

JAN GIEROBA

*Katedra Mechanizacji Rolnictwa WSR w Lublinie*

*Kierownik Katedry: prof. dr Janusz Haman*

## WPŁYW RÓŻNYCH PARAMETRÓW NA PRZEBIEG PROCESU OMŁOTU W ŚWIETLE LITERATURY ŚWIATOWEJ, ZE SZCZEGÓLNYM UWZGLĘDNIENIEM KOMBAJNÓW ZBOŻOWYCH

### 1. Wprowadzenie

W mechanizacji sprzętu zbóż czołową rolę odgrywają kombajny zbożowe. Zbiór zbóż kombajnami przebiega sprawnie, z małymi stratami ziarna, przy niewielkim nakładzie robocizny, w porównaniu z innymi metodami.

Jednak kombajn zbożowy jest maszyną złożoną z wielu zespołów, a wobec tego korzyści wynikające ze stosowania kombajnów mogą być osiągnane pod warunkiem, że obsługa i regulacja tych maszyn będą prawidłowe. Niestety nasze doświadczenia w eksploatacji i prawidłowej regulacji kombajnów są jeszcze stosunkowo małe w porównaniu z krajami, gdzie są one bardziej rozpowszechnione i stosowane na większą skalę [13, 31, 33, 34].

Jednym z ważniejszych zespołów roboczych w kombajnie jest zespół młócający, który ma duży wpływ na pracę kombajnu, na jego wydajność i wykorzystanie w okresie żniw, na straty ziarna itp. Ponieważ praca zespołu młócnego jest z kolei zależna od wielu zmiennych czynników, zagadnienie ustalenia optymalnych warunków dla przebiegu procesu omłotu wymaga rozmaitych obserwacji i badań, których w Polsce nie prowadzi się w sposób wyczerpujący [10].

Wydaje się zatem celowe dokonanie przeglądu ważniejszych pozycji literatury dot. badań zespołów młócnych oraz zapoznanie zainteresowanych czytelników ze stanem najnowszych badań prowadzonych w tym zakresie w ośrodkach naukowych Anglii, ZSRR i Niemiec od wielu lat. Wyniki ich mogą być przydatne przy praktycznym wykorzystaniu kombajnów, jak również i dla konstruktorów.

## 2. Systematyka typów zespołów młócących

Omłot, czyli wydzielenie ziarn z kłosów jest znane od tysięcy lat. Obecna technika młocki zaczyna się od wynalezienia przez Szkota A. Meikle w 1785 roku bębnowego zespołu młócnego [16], który dotąd nie zmienił się w zasadniczy sposób.

Prowadzone są jednak ciągle różne prace nad ulepszeniem tego zespołu. W wyniku prac wielu autorów powstały rozmaite systemy omłotowe, które usystematyzował w swojej pracy Wieneke [27]. Dzieli on różne typy zespołów młócących na cztery następujące grupy, biorąc pod uwagę sposób zasilania zbożem.

### 2.1. Zespoły młócące z zasilaniem stycznym do powierzchni bębna.

W tej grupie wyróżnia konstrukcje, w których szczelina robocza znajduje się w układach:

- bęben — klepisko,
- bęben — taśma,
- bęben — walce,
- bęben — bęben,
- taśma — klepisko,
- taśma — taśma.

### 2.2. Zespoły młócące z zasilaniem osiowym o konstrukcjach:

- bęben bijakowy — klepisko,
- bęben stożkowy — klepisko,
- stożkowe koło łopatkowe.

### 2.3. Zespoły młócące z zasilaniem promieniowym, jak np. układ:

- tarcza — tarcza.

### 2.4. Zespoły młócące z zasilaniem płaskim, składające się z dwu płaskich płyt o chropowatej powierzchni roboczej.

Budowa wymienionych zespołów młócących przyjmuje różne formy konstrukcyjne, projektowane w ponad stu rozwiązaniach, lecz tylko niektóre z nich są praktycznie stosowane w maszynach omłotowych.

Najbardziej rozpowszechnił się zespół młócnący typu bęben — klepisko, stosunkowo prosty w budowie i niezawodny w działaniu. Stosowane są w nim rozwiązania konstrukcyjne działające uderzająco i wycierająco, jak np. listwy cepowe, zęby sztywne i wahadłowe, łańcuchy itp. [16, 27].

### 3. Kierunki badań zespołów młócących

Mimo szerokiego zastosowania w świecie bębnowych zespołów młócących, dotychczas nie zostały w wyczerpujący sposób wyjaśnione wszystkie zjawiska zachodzące w szczelinie roboczej. Z tego względu zespół młócający typu bęben — klepisko jest ciągle obiektem licznych i rozmaitych badań w wielu krajach, w których bierze się pod uwagę różne parametry mające wpływ na przebieg procesu omłotu.

Goriaczkin [12, 23, 26] badając różne bębny młócające, ich wydajność, sprawność i parametry energetyczne opracował teorię bębna i wyprowadził zależności matematyczne, które zostały wyrażone we wzorze:

$$N = \frac{m v^2}{75 g (1-f)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

gdzie:  $N$  — moc potrzebna na pracę bębna podczas omłotu w KM,  
 $m$  — przepustowość masy zbożowej przez bęben w kg/sek,  
 $v$  — obwodowa prędkość bębna w m/sek,  
 $g$  — przyciąganie ziemskie,  
 $f$  — współczynnik przecierania uwzględniający deformację masy zbożowej oraz jej tarcie o bęben i klepisko. Wg Goriaczkina i Pustygina  $f = 0,6—0,8$  zależnie od typu bębna.

Teoria bębna opracowana przez Goriaczkina, chociaż aktualna do dnia dzisiejszego, posiada pewne niedociągnięcia, które w swoich badaniach uwzględniali Pustygin i Ginko [11, 22, 23].

Pustygin w teorii Goriaczkina podkreśla brak powiązania przepustowości bębna i potrzebnej mocy z konstrukcją i rozmiarami zespołu młócającego. Nie uwzględniał on długości i średnicy bębna, rozmiarów i budowy klepiska, wielkości szczelin roboczych itp. A zatem stosowanie formuły Goriaczkina przy obliczeniach i projektowaniu zespołów młócących jest poważnie ograniczone.

Zdaniem Pustygina podstawowe elementy procesu omłotu takie, jak uderzenia i nadawanie przyspieszeń produktom omłotu oraz opory klepiska należy rozpatrywać w równaniu bębna jako oddzielne człony składowe. Równanie winno ponadto uwzględniać opory bębna wynikające z tarcia w łożyskach, opory powietrza itp.

Pustygin [23] proponuje trójczłonową formułę do obliczania potrzebnej mocy pobieranej przy omłocie przez zespoły młócające. Formuła ta ma postać:

$$N = N_o + N_{pt} + N_{ud} \quad \dots\dots\dots (2).$$

gdzie:

$N$  — ogólna moc zużywana przez bęben w czasie omłotu,

$N_o$  — moc potrzebna do pokonania różnych oporów tarcia, oporów wentylacyjnych itp.,

$N_{pt}$  — moc na przecieranie zboża w szczelinie roboczej,

$N_{ud}$  — moc na uderzanie i nadawanie przyspieszeń produktom omłotu.

Duże znaczenie, wg Pustygina, ma związek podstawowych parametrów konstrukcyjnych i regulacyjnych zespołów młócących z jakościowymi wskaźnikami pracy tych zespołów takimi, jak niedomłot, łamanie ziarna, deformacja słomy itp. Jednak analityczne wyrażenie takich zależności jest trudne i jak dotąd, konstruktorzy muszą korzystać z danych eksperymentalnych w postaci tabel i wykresów.

W swoich badaniach Pustygin uwzględniał związki parametrów konstrukcyjnych zespołów młócących z ich przepustowością i zużyciem energii w zależności od własności i stanu młóconego materiału. Pozwala to, w oparciu o wyniki badań, ustalić podstawowe parametry zespołu młócącego, obliczyć potrzebną moc przy założonej przepustowości, wahania poboru mocy przy zmianach regulacji lub też przy założonej mocy silnika napędowego obliczyć optymalną przepustowość z uwzględnieniem własności młóconego materiału [22, 23].

Również Ginko [11] w swojej pracy podkreśla, że wzór Goriaczkina winien być uzupełniony dodatkowym elementem uwzględniającym zmienne opory przecierania słomy. Goriaczkin bowiem zagadnienie to znacznie uprościł pomijając wpływ konstrukcji zespołu młócącego na wielkość oporów tarcia.

Współczynnik przecierania „ $f$ ”, występujący we wzorze Goriaczkina jako wartość stała, nie uwzględnia w pełni wszystkich oporów tarcia zmieniających się ciągle w czasie omłotu.

W Polsce zagadnieniem procesu omłotu zajmuje się od wielu lat Profesor Kanafojski, którego ciekawe prace [15, 16, 17] są drukowane poza granicami kraju oraz cytowane przez znanych autorów zagranicznych.

Autorzy niemieccy w swoich pracach stawiali za cel wyjaśnienie wielu zjawisk zachodzących w szczelinie roboczej oraz określenie optymalnych parametrów pracy bębnowego zespołu młócącego, mając na uwadze wskaźniki jakościowe i energetyczne omłotu.

Knolle [18] kładł nacisk na jakość pracy bębnowych zespołów młócących i zagadnienia energetyczne. Brenner [5] dążył do znalezienia najbardziej właściwego rozwiązania konstrukcyjnego zespołu młócącego dla kombajnów zbożowych, a Ott i Baader [4, 21] badali wpływ sposobu zasilania zbożem zespołu młócącego na jakość omłotu. Horn [14] analizował również różne sposoby zasilania i ich wpływ na pracę bębna.

Arnold, Finkenzeller oraz Fischer-Schlemm [1, 2, 3, 8, 27] badali wpływ różnych konstrukcji bębna i klepiska na uszkodzenia ziarna powstające w czasie omlotu i obniżające siłę kiełkowania.

Segler, Dolling, Degenhardt, Wieneke i Caspers [27, 29] zajmowali się, między innymi, wpływem zielonych domieszek (chwastów) w zbożu na przebieg młocki. Są to prace szczególnie ważne dla rozwoju kombajnowego sprzętu zbóż.

Badania zespołów młócących są częstokroć prowadzone przez placówki naukowo-badawcze przy współudziale fabryk produkujących kombajny oraz Instytutów Filmowych, jak to ma miejsce np. w Związku Radzieckim, NRF i innych krajach.

Pozwala to na rozszerzenie zakresu badań przez sfilmowanie, a następnie przeanalizowanie na zwolnionych zdjęciach procesu omlotu.

Wymienione badania nie wyjaśniają jednak wyczerpująco teorii młócenia. Konieczne jest jeszcze określenie i sprawdzenie wielu parametrów mających wpływ na przebieg młocki oraz na funkcjonalność poszczególnych elementów w konstrukcjach zespołów młócących.

W wyniku rozmaitych badań stwierdzono pewne prawidłowości, z których wynika, że wpływ na przebieg procesu omlotu mają: konstrukcja zespołu młócącego, regulacja i obsługa, a także stan i jakość młóconego materiału.

Wieneke [27, 28] uszeregował najważniejsze parametry i podzielił je na następujące grupy:

### 3.1. P a r a m e t r y k o n s t r u k c y j n e :

- średnica bębna,
- kształt i liczba cepów,
- kształt i długość klepiska,
- prędkość podawania zboża,
- kierunek ułożenia podawanych źdźbeł.

### 3.2. P a r a m e t r y r e g u l a c y j n e :

- równomierność i ilość podawanego materiału w jednostce czasu,
- liczba obrotów bębna,
- wielkość i kształt szczeliny roboczej.

### 3.3. S t a n m ł ó c o n e g o m a t e r i a ł u :

- gatunek i odmiana młóconych roślin,
- długość źdźbeł,
- stosunek ciężaru ziarna do ciężaru słomy,
- wilgotność zboża,
- domieszki zielonych chwastów w zbożu,
- twardość słomy, odporność na zginanie, łamanie i deformację.

Oceny pracy zespołu młócającego dokonuje się przez określenie następujących wskaźników:

- dokładności omłotu (niedomłot),
- uszkodzenia ziarna (łamanie ziarna oraz mikrouszkodzenia mające wpływ na siłę kiełkowania),
- separacji ziarna przez klepisko,
- łamania i deformacji słomy,
- zużycie energii na omłot.

Wymienione parametry są ściśle ze sobą powiązane. Ze względu na to, że dotyczą one konstrukcji i regulacji zespołów młócających oraz stanu i jakości młóconego materiału konstruktorzy powinni współpracować z hodowcami odmian zbóż i innych roślin poddawanych omłotowi. Ostatnio bowiem coraz częściej zwraca się uwagę na dobór odmian zbóż bardziej dostosowanych do sprzętu mechanicznego oraz eliminację odmian, których mechaniczny sprzęt jest utrudniony, np. z powodu zbyt długiej słomy, wylegania, trudności w wymłacaniu itp. [9, 16, 27].

Prowadzone w wielu ośrodkach naukowych badania nad określeniem wpływu różnych konstrukcji i kinematycznych parametrów zespołów młócających oraz stanu młóconego zboża na jakość omłotu mają duże znaczenie praktyczne przy sprzęcie kombajnowym. Jednak ze względu na szeroki zakres problematyki, ograniczę się tylko do omówienia ważniejszych wyników badań w powiązaniu z różnymi parametrami, wpływającymi istotnie na przebieg procesu omłotu.

#### 4. Omówienie wyników badań różnych autorów

##### 4.1. Wilgotność młóconego materiału

Badaniom poddawano zboża o wilgotności zmieniającej się w granicach od 15 do 40%. Ustalono, że najmniejsze uszkodzenia i największą siłę kiełkowania ziarna pszenicy uzyskuje się przy omłocie zboża o wilgotności od 17 do 22%. Wilgotność poniżej 17% ma bardziej ujemny wpływ na ziarno, niż ponad 22%. Ziarno jęczmienia w porównaniu z pszenicą jest bardziej odporne na uszkodzenia w czasie młocki.

Straty w niedomłocie są też związane z wilgotnością zboża. Przy omłocie jęczmienia zwiększenie wilgotności słomy z 15 do 25% spowodowało dwukrotny wzrost strat ziarna i zmniejszyło jego przesiew przez klepisko. Przy pszenicy najmniejszy niedomłot otrzymuje się przy wilgotności od 16 do 22%, a wydzielanie ziarna przez klepisko nie jest uzależnione od wilgotności. Obniżenie wilgotności zwiększa ilość drobnych zanieczyszczeń

pochodzących z rozdrobnionej słomy. Stwierdzono bowiem, że łamanie jej jest odwrotnie proporcjonalne do wilgotności. Obniżenie wilgotności o 1% powodowało zwiększenie łamania słomy przeciętnie o 1% dla wszystkich zbóż [1].

#### 4.2. Kierunek ułożenia źdźbeł podawanych do bębna

Z badań wynika, że najlepszym wariantem jest ułożenia źdźbeł kłosami do przodu, zwykle stosowane przy omłocie stacyjnymi młocarniami. Niedomłot jęczmienia i pszenicy w tej sytuacji był dwukrotnie mniejszy niż przy podawaniu kłosami do przodu. Podawanie zboża równoległe do osi bębna (poprzecznie) dało wyniki pośrednie. Ułożenie źdźbeł nie ma widocznego wpływu na łamanie ziarna [1, 2].

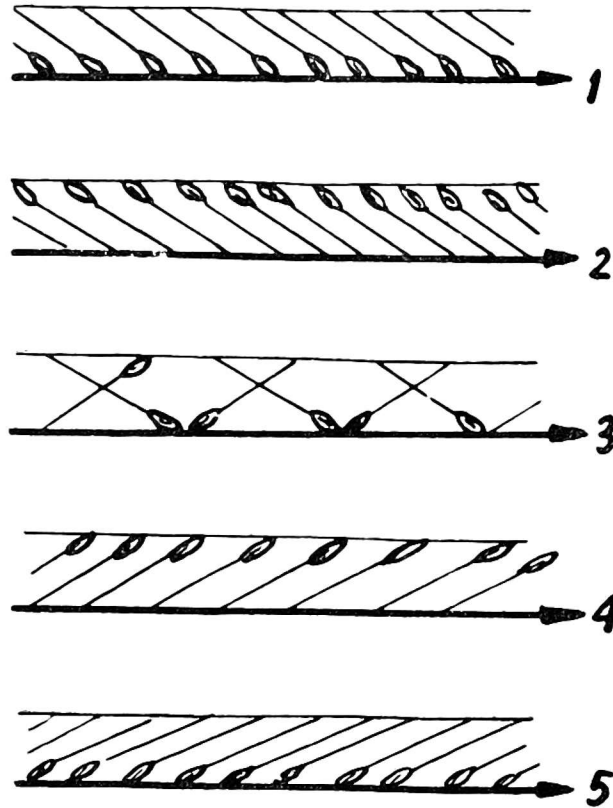
Położenie ich kłosami do przodu zwiększa efekt działania cepów łatwiej wybijających ziarno, przy odwrotnym usytuowaniu źdźbła ochraniają kłosa od bezpośrednich uderzeń cepów, zwiększając w ten sposób niedomłot, który w tym wypadku wzrasta wraz z wilgotnością zboża.

Podawanie zboża kłosami do przodu jest również korzystniejsze dla przesiewalności ziarna przez klepisko [17]. Przy omłocie pszenicy przesiewalność ziarna przy takim podawaniu była 2,5 raza większa, a przy omłocie jęczmienia o 1,8 raza większa niż przy podawaniu kłosami do przodu. Większa przesiewalność ziarna pszenicy jest wyjaśniana przez autorów tym, że wymłaca się ona łatwiej, a zatem separacja ziarna odbywa się w dłuższym czasie niż jęczmienia (wymłaca się on trudniej).

Wilgotność zboża wg Arnolda [1, 2, 3] obniża przesiewalność ziarna przez klepisko (np. zwiększenie wilgotności jęczmienia z 15 do 25% dwukrotnie), natomiast przy omłocie pszenicy zmiany wilgotności w granicach od 16 do 22% nie miały wpływu na separację ziarna.

Stwierdzono, że przy ułożeniu źdźbeł kłosami do przodu łamanie słomy jest większe niż przy położeniu odwrotnym, gdyż odrywa się więcej kłosów od źdźbeł.

W NRD wprowadzono badania przy pięciu różnych wariantach ułożenia źdźbeł, rys. 1. Najlepszy okazał się wariant pierwszy, ale w praktyce nie można uzyskać tak idealnego ułożenia źdźbeł. Drugi wariant daje znaczne straty ziarna, ale zużywa mniej energii na omłot. Taki sposób ułożenia źdźbeł ma miejsce w praktyce przy podbieraniu i omłocie zboża kombajnami, przy dwufazowym zbiorze. Wariant trzeci jest najbardziej typowy dla sprzętu kombajnowego i wyróżnia się małymi stratami ziarna przy przepustowości do 2,5 kg/sek, ale charakteryzuje się zwiększonym poborem mocy o około 50% w stosunku do wariantu pierwszego.



Rys. 1. Pięć wariantów ułożenia źdźbeł przy podawaniu masy zbożowej do zespołu młócającego (wg Horna)

Warianty czwarty i piąty, jak wynika z badań Horna [11], są nieracjonalne, nie zapewniają bowiem dobrej równomierności zasilania zbożem zespołu młócającego.

#### 4.3. Prędkość podawania masy zbożowej

Wpływ prędkości podawania na jakość omłotu badano w przedziale prędkości od 1,8 do 8 m/sek. [4, 29]. Przy jej zwiększeniu otrzymuje się bardziej cienkie i równomierne warstwy zboża na transporterze zasilającym, co stwarza warunki do lepszego wydzielania ziarna przez klepisko [6, 30]. Ze wzrostem prędkości podawania obniża się moment obrotowy na wale bębna i maleje średnie zużycie energii [4]. Przy małej prędkości zasilania moment obrotowy charakteryzuje się niestabilnością, a różnice skrajnych wartości dochodzą do 50%. Wzrost prędkości zasilania bębna wyrównuje nierównomierność momentu obrotowego.

Przy zwiększonej prędkości podawania procent ziarn uszkodzonych w pszenicy zwiększał się, u żyta zaś było odwrotnie. Niedomłot obniżał się też nieznacznie, a tylko przy omłocie pszenicy jarej obniżenie jego było wyraźne.

Separacja ziarna przez klepisko wzrasta ze zwiększeniem prędkości zasilania, średnio dla wszystkich zbóż o 15% ze zmianą prędkości podawania



w granicach od 1,8 do 8 m/sek. Uwarunkowane to jest podawaniem zboża cienką i bardziej równomierną warstwą.

Stwierdzono też, że przy większych prędkościach zasilania łamanie słomy pszenicy było mniejsze, nie zauważono natomiast takiego wpływu na słomę jęczmienną.

Urządzenia zasilające zespół młócający w obecnie stosowanych kombajnach zbożowych niestety nie zapewniają podawania zboża nieprzerwaną równomierną warstwą, nawet przy wbudowaniu podajnika wyrównującego przed bębniem.

Celowe jest więc i konieczne unowocześnienie tego elementu w kombajnach oraz zwiększenie prędkości podawania masy zbożowej do bębna, co pozwoli bez większych zmian konstrukcyjnych zwiększyć przepustowość kombajnów [29].

#### 4.4. Kierunek podawania zboża do bębna młócacego

Szczegółowe badania mające na celu wyszukanie najbardziej racjonalnego kierunku podawania masy zbożowej do bębna młócacego były prowadzone w stacji badawczej firmy Fahr produkującej kombajny oraz w Instytucie Maszyn Rolniczych w Giessen. Stosowano tam kamery filmowe wykonujące zdjęcia z prędkością 1800 do 5000 klatek na sekundę. Badano trzy warianty podawania źdźbeł zboża do bębna — promieniowo, stycznie i pośrednio [4, 24, 25].

Przy zasilaniu promieniowym zachodziło znaczne łamanie słomy, co powodowało duże zużycie energii w czasie omlotu. Zboże przy takim podawaniu wchodzi do bębna równomiernie, przy ograniczonej jednak jego zdolności chwytającej.

Przy zasilaniu stycznym masa zbożowa, szczególnie krótkosłomiasta, dobrze jest wciągana w szczelinę roboczą, ale gorzej rozciągana w warstwie, co prowadzi do wzrostu niedomłotu i mniejszej separacji ziarna przez klepisko.

Najlepsze warunki omlotu daje pośrednie zasilanie między stycznym i promieniowym.

Zdjęcia wykonane szybką kamerą filmową wykazały, że przy zetknięciu się masy zbożowej z cepami bębna zachodzi zjawisko analogiczne do frezowania. Do momentu wyrównania prędkości bębna i masy zbożowej proces ma charakter skokowy i powoduje rozdrabnianie słomy. Najbardziej silnie występuje to przy podawaniu promieniowym, a najmniejsze jest przy stycznym [16, 24]. W ostatnim wypadku zmniejsza się efektywność działania cepów na kłosa, a wydzielanie podstawowej liczby ziarn zachodzi dzięki przecieraniu.

Dobre wyniki wydzielania ziarna i stosunkowo najmniejszy pobór mocy otrzymuje się przy podawaniu zboża po stycznej do obwodu, którego średnica jest dwukrotnie mniejsza od średnicy bębna młócacego.

#### 4.5. Wpływ zielonych chwastów w zbożu na jakość omłotu

Obecność zielonych, świeżych chwastów w zbożu wpływa na zwiększenie niedomłotu i zmniejszenie przesiewalności klepiska [27, 28, 29]. Rozdrobnione chwasty w szczelinie roboczej wydzielają kleisty sok, który zwiększając wilgotność plew i słomy utrudnia przesiewanie ziarna przez klepisko, dzięki czemu wzrasta obciążenie wytrząsaczy i straty ziarna. Wpływ zielonych domieszek chwastów jest bardziej wyraźny przy bezpośrednim kombajnowaniu niż przy podbieraniu zboża z wałków przy sprzęcie dwufazowym, gdzie zboże po ścięciu przesycha razem z zielonymi domieszkami chwastów.

#### 4.6. Średnica bębna młócacego

Badano zespoły młócające o różnych średnicach bębnów w granicach od 380 do 690 mm, przy prędkościach obwodowych wynoszących od 18 do 33 m/sek, klepiskach o różnych długościach i różnych wielkościach szczelin roboczych. Młócono pszenicę i jęczmień o wilgotności od 15 do 30%.

Stwierdzono, że średnica bębna nie wywierała istotnego wpływu na kielkowanie ziarna [3], obniżał się jednak efekt omłotu przy zwiększeniu średnicy bębna, a niezmienniej długości klepiska. Straty w niedomłocie wzrastały o 0,3% dla pszenicy i o 0,9% dla jęczmienia przy zwiększeniu średnicy bębna o każde 76 mm, poczynając od średnicy 380 mm. Przy wzroście średnicy bębna (o każde 76 mm) pogarszała się również o 3% separacja ziarna pszenicy przez klepisko i o 1,3% separacja ziarna jęczmienia, niezależnie od jego wilgotności. Natomiast bębny o mniejszej średnicy bardziej deformują słomę.

Uogólniając wyniki badań autorzy dochodzą do wniosku, że bębny o większej średnicy charakteryzują się mniejszą skłonnością do owijania się słomą i jej deformacją oraz zwiększoną energią kinetyczną i większą powierzchnią klepiska przy jednakowym kącie opasania bębna.

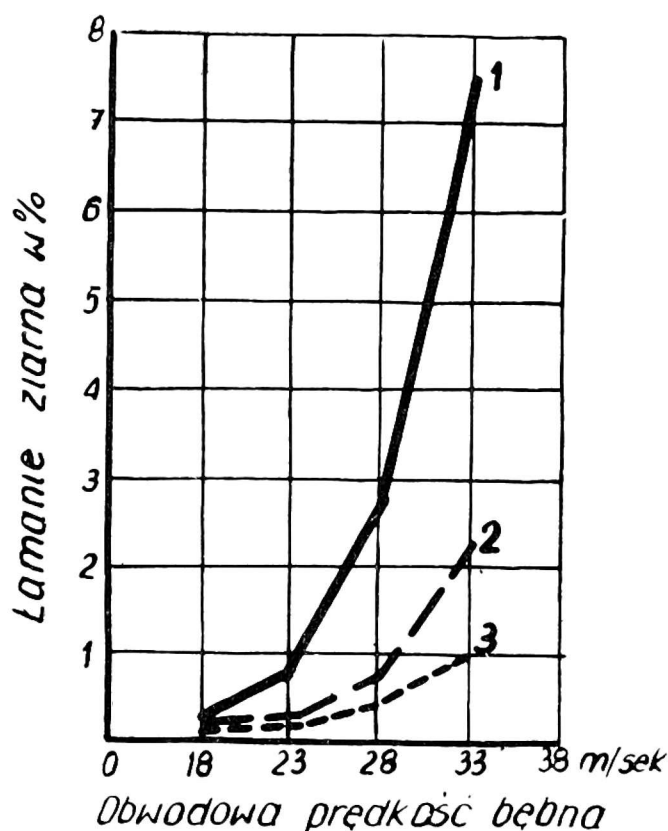
Bębny o małej średnicy zapewniają natomiast lepszą separację ziarna przez klepisko, mniejszy niedomłot oraz aktywniej wciągają zboże w szczelinę roboczą.

W praktyce uwzględnia się wady i zalety bębnów o różnych średnicach i stosuje się bębny pośrednie.

Na uwagę zasługują badania Fafary [7] dotyczące owijania się słomą bębnow młójących. Wynika z nich, że niezależnie od średnicy bębna, wpływ na owijanie słomą ma cały szereg czynników konstrukcyjnych, eksploatacyjnych oraz stan młóconego zboża.

#### 4.7. Obwodowa prędkość bębna

Przy omlocie zbóż zachodzi wzrost uszkodzania ziarna proporcjonalnie do wzrostu prędkości obwodowej. Zwiększenie prędkości obwodowej bardziej wpływa na uszkodzenie ziarna im niższa jest wilgotność masy zbożowej. Stwierdzono, że przy omlocie pszenicy i obwodowej prędkości bębna do 18 m/sek ziarno było prawie bez uszkodzeń. Przy wzroście prędkości ponad 18 m/sek łamanie i uszkodzanie szybko rosło, co przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Wpływ wzrostu prędkości obwodowej bębna na łamanie ziarna pszenicy (wg Arnolda): 1 — wilgotność ziarna 15%, 2 — wilgotność ziarna 19%, 3 — wilgotność ziarna 26%

Ze wzrostem ilości ziarn uszkodzonych maleje siła kiełkowania. Stwierdzono [1, 2, 3], że ze zwiększeniem prędkości obwodowej o każde 5 m/sek siła kiełkowania obniżała się od 5 do 6% w ziarnie pszenicy i o 2,5% w jęczmieniu, który jest mniej wrażliwy na uszkodzenia.

W przedziale prędkości obwodowych od 17 do 33 m/sek zależność między siłą kielkowania i prędkością obwodową miała charakter liniowy. Zwiększenie prędkości obwodowej bębna o 1 m/sek obniżało kielkowanie pszenicy od 0,1 do 1,2%. Stosunek ten nie zmieniał się w badaniach bębnow o różnych średnicach i różnym zasilaniu masą zbożową.

Zwiększenie obwodowej prędkości bębna obniża straty w niedomłocie. Uzyskanie 100% omłotu w praktyce jest bardzo trudne, ponieważ związane to jest z uszkodzeniami ziarna i wilgotnością młóconego materiału.

Ustalono, że zwiększenie prędkości obwodowej o każde 5 m/sek (w przedziale od 18 do 28 m/sek) kompensuje wzrost wilgotności młóconego zboża o 10%. Wilgotność zboża ma również wpływ na łamanie słomy. Przy omłocie zbóż suchych wzrasta stopień łamania słomy wraz z obniżaniem wilgotności, oraz ze wzrostem prędkości obwodowej bębna.

Wzrost prędkości obwodowej bębna polepsza wydzielanie ziarna przez klepisko, zwiększenie jej o każde 5 m/sek zwiększa o 7 do 8% separację ziarna pszenicy przez klepisko i o 4% ziarna jęczmienia,

#### 4.8. Liczba cepów na bębnie

Stosowane bębny mają zwykle 6, 8, 12 cepów młójących na obwodzie. Odległości między nimi, wynoszące około 180 do 280 mm, nie wykazują istotnego wpływu na łamanie ziarna, natomiast wprowadzenie każdego dodatkowego cepa zmniejsza o 1% siłę kielkowania ziarna. Zostało to stwierdzone w badaniach pszenicy i jęczmienia przy różnych wielkościach szczelin roboczych i wilgotności w granicach od 15 do 30% [3].

Zaobserwowano tendencję do zmniejszania się niedomłotu przy zwiększeniu liczby uderzeń cepów w masę zbożową w jednostce czasu przy takich samych obrotach bębna.

Wg Arnolda [1, 3] stosowanie więcej niż 8 cepów nie jest celowe, gdyż minimalnie wpływa na zmniejszenie strat w niedomłocie, natomiast omłot bębnami z większą liczbą cepów okazuje się bardziej energochłonny. Ponadto bębny z mniejszą liczbą cepów mają lepszą zdolność wciągania zboża w szczelinę roboczą, bardziej intensywnie jednak deformują słomę.

Przesiewanie ziarna przez klepisko ulega zmniejszeniu w bębnach z większą liczbą cepów i przy mniejszej odległości między nimi. W pszenicy np. różnica w przesiewaniu ziarna wzrasta ze zwiększeniem zasilania bębna masą zbożową.

#### 4.9. Profil cepów

Celem ustalenia wpływu kształtu cepów na przebieg procesu omłotu przeprowadzono badania z zastosowaniem szybkiej kamery filmowej [19, 20, 24, 25]. Analiza wykonanych zdjęć pozwoliła na obserwację ruchu ziarn i źdźbeł w szczelinie roboczej. Filmowano pracę trzech typów bęb-

nów: otwartego (odsłoniętego) z kątowymi cepami, zamkniętego (osłoniętego) z prostymi cepami i otwartego z cepami o kształcie opływowym (pomysłu Trienesa).

Zdjęcia wykonywano na początku, w części środkowej i w końcu klepiska. Optyczna oś kamery była skierowana równolegle do osi bębna. Na taśmie filmowej rejestrowano przestrzeń roboczą między powierzchnią bębna i wewnętrzną powierzchnią klepiska. Zdjęcia filmowe pozwoliły wyjaśnić niektóre właściwości pracy bębnów.

W otwartym z kątowymi cepami, znaczna część ziarn biegnie w kierunku promieniowym od bębna. Tym wyjaśnia się fakt lepszej separacji ziarna przez klepisko, gdyż może ono łatwiej trafić na otwory.

W bębnie zamkniętym ruch ziarn jest bardziej styczny do jego powierzchni, co zwiększa czas przebywania ziarn w strefie działania cepów. W wyniku tego ma miejsce większe uszkodzenie ziarn i gorsze jego przesiewanie przez klepisko.

Analizując zdjęcia filmowe stwierdzono, że ruch ziarn ma charakter wirowy, chaotyczny z wielokrotnymi uderzeniami o elementy bębna i klepiska co ma duży wpływ na uszkodzenie ziarna. Ruch ziarn bardziej laminarny zaobserwowano przy zastosowaniu cepów opływowych (Trienesa). Cepy tego typu nie są powszechnie stosowane w praktyce.

Analiza zdjęć filmowych, wykonanych z prędkością 5000 klatek na sekundę, pozwoliła głębiej wniknąć w istotę procesu omłotu. Zdjęcia wykazały, że omłot zbóż zachodzi w zasadzie dzięki uderzeniom w kłosa szybko poruszających się cepów. Prędkość ruchu kłosów jest kilkakrotnie mniejsza niż cepów. Uderzające ich działanie jest mniejsze przy stycznym podawaniu masy zbożowej w szczelinę roboczą.

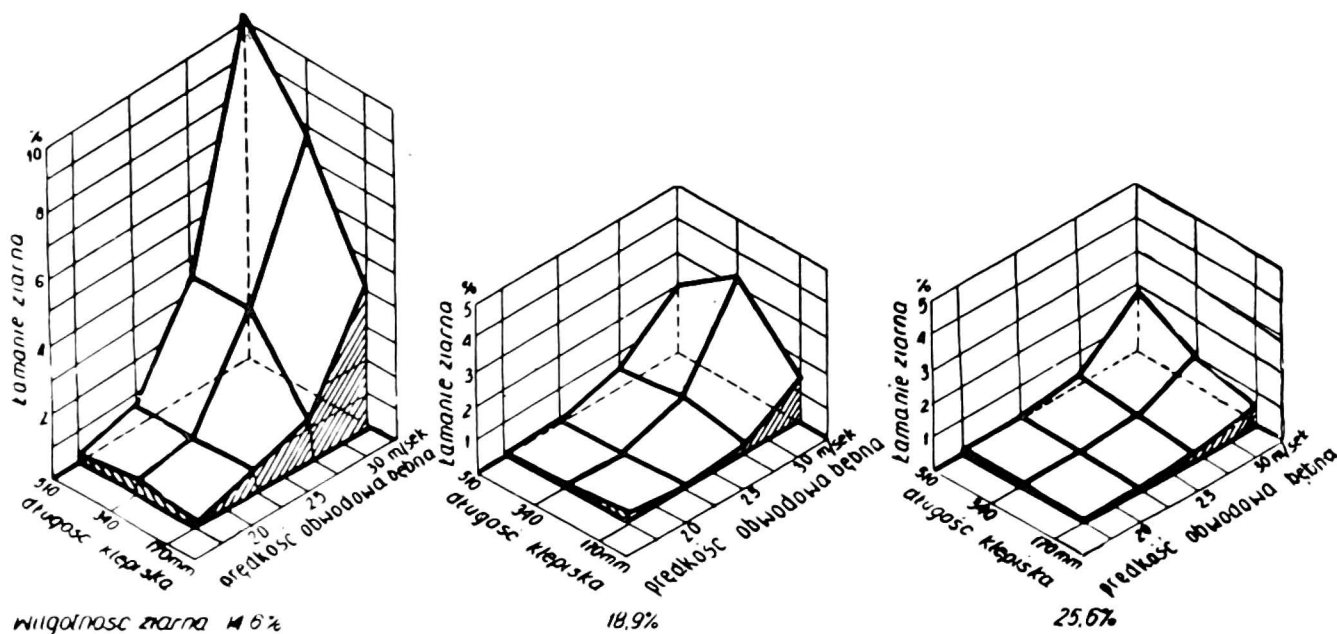
Na podstawie badań z użyciem kamery filmowej ustalono, że najlepsza separacja ziarna ma miejsce przy podawaniu zboża pod kątem około  $45^\circ$  w stosunku do stycznej z bębniem co jest zgodne z wnioskiem o optymalnym kierunku podawania z punktu widzenia jakości omłotu i zużycia energii.

#### 4.10. Długość klepiska

W badaniach przeprowadzonych przez Arnolda w NIAE — Anglia [1, 2, 3] stosowano klepiska o długości od 170 do 680 mm. Stwierdzono, że zwiększenie długości klepiska prowadzi do wzrostu łamania ziarna, szczególnie przy niskiej wilgotności i wysokiej prędkości obwodowej bębna, wynoszącej 30 do 32 m/sek.

Zwiększenie długości klepiska pozwala jednak na obniżenie strat w niedomłocie szczególnie przy mokrych zbożach. Umożliwia to prowadzenie omłotu przy obniżonej prędkości obwodowej bębna, a zatem wpły-

wa dodatnio na obniżenie łamania słomy i ziarna. Z badań wynika, że każde zwiększenie długości klepiska o 170 mm jest zrównoważone obniżeniem prędkości obwodowej bębna o 5 m/sek. Na rys. 3 przedstawiono przestrzenne wykresy (wg Arnolda) obrazujące wpływ długości klepiska i obwodowej prędkości bębna na łamanie ziarna o różnej wilgotności.



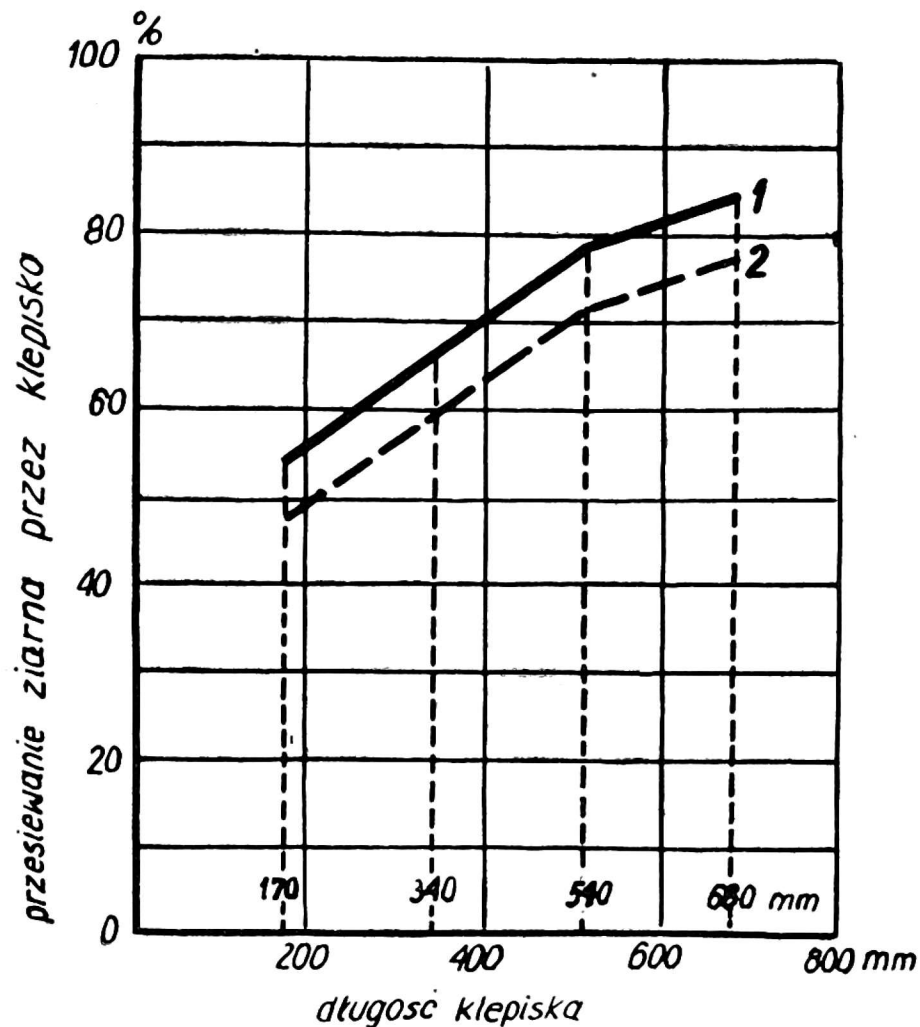
Rys. 3. Wpływ długości klepiska i obwodowej prędkości bębna na łamanie ziarna przy różnej wilgotności (wg Arnolda)

Straty w niedomłocie, jak stwierdzono, są funkcją długości klepiska. Łatwomłotne, suche zboża dobrze młocą się przy klepisku o długości 340 mm, bardziej mokre wymagały znacznie dłuższego klepiska. W miarę jednak wydłużania klepiska obniża się siła kielkowania ziarna, które w długiej szczelinie roboczej jest bardziej uszkodzane. Arnold stwierdził, że każde wydłużenie klepiska o 170 mm obniża siłę kielkowania pszenicy o około 3% a jęczmienia o około 1,0%.

Długość klepiska związana jest ze średnicą bębna, Maksymalna długość klepiska nie powinna być większa niż konieczna do opasania bębna kątem około  $110^\circ$ . Zależnie od długości, poza uszkodzeniami ziarna i niedomłotem, zmienia się zdolność separująca klepiska. Wykres na rys. 4 przedstawia wpływ długości klepiska na separację ziarna. Widać wyraźnie, że procent przesianych ziarn rośnie wraz z długością klepiska. Nie udało się jednak w badaniach osiągnąć separacji ponad 90%, nawet przy znacznym wydłużeniu klepiska.

Autorzy badań doszli do wniosku, że pełnej separacji nie można uzyskać z powodu rosnącego łamania słomy przy wydłużaniu klepiska.

Między łamaniem słomy i długością klepiska ustalona została liniowa zależność (wpływ wilgotności był niewielki). Łamanie słomy, podobnie



Rys. 4. Wpływ długości klepiska na przesiewanie ziarna (wg Arnolda): 1 — pszenica, 2 — jęczmień

jak uszkodzenia ziarna, wzrasta przy dłuższym klepisku, co związane jest ze zwiększeniem czasu działania na słomę listew klepiska i bębna.

Proces separacji ziarna przez klepisko z wystarczającą dokładnością można wyrazić wzorem wg Arnolda:

$$1 - \frac{n}{N} = e^{-kl} \quad \dots \dots \dots (3)$$

- gdzie:  $N$  — liczba swobodnych ziarn na długości klepiska,  
 $n$  — liczba ziarn przesianych przez klepisko,  
 $k$  — eksperymentalny współczynnik zależny od młóconego zboża,  
 $l$  — długość klepiska,  
 $e$  — podstawa logarytmów naturalnych.

Separacja zależy też w dużym stopniu od stosunku ziarna do słomy, np. przy stosunku wynoszącym 1:3 była ona gorsza o 10% niż przy stosunku 3:1, przy klepisku o długości 170 mm i o 2,3% przy klepisku o długości 510 mm.

#### 4.11. Konstrukcja klepiska

Autorzy badań zespołów młócących doszli do wniosku, że dla zmniejszenia uszkodzeń młóconego ziarna, winno być ono szybko usunięte ze strefy działania cepów. W związku z tym przeprowadzono porównawcze badania klepisk pełnych i sitowych o długości 360 mm. Zastosowano prędkości obwodowe bębnow w granicach od 17 do 33 m/sek i szczeliny robocze (mierzone w części środkowej), o wymiarach od 6,3 do 12,7 mm.

W średnich warunkach omłotu zwiększenie szczeliny roboczej o każde 6,5 mm prowadzi do zmniejszenia przesiewu ziarna przez klepisko o 4%, z takim też obniżeniem uszkodzeń ziarna.

W pełnych klepiskach eksperymentalnych, ziarno pszenicy o wilgotności w zakresie od 15 do 24% było cztery razy więcej uszkodzane niż w sitowych, a jego siła kiełkowania była o 40% mniejsza. Uszkodzenia ziarna zmniejszały się ze zwiększeniem szczeliny roboczej, szczególnie przy pełnych, nieperforowanych klepiskach. Stwierdzono, że bardzo szybko wzrastało łamanie ziarna w pełnym klepisku przy wysokiej prędkości obwodowej bębna rzędu 33 m/sek. Ilość uszkodzonych ziarn wynosiła dla sitowego klepiska około 8%, a dla pełnego 30%. Widać stąd jak duże znaczenie dla obniżenia łamania ziarna ma wydzielanie wymłóconych ziarn przez otwory klepiska, czyli usunięcie ziarna ze strefy działania cepów bębna młócego.

Niedomłot dla obu typów klepisk jest zbliżony do siebie, natomiast łamanie słomy jest większe w klepisku sitowym, w wyniku wchodzenia słomy w szczeliny klepiska w trakcie omłotu.

#### 4.12. Wielkość szczeliny roboczej

Przy prawidłowym dobieraniu optymalnej szczeliny roboczej przy omłocie różnych zbóż należy kierować się różnymi parametrami, z których najważniejszymi są niedomłot, uszkodzenia ziarna, przepustowość, gatunek zboża i jego wilgotność. Należy bowiem tak ustawić szczelinę roboczą, ażeby otrzymać małe straty ziarna przy możliwie wysokiej przepustowości.

Wraz ze zmniejszeniem szczeliny roboczej jakość omłotu polepsza się, zwiększa się separacja ziarna przez klepisko [28, 29], ale rośnie łamanie słomy i ziarna. Uwarunkowane to jest bardziej aktywnym działaniem cepów bębna na masę zbożową przeciąganą przez wąską szczelinę roboczą.

Zmiana średniej wielkości szczeliny roboczej w przedziale od 6,4 do 15,9 mm wg Arnolda, przy omłocie pszenicy o wilgotności ziarna 14% wywierała mały wpływ na siłę kiełkowania ziarna oraz na przebieg omłotu.

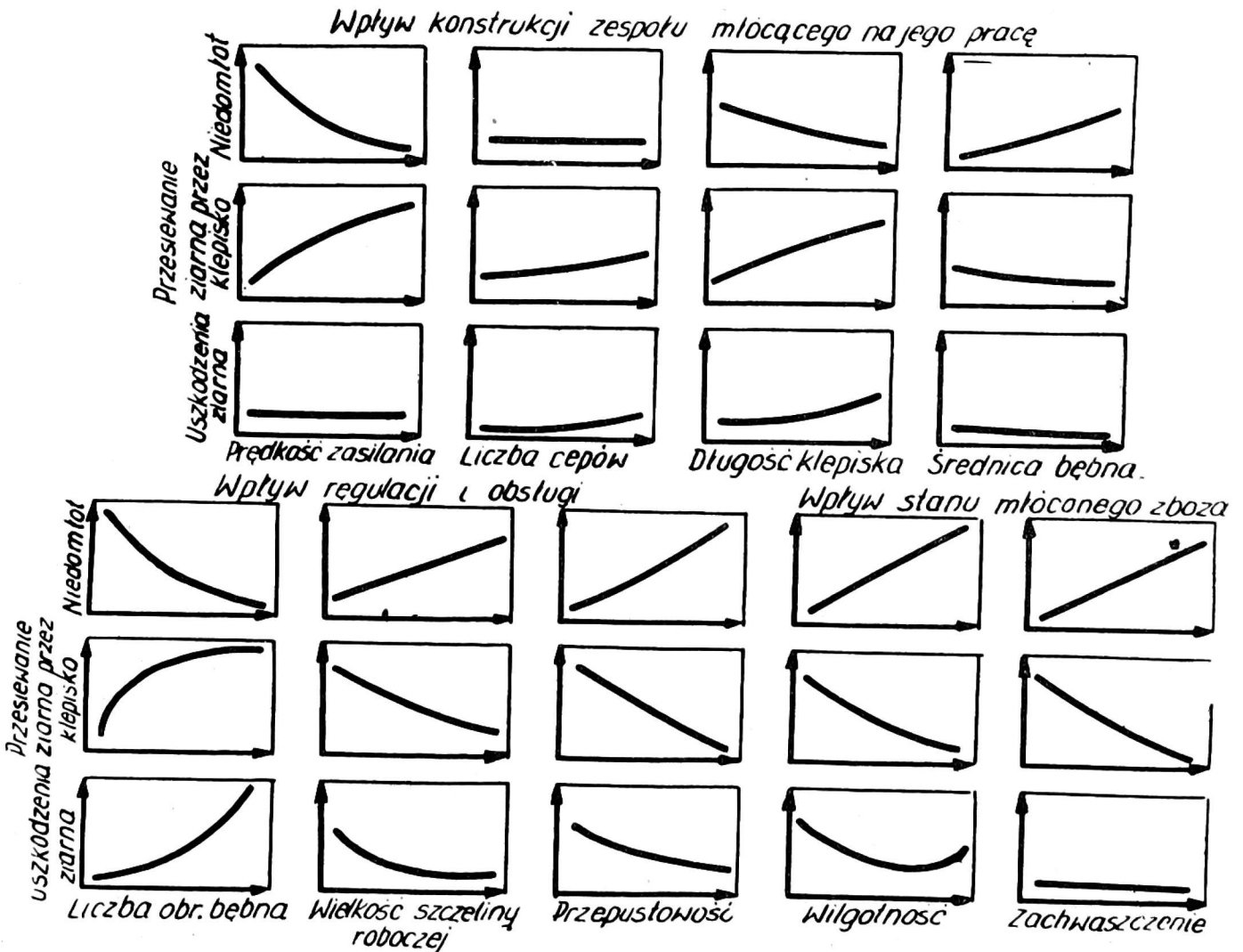


tu. Większe natomiast znaczenie ma stosunek wielkości szczelin na wlocie i wylocie. Zagadnienie to badano przy średnich wielkościach szczelin wynoszących 6,5, 9,5, 11 i 16 mm. Przy stosunku szczelin wlot/wylot wynoszącym 1 : 3 obserwowano większe łamanie ziarna suchej pszenicy i obniżenie siły kiełkowania niż przy stosunku 1 : 1 i 3 : 1.

Straty w niedomłocie były tym niższe im był mniejszy stosunek szczelin na wlocie i wylocie. Ta prawidłowość była zachowana dla wszystkich wielkości szczelin roboczych dla bębnow o różnych średnicach i różnym rozstawieniu cepów młocących na powierzchni bębna. Wpływu stosunku szczelin na deformację słomy nie określono w badaniach.

### 5. Robocze charakterystyki cepowych bębnow młocących

Wyniki różnych badań zespołów młocących typu bęben-klepisko uogólnił i przedstawił w postaci roboczych charakterystyk Wieneke [28] rys. 5. Graficzne przedstawienie wpływu różnych parametrów na przebieg procesu omlotu ma duże znaczenie praktyczne, pozwala bowiem szybko



Rys. 5. Robocze charakterystyki cepowego bębna młocącego (wg F. Wieneke)

wyciągnąć odpowiednie wnioski ogólne o charakterze zmian w procesie omłotu zależnie od czynników konstrukcyjnych, regulacyjnych oraz od stanu młóconego zboża.

## 6. Wnioski

Z badań omówionych w artykule można wyciągnąć następujące, ważne dla praktyki wnioski.

6.1. Najbardziej korzystny jest sposób podawania zboża kłosami do przodu gdyż sprzyja lepszemu wykorzystaniu dynamicznego działania cepów, polepsza zdolność wciągającą bębna i pozwala na stosowanie niższych prędkości obwodowych bębna niż przy innych sposobach.

6.2. Efekt omłotu uzależniony jest od bezpośredniego działania cepów na kłosa, w mniejszym natomiast stopniu zależy od działania wycierającego przy przeciąganiu źdźbeł z kłosami przez szczelinę roboczą. Stosowanie węższych szczelin pozwala jednak obniżyć prędkość obwodową bębna bez pogorszenia stopnia wymłotu.

6.3. Liczba uderzeń — impulsów w omłocie może być zwiększona przez wydłużenie klepiska lub zwiększenie liczby cepów na bębnie. Drugi sposób okazuje się mniej efektywny.

6.4. W badaniach Arnolda uzyskano wysoką efektywność omłotu przy krótkich klepiskach, co potwierdza znaczenie tzw. „efektu wibracyjnego” wywołanego periodycznymi uderzeniami cepów. Przy użyciu dłuższych klepisk zwiększa się prawdopodobieństwo powtórnych uderzeń w kłosa i dlatego może być obniżona wielkość impulsów (co wyraża się w obniżeniu prędkości obwodowej bębna oraz w zwiększeniu szczeliny roboczej).

6.5. Wydłużenie klepiska o 170 mm odpowiada zwiększeniu prędkości obwodowej bębna o 5 m/sek. A zatem zwiększone łamanie ziarna i słomy w dłuższej szczelinie roboczej może być kompensowane odpowiednim obniżeniem obrotów bębna. Przy wyborze wyższej prędkości obwodowej i krótszego klepiska w porównaniu z niższą prędkością obwodową i dłuższym klepiskiem, drugi wariant okazuje się bardziej przydatny w praktyce.

6.6. Przy konstruowaniu bębnowych zespołów młócących i dobieraniu promienia krzywizny bębna należy kierować się potrzebną długością klepiska. Bęben powinien mieć możliwie małą średnicę, dobraną w takim zakresie, żeby nie zachodziło zjawisko owijania bębna słomą przy omłocie wilgotnych zbóż. Jest to szczególnie ważne przy kombajnowaniu z pnia.

6.7. Przy przedłużaniu klepisk obserwuje się wzrost łamania słomy. Wpływa to na obniżenie przepustowości kombajnów. Jednak uwzględnia-

jąc większe zalety dłuższego klepiska przy omłocie problem oddzielania ziarna od bardziej rozdrobnionej słomy należy rozpatrywać oddzielnie.

6.8. Nie jest możliwe zupełne wyeliminowanie łamania ziarna w szczelinie roboczej, gdyż przy złagodzeniu warunków omłotu proces młocki przebiega z rosnącymi stratami w niedomłocie i zmniejszaniu się przepustowości. Przy małych prędkościach obwodowych bębna znaczenie „efektu wibracyjnego” ulega zmniejszeniu, a od tego efektu uzależniony jest przebieg procesu omłotu.

6.9. Osiągnięcie pełnej separacji ziarna przez klepisko nie jest możliwe w obecnych konstrukcjach bębnowych zespołów młócących. Dążyć jednak należy, zdaniem autorów badań, do uzyskania maksymalnej separacji ziarna przez klepisko. Zapobiega to uszkodzaniu wymłóconego ziarna i odciąża urządzenia czyszczące w kombajnach.

6.10. Urządzenia zasilające zespół młócający w kombajnach zbożowych nie zapewniają podawania zboża równomierną warstwą do bębna. Celowe jest więc unowocześnienie tego elementu oraz zwiększenie prędkości podawania zboża w szczelinę roboczą. W ten sposób, bez większych zmian konstrukcyjnych można zwiększyć przepustowość kombajnów.

#### LITERATURA

1. Arnold R. E.: Farm Mechaniz., nr 181. Londyn, 1964.
2. Arnold R. E.: Grundl. der Landtechnik, Heft 21. Braunschweig — Völkenrode, 1964.
3. Arnold R. E.: Journal of Agricultural Engineering Research, nr 9. Silsoe, 1964.
4. Baader W.: Grundl. der Landtechnik, Heft 21. Braunschweig — Völkenrode, 1964.
5. Brenner W. G.: RKTL — Schriften, Heft 51. Berlin, 1934.
6. Caspers L.: Grundl. der Landtechnik, nr 6. Braunschweig-Völkenrode 1966.
7. Fałara R.: Roczniki Nauk Rolniczych, Tom 67-C-3. Warszawa, 1958.
8. Finkenzeller R.: RKTL-Schriften, Heft 102. Berlin, 1941.
9. Gieroba J.: Mechanizacja Rolnictwa, nr 12. Warszawa, 1967.
10. Gieroba J.: Biuletyn Informacyjny IMER. Warszawa, 1968, nr 9.
11. Ginko G. M.: K razwitiu teorii barabana akademika W. P. Goriaczkina. Sbornik trudow po ziemledelczeskoj mechanikie, Tom III. Sielchozgez. Moskwa, 1956.
12. Goriaczkin W. P.: Sobraie soczinienji. Tom 3. Izdat. „Kołos”. Moskwa, 1965.
13. Górecki J.: Rolnictwo w Szwecji. PWRiL. Warszawa, 1965.
14. Horn W.: Deutsche Agrartechnik, nr 1. Berlin, 1965.
15. Kanafojski Cz. Praca bębnow młocarni w świetle dotychczasowych badań. Lwów, 1936.
16. Kanafojski Cz.: Narzędzia i maszyny rolnicze. Tom. 2. PWRiL. Warszawa, 1963.

17. Kanafojski Cz., Roszkowski A.: Biuletyn Informacyjny IMER, nr 1 Warszawa, 1961.
18. Knolle W.: RKTL-Schriften, Heft 7. Berlin, 1930.
19. Königer R., Schulze K. H., Schladerbusch H.: Entkörnung durch Schlagleistentrommel. Filme Nr 672 bis 675 des Inst. f.d. Wiss. Film. Göttingen, 1955.
20. Krutikow I. A., Żalnin E. W.: Mech. i elektrif. soc. sielsk. choz., nr 6. Moskwa, 1966.
21. Ott W.: RKTL-Schriften, Heft 90. Berlin, 1940.
22. Pustygin M. A.: Teoria i technologiczeskij rasczet mołotilnych ustrojstw. Sielchozgif. Moskwa, 1948.
23. Pustygin M. A.: Mech. i elektrif. soc. sielsk. choz., nr 1. Moskwa, 1968.
24. Schulze K. H.: Grundl. der Landtechnik, Heft 21. Braunschweig-Völkenrode, 1964.
25. Schulze K. H.: Grundl. der Landtechnik, Heft 7. Braunschweig-Völkenrode, 1956.
26. Terskow G. D.: Rasczet zirnouborocznych maszin. Maszgif. Moskwa, 1961.
27. Wieneke F.: Grundl. der Landtechnik, Heft 21. Braunschweig-Völkenrode, 1964.
28. Wieneke F.: Grundl. der Landtechnik, Heft 21. Braunschweig-Völkenrode, 1964.
29. Wieneke F., Caspers L.: Grundl. der Landtechnik, Heft 21. Braunschweig-Völkenrode, 1964.
30. Wieneke F., Caspers L.: Grundl. der Landtechnik, Nr 3. Braunschweig-Völkenrode, 1966.
31. Zanna L.: Macch. Mot. Agric., nr 6. Milano, 1967.
32. Praca zbiorowa pod red. Kraśniczenki A. W. — Sprawocznik konstruktora sielskochoziajstwiennych maszin. Tom 2. Moskwa, 1962.
33. — — — Faisons le point sur le moissonnage battage. Tract. et Mach. Agric. Nr 5. Paryż, 1967.
34. — — — Mähdrescher — Einsatz in der Bundesrepublik. Landtechnik, Nr 10. München, 1967.