68. **Sosnowski S., Šabík J.:** Pneumatické zařízení na modelování nárazových tuhých telies na pevnú prekážku. Świadectwo autorskie o wynalazku nr 201310. Urząd patentowy w Pradze 15.06.1982.
69. **Sosnowski S.:** Determination of the influence of the direction of loading forces on mechanical damage of bean seeds. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 389, 176-183, 1991.
70. **Sosnowski S.:** Determination of the variability of bean seed mechanical features with a view to minimalizing losses during harvest. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 399, 231-236, 1993.
71. **Sosnowski S.:** Measurement stand for determining the dynamic loads on podded plant seeds. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 399, 237-239, 1993.
72. **Sosnowski S.:** Ocena wpływu niektórych zespołów młócących na poziom mechanicznych uszkodzeń nasion fasoli. Rozprawa habilitacyjna nr 162, Zesz. Nauk. AR w Krakowie, 1991.

73. **Sosnowski S.:** Odporność nasion fasoli na obciążenia dynamiczne Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 351, 27-33, 1988.
74. **Sosnowski S.:** Przydatność zespołu młócającego kombajnu zbożowego Bizon Z-056 do omlotu fasoli. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CC, 261-266, 1988.
75. **Sosnowski S.:** Quality analysis of bean threshing with peg threshing unit. Int. Agrophysics, 8, 327-332, 1994.
76. **Sosnowski S.:** Sledovanie kvality výmlatu strukovín. Kandidátska dizertačná práca, Nitra, 1978.
77. **Strona I.G.:** Trawmirowanije siemjan i jewo prieduprieżdzenije. Izd. Kolos. Moskwa, 1972.
78. **Szwed G., Tys J., Fałęcki A., Łukaszuk J.:** Wykorzystanie metody dynamicznej w ocenie podatności na uszkodzenia nasion zbóż i rzepaku. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 427, 87-90, 1995.
79. **Szymer J., Dembińska J., Wawer A.:** Przebieg wegetacji i zmienność użytkowa odmian i form *Phaseolus vulgaris L.* Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 180, 229-239, 1992.
80. **Szymer J.:** Stan i perspektywy uprawy fasoli na suche ziarno. Nowe Rolnictwo, 10, 13-15, 1987.
81. **Ślipek Z.:** Wpływ zespołów roboczych kombajnu zbożowego na powstawanie mechanicznych uszkodzeń ziarna pszenicy. Roczn. Nauk Roln., 75-C-4, 1983.
82. **Wall G.H., Norris E.R.:** A technical note on the use of a colorimetric technique for evaluation mechanical corn kernel damage. Canadian J. Agric. Engineering, 23, 67-68, 1981.
83. **Zaliwski A., Furtak J.:** Problemy mechanizacji zbioru fasoli na nasiona. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, 3, 22-24, 1979.
84. **Zaliwski A.:** Mechanizacja zbioru nasion fasoli. Hasło Ogrodnicze, 9, 14-15, 1985.
85. Zbiorowa: Rocznik Statystyki Międzynarodowej, GUS Warszawa, 2003.
86. ISO – 8210 – Wyposażenie do zbioru, Kombajn zbożowy, Metody badań.
87. PN – 78/R – 65023 – Nasiona roślin rolniczych.
88. PN – 89/R – 36585 – Kombajny zbożowe, Ogólne wymagania i badania.
89. Prospekty: Firma Case IH, 2004.

## 11. STRESZCZENIE

Praca zawiera informacje dotyczące problemów związanych z mechanicznym zbiorem fasoli głównie z uwzględnieniem przyczyn powstawania mechanicznych uszkodzeń nasion w czasie zbioru tej rośliny.

Na podstawie badań własnych i przeglądu literatury dokonano w pierwszej kolejności analizy cech anatomicznych i fizycznych nasion fasoli w aspekcie ich odporności na uszkodzenia mechaniczne w warunkach obciążeń dynamicznych. Następnie przedstawiono czynniki wpływające na powstawanie uszkodzeń nasion w procesie omłotu, oraz charakterystyki zespołów młócących do omłotu fasoli zwyczajnej i szparagowej.

Przy ocenie odporności nasion na uszkodzenia mechaniczne brano pod uwagę głównie obciążenia udarowe z uwagi na charakter pracy zespołów młócących. Przeanalizowano wpływ wymiarów geometrycznych nasion, ich masy i miejsce przyłożenia siły. Analizowano również powstawanie uszkodzeń w zależności od takich czynników jak prędkość i krotność uderzeń, wilgotność nasion oraz rodzaj materiału elementu udarowego.

W pracy przedstawiono technologie zbioru fasoli oraz przeanalizowano czynniki decydujące o powstawaniu uszkodzeń nasion w czasie omłotu. Stwierdzono, że uszkodzenia nasion powstałe w procesie omłotu fasoli zależą głównie od cech konstrukcyjnych zespołu młocącego, prędkości obwodowych bębnow młócących i wilgotności nasion.

Przedstawiono adaptacje cepowych i zębatych zespołów młócących kombajnów zbożowych. Polegały one głównie na zwiększeniu przesiewalności klepisk oraz na stosowaniu elementów gumowych w bębnach młócących. Dobre efekty omłotu fasoli uzyskano wielobębnowym palcowym zespołem młocącym (3% – uszkodzenia nasion, 2% – niedomłot).

W pracy zaprezentowano również zespoły młocące do fasoli szparagowej uprawianej na suche nasiona.

Słowa kluczowe: fasola, uszkodzenia nasion, omłot, cechy fizyczne, obciążenia dynamiczne

## 12. SUMMARY

This work presents information concerning problems related to mechanized harvesting of beans, primarily in the aspect of causes of mechanical damage to seeds in the course of bean harvest operations.

On the basis of the author's own studies and of review of literature, the author begins with an analysis of the anatomical and physical features of bean seeds in the aspect of their resistance to mechanical damage under dynamic loads. Next, he presents factors affecting the occurrence of damage to seeds in the process of threshing, as well as characteristics of thresher units used for navy and snap bean threshing.

In the assessment of seed resistance to mechanical damage impact loads were primarily taken into consideration, due to the character of operation of threshing units. The effect of geometrical dimensions of seeds, the mass, and the point of force application were analysed. Also analysed was the occurrence of damage with relation to such factors as the speed and multiplicity of impacts, seed moisture, and the material of the impacting element.

The work presents also the technologies of bean harvest and an analysis of factors determining the occurrence of seed damage during threshing. It was found that seed damage occurring in the course of threshing depends primarily on the design features of the thresher unit, perimeter speeds of threshing drums, and seed moisture content.

The author presents adaptations of beater- and cog-type thresher units of combine harvesters. The adaptations consisted primarily in increasing the screening capacity of thresher unit concaves and in the application of rubber elements in threshing drums. Good bean threshing effects were obtained for a multi-drum finger-type thresher unit (3% – damage to seeds, 2% – non-threshed seed residue).

In the work the author presents also thresher units for snap bean grown for dry seeds.

Keywords: bean, damage to seeds, threshing, physical features, dynamic loads

Adres Autora:

Stanisław Sosnowski

Zakład Inżynierii Produkcji, Uniwersytet Rzeszowski

ul. Ćwiklińskiej 2, 35-601 Rzeszów

tel. (0-17) 872-17-06

e-mail: [ssos@univ.rzeszow.pl](mailto:ssos@univ.rzeszow.pl)