

Jerzy Bieniek

SEPARACJA ZIARNA
W KOMBAJNACH ZBOŻOWYCH



WROCŁAW 2010

Autor

dr hab. inż. Jerzy Bieniek prof. nadzw.

Opiniodawca

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Rawa

Redaktor merytoryczny

Prof. dr hab. inż. Zygmunt Owsiak

Opracowanie redakcyjne

mgr Elżbieta Winiarska-Grabosz

Korekta

Janina Szydłowska

Łamanie

Alina Gebel

Projekt okładki

Halina Sebzda

Monografie XCVI

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wrocław 2010

ISSN 1898-1151

ISBN 978-83-60574-99-7

WYDAWNICTWO UNIwersYTETU PRZYRODnicZEGO WE WROCLAWIU

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki

ul. Sopotka 23, 50-344 Wrocław, tel. 71 328-12-77

e-mail: wyd@up.wroc.pl

Nakład 100 + 16 egz. Ark. wyd. 8,4. Ark. druk. 7,0

Druk i oprawa: EXPOL, P. Rybiński, J. Dąbek, Spółka Jawna

ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek

*Książkę dedykuję mojej
ukochanej żonie Ani*

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	7
2. PODSTAWY TEORETYCZNE I WARUNKI SEPARACJI ZIARNA.....	9
2.1. Właściwości nasion	9
2.2. Separacja ziarna przy stałym obciążeniu sit	12
2.2.1. Systematyka sit płaskich	12
2.2.2. Podstawy teoretyczne separacji ziarna na sicie płaskim	16
2.2.3. Podstawy teoretyczne ruchu cząsteczki w pionowym i ukośnym strumieniu powietrza	23
2.2.4. Separacja i czyszczenie ziarna na sicie płaskim.....	27
2.3. Przegląd konstrukcji zespołów czyszczących w kombajnach zbożowych	30
2.3.1. Zespoły z sitami płaskimi.....	30
2.3.2. Zespoły z sitami rotacyjnymi	42
2.3.3. Ocena zespołów czyszczących.....	48
2.4. Separacja ziarna przy zmiennym obciążeniu sit	50
2.4.1. Analiza procesu przesiewania ziarna na nachylonym sicie płaskim	50
2.4.2. Rozwiązania konstrukcyjne stosowane w kombajnach w wersji górskiej.....	53
2.5. Ocena badań studyjnych.....	62
3. SEPARACJA ZIARNA ZBÓŻ NA SITACH KSZTAŁTOWYCH.....	63
3.1. Problem badawczy	63
3.2. Zagadnienia metodyczne badań.....	64
3.2.1. Badania laboratoryjne	64
3.2.2. Badania eksploatacyjne – polowe	79
3.3. Wyniki badań	84
3.3.1. Badania stanowiskowe	84
3.3.2. Badania eksploatacyjne.....	97
3.4. Dyskusja nad wynikami	100
4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI.....	103
PIŚMIENNICTWO	105

1. WSTĘP

Podstawowym czynnikiem decydującym o poziomie wyżywienia i stopniu rozwoju gospodarczego kraju jest produkcja zbóż [Miłosz 1985].

W ostatnich latach w Polsce występuje tendencja do utrzymywania się powierzchni upraw zbóż i ich mieszanek na poziomie 8 300 tys. hektarów [Rocz. Statyst. GUS 2008]. Tak duży areal upraw zbożowych sprzyja powszechnemu wykorzystaniu kombajnów zbożowych w technologii zbioru roślin na ziarno konsumpcyjne i materiał siewny [Liska 1988, Miłosz 1983, 1985, Orzechowski, Michalski 1990, Wacker, Kutzbach 1999]. Obecnie produkowane kombajny zbożowe to maszyny uniwersalne, z wymiennymi adapterami, przeznaczone do zbioru różnych gatunków roślin, w różnych technologiach i w terenie o różnym nachyleniu. Poszczególne modele kombajnów zbożowych (produkowane przez renomowane firmy) stosowane w Polsce różnią się parametrami konstrukcyjnymi i eksploatacyjnymi mającymi wpływ na zróżnicowanie ich jakości pracy, szczególnie w przypadku użytkowania tych kombajnów na terenach nachylonych [Bieniek 2003].

Według Francika i Ślipka [1997] tereny rolnicze o zróżnicowanym nachyleniu zbocza zajmują w Polsce około 1 600 tys. ha (głównie Sudety, ale również Beskidy, Bieszczady, Suwalszczyzna oraz Wyżyna Lubelska), co stanowi około 15% powierzchni użytków rolnych Polski. Na tych terenach znajduje się około 23% arealu upraw zbożowych, z którego zbiera się około 4 mln ton ziarna. Ziarno to z reguły zbierane jest kombajnami seryjnymi, nieprzystosowanymi do pracy na zboczach. Straty ziarna przy zbiorze tymi kombajnami na terenach o zmiennym nachyleniu dochodzą nawet do 13%. Zatem przyjmując przeciętny plon na tych polach wynoszący $3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, tracimy z tych terenów w skali kraju około 520 tysięcy ton ziarna zbóż rocznie [Bieniek 2003, Dreszer 1991, 2001, Dreszer i in. 1998b, Gieroba, Rejak 1986].

W województwie dolnośląskim tereny użytkowane rolniczo wzniesione nad poziomem morza znajdują się na wysokości od 69 m w gminie Kotla do 1 602 m w gminie Karpacz [Kropsz 2001]. Do produkcji rolniczej wykorzystywane są tereny usytuowane tylko do wysokości 700 m n.p.m. Obszary nachylone do 12° zajmują 76,0% powierzchni Sudetów, tereny o nachyleniu od 12° do 15° około 22,8%, natomiast tereny powyżej 15° obejmują jedynie 1,2% powierzchni. Sudety to góry o łagodnych zboczach i prace rolnicze mogą być wykonywane w większości gospodarstw przy użyciu standardowych agregatów maszynowych [Bogdanowicz 1989]. W tym regionie zalegają głównie gleby kompleksu pszennego – bardzo dobrego z niewielkim udziałem kompleksu żytniego i zajmują obszar około 60,0% użytków rolnych.

Ocenę przydatności terenów górskich Sudetów do produkcji rolniczej obrazuje wskaźnik rolniczej przestrzeni produkcyjnej, który uwzględnia jakość gleby, agroklimat,

rzeźbę terenu oraz warunki wodne – wg IUNG jest on określany w punktach. Średni wskaźnik w Polsce wynosi 66,6 pkt, natomiast dla Dolnego Śląska jest wyższy i wynosi 75,0 pkt. [Kutkowska 1996].

Jakość pracy kombajnu jest określana dwoma parametrami: czystością i stratami ziarna. Od strony ilościowej kombajn oceniany jest przepustowością, której wzrost musi być powiązany z zachowaniem dopuszczalnych norm czystości i strat ziarna [Bieniek 2003, Beck 2000, Hubner 1998]. Podczas pracy kombajnu zbożowego w terenach górskich pojawiają się zakłócenia przebiegu procesu separacji ziarna. Aby tego uniknąć, przodujące firmy produkujące kombajny zbożowe (New Holland, Claas, John Deere, Deutz-Fahr i in.) stosują rozwiązania zmierzające do wyeliminowania lub redukcji wymienionych negatywnych skutków pracy kombajnu na pochyłościach [Gieroba i in. 1980, Gieroba, Nowak 1980, Gieroba, Dreszer 1990, Roszkowski 1980, 1989, Ukalski i in. 1980].

Trudności w rozwiązaniu wyżej omawianych problemów w skali kraju wynikają również z faktu, że kombajny specjalne, produkowane w renomowanych zagranicznych firmach jako tzw. kombajny górskie, są dużo droższe od kombajnów o tradycyjnej konstrukcji, a zatem zakup ich dla polskiego rolnictwa nie znajduje racjonalnego uzasadnienia [Bieniek 2003].

Według Michałka [2002]: „Za szczególnie cenne osiągnięcia należy uznać stwierdzenia pełnej przydatności klasycznych maszyn i urządzeń do pracy na stokach, przy ewentualnie niewielkich modernizacjach konstrukcyjnych i na to należy zwrócić uwagę przemysłu maszyn rolniczych. W całości jednak ocenianej problematyki badawczej kierunek *mechanizacja rolnictwa górskiego i podgórskiego* jest stosunkowo słabo rozwinięty, a realizują go tylko dwa ośrodki, tj. krakowski i wrocławski”.

Biorąc pod uwagę powyższe spostrzeżenia, należy uznać za uzasadnione prowadzenie prac badawczych nad przystosowaniem zespołu czyszczącego kombajnu w wersji standardowej do pracy w warunkach zmiennego nachylenia terenu. W niniejszej pracy przedstawiono propozycję rozwiązań zespołu czyszczącego z wykorzystaniem sit kształtowych, który zapewniłby wystarczającą skuteczność separacji czyszczonej masy omlotowej podczas pracy na terenach nachylonych [Banasiak i in. 2004, 2006, Bieniek i in. 1999, 2000, 2001a,b, 2006a, Komarnicki i in. 2007a, Pogoda 2007].

2. PODSTAWY TEORETYCZNE I WARUNKI SEPARACJI ZIARNA

2.1. Właściwości nasion

Kryteria oceny procesu rozdzielczego masy (ziarna, nasion) są uwarunkowane przeznaczeniem frakcji. Jeżeli celem procesu rozdzielczego jest uzyskanie materiału siewnego, to kryteria jego oceny będą inne niż dla materiału konsumpcyjnego. Materiał siewny powinien cechować się przede wszystkim odpowiednimi właściwościami biologicznymi, które zależą w znacznym stopniu od ich właściwości fizycznych. Wskaźniki te określone są zwykle w laboratoriach oceny nasion, w warunkach sztucznych. Oznaczenie biologicznych wartości nasion można również przeprowadzić metodami biochemicznymi, bez kiełkowania. Biologiczne i technologiczne cechy nasion pozostają w ścisłym związku z ich niektórymi właściwościami fizycznymi, a zwłaszcza z ich masą i wymiarami. Stąd też istnieje szereg następujących wskaźników, którymi określa się jakość mieszanin ziarnistych, tj.:

- czystość ziarna,
- wykształcenie ziarna (dorodność),
- masę 1000 ziaren,
- masę objętościową ziarna (gęstość w stanie zsypanym),
- masę absolutną ziarna,
- zapach, połysk, barwę,
- wyrównanie ziaren.

Czystość ziarna oznacza się na podstawie pobranych dwóch próbek średnich o wielkości zależnej od gatunku nasion, określonej szczegółowo w normach. Próbkę segreguje się ręcznie, określając wagowo procentową zawartość wszystkich składników (frakcji) mieszaniny. Drugim wskaźnikiem jakości ziarna jest stopień ich wykształcenia. Ziarna niewykształcone lub niedojrzałe zawsze mają niższą wartość technologiczną i biologiczną, stąd ich obecność w produkcie finalnym jest niepożądana. Ziarna takie określa się mianem pośladu.

Ścisłe wyznaczenie granicy między pośladem a ziarnem pełnowartościowym nie jest możliwe, gdyż cechy te mają charakter cech ciągłych. Dla zbóż np. za wartość graniczną przyjmuje się następującą grubość ziarna [Grochowicz 1994]:

żyto	–	(wszystkie odmiany)	– 1,75 mm
pszenica	–	odmiany drobnoziarniste	– 2,00 mm
		" gruboziarniste	– 2,20 mm
jęczmień	–	" drobnoziarniste	– 2,00 mm
		" gruboziarniste	– 2,20 mm
owies	–	" wczesne	– 1,50 mm
inne	–		– 1,75 mm.

Za Grochowiczem [1994] oznaczenie ilości pośladu przeprowadza się przy użyciu specjalnych przesiewaczy laboratoryjnych z sitami o otworach podłużnych, których szerokość dobiera się odpowiednio do badanego gatunku i odmiany ziarna.

Za Bieńkiem [2003] w tabeli 1 przedstawiono przykładowy skład zanieczyszczeń w badanej pszenicy jarej odmiana Eta (*Triticum aestivum annua*).

Tabela 1
Table 1

Skład zanieczyszczeń w masie separowanej pszenicy [Bieńek 2003]
Impurities composition in the separated mass wheat

Wyszczególnienie Specification	Jednostki Units	Wartość średnia Expectation value
Frakcje [mm]: Fraction:		
– frakcje zanieczyszczeń grubych – impurities of great dimensions fraction > 4,5 (słoma, części kłosa) (straw, pieces of ear)	%	1,3
4,5–3,5 (kawałki słomy, plewy) (pieces of straws, chaffs)	%	8,2
– frakcja ziarna – grain fraction 3,5–2,2 (ziarno celne) (cleaned)	%	85,4
– frakcje zanieczyszczeń drobnych – fractions of impurities of small dimensions 2,2–1,8 (ziarna połamane, nasiona chwastów) (broken grains, seed of weeds)	%	3,3
< 1,8 (piasek, drobne kamienie) (sand, small stones)	%	1,8

Dla celów porównawczych np. wykształcenia ziarna, można wyrazić to masą pewnej ilości ziarna pobranego kolejno z danej partii. Za taki wskaźnik przyjmuje się zwykle masę 1000 ziaren suchych.

Z uwagi na to, że masa 1000 ziaren zależy od ich wilgotności, wprowadza się niekiedy pojęcie masy absolutnej, która jest masą 1000 ziaren bezwodnych (wysuszonych).

Innym wskaźnikiem jakości ziarna jest masa objętościowa wyrażana w $\text{kg} \cdot \text{l}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{hl}^{-1}$ lub $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$. Jest to masa jednostki objętości ziarna luźno nasypanego, stąd też wskaźnik ten jest nazywany gęstością w stanie zsypanym.

Zarówno masa 1000 ziaren, jak i masa całkowita nie dają pełnego obrazu wartości badanej partii ziarna. Może się zdarzyć, że w badanej mieszaninie są ziarna bardzo drobne i bardzo duże, a mimo to wskaźniki będą miały wartość średnią.

Z tych względów czasem oznacza się jeszcze tzw. stopień wyrównania ziaren. Wielkość ta, wyrażana w procentach, przedstawia masę ziaren o zbliżonych wymiarach w stosunku do ogólnej masy badanej próby. Oznaczenie przeprowadzić można na przesiewaczu laboratoryjnym, biorąc do obliczeń masę ziaren pozostających po przesianiu na dwóch sąsiednich sitach, tj. masę dwóch klas ziarnowych o największej liczebności.

Aerodynamiczne właściwości ziaren różnych gatunków roślin oraz zanieczyszczeń charakteryzowane są zwykle trzema wskaźnikami: prędkością krytyczną, współczynnikiem oporu i współczynnikiem lotności. Prędkość krytyczna u_k nasion roślin uprawnych zawiera się w przedziale od 0,2 do 17,5 m·s⁻¹. Współczynnik oporu k nasion przyjmuje wartości od 0,16 do 0,27. Współczynnik lotności k_0 nasion zawiera się w przedziale od 0,031 do 0,14. Wielkości wymienionych właściwości dla przykładowych gatunków nasion i ziarna za Grochowiczem [1994] zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Table 2

Prędkości krytyczne, współczynniki oporu i lotności wybranych gatunków nasion
Critical velocity, drag and fineness ratio coefficient selection of species seed

Lp.	Parametr Parameter Gatunek nasion Species seed	Prędkość krytyczna Critical velocity u_k [m·s ⁻¹]	Współczynnik oporu Drag coefficient k [-]	Współczynnik lotności Fineness ratio coefficient k_0 [m ⁻¹]
1.	Groch Pea	15,5 – 17,5	0,19 – 0,23	0,031 – 0,04
2.	Pszenica Wheat	9,0 – 11,5	0,18 – 0,26	0,076 – 0,121
3.	Żyto Rye	8,3 – 8,8	0,16 – 0,22	0,100 – 0,140
4.	Jęczmień Barley	8,4 – 10,8	0,19 – 0,27	0,084 – 0,138
5.	Wyka Vetch	4,0 – 16,0	0,17 – 0,26	0,034 – 0,056
6.	Koniczyna i lucerna Clover and lucerne	2,0 – 8,0	–	–
7.	Trawy Grass	0,2 – 11,0	–	–

Wyrównanie wielkości ziarna ma duże znaczenie w procesach ich przemiału, a także przy wysiewie nasion specjalnymi siewnikami. W metodzie szybkiego oznaczania czystości – do grupy ziaren czystych zalicza się wszystkie ziarna materiału podstawowego, stąd też celowe jest określenie stopnia wyrównania badanej mieszaniny ziarnistej. Jakość ziarna każdego gatunku można również scharakteryzować na podstawie jego cech organoleptycznych takich jak: połysk, zapach i kolor. Jednak organolep-

tyczna ocena tych cech jest subiektywna i może być mało wiarygodna. Dlatego obecnie barwę nasion wykorzystuje się jako cechę rozdzielczą w urządzeniach wyposażonych w fotokomórki [Grochowicz 1994].

Należy jednak pamiętać, że proces kombajnowego zbioru, separacji i czyszczenia ziarna (nasion) odbywa się na sitach z wykorzystaniem strumienia powietrza. Zatem, w procesie kombajnowego zbioru wykorzystywane są podstawowe właściwości ziarna takie jak: cechy geometryczne, gęstość oraz lotność. Mając to na uwadze, w dalszej części pracy przedstawiono charakterystykę sit.

2.2. Separacja ziarna przy stałym obciążeniu sit

2.2.1. Systematyka sit płaskich

Sito płaskie to takie sito, w którym wszystkie otwory leżą w jednej płaszczyźnie. Za główne kryterium klasyfikacji określające skuteczność rozdzielania, niezawodność pracy sit i ich miejsce w procesach przesiewania można przyjąć:

- geometrię otworów w sicie,
- możliwość regulacji roboczego wymiaru otworów,
- rozmieszczenie otworów względem siebie i kierunku ruchu materiału ziarnistego,
- rodzaj materiału i sposób wykonania sita,
- rodzaj ruchu sita.

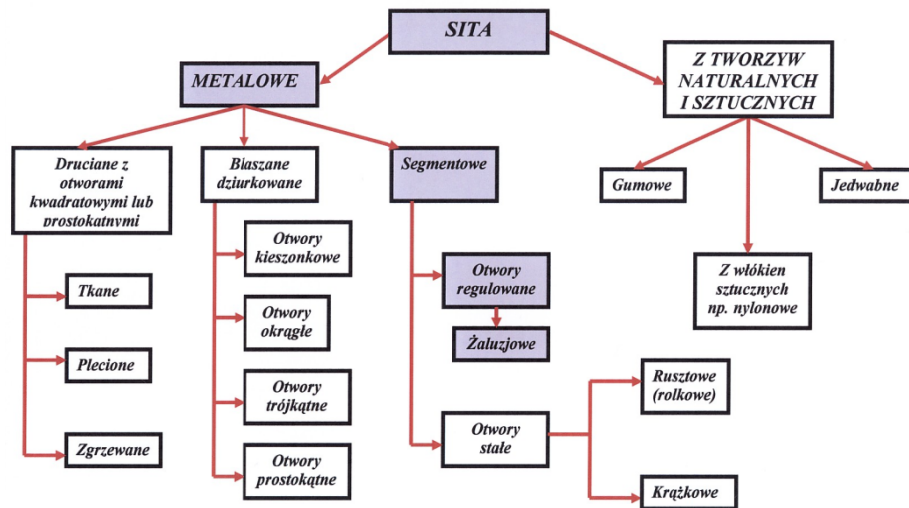
Klasyfikację sit stosowanych w czyszczeniu według rodzaju materiału i sposobu ich wykonania przedstawiono za Grochowiczem [1994] na rysunku 1.

Podział sit wg kryterium ich ruchu przedstawiono na rysunku 2.

Sita można podzielić również według ich miejsca w procesie technologicznym. Wówczas można wyróżnić trzy główne rodzaje sit:

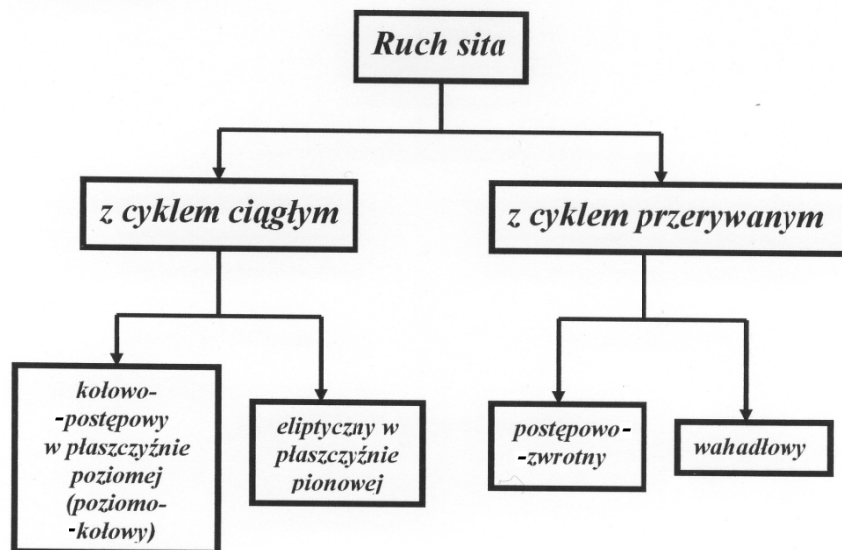
- do czyszczenia wstępnego – oddzielania zanieczyszczeń znacznie większych od materiału podstawowego (np. kłosów i części łodyg),
- sortujące – do odsiania nasion nie w pełni wykształconych i gorzej wypełnionych,
- piaskowe – do wydzielania piasku i drobnych zanieczyszczeń.

Kolejność ustawienia sit w zespole czyszczącym może być różna zależnie od czyszczonego gatunku ziarna (nasion), a więc i charakterystyki zanieczyszczeń w nim występujących. Najczęściej stosowany jest podział według sposobu wykonania sit, przy czym wyróżnia się cztery podstawowe ich grupy, tj. blaszane dziurkowane, plecione, tkane i segmentowe. Najszerze zastosowanie mają sita blaszane. Sita plecione mają najczęściej otwory kwadratowe, stąd też ich praca jest mało precyzyjna. Otwory te, podobnie jak okrągłe, rozdzielają materiał ziarnisty według szerokości, przy czym przekątna kwadratu jest o 40% większa niż jego bok. Z tego powodu sita plecione znajdują zastosowanie tylko do czyszczenia wstępnego. Sita segmentowe (żaluzjowe, rolkowe i krążkowe) stosowane są często w układach czyszczących kombajnów zbożowych i młocarń, a ich rola polega na wydzielaniu zanieczyszczeń słomistych. Sita plecione i segmentowe (np. żaluzjowe) pracują równocześnie ze strumieniem powietrza, przepływającym przez nie ukośnie od dołu [Grochowicz 1994].



Rys. 1. Klasyfikacja sit stosowanych w czyszczalnictwie według rodzaju materiału i sposobu ich wykonania [Opracowanie autora na podstawie Grochowicza 1994]

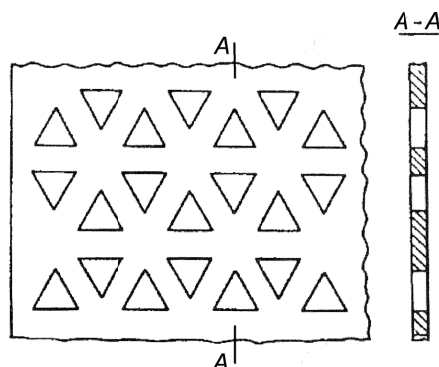
Fig. 1. The clearing sieves from the materials and quality it of works classification [Author's study on basis Grochowicz 1994]



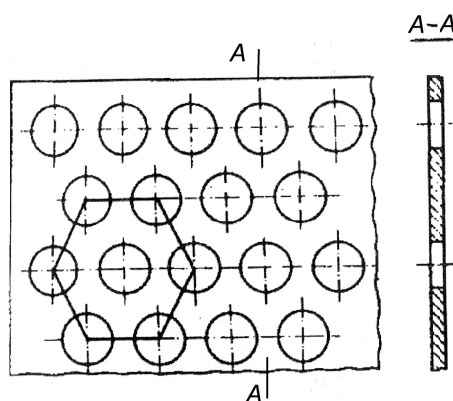
Rys. 2. Klasyfikacja ruchu sit płaskich [Opracowanie autora na podstawie Grochowicza 1994]

Fig. 2. The flat sieve motion classification [Author's study on basis Grochowicz 1994]

Sita płaskie z wytłaczanymi otworami – Sita te, ze względu na sposób ich wykonania, nazywane są niekiedy blaszanymi dziurkowanymi, perforowanymi lub tłoczonymi. Surowcem do ich produkcji jest blacha miedziana, cynkowa lub stalowa ocynkowana, w której otwory wytłaczane są specjalnymi tłocznikami.



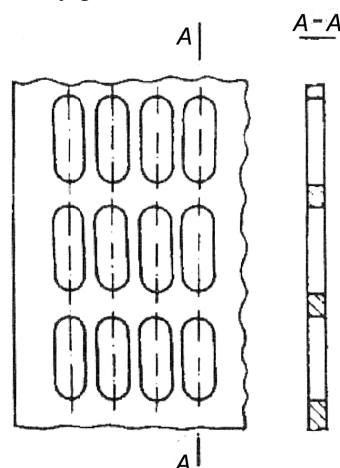
Rys. 3. Sito o otworach trójkątnych [Grochowicz 1994]
Fig. 3. The sieve with triangular holes



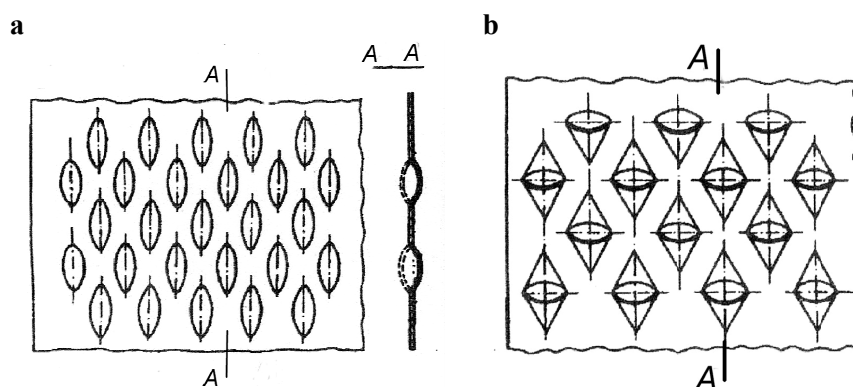
Rys. 4. Sito o otworach okrągłych [Grochowicz 1994]
Fig. 4. The sieve with circular holes

Dalej przedstawiono asortyment najczęściej spotykanych sit z wytłaczanymi otworami. Sito z otworami trójkątnymi zaprezentowano na rysunku 3. Kształt otworów okrągłych narzuca charakter ruchu nasion po sicie, a zatem i sposób wprawiania go w ruch. Sito takie przedstawiono na rysunku 4. Powinno ono być wstrząsane, by nasiona były podrzucone i miały możliwość prostopadłego ustawiania się dłuższą osią do powierzchni sita, co z kolei warunkuje ich przejście przez otwór. Sito o otworach podłużnych (rys. 5) nie musi być wstrząsane, gdyż przez tego rodzaju otwory nasiona łatwo przechodzą podczas poślizgu, bez odrywania się od jego powierzchni. Wymiarem roboczym otworu okrągłego jest średnica, natomiast otworu podłużnego – jego szerokość, gdyż długość tego otworu jest zawsze większa niż długość ziaren w mieszaniu wejściowej. Pozostałe typy sit blaszanych to sita z otworami przestrzennymi (rys. 6a, b).

Sita druciane – Są to sita plecione lub tkane z drutu o różnej grubości, mające różne wielkości otworów i zazwyczaj stosowane są w procesach wstępnego czyszczenia nasion. Sita te zwykle przedmuchiwane są ukośnym strumieniem powietrza. Otwory w tych sitach są najczęściej kwadratowe, rzadziej prostokątne. Jak już wspomniano, kwadratowy otwór nie ma ściśle określonego wymiaru roboczego, gdyż ziarna ustawiać się mogą zarówno równoległe do boku otworu, jak i po jego przekątnej. Zatem, przez otwory tego rodzaju mogą przechodzić nie tylko ziarna, których szerokość jest mniejsza od boku, ale też i takie, których szerokość jest większa od boku, a mniejsza tylko od przekątnej. Jeżeli nasiono ma kołowy przekrój poprzeczny, wówczas działanie rozdzielające otworu kwadratowego jest identyczne jak okrągłego. Dokładność rozdzielania zmieniać się będzie w miarę wzrostu różnic między grubością a szerokością nasion [Grochowicz 1994].

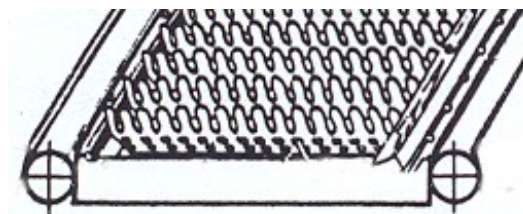


Rys. 5. Sito o otworach podłużnych [Grochowicz 1994]
Fig. 5. The sieve with longitudinally holes



Rys. 6. Sita o otworach przestrzennych; a – otwory owalne (do lnu), b – otwory okrągłe o wygiętych krawędziach [Grochowicz 1994]
Fig. 6. The sieve with specials holes; a – ovals holes (the flax), b – circulars holes with bend edge

Sita segmentowe – Mieszanina ziarnista uzyskana w czasie zbioru kombajnami zawiera z reguły pewną ilość wilgotnych części słomy, łodyg i liści chwastów, zachodzi więc konieczność natychmiastowego ich wydzielenia. Czyszczenie takich mieszanin przeprowadza się przy użyciu sit składanych z szeregu identycznych elementów, których szczególną zaletą jest niezapychanie się ich otworów czyszczonym materiałem. Osiąga się to w wyniku doboru optymalnego kształtu otworów i optymalnych warunków dynamicznych procesu rozdzielania oraz doboru drgań poszczególnych elementów składowych. Elementy składowe tych sit, które znalazły zastosowanie przede wszystkim w kombajnach, wykonane są z blachy (rys. 7). Sita żaluzjowe utworzone są z szeregu równoległe ustawionych elementów o kształcie grzebieni, o skoku 16 lub 23 mm. Każdy segment ma własną oś połączoną ze wspólnym mechanizmem dźwigniowym, co pozwala łatwo zmieniać ustawienie tych elementów, a tym samym wielkość i kształt otworów [Grochowicz 1994]. Odrębną podgrupę wśród sit składanych z bliźniaczych elementów stanowią sita z segmentami wykonującymi ruch obrotowy. Takim sitem jest sito krążkowe, utworzone z szeregu tarcz cylindrycznych lub eliptycznych zamocowanych na osiach. Wielkość przesunięcia tarcz jest tak dobrana, że mimo obrotowego ruchu osi zachowana jest stała wielkość robocza otworów (szczelin). Innym rozwiązaniem jest sito rolkowe, utworzone z rolek z koncentrycznie nałożonymi pierścieniami, które określają długość utworzonych w ten sposób otworów prostokątnych. Sita te doskonale nadają się do oddzielania ziarna od zanieczyszczeń słomianych i charakteryzują się wyższą wydajnością od sit blaszanych, mimo że ich współczynnik prześwitu nie jest zbyt duży. Wynika to z ruchu obrotowego elementów sit, co zwiększa prędkość przemieszczania się zanieczyszczeń słomianych, a ziarno podrzucane periodycznie łatwo przechodzi przez szczeliny pod sita. Separatory rolkowe znalazły także szerokie zastosowanie w technice sortowania owoców i warzyw [Grochowicz 1994].



Rys. 7. Sito żaluzjowe [opracowanie własne autora]
Fig. 7. The shutter sieve [Author's study]

2.2.2. Podstawy teoretyczne separacji ziarna na sicie płaskim

Proces czyszczenia ma za zadanie uzyskanie jednorodnego materiału podstawowego z mieszaniny, którą stanowią: ziarno, nasiona obcych roślin, nasiona chwastów, zanieczyszczenia organiczne (słoma, części łodyg, liście i korzenie itp.) oraz zanieczyszczenia mineralne (piasek, drobne kamyczki). Aby wykonać to zadanie, należy zastosować zasady rozdzielania, czyli separacji poszczególnych frakcji, przy użyciu urządzeń mechanicznych. Do tego wykorzystywane są różnice we właściwościach fizycznych poszczególnych części mieszaniny ziarnistej przeznaczonej do czyszczenia. W procesie separacji ziarna istotne są następujące ich właściwości (cechy):

- geometryczne,
- aerodynamiczne,
- gęstość (ciężar właściwy),
- współczynnik tarcia,
- tekstura powierzchni,
- właściwości mechaniczne (twardość, sprężystość),
- właściwości elektrostatyczne,
- właściwości optyczne (kolor).

Tak wielka różnorodność cech wykorzystywanych w procesach separacji wynika z wielu przyczyn. Najważniejszą z nich jest oddzielenie wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń (frakcji) od czyszczonego ziarna. Osiągnięcie wysokiego stopnia rozdzielczości poszczególnych frakcji przy wykorzystaniu tylko jednej z wyżej wymienionych cech nie jest w praktyce możliwe. Dlatego też nasiona każdego gatunku roślin uprawnych, zależnie od rodzaju zanieczyszczeń, czyszczone są według ściśle ustalonego schematu technologicznego. Jednak w każdym przypadku wykorzystuje się zespół cech geometrycznych i aerodynamicznych. Nazywamy je podstawowymi, pozostałe zaś uzupełniającymi. W procesie czyszczenia zbóż wykorzystuje się z reguły tylko cechy podstawowe, co zwykle wystarcza do uzyskania surowca o odpowiedniej czystości [Goriaczkin 1965, Kaliniewicz, Rawa 2001, Kośmicki i in. 1981, 1985, Negrini i in. 1994, Reed i in. 1974, Reed, Bigsby 1977].

Podział mieszanin ziarnistych według grubości i szerokości cząstek przeprowadza się za pomocą sit z otworami o bardzo różnorodnym kształcie, co zostało opisane w rozdziale 2.2.1. Stąd też proces ten nazywany jest przesiewaniem, a maszyny realizujące go przesiewaczami. Rozdzielenie mieszaniny drogą przesiewania wystąpi tylko wtedy, gdy roboczy wymiar otworów lub szczelin w sicie leży w granicach rozrzutu szerokości lub grubości zawartych w niej cząstek. Następnym nieodzownym warunkiem wystąpienia zjawiska przesiewania jest ruch mieszaniny ziarnistej po sicie według pewnych zasad (siły bezwładności i grawitacji), który umożliwi cząstkom drobnym wpadanie do otworów. Wspomniany wyżej proces przesiewania, czyli separacji sitowej ziarna, jest częścią procesu czyszczenia. Na proces ten składa się jeszcze wydzielanie cząstek lekkich za pomocą strumienia powietrza, czyli separacja pneumatyczna.

Na podstawie literatury [Byków 1997, Byszewski, Haman 1977, Feder 1996, Grochowicz 1994, Kanafojski, Karwowski 1972, Kanafojski 1980] dokonano analizy ruchu cząstki z poślizgiem w płaszczyźnie wzdłużnej (rys. 8).

Według Grochowicza [1994] parametry ruchu ziarna na sicie w płaszczyźnie XY określają zależności:

- przemieszczenie:

$$x = -r \cos \omega t \quad [\text{m}] \quad (2.1)$$

- prędkość:

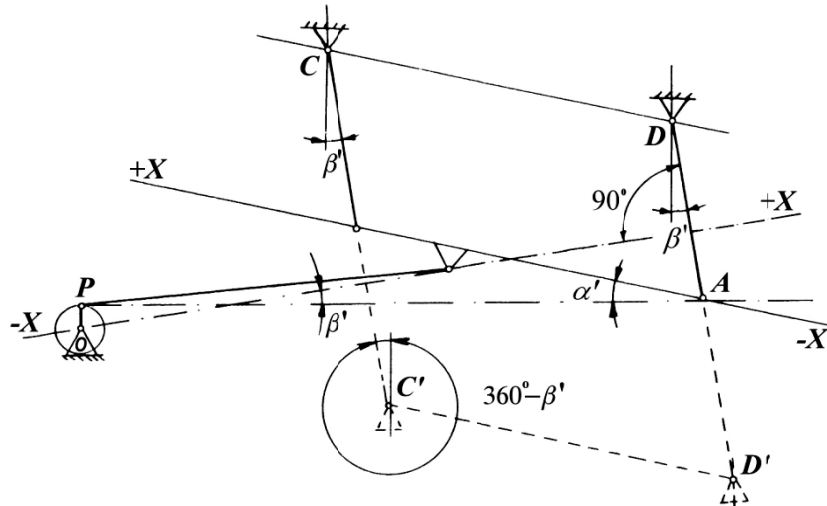
$$v_x = \frac{dx}{dt} = r \sin \omega t \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

- przyspieszenie:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = r\omega^2 \cos \omega t \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]. \quad (2.3)$$

Na cząstkę umieszczoną na płaszczyźnie nachylonej w stosunku do poziomu pod kątem α' działają następujące siły (rys. 9):

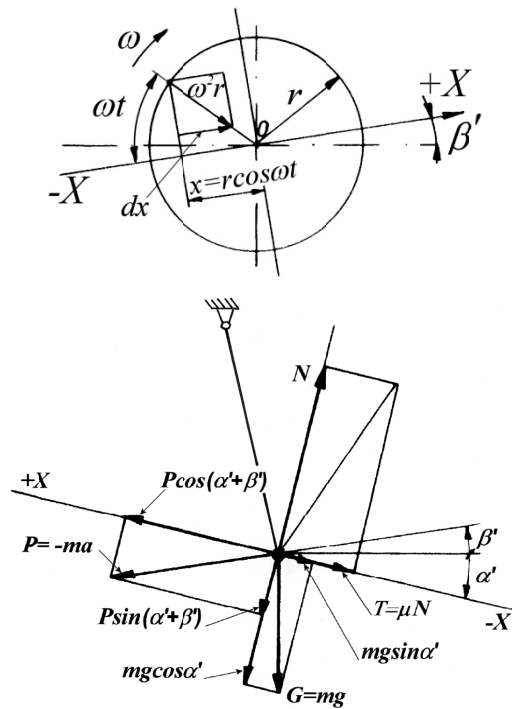
- $G = m \cdot g$ – siła ciężkości [N],
- N – reakcja normalna [N],
- $T = \mu N$ – siła tarcia [N],
- $P = ma = m\omega^2 r$ – siła bezwładności skierowana przeciwnie do przyspieszenia [N].



Rys. 8. Schemat kinematyczny zawieszenia oraz napędu sita; α' – kąt nachylenia płaszczyzny sita, β' – kąt odchylenia wieszaka od pionu [Bieniek 2003]

Fig. 8. Kinetic diagram of the sieve mounting and driving; α' – angle of inclination of sieve plane, β' – angle of diversion of sieve hanger from the perpendicular

W związku z tym, że przy wzroście prędkości sita (np. ruch w prawą stronę) cząstki mają tendencję do przesuwania się w kierunku przeciwnym do jego nachylenia, przyjęto umownie dodatnie wartości siły bezwładności w lewych interwałach (przy wychyleniach sita w lewo), a ujemne – w prawych [Bieniek 2003]. Masa separowana (ziarno celne, piasek, plewy, kłosa itp.) przemieszcza się względem płaszczyzny sita w wyniku ruchu wahadłowego kosza sitowego. Rozdział separowanej masy na poszczególne frakcje następuje w wyniku tego, że cząstki przesuwają się względem powierzchni sita, w kierunku tylnej jego części, przez co następuje przesiewanie się ziaren celnych przez inne frakcje i otwory sita. Ziarno, które nie przesieje się przez otwory sita i pozostanie razem z grubszyimi zanieczyszczeniami, stanowi część strat zespołu separującego. O stratach ziarna decyduje grubość warstwy przesiewanej mieszaniny (obciążenie sita) oraz jej struktura (skład). Straty te są tym większe, im większe jest obciążenie sita czyszczoną masą.



Rys. 9. Rozkład sił działających na cząstkę umieszczoną na powierzchni sita dla wychyleń prawych [Kanafojski 1980]

Fig. 9. Distribution of the forces acting on a particle which is placed on the sieve surface at the right deflections

Jeżeli przez $p(a)$ określone zostanie prawdopodobieństwo przesiania ziarna przez pozostałe frakcje mieszaniny i przez $p(b)$ prawdopodobieństwo przesiania przez otwory sita, to współczynnik separacji $p(c)$ przesiania na jednostkowej długości sita (prawdopodobieństwo warunkowe) wyraża zależność:

$$p(c) = \frac{p(a) \cdot p(b)}{p(a) \cdot v_{sr} \cdot t} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (2.4)$$

gdzie:

v_{sr} – średnia prędkość przemieszczania się mieszaniny ziarnistej na długości sita [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$],

t – czas między kolejnymi ruchami wahadłowymi [s],

$p(a)$ – prawdopodobieństwo przesiania ziarna przez pozostałe frakcje mieszaniny,

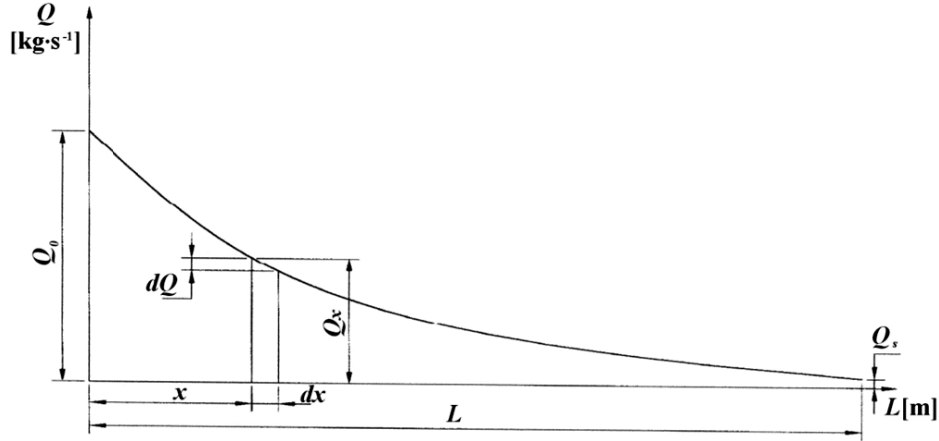
$p(b)$ – prawdopodobieństwo przesiania ziarna przez otwory sita,

$p(c)$ – współczynnik separacji (prawdopodobieństwo warunkowe) [m^{-1}].

Podczas ruchu wahadłowego sita cząstka w przedziale czasu dt przemieści się po jego powierzchni na odcinku dx (rys. 10).

Prawdopodobieństwo przesiania cząstki na wymienionym odcinku wynosi: $p(c) \cdot dx$. W tym czasie nastąpi zmniejszenie ilości ziarna o wielkość dQ . Względną wielkość przesiewania otrzymujemy, odnosząc wyżej wymienioną wartość do całkowitej ilości masy czyszczonej Q_x na analizowanym odcinku i jest ona równa $p(c) \cdot dx$, czyli:

$$-\frac{dQ}{Q_x} = p(c) \cdot dx \quad (2.5)$$



Rys. 10. Krzywa przesiewania ziarna na długości sita; Q_0 – masa separowana dostająca się na sito w jednostce czasu [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$], Q_x – masa separowana na analizowanym odcinku [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$], Q_s – masa opuszczająca sito (straty) [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$], L – długość sita [m] [Bieniek 2003]

Fig. 10. Curve of grains screening on the sieve length; Q_0 – s^{-1} , Q_x – s^{-1} , Q_s – s^{-1} , L – length of the sieve [m]

Ponieważ kąt nachylenia stycznej do krzywej przesiewania ziarna względem poziomu ma wartość ujemną, umieszczono „-” przed wyrażeniem z lewej strony równości. Całkując równanie (2.5):

$$-\int \frac{dQ}{Q_x} = \int p(c) \cdot dx \quad (2.6)$$

otrzymano:

$$-\ln Q_x = p(c)x + C \quad (2.7)$$

Przyjmując warunki brzegowe:

$$x \rightarrow 0 \Rightarrow Q_x = Q_0 \quad (2.8)$$

wyznaczono wartość stałej całkowania C poprzez podstawienie do wyrażenia (2.7) warunku (2.8),

$$-\ln Q_0 = C \quad (2.9)$$

$$-\ln Q_x = p(c)x - \ln Q_0 \quad (2.10)$$

gdzie:

Q_0 – ogólna ilość masy czyszczonej (ziarna + zanieczyszczenia) dostającej się w jednostce czasu na sito z podsiewacza [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$].

Dokonując kolejnych niezbędnych przekształceń, otrzymano:

$$\frac{Q_0}{Q_x} = e^{p(c)x} \Rightarrow Q_x = \frac{Q_0}{e^{p(c)x}} = Q_0 e^{-p(c)x} = Q_0 \exp(-p(c)x) \quad (2.11)$$

Aby ilość ziaren celnych opuszczających sito wraz z innymi zanieczyszczeniami w jednostce czasu była mniejsza lub najwyżej równa dopuszczalnym stratom, przyjmuje się warunek, że sito żaluzjowe powinno posiadać długość drogi biegu masy przesiewanej równą:

$$L \Rightarrow Q_s \leq \text{dop.straty} \quad (2.12)$$

gdzie:

Q_s – ilość ziaren opuszczająca sito w jednostce czasu (straty) [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],

L – długość sita [m].

Dzięki aktualnemu stanowi wiedzy [Bieniek 2003, Detyna 2000, Feder 1995, Gieroba, Dreszer 1990, Tabatabaifar, Persson 1995] można stwierdzić, że długość sita L w zespole czyszczącym kombajnu zbożowego jest odwrotnie proporcjonalna do współczynnika separacji ziarna $p(c)$.

$$L = \ln \frac{(1 - 0,01 p_w)}{0,01 p_s} \cdot (p(c))^{-1} \quad [\text{m}] \quad (2.13)$$

gdzie:

p_s – straty ziarna na sitach zespołu czyszczącego [%],

p_w – dopuszczalne straty ziarna na wytrząsaczu [%].

Współczynnik $p(c)$ charakteryzuje przesiewalność ziaren na sicie w odniesieniu do jednostki długości sita. O wartości tego współczynnika decyduje wiele czynników, które w formie uszeregowanej można zapisać:

$$p(c) = f(g_e, r, Q_0, F_r) \quad (2.14)$$

gdzie:

g_e – cechy geometryczne ziaren [m],

r – parametry ruchu sita i materiału separującego,

Q_0 – obciążenie początkowe sita [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$],

F_r – powierzchnia robocza sita (związana z drogą przemieszczania się materiału) [m^2].

Innym, bardzo ważnym czynnikiem decydującym o efektywności i skuteczności pracy sita płaskiego jest jego obciążenie jednostkowe. Obciążenie jednostkowe sita płaskiego jest ściśle związane z wysokością warstwy masy znajdującej się na jego powierzchni. Jeżeli ogólne obciążenie sita oznaczmy przez Q_0 , to jednostkowa przesiewalność sita jest równa:

$$q_0 = Q_0 \cdot (B_s \cdot L)^{-1} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.15)$$

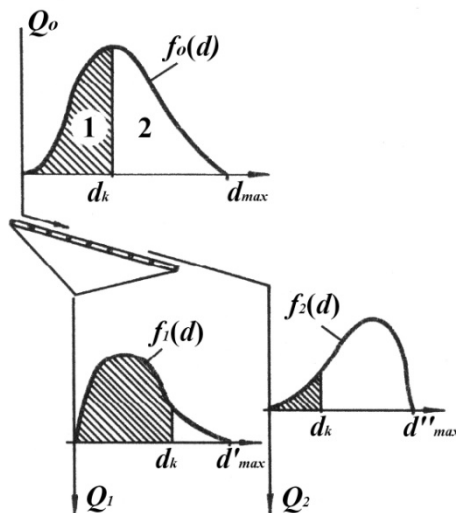
gdzie:

L – długość sita [m],

B_s – szerokość sita [m].

Przeprowadzona powyżej analiza pozwala na wybór takich parametrów, jak długość i szerokość sita oraz stopień jego zasilania, które z kolei powinny być uwzględniane w konstrukcji sita [Bieniek 2003].

Na rysunku 11 przedstawiono bilans masowy ziarna na sicie płaskim podczas procesu separacji według Detyny [2007]. W idealnym procesie separacyjnym żadna część dowolnego składnika separowanej masy nie znajdzie się jednocześnie w obydwu frakcjach.



Rys. 11. Bilans masowy ziarna na sicie płaskim; Q_0 – ogólna ilość masy czyszczonej (ziarna + zanieczyszczenia), nadawa, Q_1 – całkowita ilość masy wyczyszczonej, przesiew, Q_2 – ilość ziaren opuszczająca sito (straty), 1 – ziarno, 2 – zanieczyszczenia [Detyna 2007]

Fig. 11. The mass grains balance flat sieve; Q_0 – total clearing mass (grains + contamination), Q_1 – total mass cleared, fines, Q_2 – grains lowering sieve (losses), 1 – grains, 2 – contamination

W rzeczywistości jeden lub obydwa produkty mogą być zanieczyszczone cząstkami o wielkościach nieodpowiednich do danej klasy. Autor w swojej pracy przeprowadził analizę matematyczną nadawy Q_0 (1+2), która po czyszczeniu podzielona została na część przesianą Q_1 (1) z zanieczyszczeniami (2) oraz odseparowaną Q_2 (2) ze stratami (1).

2.2.3. Podstawy teoretyczne ruchu cząsteczki w pionowym i ukośnym strumieniu powietrza

W procesie rozdzielczym mieszaniny ziarnistej są dwa ogólne przypadki:

- a) rozdzielanie w strumieniu pionowym,
- b) rozdzielanie w strumieniu poziomym lub ukośnym.

Strumień pionowy działa na zasadzie „zawieszenia” cząstek, tj. unoszenia ich pionowo do góry, natomiast strumień poziomy lub ukośny działa na zasadzie „odchylania” trajektorii pionowo spadających cząstek.

W większości rozdzielacze pneumatyczne stosowane są do usuwania jedynie lekkich zanieczyszczeń z materiału wejściowego. Stąd też znalazły zastosowanie przede wszystkim w procesach wstępnego czyszczenia ziarna zbieranego kombajnami [Grochowicz 1994]. Na mieszaninę wejściową, dostarczaną do kanału, gdzie działa przepływający strumień powietrza, oddziałują siły wywierane przez ten ośrodek. W rozważaniach teoretycznych przyjęto bardzo istotne uproszczenia, albowiem założono, że prędkość strumienia powietrza jest jednakowa na całej powierzchni przekroju kanału, ziarna nie oddziałują na siebie i nie obracają się w czasie ruchu w strumieniu powietrza [Gach i in. 1991].

Oddziaływanie pionowego strumienia powietrza

W celu określenia ruchu ziarna w pionowym strumieniu powietrza – przyjmuje się na wstępie dla uproszczenia, że ziarno ma kształt kuli, a różnice w zachowaniu się poszczególnych ziaren wynikają z ich różnych właściwości aerodynamicznych [Grochowicz 1970, Afonso i in. 2007, Kahrs 1994]. Przyjmując, że siła oporu aerodynamicznego ziarna R_p (dla przepływu burzliwego) zależy głównie od jej dynamicznego oddziaływania na cząstkę, można ją wyrazić wg Grochowicza [1994] wzorem:

$$R_p = k F_z \rho_p w_o^2 \text{ [N]} \quad (2.16)$$

gdzie:

R_p – siła oporu aerodynamicznego ziarna [N],

k – współczynnik oporu aerodynamicznego [-],

F_z – powierzchnia poprzecznego przekroju ziarna prostopadłego do kierunku strumienia [m^2],

ρ_p – gęstość powietrza [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

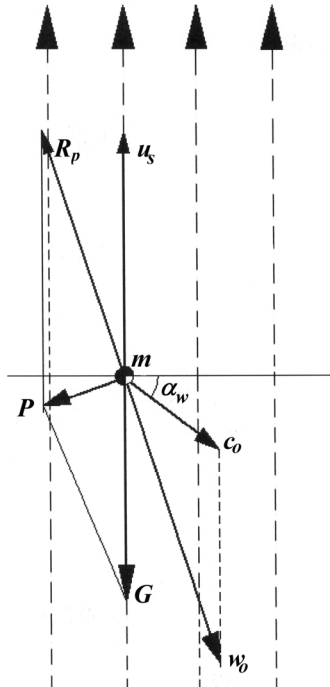
w_o – względna prędkość ziarna ($w_o = c_o - u_s$) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].

Układ sił działających na elementarną cząstkę w pionowym strumieniu powietrza przedstawia rysunek 12.

Na ziarno znajdujące się w strumieniu powietrza działa siła ciężkości G . Jeżeli $R_p < G$, to ziarno będzie opadać w dół. W przypadku gdy $R_p > G$, to cząstka będzie przemieszczać się w górę w strumieniu powietrza. Ogólnie ruch ziarna można wyrazić następującym równaniem:

$$m \frac{dc}{dt} + R_p = G \quad [\text{N}] \quad (2.17)$$

w którym $m \frac{dc}{dt} = G - R_p$ jest siłą powodującą ruch ziarna.



Rys. 12. Schemat działania sił na cząstkę w pionowym strumieniu powietrza [Komarnicki 2008]

Fig. 12. Arrangement of activity forces for grain in air stream vertical

Oznaczenia na rysunku 12:

$G=mg$ – siła ciężkości [N],

u_s – prędkość strumienia powietrza [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

c_o – prędkość początkowa ziarna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

α_w – kąt wprowadzenia ziarna do kanału względem poziomu [$^\circ$],

P – siła wypadkowa działająca na ziarno [N],

pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2.16).

Przypadek, kiedy $R_p=G$, to $w_o \Rightarrow 0$ oznacza równowagę dwóch sił i cząstka będzie utrzymywać się na stałej wysokości w stanie zawieszonym.

Dla $R_p=G$ wyznacza się prędkość krytyczną u_k , tzn. taką, po przekroczeniu której cząstka jest porywana ze strumieniem powietrza.

$$R_p = G = k \rho_p F_z u_k^2 \quad [\text{N}] \quad (2.18)$$

$$u_k = \sqrt{\frac{G}{k \rho_p F_z}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2.19)$$

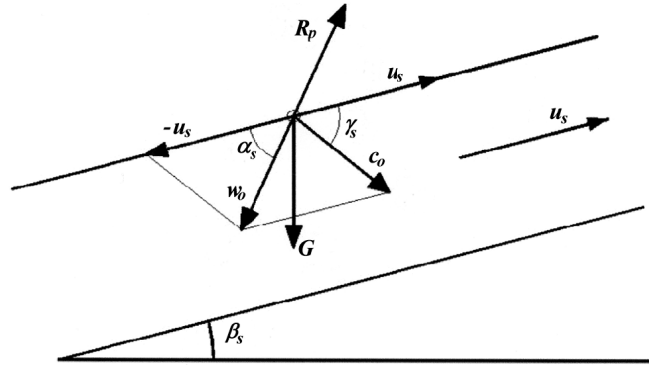
gdzie:

u_k – krytyczna prędkość strumienia powietrza [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2.16) [Dmitrewski i in. 1981, Komarnicki 2008].

Oddziaływanie ukośnego strumienia powietrza

Zachowanie się ciała, które jest umieszczone w zasięgu działania ukośnego strumienia powietrza i które znajduje się w stanie swobodnego ruchu, zależy od wielu czynników, ściśle związanych zarówno z właściwościami ciała, jak i strumienia powietrza. W odniesieniu do tych warunków założymy, że strumień powietrza zachowuje stałą wartość i kierunek prędkości w dowolnym punkcie zasięgu jego działania, oraz że istnieje pewna sfera warstwowego układu prądu powietrza, którą charakteryzuje prędkość u_s i kierunek pod pewnym kątem β_s do poziomu [Dmitrewski i in. 1981] (rys. 13). W tym przypadku proces rozdzielnicy polega na różnym odchyłaniu toru cząstek od pionu, zależnie od ich aerodynamicznych właściwości oraz prędkości początkowej. W kanałach ukośnych strumień powietrza jest tłoczony przez wentylator do komory roboczej pod kątem $20^\circ - 35^\circ$ względem poziomu. Ziarna opuszczające kosz zasypowy z pewną prędkością początkową przecinają strumień powietrza i pod jego działaniem dzielą się na poszczególne frakcje, które w zależności od prędkości krytycznej opadają w różnych odległościach od wlotu. Zarówno w strumieniu poziomym, jak i ukośnym, etap oddzielania przebiega przy prędkościach, których pionowa składowa jest zawsze mniejsza od krytycznej prędkości nasion. Na ziarno działa tutaj również siła oporu powietrza R_p określona względną prędkością ziarna w_o oraz siłą ciężkości $G = mg$. Ukośny strumień powietrza nadaje ziarnu ruch w kierunku poziomym oraz przyspieszenie a_R .



Rys. 13. Rozkład sił działających na ziarno w ukośnym strumieniu powietrza [Komarnicki 2008]

Fig. 13. Arrangement of activity forces for grain in air stream oblique

Oznaczenia na rysunku 13:

c_0 – początkowa prędkość ziarna (w momencie zetknięcia ze strumieniem powietrza) [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],

α_s – kąt pomiędzy kierunkiem wektora prędkości względnej w_0 i kierunkiem wektora prędkości strumienia u_s [$^\circ$],

β_s – kąt pod jakim strumień powietrza przemieszcza się w stosunku do poziomu [$^\circ$],

γ_s – kąt pod jakim skierowany jest wektor prędkości c_0 w stosunku do wektora strumienia u_s [$^\circ$],

pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2.16) i na rysunku 12.

$$a_R = \frac{R_p}{m} = \frac{g w_0^2}{u_k^2} \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] \quad (2.20)$$

gdzie:

a_R – przyspieszenie ziarna [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],

m – masa cząstki [kg],

pozostałe oznaczenia jak we wzorze (2.16).

Ponieważ

$$k_0 = \frac{g}{u_k^2} \quad [\text{m}^{-1}] \quad (2.21)$$

przyspieszenie a_R jest proporcjonalne do kwadratu prędkości względnej strumienia powietrza i ziarna, co sprowadza się do zależności:

$$a_R = k_0 w_0^2 \quad [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] \quad (2.22)$$

gdzie k_0 określa się mianem współczynnika lotności, którego wielkość oznacza zdolność ziarna do stawiania oporu strumieniowi powietrza. Wartości współczynnika oporu aerodynamicznego k i lotności k_0 maleją wraz ze wzrostem prędkości strumienia powietrza, uzyskując stałą wartość przy prędkości krytycznej strumienia u_k utrzymującej ziarno w stanie zawieszonym [Grochowicz 1994, Komarnicki 2008].

Oddziaływanie siły aerodynamicznej i kinematyki zespołu sitowego na ziarno

Praca sita w warunkach zmiennego nachylenia skutkuje zmianami prędkości ruchu mieszaniny zbożowej na powierzchni sita oraz zmianami jego obciążenia masą. Priorytetem prawidłowej pracy układu czyszczącego jest założenie, że stosunek wypadkowych sił aerodynamicznych działających na masę ziarnistą odniesiony do ciężaru jednostkowego powinien być stały na całej powierzchni roboczej sita obciążonego masą i wyrażony wg Komarnickiego [2008] zależnością:

$$\frac{F_{w1}}{G_1} = \frac{F_{w2}}{G_2} = \frac{F_{w3}}{G_3} = \text{const} . \quad (2.23)$$

Pożądany rozkład generowanej siły aerodynamicznej w każdej z przedstawionej na rysunku 14 pozycji będzie inny. Wynikać on będzie z oddziaływania sił grawitacji, kinetyki zespołu sitowego oraz siły aerodynamicznej. Na rysunku 14 przedstawiono rozkłady sił aerodynamicznych dla różnych symulacji pracy zespołu aerodynamiczno-sitowego.

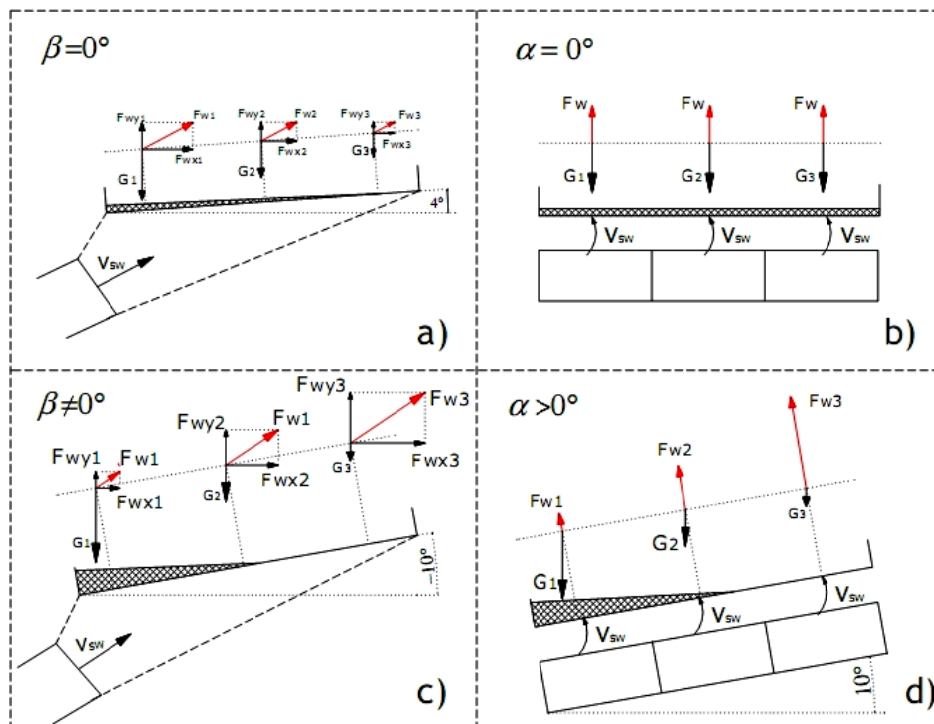
W założeniu konstrukcji konwencjonalnych separatorów z sitami płaskimi stosowanymi w kombajnach zbożowych niezakłócony przebieg czyszczenia masy ziarnistej będzie występował przy nachyleniach wzdłużnych β , nieprzekraczających $\pm 5^\circ$ (rys. 14a) oraz podczas pracy w płaszczyźnie poprzecznej $\alpha \approx 0^\circ$ (rys. 14b). Podczas pracy kombajnu w terenie o zróżnicowanej konfiguracji założono, że w nachyleniu poprzecznym α oraz podłużnym β , powierzchnia robocza sita będzie pracować z miejscowo zmiennym obciążeniem (rys. 14c, d). Wtedy stosunek sił aerodynamicznych do obciążenia miejscowego będzie się zmieniał wg zależności [Komarnicki 2008]:

$$\frac{F_{w1}}{G_1} < \frac{F_{w2}}{G_2} < \frac{F_{w3}}{G_3} \neq \text{const} . \quad (2.24)$$

2.2.4. Separacja i czyszczenie ziarna na sicie płaskim

Przemieszczanie masy czyszczonej (ziarna celne, ziarna uszkodzone mechanicznie, piasek, plewy, niewymłócone kłosa itd.) względem płaszczyzny sita następuje w wyniku ruchu wahadłowego kosza sitowego. Proces rozdziału jest możliwy, jeśli cząstki przesuwają się względem płaskiej powierzchni sita w kierunku wylotu maszyny. Występuje tutaj również ruch masy zbożowej z podrzutem.

Proces rozdziału mieszaniny następuje w wyniku przemieszczania się ziarna celnego przez inne frakcje oraz w wyniku przedostawania się frakcji podziarna między szczelinami żaluzji sita. Pierwsze z tych zjawisk zachodzi na granicy cząstek reprezentujących różne frakcje mieszaniny (rys. 15). Intensywność przemieszczania się ziaren celných (w dół wzdłuż zaznaczonej osi Y) zależy od względnego ruchu mieszaniny oraz od rozkładu sił działających na cząstkę. Energia ruchu ziaren rozkłada się w tym przypadku na część rozproszoną wśród innych frakcji mieszaniny (rys. 15a) oraz na część konwekcyjną związaną z procesem przesiewania. Przebieg tego zjawiska wykazuje słabszy charakter podczas poprzecznych pochyłeń kosza sitowego, co wiąże się bezpośrednio z rozkładem sił działających na cząstkę.



Rys. 14. Zmiany wypadkowej wzdłużnej siły aerodynamicznej F_w w relacji do zmian obciążenia sita masą ziarnistą G ; a,b – podczas pracy na terenie płaskim, c – podczas pracy w zmiennym nachyleniu wzdłużnym, d – podczas pracy w zmiennym nachyleniu poprzecznym, V_{sw} – prędkość strumienia powietrza [Komarnicki 2008]

Fig. 14. The aerodynamic force F_w change resultant longitudinal to change loading mass G . a, b – works on horizontal land, c – works in longitudinal inclination, d – works in crosswise inclination

Drugie z ww. zjawisk następuje bezpośrednio na granicy ziarno – płaszczyzna sita (rys. 15b), powodując ubytek frakcji podziarna. Intensywność tego procesu separacji zależy w dużej mierze od parametrów kinematycznych ruchu ziarna względem sita, rozkładu sił działających na cząstki oraz pośrednio od grubości warstwy materiału czyszczonego. Ubywanie frakcji podziarna następuje szybciej na części sita o większej grubości warstwy mieszaniny [Beck 1994, Beck i in. 1997, Gach i in. 1991, Kanafojski, Karwowski 1980]. Opisane zjawiska zachodzące podczas procesu przesiewania wskazują na jego losowy charakter, dlatego intensywność separacji mieszaniny ziarnistej można opisać za pomocą prawdopodobieństwa przedstawionego w pracy Detyny [2000].

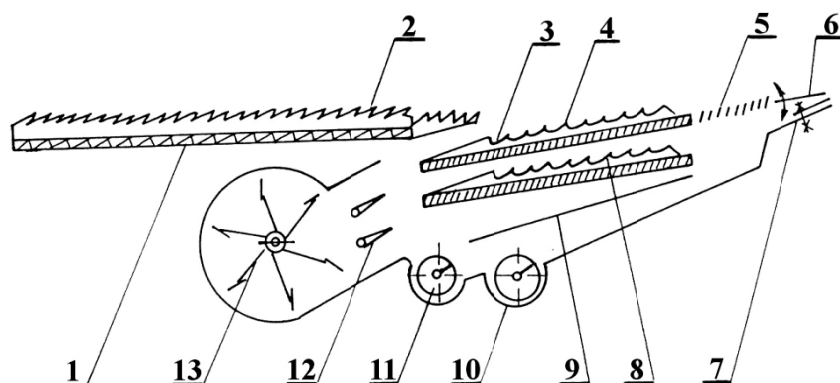
2.3. Przegląd konstrukcji zespołów czyszczących w kombajnach zbożowych

Kombajn zbożowy jako maszyna wieloczynnościowa składa się z szeregu urządzeń, wśród których zespół czyszczący odgrywa istotną rolę. Jest on jednym z zespołów na drodze ziarna z zespołu żniwnego do zbiornika, co przedstawiono na rysunku 16. Jego zadaniem jest zapewnienie czystości ziarna, która dla czterech podstawowych gatunków zbóż wynosi powyżej 97%. Podstawowymi elementami tego zespołu są: podsiewacz, jeden lub kilka wentylatorów oraz zestaw sit czyszczących. W celu osiągnięcia wysokiej czystości ziarna stosowane są wielopokładowe układy sit czyszczących. Obecnie w produkowanych maszynach coraz częściej stosuje się wielokrotne dmuchawy promieniowe lub radialne, które zapewniają równomierne podawanie strumienia powietrza do przestrzeni roboczej. Z przepustowością kombajnu związana jest powierzchnia sit, która dochodzi do 6 m² [Wacker, Kutzbach 1992]. Dużo typów i marek kombajnów oraz zastosowanych w nich rozwiązań konstrukcyjnych zespołów czyszczących uzasadnia celowość przeprowadzenia bliższej ich charakterystyki.

2.3.1. Zespoły z sitami płaskimi

Klasyczny (konwencjonalny) zespół czyszczący (rys. 17) zbudowany jest z podsiewacza 2, zestawu sit 3 i 8 umieszczonych w obudowie zwanej popularnie koszem sitowym oraz wentylatora 13. Z reguły w zespole czyszczącym znajdują się dwa nachylone sita żaluzjowe. Kąt pochylenia górnego sita waha się w granicach 0÷7°, a dolnego 0÷5°. Zespół sit owiewany jest strumieniem powietrza wytwarzanym przez wentylator, dzięki temu lekkie zanieczyszczenia wydmuchiwane są na zewnątrz kombajnu. Warunkiem dobrego wydzielania lekkich frakcji jest uzyskanie prędkości strumienia powietrza nieco większej od prędkości krytycznej tych frakcji. W zespołach czyszczących najczęściej stosowane są wentylatory promieniowe z łopatkami nachylonymi pod kątem 40° do tyłu względem kierunku obrotu. Wentylatory z promieniowo ustawionymi łopatkami, w porównaniu z ukośnymi (przy jednakowych pozostałych parametrach), dają większą prędkość powietrza, natomiast ukośne łopatki wytwarzają bardziej równomierny strumień powietrza. Z tego powodu ukośne ustawienie łopatek jest korzystniejsze. W zależności od ilości, rodzaju i wilgotności czyszczonej masy konieczna jest możliwość zmiany wydatku powietrza, którą we współczesnych kombajnach uzyskuje się przez bezstopniową zmianę obrotów wirnika wentylatora. Do zmiany kierunku strumienia powietrza lub do rozdzielenia go na dwa strumienie stosuje się nastawne zastawki, popularnie zwane kierownicami. Jednak podczas wykorzystywania tego zespołu na zboczach obserwuje się znaczne pogorszenie jakości i efektywności jego pracy. Związane jest to przede wszystkim z nierównomiernym obciążeniem sit zespołu czyszczącego.

Przedstawiony konwencjonalny zespół czyszczący stosowany jest w większości kombajnów. Jednak wiele firm prowadzi badania nad skonstruowaniem odmiennego, wysoko wydajnego zespołu czyszczącego [Krzysiak i in. 1998].

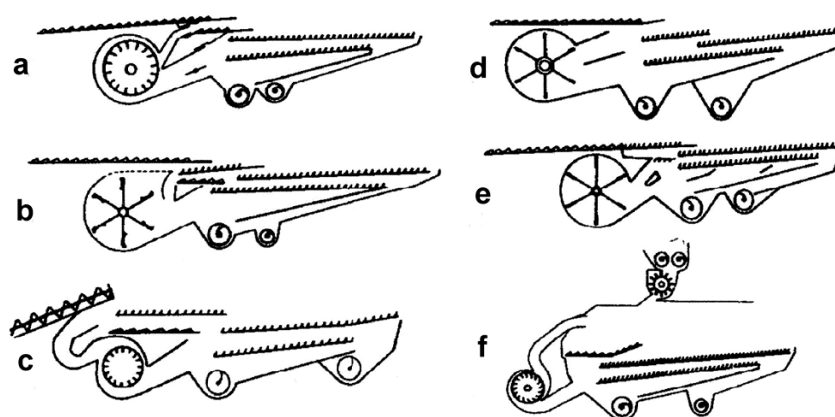


Rys. 17. Konwencjonalny układ czyszczący; 1 – podłoga podsiewacza, 2 – przegroda podłużna podsiewacza, 3 – górne sito żaluzjowe, 4 – przegroda sita, 5 – sito kłosowego, 6 – grzebienie sita kłosowego, 7 – szuflada, 8 – dolne sito żaluzjowe, 9 – podłoga zsypana, 10 – przenośnik kłosowy, 11 – przenośnik ziarnowy, 12 – kierownice strumienia powietrza, 13 – wentylator tłoczący, promieniowy [Dreszer i in. 1998a]

Fig. 17. Conventional cleaning unit; 1 – chaffer floor, 2 – long barrier of chaffer, 3 – upper shatter sieve, 4 – barrier of sieve, 5 – ear sieve, 6 – combs of ear sieve, 7 – drawer, 8 – lower shatter sieve, 9 – floor, 10 – ear elevator, 11 – grain elevator, 12 – stator air stream, 13 – radial fan [Dreszer et al. 1998a]

Kilka przykładów zespołów czyszczących stosowanych w kombajnach zbożowych znanych firm produkujących kombajny przedstawiono na rysunku 18.

Firma Claas w układach czyszczących kombajnów D0114 i D0116 zastosowała dodatkowe poziome sito opadowe tuż przy końcu podsiewacza, w miejscu gdzie następuje wstępne oddzielenie mieszaniny krótkiej słomy, plew i ziarna [Kutzbach, Wacker 1992a, b]. Zastosowanie sita opadowego pracującego w układzie jak na rysunku 18a spowodowało, że plewy i krótka słoma zostają oddzielone nad górnym sitem żaluzjowym lub w połowie jego długości. W efekcie odciążenia górnego sita zwiększa się przepustowość całego zespołu czyszczącego. W układzie tym strumień powietrza rozdzielany jest na dwie strugi. Podczas pracy kombajnów z takim rozwiązaniem na zboczu – można zaobserwować niekorzystne zjawisko nierównomiernego zasilania sita górnego z sita opadowego. Ponadto, w nachyleniu bocznym górny strumień powietrza może pogarszać czyszczenie, wydmuchując celne ziarna poza kombajn.



Rys. 18. Przykłady zastosowania kanałów powietrznych sterujących rozdziałem strumienia powietrza w układach czyszczenia kombajnów zbożowych; a – Claas, b – Ford New Holland, c – John Deere, d – MDW, e – Deutz – Fahr, f – Fiatagri [Kutzbach, Wacker 1992a]

Fig. 18. An application of the air channel which control distribution of air stream in cleaning units of particular combine-harvesters; a – Claas, b – Ford New Holland, c – John Deere, d – MDW, e – Deutz – Fahr, f – Fiatagri

Podobne do Claasa rozwiązanie konstrukcyjne stosuje firma New Holland i Ford. Istota działania przedstawionego na rysunku 18 b układu czyszczącego jest następująca – materiał ziarnisty spada z sita opadowego na dodatkowe krótkie sito, przez które przepływa powietrze. Z sita krótkiego ziarno z drobnymi zanieczyszczeniami dostaje się bezpośrednio na dolne sito, podczas gdy materiał pozostający na sicie opadowym przenoszony jest na górne sito. Dzięki takiemu rozwiązaniu zwiększa się efektywność czyszczenia ziarna.

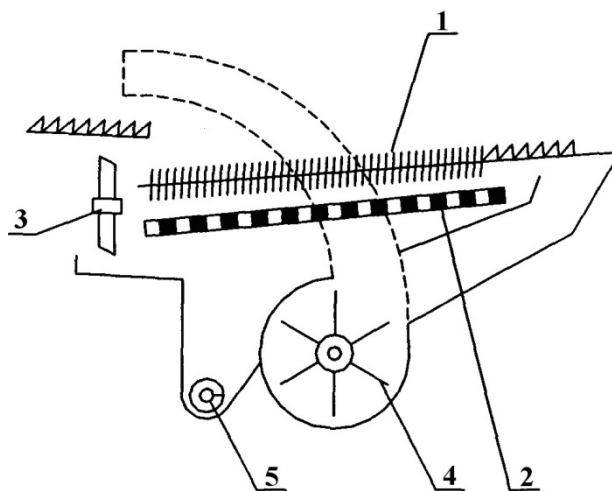
Inną wersję układu czyszczącego, opracowaną przez konstruktorów firmy John Deere, przedstawia rysunek 18c. W zespole tym dwa sita opadowe zasilane są ziarnem z podajnika ślimakowego. Taki sposób zasilania gwarantuje równomierne obciążenie układu czyszczącego. Oprócz wymienionych sit opadowych układ ten posiada klasyczny kosz sitowy złożony z dwóch sit żaluzjowych i sita kłosowego. Wentylator promieniowy wytwarza strumień powietrza, który jest rozdzielony i prowadzony dwoma kanałami, jednym na sita opadowe, drugim pod kosz sitowy. Dzięki zmianom konstrukcyjnym poprzez zwiększenie powierzchni sita i lepsze wykorzystanie strumienia powietrza wzrasta przepustowość zespołu czyszczącego. Rozwiązanie to dzięki zastosowaniu podajnika ślimakowego ma korzystny wpływ na pracę zespołu na zboczach. Materiał czyszczony podawany jest równomiernie na sita opadowe niezależnie od pochylenia kombajnu. Jednak na powierzchni sit żaluzjowych występują obszary niewykorzystane.

Na rysunku 18d i e przedstawiono podobne rozwiązania firm niemieckich MDW i Deutz-Fahr z klasycznym wentylatorem oraz różnymi układami sit żaluzjowych. Masa czyszczona przemieszczana z dużą dynamiką przez szczeliny sit w procesie separacji jest ograniczona ich wielkością przy przechyle poprzecznym zespołu. Zsuwa się ona na niższej położoną część sita, odkrywając części nieaktywne.

Oryginalne rozwiązanie układu czyszczącego zastosowano w kombajnie Fiatagri (rys. 18f). W tym zespole czyszczącym jest wałek wyrzucający materiał czyszczony oraz rozbudowana przestrzeń nad sitami z dodatkowym przepływem powietrza z wentylatora. Strumień powietrza z wentylatora wstępnie oczyszcza mieszaninę z lekkich zanieczyszczeń. Następnie oczyszczone ziarno trafia na małe sito opadowe przypominające szczątkowy wytrząsacz, a stąd trafia na górne sito układu czyszczącego. Takie rozwiązanie pozwala na odciążenie głównego sita, a w efekcie na zwiększenie wydajności i efektywność czyszczenia. W tym przypadku zespół czyszczący także nie pracuje prawidłowo na terenie nachylonym, a jego wydajność i efektywność czyszczenia zmniejsza się [Kutzbach, Wacker 1992b].

Innymi rozwiązaniami zespołów czyszczących z sitami płaskimi są konstrukcje opisane poniżej.

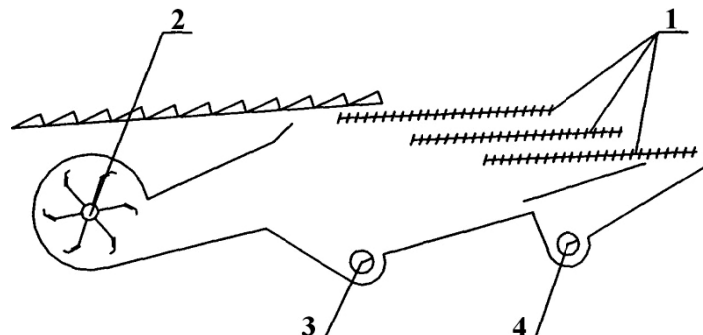
Firma Fahr w kombajnie model M 1300 zamiast wentylatora promieniowego zastosowała dwa usytuowane równolegle obok siebie wentylatory osiowe 3 (rys. 19) [Krzysiak 1999]. W tym układzie czyszczącym występuje dolne, wymienne sito otworowe 2, o różnych średnicach otworów dostosowanych do rodzaju nasion. Pozostałe elementy, tzn. podsiewacz i górne sito 1 pozostawiono takie jak w układzie konwencjonalnym. Zdaniem konstruktorów firmy wykorzystanie dwóch wentylatorów osiowych 3 zapewnia większą równomierność strumienia powietrza na całej długości sit, co w efekcie podwyższa jakość i wydajność całego zespołu czyszczącego. W przypadku pracy tego kombajnu na zboczach i nierównościach terenu układ czyszczenia nie gwarantuje możliwości uzyskania wymaganej czystości ziarna. Zarówno sito górne żaluzjowe 1, jak i dolne otworowe 2 przy przechyleniu bocznym nie pracują prawidłowo.



Rys. 19. Układ czyszczący z dwoma wentylatorami osiowymi; 1 – górne sito żaluzjowe, 2 – dolne sito otworowe, 3 – wentylator osiowy 4 – rzutnik kłosów, 5 – przenośnik ziarnowy [Krzysiak 1999]

Fig. 19. A cleaning witch two axial fans; 1 – upper shatter sieve, 2 – lower opening sieve, 3 – axial fan, 4 – ear thrower, 5 – grain elevator

Na rysunku 20 przedstawiono kaskadowo-sitowy zespół czyszczący zamontowany w kombajnie Massey-Ferguson 760. W tym rozwiązaniu zastosowano zmniejszony kąt pochylenia podsiewacza, kaskadowy układ trzech sit żaluzjowych oraz dwa bliźniacze wentylatory promieniowe 2 montowane równoległe. Zarówno zmniejszony kąt pochylenia podsiewacza, jak i kaskadowy układ sit 1, zdaniem firmy, znacznie zwiększają wydajność układu czyszczącego. Natomiast bliźniacze wentylatory zapewniają równomierny strumień powietrza. Dodatkowym elementem polepszającym zdolność czyszczenia jest zastosowanie przeciwbieżnego ruchu podsiewacza względem kosza sitowego. Ma to tę zaletę, że cały układ czyszczący jest zrównoważony, co w efekcie obniża drgania całego kombajnu. Jednak, gdy kombajn z tym zespołem porusza się po zboczu, a elementy robocze wirują w czasie pracy, powoduje to przemieszczanie się przesiewanej masy ziarnistej w kierunku spadku, co niewątpliwie pogarsza warunki czyszczenia.



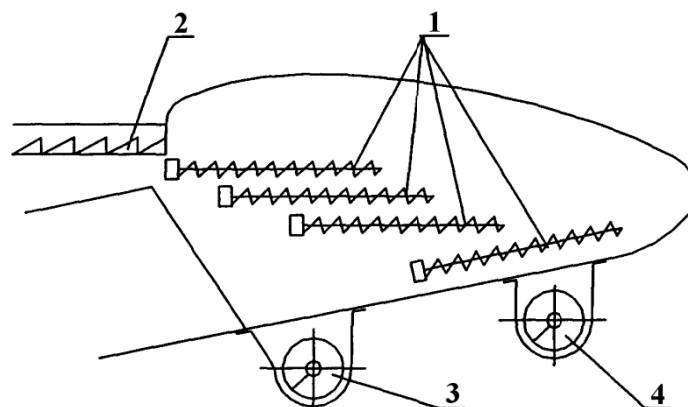
Rys. 20. Kaskadowo-sitowy układ czyszczący; 1 – sita żaluzjowe, 2 – wentylator tłoczący, promieniowy, 3 – przenośnik ziarnowy, 4 – przenośnik kłosowy [Krzysiak 1999]

Fig. 20. Cascade-sieve cleaning unit; 1 – shatter sieve, 2 – radial fan, 3 – grain elevator, 4 – ear elevator

Podobne do wyżej opisanego rozwiązania zespołu czyszczącego zastosowali konstruktorzy rosyjscy z Tuły (rys. 21). Według nich sitowo-grabiowy układ czyszczący charakteryzuje się większą sprawnością i intensywnością czyszczenia. Niemniej jednak w cytowanym i dostępnym piśmiennictwie oprócz opisu konstrukcji brak jest konkretnych wyników badań ww. zespołu. Trudno jest określić, jak zachowują się sita grabiowe w czasie czyszczenia ziarna przy przechyleniu bocznym [Gach i in. 1991, Gieroba, Dreszer 1990].

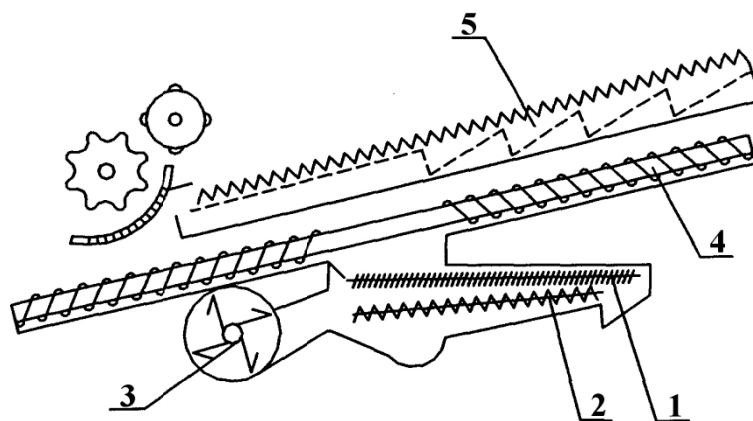
Firma John Deere w kombajnie typu 7700 zamiast podsiewacza zastosowała szereg obracających się ślimaków ustawionych jeden obok drugiego (rys. 22) [Kutzbach, Grobler 1984]. Między poszczególnymi ślimakami 4 ustawione są przegrody, w których przesuwa się czyszczony materiał. Kierunek uzwojenia lewej części ślimaków jest przeciwny do kierunku uzwojenia części prawej. Wskutek tego frakcje materiału przesiane przez klepisko i sita wytrząsaczy 5 transportowane są do części środkowej pozabawionej zwojów, skąd zsypują się do zespołu sit 1, 2. Wadą takiego rozwiązania jest brak drgającego podsiewacza, co pogarsza warunki separacji na sitach. Natomiast korzystną cechą jest mała wrażliwość na przechyły boczne. Materiał po opadnięciu na ślimaki nie zmienia swego położenia przy wzdłużnych i bocznych nachyleniach kombajnu.

W konsekwencji, kombajny wyposażone w tego typu zespoły czyszczące mogą pracować na zboczach. Stanowi to główną zaletę omawianej konstrukcji. Nie uzyskano dla tej konstrukcji zwiększenia wydajności czyszczenia.



Rys. 21. Sitowo-grabiowy układ czyszczący; 1 – sita grabiowe, 2 – podsiewacz 3 – podajnik ślimakowy, ziarnowy, 4 – podajnik ślimakowy kłosowy [Gieroba, Dreszer 1990]

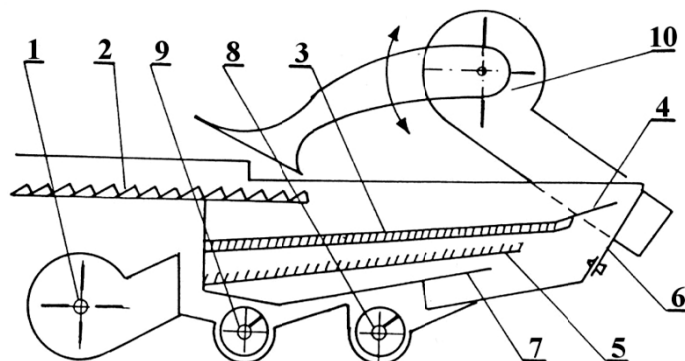
Fig. 21. Rake-sieve clearing unit; 1 – rake sieve, 2 – chaffer, 3 – feed worm of the grain, 4 – feed worm of the ear



Rys. 22. Układ czyszczący z zestawem ślimaków zamiast podsiewacza; 1 – górne sito żaluzjowe, 2 – dolne sito żaluzjowe, 3 – wentylator tłoczący, promieniowy, 4 – ślimak transportujący materiał czyszczony, 5 – wytrząsacz [Kutzbach, Grobler 1984]

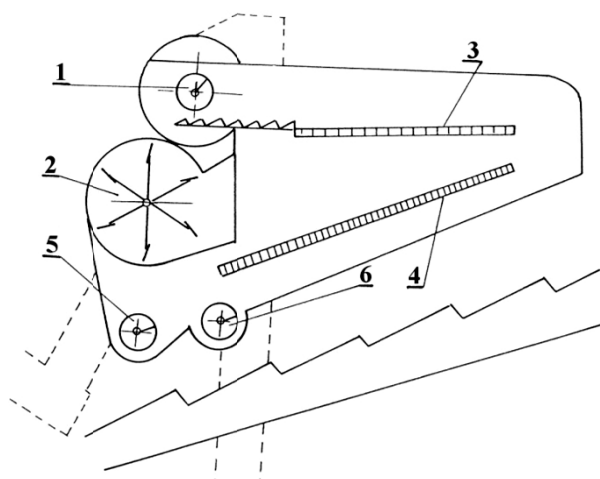
Fig. 22. Clearing unit with set of worm instead of a chaffer; 1 – upper shatter sieve, 2 – lower shatter sieve, 3 – radial fan, 4 – transport worm of cleaning material, 5 – straw shaker

Firma Massey-Ferguson opracowała dla kombajnu zbożowego układ czyszczący z dwoma wentylatorami (rys. 23) [Dreszer i in. 1998a]. Jeden z wentylatorów, podobnie jak w układzie konwencjonalnym, jest wentylatorem promieniowym, tłoczącym 1, umieszczonym pod podsiewaczem. Drugi, ssący wentylator promieniowy 10 umieszczony jest nad sitami. Przewód ssący wentylatora skierowany jest na podsiewacz, skąd wysysa część lekkich zanieczyszczeń takich jak plewy, nasiona chwastów i inne, odciągając w ten sposób konwencjonalny układ sit 3, 5.



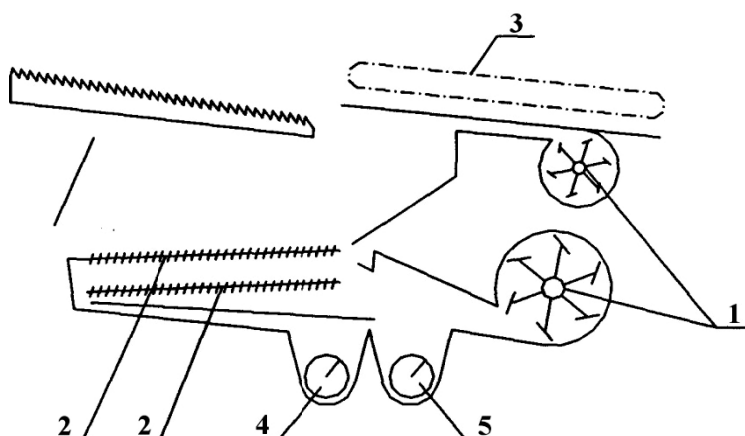
Rys. 23. Układ czyszczący z dodatkowym wentylatorem ssącym nad podsiewaczem firmy Massey-Ferguson; 1 – wentylator ciśnieniowy, 2 – podsiewacz, 3 – sito żaluzjowe górne, 4 – sito kłosowe, 5 – sito żaluzjowe dolne, 6 – przysłona, 7 – zsyp, 8 – przenośnik kłosowy, 9 – przenośnik ziarnowy, 10 – wentylator ssąco-ciśnieniowy [Dreszer i in. 1998a]
 Fig. 23. Clearing unit with extra suction fan over the Massey Ferguson; 1 – pressure fan, 2 – chaffer, 3 – upper shatter sieve, 4 – ear sieve, 5 – lower shatter sieve, 6 – stop, 7 – chute, 8 – ear elevator, 9 – grain elevator, 10 – suction-pressure fan

Włoska firma Fiat w kombajnach typu Laverda stosuje podwójny układ czyszczenia (rys. 24) [Dreszer i in. 1998a]. W miejsce konwencjonalnego układu czyszczącego zastosowano jedno sito otworowe 3. Podsiewacz i wentylator promieniowy pozostały bez zmian. Na sicie otworowym odbywa się wstępne czyszczenie. Dalej ziarno transportowane jest do drugiego, głównego zespołu czyszczącego umieszczonego nad wytrząsaczami. Zespół ten składa się z krótkiego podsiewacza, czterołopatkowego wentylatora promieniowego 2 oraz dwóch sit 3, 4. Pierwsze z nich jest sitem otworowym 3, przez które ziarno jest przesiewane, drugie sitem piaskowym 4 z otworami, przez które ziarno nie przelatuje. Oczyszczone ziarno przemieszcza się po pochylonym sicie piaskowym 4 i wpada do ślimaka 5. Dalej transportowane jest do zbiornika. Natomiast zanieczyszczenia mniejsze od ziarna, np. nasiona chwastów, przesiewane przez sito piaskowe 4, transportowane są ślimakiem 6 do specjalnego pojemnika (worka). Wadą przedstawionej konstrukcji jest brak urządzenia oczyszczającego sito piaskowe, które zapycha się bardzo szybko. Natomiast zaletą tego układu jest wychwytywanie nasion chwastów. Przedstawiony dodatkowy układ czyszczący nie zwiększa wydajności kombajnu, może jedynie podnieść czystość zbieranego ziarna. Diametralnie zmienia się jakość czyszczenia oraz zwiększają się straty ziarna w tym zespole w przypadku pracy kombajnu na terenie nachylonym.



Rys. 24. Układ czyszczenia ziarna firmy Laverda; 1 – ślimakowy przenośnik ziarna z czyszczalni, 2 – wentylator promieniowy, 3 – górne sito otworowe, 4 – dolne sito piaskowe, 5 – ślimak transportujący oczyszczone ziarno do zbiornika, 6 – ślimak transportujący drobne zanieczyszczenia [Dreszer i in. 1998a]

Fig. 24. Laverda clearing unit of the grain; 1 – worm elevator from grain cleaner, 2 – radial fan, 3 – upper opening sieve, 4 – lower sand sieve, 5 – transport worm of clean grain to container, 6 – transport auger of minor impurities

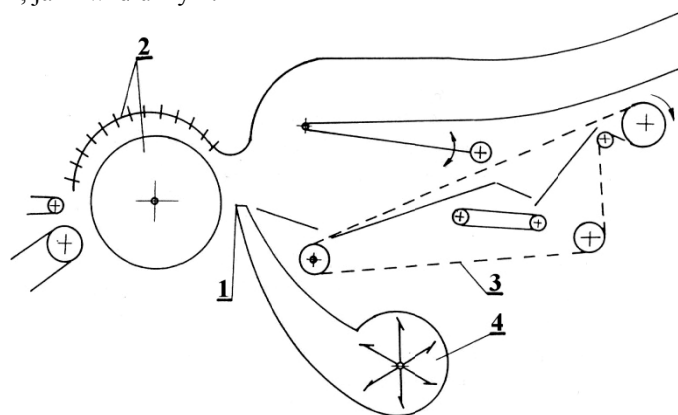


Rys. 25. Układ czyszczący z dwoma wentylatorami promieniowymi; 1 – wentylatory promieniowe, 2 – sita żaluzjowe, 3 – podsiewacz taśmowo-listwowy, 4 – przenośnik ziarnowy, 5 – przenośnik kłosowy [Stelmaszczyk 1978]

Fig. 25. Clearing unit with two radial fans; 1 – radial fan, 2 – shatter sieve, 3 – line-band chaffer, 4 – grain elevator, 5 – ear elevator

Firma Allis Chalmers w modelach „F” i „K” zastosowała dwa wentylatory promieniowe umieszczone jeden nad drugim (rys. 25) [Stelmaszczyk 1978]. Wentylator 1 o większej średnicy spełnia rolę taką jak wentylator w układzie konwencjonalnym, tzn. wytwarza strumień powietrza skierowany pod zespół dwóch sit. Drugi wentylator 1, o mniejszej średnicy, kieruje strumień powietrza w przestrzeń pomiędzy taśmowo-listwowym podsiewacz 3 a sito górne. Dzięki takiemu usytuowaniu kanału wylotowego z drugiego wentylatora następuje wstępne odwianie zanieczyszczeń i w efekcie na sito górne dostaje się ich mniej.

Oryginalne rozwiązanie zespołu czyszczącego przedstawiono na rysunku 26, w którym to dysze wentylatora 1 umieszczono tuż przy wylocie ze szczeliny roboczej zespołu młocącego 2, kierując strumień powietrza przeciwnie do kierunku przepływu masy słomistej [Dreszer i in. 1998a, Kutzbach, Grobler 1984]. Zastosowanie takiej konstrukcji pozwala na całkowitą eliminację wytrząsaczy klawiszowych, a tym samym eliminuje wibracje kombajnu powodowane ich pracą. Natomiast wadą takiego rozwiązania jest konieczność utrzymania w czasie pracy stałego strumienia masy słomistej oraz nierównomierna praca zespołu z sitem taśmowym 3 przy nachyleniu kombajnu zarówno poprzecznym, jak i wzdłużnym.

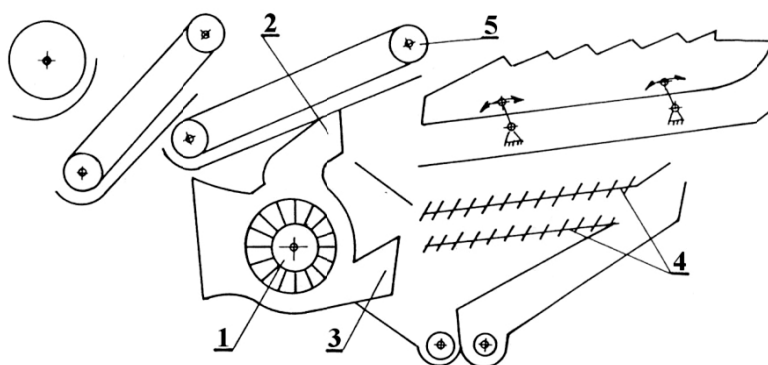


Rys. 26. Układ czyszczący wg projektu Arnolda; 1 – dysza wentylatora, 2 – zespół młocący, 3 – sito, 4 – wentylator [Dreszer i in. 1998a]

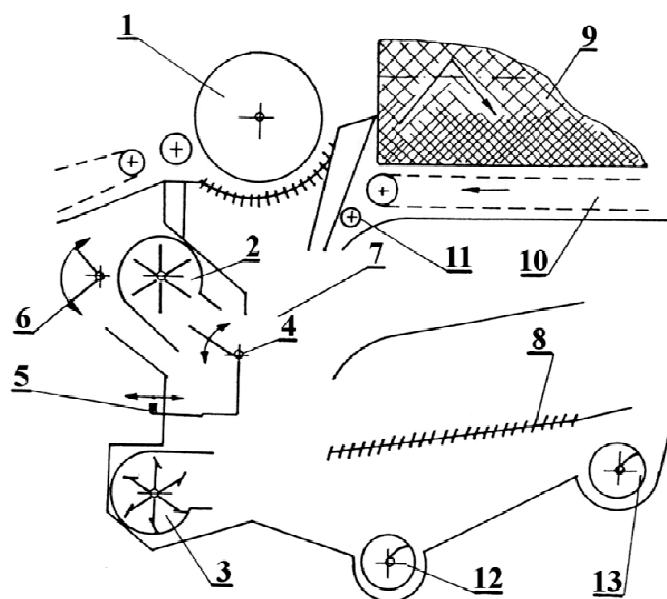
Fig. 26. Clearing unit by Arnold; 1 – fan jet, 2 – grain separator, 3 – sieve, 4 – fan

Kombajn Gleaner 6 – firmy Allis Chalmers (rys. 27) wyposażono w jeden wentylator specjalnej konstrukcji 1, z którego wyprowadzono dwa kanały powietrzne 2 i 3. Jeden strumień skierowany jest pod sito, drugi w przestrzeń pomiędzy podsiewacz a górne sito.

Reed i Bigsby [1977] opatentowali odśrodkowy separator ziarna z dwustopniowym, pneumatycznym układem czyszczenia, który został zastosowany w kombajnie firmy Western Roto-Tresh (rys. 28). W rozwiązaniu tym zastąpiono powszechnie używane wytrząsacze klawiszowe wzdłużnym bębniem sitowym 9. Wydzielanie ziarna z omlóconej masy słomistej w bębnie sitowym 9 następuje w wyniku działania siły odśrodkowej. Oczyszczanie wewnętrznej powierzchni bębna realizowane jest przez zwój śrubowy.



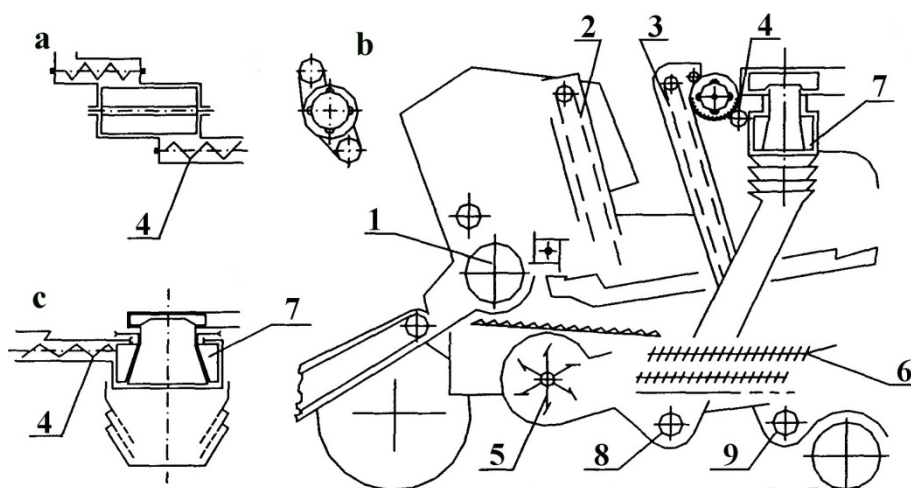
Rys. 27. Układ czyszczący z dwoma kanałami powietrznymi; 1 – wentylator, 2,3 – kanały powietrzne, 4 – kosz sitowy, 5 – podsiewacz [Dreszer i in. 1998a]
 Fig. 27. Cleaning unit with two air streams; 1 – fan, 2 and 3 – air streams, 4 – sieve shoe, 5 – chaffer



Rys. 28. Odśrodkowo-bębnowy separator z pneumatycznym czyszczeniem wg Reeda i Bigsby [1977]; 1 – zespół młóćący, 2 – wentylator ssący, 3 – wentylator ciśnieniowy, 4, 5, 6 – przesłony, 7 – kanał czyszczący (gardziel), 8 – sito, 9 – bęben sitowy, 10 – przenośnik taśmowy, 11 – ślimak wyrównawczy, 12 – przenośnik ziarnowy, 13 – przenośnik kłosów
 Fig. 28. Centrifugal drum separation with pneumatic cleaning by Reed & Bigsby [1977]; 1 – threshing unit, 2 – suction fan, 3 – pressure fan, 4, 5, 6 – stop, 7 – cleaning channel, 8 – sieve, 9 – sieve drum, 10 – band elevator, 11 – leveling worm, 12 – grain elevator, 13 – ear elevator

W procesie technologicznym przeważająca większość wydzielonego ziarna przedostaje się przez otwory klepiska 1 zespołu młócacego, wpadając bezpośrednio do gardzieli 7. Lekkie zanieczyszczenia i ziarno wydzielone w bębnie sitowym spadają na przenośnik taśmowy 10 i ślimak wyrównawczy 11, który podaje odzyskaną masę (ziarno i zanieczyszczenia) do kanału gardzieli 7. Oba strumienie ziarna pochodzące z zespołu młócacego 1 i przenośnika taśmowego 10 łączą się w kanale czyszczącym, który znajduje się w strefie działania ssącego separatora pneumatycznego. Ssący strumień powietrza wytwarzany przez wentylator 2 porywa lekkie zanieczyszczenia i odprowadza do wylotu. Jest to pierwsza faza czyszczenia.

Urządzenie jest dostosowane do czyszczenia różnych gatunków ziarna przez zmianę natężenia przepływu powietrza oraz jego kierunków za pomocą przysłon 4, 5 i 6. Druga faza czyszczenia przebiega w kanale czyszczącym 7, skąd ziarno dostaje się na sito 8 przedmuchiwane strumieniem powietrza pochodzącym z wentylatora tłoczącego 3. Oczyszczone ziarno odprowadzane jest poziomym podajnikiem ziarnowym 12, natomiast niedomłot – poziomym podajnikiem kłosowym 13 celem powtórnego omłotu. Badania eksploatacyjne kombajnu firmy Western Roto-Tresh z przedstawionym układem czyszczenia potwierdziły wysoki stopień sprawności urządzenia zarówno w terenie płaskim, jak i na pochyłościach. Jedynym mankamentem tego zespołu przy pracy w nachyleniu jest sito żaluzjowe 8, które jest nierównomiernie obciążone ziarnem.



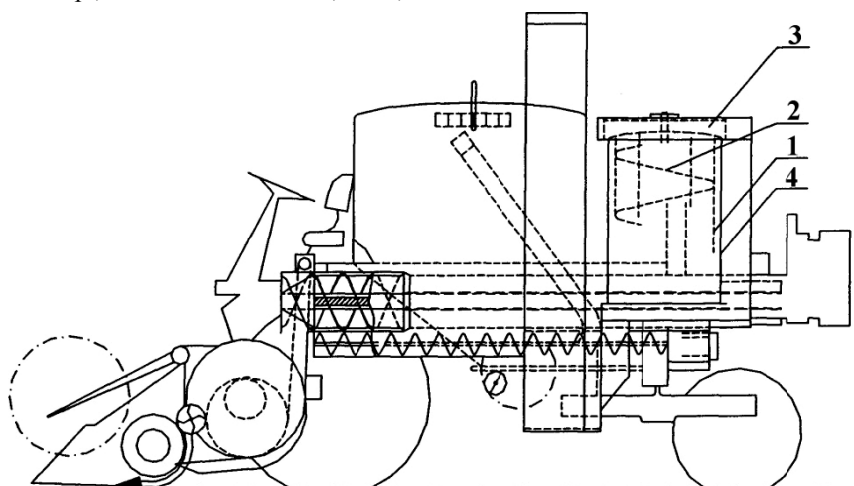
Rys. 29. Układ omłotowo-czyszczący kombajnu SK-5M wg Chałańskiego; a – urządzenie domłacające, b – schemat układu czyszczenia, c – pneumatyczno-odśrodkowy zespół czyszczący, 1 – zespół młócający, 2 – przenośnik ziarnowy, 3 – przenośnik kłosowy, 4 – ślimak zasilający, 5 – wentylator, 6 – sito palcowe, 7 – przyspieszacz rotacyjny, 8 – podajnik ziarnowy, 9 – podajnik kłosowy [Drinca 1997]

Fig. 29. Threshing-clearing unit of combine-harvester SK-5M by Chałańskiego; a – separator device, b – cleaning unit diagram, c – pneumatic-centrifugal cleaning unit, 1 – threshing unit, 2 – grain elevator, 3 – ear elevator, 4 – feeding worm, 5 – fan, 6 – finger sieve, 7 – rotary acceleration, 8 – grain elevator, 9 – ear elevator

Interesujące rozwiązanie pneumatyczno-odśrodkowego zespołu czyszczącego przeznaczonego do kombajnu zbożowego opracował Drinca [1997] (rys. 29). Zastosowanie w kombajnach SK-5M i SK-6II urządzenia domłacającego (rys. 29a) oraz pneumatyczno-odśrodkowego zespołu czyszczącego (rys. 29c) pracującego w układzie jak na rysunku 29b pozwoliło o 50% zwiększyć przepustowość kombajnów przy jednoczesnym polepszeniu jakości czyszczenia ziarna. Przedstawione powyżej rozwiązania zespołów czyszczących dotyczą kombajnu o klasycznej budowie zespołu młocącego, tzn. bębna usytuowanego poprzecznie w stosunku do osi wzdłużnej kombajnu. Podsumowując, należy stwierdzić, że w kombajnach z klasycznym zespołem młocącym można jeszcze zwiększyć wydajność zespołów czyszczących przez zastosowanie dodatkowych wentylatorów ssących, dodatkowych układów czyszczących oraz przez zwiększenie intensywności drgań powierzchni sit.

2.3.2. Zespoły z sitami rotacyjnymi

Niektóre firmy stosują takie rozwiązania konstrukcyjne w kombajnach, w których bęben młocący usytuowany jest wzdłuż jego osi. Dotyczy to firm: John Deere, White Motor Corp., Western Rotor Tresh, Case, New Holland.

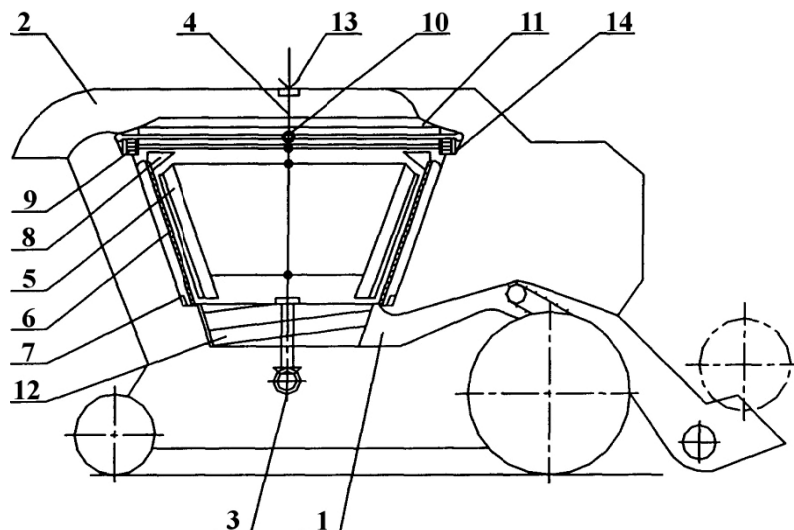


Rys. 30. Układ omłotowo-czyszczący kombajnu firmy White Motor Corp; 1 – cylindryczne sito otworowe, 2 – ślimak, 3 – wentylator ssący, 4 – obudowa [Herbsthofer 1974]

Fig. 30. Threshing-clearing unit of combine-harvester by White Motor Corp; 1 – cylindrical opening sieve, 2 – worm, 3 – suction fan, 4 – housing

Firma White Motor Corp. skonstruowała cylindryczny, pionowo usytuowany układ czyszczący (rys. 30) [Herbsthofer 1974]. Składa się on ze ślimaka 2, opasanego cylindrycznym sitem otworowym 1. Zarówno ślimak, jak i cylindryczne sito 1 znajdują się wewnątrz cylindrycznej płaszczki 4 wykonanej z blachy. W górnej części urządzenia znajduje się wentylator ssący 3. Zasada działania takiego układu czyszczącego polega na tym, że ziarno doprowadzane jest w dolnej części do ślimaka 2, którym transporto-

wane jest dalej pionowo do góry. Wentylator 3 zasysa zanieczyszczenia do góry, poprzez przestrzeń pomiędzy płaszczem obudowy 4 a cylindrycznym sitem 1 i dalej wyprowadzone są one na zewnątrz kombajnu. Ziarło transportowane pionowym ślimakiem 2 przesiewane jest przez sito cylindryczne 1, opada w dół i transportowane jest do zbiornika. Taki układ czyszczący może być wykorzystany do pracy zarówno w terenach płaskich, jak i w terenach górzystych. Zastosowanie sita cylindrycznego nie powinno wpływać przy przechyleniu poprzecznym jak i wzdłużnym na nierównomierne jego obciążenie, jakie występuje przy sitach płaskich.



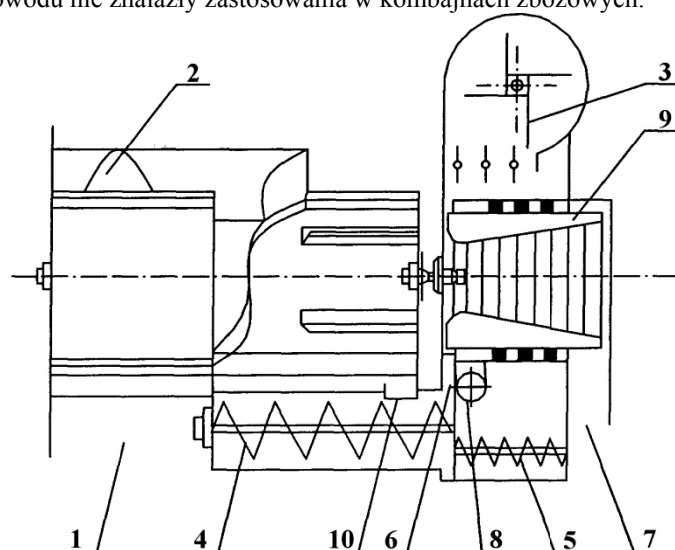
Rys. 31. Układ czyszczący kombajnu firmy J.L. Wise Toronto; 1 – wejście masy zbożowej, 2 – wylot słomy i plew, 3 – napęd, 4 – oś stała, 5 – bęben stały, 6 – stożkowe sito wirujące, 7 – skrzydełko wiatrowe, 8 – skrzydełko do luzowania słomy, 9 – ramię mieszające (stałe), 10 – wylot ziarna, 11 – obudowa, 12 – stożkowy ślimak młócający, 13 – urządzenie regulujące odległość kosza, 14 – pierścień wirujący [Herbsthofer 1974]

Fig. 31. Clearing unit of combine-harvester by J. L. Wise Toronto; 1 – grain mass input, 2 – straw and chaff outlet, 3 – drive, 4 – constant axis, 5 – constant cylinder, 6 – cone rotating sieve, 7 – wind wing, 8 – wing for breaking the straw, 9 – mixing arm (constant), 10 – grain out let, 11 – housing, 12 – cone separating worm, 13 – device which adjust shoe distance, 14 – rotating ring

Firma J.L. Wise Toronto w produkowanym przez siebie kombajnie zastosowała młocarnię stożkową usytuowaną pionowo [Herbsthofer 1974]. Występuje tu również cylindryczny pionowy układ czyszczenia (rys. 31). Proces wydzielania ziarna rozpoczyna się na dole na stożkowym ślimaku młócającym 12. Następnie masa zbożowa podawana jest do góry do układu czyszczącego. Ziarło przedostaje się przez otwory w stożkowym sicie 6, natomiast masa słomiasta przesuwana dalej ku górze, gdzie dzięki skrzydełkom luzującym 8 i układowi mieszającemu wydzielane są resztki ziarna, które opadają na dół. Słoma wydostaje się na zewnątrz górnym otworem w tylnej części kombajnu. W dolnej części kosza zasypowego znajdują się skrzydełka wiatrowe 7 peł-

niące rolę wentylatora. Lekkie zanieczyszczenia wydmuchiwane są w kierunku pionowym i wylatują razem ze słomą. Przedstawione rozwiązanie konstrukcyjne pozwala zmniejszyć wymiary kombajnu przy jednoczesnym zwiększeniu przepustowości i wydajności układu czyszczącego, co w przypadku pracy kombajnu na zboczu – przeciwdziała niekorzystnym zjawiskom, jakie występują przy czyszczeniu na sitach żaluzjowych.

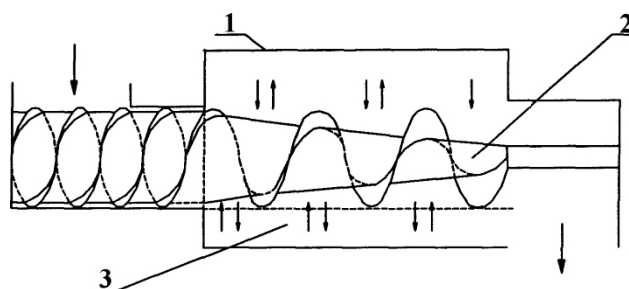
Firma John Deere opracowała osiowy, poziomy system omlotu i czyszczenia, który można zastosować w układzie z klasycznym mechanizmem młóącym [Krzysiak 1999]. Zasada działania układu, który został przedstawiony na rysunku 32, jest następująca. Materiał czyszczony transportowany jest do poziomego kosza cylindrycznego 9, który owiewany jest strumieniem powietrza wytwarzanym przez umieszczony u góry promieniowy wentylator tłoczący 3. Grubsze zanieczyszczenia, takie jak kłosa i krótka słoma, odprowadzane są przenośnikiem ślimakowym 8 w początkowej części bębna, natomiast lekkie zanieczyszczenia i plewy wydmuchiwane są na zewnątrz kanałem 7 w końcowej części bębna. Czyszczone ziarno przedostaje się przez cylindryczne sito i dalej przenośnikiem ślimakowym 5 transportowane jest do zbiornika. Przedstawione na rysunkach 31 i 32 zespoły czyszczące charakteryzują się niewielką skutecznością czyszczenia, z tego też powodu nie znalazły zastosowania w kombajnach zbożowych.



Rys. 32. Schemat układu czyszczącego firmy John Deere; 1 – doprowadzenie masy zbożowej, 2 – mechanizm młóący, 3 – wentylator promieniowy, 4 – ślimak transportujący materiał czyszczony, 5 – ślimak ziarnowy, 6 – doprowadzenie materiału czyszczonego, 7 – wylot plew, 8 – odprowadzenie grubszych zanieczyszczeń, 9 – bęben sitowy, 10 – wylot słomy [Krzysiak 1999]

Fig. 32. Clearing unit of combine-harvester by John Deere; 1 – grain mass let inlet, 2 – separation mechanism, 3 – radial fan, 4 – transport worm of clean material, 5 – grain worm, 6 – cleaning material inlet, 7 – chaff outlet, 8 – bigger impurities outlet, 9 – sieve cylinder, 10 – straw outlet

Zastosowanie na szerszą skalę zespołów młócących usytuowanych wzdłuż osi kombajnu stawia nowe, ważne zadania zespołom czyszczącym. Od wielu lat prowadzi się szereg badań zmierzających do opracowania skutecznego zespołu czyszczącego tego typu. Taki zespół jako pierwsi w latach siedemdziesiątych opracowali amerykańscy konstruktorzy, a jego schemat przedstawiono na rysunku 33 [Stelmaszczyk 1978]. Urządzenie to składa się ze ślimaka 2 o zmiennym skoku i średnicy rdzenia, umieszczonego w specjalnym cylindrycznym sicie daszkowym 1 z komorą powietrzną 3. Długość sita równa jest długości komory 3. Istotą tego urządzenia jest to, że objętość pierścieniowej komory powietrznej jest większa od walcowej objętości wewnętrznej sita. Ponadto układ ten posiada możliwość zastosowania dwóch systemów kierowania powietrza. Pierwszy polega na tłoczeniu powietrza do komory poprzez rdzeń ślimaka 2, a drugi na zasysaniu powietrza z zewnątrz. Brak jest dostępnych wyników badań tego urządzenia, ale lepszym rozwiązaniem wydaje się być stosowanie zassania powietrza, ponieważ przy tłoczeniu istnieje możliwość skierowania części strumienia przez wlot i wylot masy zbożowej.

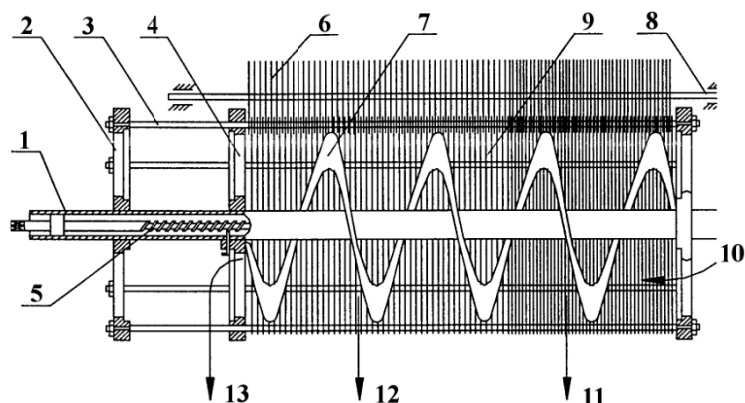


Rys. 33. Schemat urządzenia służącego do wydzielania i czyszczenia ziarna; 1 – specjalne cylindryczne sito daszkowe, 2 – ślimak, 3 – komora powietrza [Stelmaszczyk 1978]

Fig. 33. Diagram of device which cleans grain; 1 – cylindrical canopy sieve special, 2 – worm, 3 – air space

W niektórych modelach kombajnów zbożowych zespoły czyszczące, oprócz sit płaskich, wyposażone są w dodatkowe sita cylindryczne (rys. 34) [Kanafojski, Karwowski 1972]. Powierzchnię cylindryczną tworzą zwoje drutu 9 o średnicy 3–3,5 mm. Drut jest nawinięty wg linii śrubowej w taki sposób, że między poszczególnymi zwojami powstają szczeliny o określonej szerokości. Zasada działania sita cylindrycznego jest następująca – na spód cylindra 9 doprowadzana jest masa ziarna, która przesuwana jest ślimakiem 7 umieszczonym wewnątrz bębna wzdłuż jego osi. Podczas ruchu – ziarna na skutek tarcia unoszone są przez wewnętrzną powierzchnię cylindra 9. Odpowiednie zamocowanie końców zwojów umożliwia ich wzajemne zbliżanie lub oddalanie. W ten sposób reguluje się wielkość szczeliny między sąsiednimi zwojami zależnie od rodzaju sortowanego ziarna. Sito cylindryczne 9 sortuje materiał podobnie jak sito z podłużnymi otworami prostokątnymi na zasadzie najmniejszego wymiaru nasion. Nasiona o najmniejszej grubości wysypują się przez węższe szczeliny w pierwszej części płaszcza cylindrycznego. Nasiona o większej grubości przesiewają się przez szersze szczeliny w drugiej części płaszcza. Natomiast nasiona, których grubość uniemożliwia przesypywanie się przez szczeliny cylindra 9, wysypują się na zewnątrz. Średnica cylindra, zależnie

od żądanej wydajności pracy, waha się w granicach 300–500 mm, a liczba obrotów – w granicach od 4,7 do 7,9 $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Podczas ruchu nasion w cylindrze niektóre z nich zakleszczają się między zwojami. W celu oczyszczenia powierzchni sita cylindrycznego 9 stosuje się odpowiednie szczotki oczyszczające 6. Szczotki te mogą być przesuwane, co pozwala na większe lub mniejsze ich dociśnięcie do powierzchni cylindra. Badania wykazały, że jakość sortowania na sitach cylindrycznych jest lepsza niż na sitach płaskich. Poza tym płaskie sita o tej samej wydajności zajmują więcej miejsca niż sita cylindryczne. Ponadto wymiana sit płaskich jest bardziej kłopotliwa niż zmiana szerokości szczelin między zwojami sita cylindrycznego. Dodatkową zaletą tego rozwiązania jest możliwość jego wykorzystania w kombajnach pracujących na pochyłościach bez zmniejszenia efektywności czyszczenia.

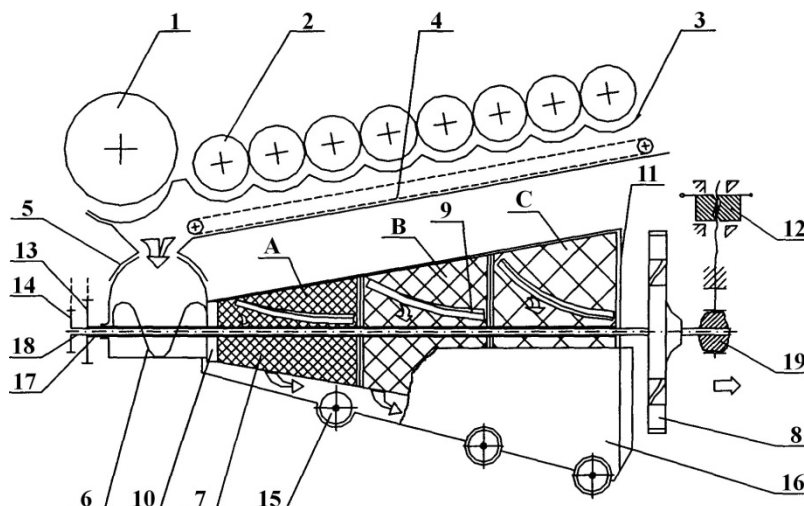


Rys. 34. Schemat cylindrycznego sortownika; 1 – wydrążony wał, 2 – ramię pierścienia, 3 – pręt, 4 – pierścień przesuwny, 5 – wrzeciono, 6 – cylindryczna szczotka, 7 – ślimak przesuwający ziarno, 8 – wałek szczotki, 9 – zwoje drutu tworzące powierzchnię cylindryczną, 10 – wlot ziarna, 11 – szczupłe ziarno, 12 – grubsze ziarno, 13 – najgrubsze ziarno [Kanafojski, Karwowski 1972]

Fig. 34. Diagram of cylinder sorter; 1 – hollow shaft, 2 – shoulder of ring, 3 – rod, 4 – sliding ring, 5 – spindle, 6 – cylinder brush, 7 – shoving grain, 8 – snail-roll of brush, 9 – of wire creator cylinder surface, 10 – rolls-inlet of grain, 11 – slim grain, 12 – fatter grain, 13 – the fattest grain

Oryginalne rozwiązanie stożkowego rotacyjnego zespołu czyszczącego przedstawiono na rysunku 35 [Gieroba i in. 1980]. Konstrukcja sita 7 składa się z trzech segmentów A, B, C w kształcie poboczniczy stożka ściętego, którego mniejszy otwór 10 skierowany jest do kosza zasypowego. Od strony większego otworu 11 umieszczony jest współosiowo osiowy wentylator ssący 8. Bęben sitowy 7 ułożyskowany jest obrotowo względem własnej osi wzdłużnej, natomiast na wewnętrznej stronie sita umieszczone są skośne rynny zabierające 9. Rynny te obracając się równocześnie z bębniem sitowym 7, podnoszą ziarno, które na pewnej wysokości wysypuje się w ssący strumień powietrza. Sito 7 wraz z wentylatorem 8 wyposażone jest w mechanizm podnoszący 12, umożliwiający zmianę kąta pochylenia sita 7 względem poziomu. Na całej długości sita

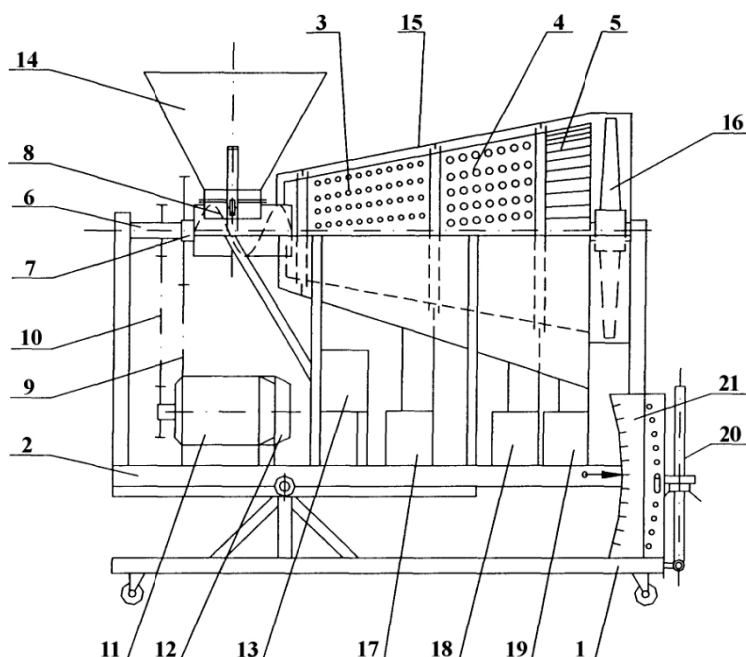
znajduje się obudowa 16 wyposażona w dolnej jego części w przenośniki śrubowe poziome 15 do odprowadzania poszczególnych frakcji. Zespół ten charakteryzuje się następującymi cechami: dużą intensywnością i sprawnością czyszczenia, małymi gabarytami, zmniejszeniem strat podczas pracy na terenach nachylonych z uwagi na małą wrażliwość na przechyły boczne i zastosowanie mechanizmu regulacji poziomu.



Rys. 35. Schemat zespołu omlotowo-czyszczącego; 1 – bęben młócający, 2 – bęben separujący, 3 – klepisko, 4 – przenośnik taśmowy, 5 – kosz zasypowy, 6 – ślimak zasilający, 7 – stożkowe sito, 8 – wentylator ssący, 9 – rynna zabierająca, 10 – mniejszy otwór sita, 11 – większy otwór sita, 12 – mechanizm podnoszący, 13 – koło pasowe, 14 – koło napędowe wałka wentylatora, 15 – przenośnik śrubowy, 16 – obudowa, 17 – wał napędowy bębna sitowego, 18 – wałek wentylatora, 19 – obejma [Gieroba i in. 1980]

Fig. 35. Diagram threshing-clearing of the team; 1 – threshing drum, 2 – separating drum, 3 – threshing floor, 4 – belt conveyor, 5 – pour basket, 6 – feeding snail, 7 – conical sieve, 8 – sucking ventilator, 9 – taking gutter, 10 – smaller opening of sieve, 11 – larger opening of sieve, 12 – raising mechanism, 13 – belt wheel, 14 – driving wheel of roll of ventilator, 15 – helical conveyor, 16 – casing, 17 – driving rampart of sieve drum, 18 – roll of ventilator, 19 – the yoke

Podobne rozwiązanie stożkowego rotacyjnego zespołu czyszczącego pokazano na rysunku 36 [Krzysiak 1999]. Jest to konstrukcja, którą zaprojektowano i wykonano w Akademii Rolniczej w Lublinie. Składa się ono z: kosza sitowego podzielonego na trzy segmenty (piaskowy 3, ziarnowy 4 i kłosowy 5), zbiornika zasypowego 14, wentylatora 16, zbiorników: zanieczyszczeń 17, ziarna 18 i kłosów 19 oraz układu napędowego i regulacyjnego. Przeprowadzone przez Krzysiaka [1999] badania wykazały, że stożkowy zespół czyszczący może być zastosowany w kombajnie zbożowym lub jako stacjonarne urządzenie czyszczące. Omawiany zespół osiągnął dużą skuteczność pracy w zakresie prędkości obrotowej bębna od 0,53 do 2,09 $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$. Sito stożkowe nie zapychało się, a także nie zauważono uszkodzeń ziarna przy różnych parametrach jego pracy.



Rys. 36. Schemat stanowiska badawczego zespołu rotacyjnego czyszczącego; 1 – rama stała, 2 – rama ruchoma, 3 – segment piaskowy, 4 – segment ziarnowy, 5 – segment kłosowy, 6 – wał napędowy wentylatora, 7 – wał napędowy bębna sitowego, 8 – ślimak podający, 9 – przekładnia łańcuchowa wentylatora, 10 – przekładnia łańcuchowa bębna, 11 – silnik elektryczny do napędu wentylatora, 12 – silnik elektryczny do napędu bębna sitowego, 13 – układ sterujący pracą silników, 14 – zbiornik zasypowy, 15 – obudowa, 16 – wentylator, 17 – zbiornik drobnych zanieczyszczeń, 18 – zbiornik ziarnowy, 19 – zbiornik kłosowy, 20 – śruba regulacyjna, 21 – wskaźnik kąta pochylenia bębna sitowego [Krzysiak 1999]

Fig. 36. Diagram of position of investigative rotary team purgative; 1 – the frame stood, 2 – movable frame, 3 – sand segment, 4 – grain segment 5 – ear segment, 6 – driving rampart of ventilator, 7 – driving rampart of sieve drum, 8 – server snail, 9 – chain transmission of ventilator, 10 – chain transmission of drum, 11 – the electric engine to drive of ventilator, 12 – the electric engine to drive of sieve drum, 13 – steering with work of engines, 14 – arrangement – pour reservoir, 15 – casing, 16 – ventilator, 17 – reservoir of changes of dirts, 18 – grain reservoir, 19 – ear reservoir, 20 – regulating screw, 21 – the coefficient of angle of inclination sieve drum

2.3.3. Ocena zespołów czyszczących

Dokonana analiza poszczególnych rozwiązań konstrukcyjnych upoważnia do stwierdzenia, że do tej pory nie skonstruowano wysoce efektywnego układu czyszczącego, który zadowoliliby wszystkich jego użytkowników oraz mogącego sprostać wymaganiom kombajnów o dużej przepustowości i pracujących na pochyłościach [Beck 1994, Bernhardt 1994, Gieroba i in. 1980, Gieroba, Dreszer 1990, 1994, Kutzbach, Wacker 1992a, Zanko, Dispov 1996].

Analizując udoskonalenia konstrukcji poszczególnych zespołów czyszczących, obserwuje się tendencję do zwiększania długości sita do 1,8 m (New Holland S1550), wprowadzania trójstopniowych układów sitowych (MF 760) oraz zastąpienia wentylatorów promieniowych osiowymi i odśrodkowymi (Fahr M 1300, Case International Harvester). W celu zwiększenia równomierności podawania masy zbożowej z klepiska i wytrząsaczy w kombajnie John Deere 7700 zastosowane są układy sześciu przenośników ślimakowych, których zwoje o zmiennym pochyleniu podają masę bardziej równomiernym strumieniem w określone, stałe miejsce podsiewacza. Takie rozwiązanie wpływa na polepszenie jakości pracy w kombajnach pracujących na zboczach poprzez równomierne podawanie masy czyszczonego ziarna do zespołu czyszczącego. Prace nad zespołami czyszczącymi prowadzone są także w kierunku zmniejszenia obciążeń dynamicznych powodujących drgania kombajnu oraz w kierunku wytworzenia równomiernej strugi powietrza na powierzchni sit czyszczących.

Praca układu czyszczącego decydującego o wielkości strat ziarna związana jest z działaniem zespołu młocącego kombajnu i wytrząsaczy. W konstrukcji zespołu wytrząsaczy wprowadzono dotychczas najwięcej zmian. Zwiększenie skuteczności wydzielenia ziarna ze słomy rozwiązano przez umieszczenie dodatkowych urządzeń nad wytrząsaczami, które wspomagają ich działanie. Firma John Deere zastosowała dodatkowy przetrząsacz umieszczony nad klawiszowym wytrząsaczem. Odmienne urządzenie wspomagające stosuje firma Claas w kombajnach Dominator 85/105. Zasada działania tego urządzenia zbliżona jest do pracy przetrząsacza widłowego. Istnieją również inne rozwiązania konstrukcyjne w postaci bębnowych i rotacyjnych separatorów ziarna, jednak nie znalazły one dotychczas szerszego zastosowania. Jedynie w kombajnie kanadyjskim (Western Rotor Tresh) zamiast wytrząsaczy klawiszowych zastosowano sito obrotowe. Jednak ze względu na duże gabaryty sita (średnica – 1,7 m i długość – 2,7 m), rozwiązanie to spowodowało zwiększenie gabarytów konstrukcyjnych układu czyszczenia w porównaniu z układem z wytrząsaczami klawiszowymi. Rozwój konstrukcji zespołów młocąco-wydzielających z poosiowym przepływem zboża przez bęben młocący znalazł zastosowanie w kombajnach zbożowych Case International Harvester modele 2166, 2166E, i 2188 oraz New Holland typ TR-75; 85; 95. Pracę tych kombajnów charakteryzuje zwiększone obciążenie zespołu czyszczącego plewami i krótką słomą zawartą w wydzielonej masie ziarnistej [Gieroba, Dreszer 1993, Kutzbach, Grobler 1984, Waszkiewicz i in. 1989].

Z przedstawionego przeglądu stosowanych w praktyce zespołów czyszczących wynika, że większość kombajnów ma konwencjonalny zespół czyszczący. W kombajnach z układami rotacyjnymi trudno wydzielić zespół czyszczący, często stanowiący jedną całość z zespołem młocącym. Szereg firm wprowadza różne udoskonalenia, ale efekty ich zastosowania nie zawsze odnoszą się do pracy w terenach nachylonych.

Zespoły czyszczące o sitach rotacyjnych i stałych otworach znalazły zastosowanie w niektórych kombajnach zbożowych produkowanych w Kanadzie i USA. Jest to uzasadnione tym, że w tych krajach kombajny są wykorzystywane praktycznie tylko do zbioru zbóż, a właściwie do zbioru pszenicy. W krajach europejskich potrzebne są kombajny zbożowe z zespołami czyszczącymi, za pomocą których można zbierać oprócz zbóż chlebowych i kukurydzy także rzepak, nasiona traw i innych roślin. Dlatego najlepszym rozwiązaniem jest sito żaluzjowe o zmiennych (regulowanych) szczelinach roboczych.

Brak jest jednak opisu kompleksowych badań eksperymentalnych dotyczących pracy nowych rozwiązań zespołów czyszczących, szczególnie tych z sitami kształtowymi. W tej sytuacji wydaje się, że rozwiązanie problemu czyszczenia ziarna w kombajnach pracujących na zboczach można osiągnąć poprzez budowę nowego zespołu czyszczącego, w którym sito żaluzjowe płaskie zostanie zastąpione sitem o zmiennej geometrii. Ponadto, jak wynika z literatury, problem separacji ziarna w kombajnach zbożowych jest niezwykle skomplikowany i trudny do opisu, stąd też jest niechętnie podejmowany przez badaczy.

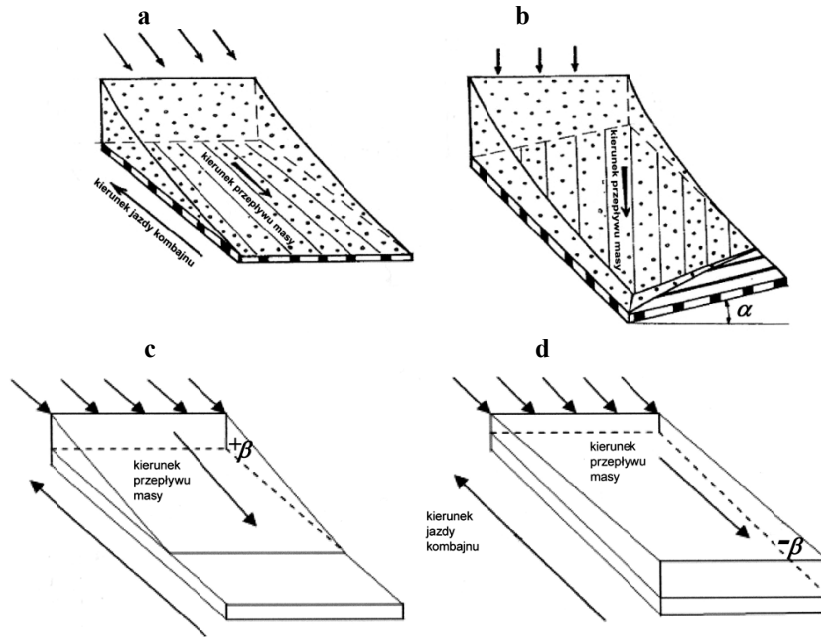
2.4. Separacja ziarna przy zmiennym obciążeniu sit

2.4.1. Analiza procesu przesiewania ziarna na nachylonym sicie płaskim

Kombajn pracujący w terenie o zróżnicowanym nachyleniu może znajdować się w stanie pochylenia podłużnego, poprzecznego oraz podłużno-poprzecznego. Przypadek ostatni należy traktować jako pośredni między podłużnym i poprzecznym, w sensie zachodzących zjawisk fizyko-mechanicznych i ich skutków [Banasiak 1999].

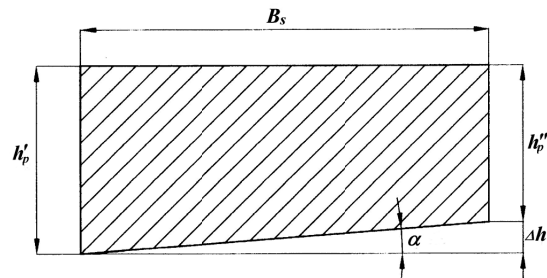
Analizę nachylenia podłużnego należy rozpatrywać oddzielnie w nachyleniu związanym z jazdą „pod górę” oraz z jazdą „z góry”. W obydwu przypadkach mamy do czynienia ze zmianą nachylenia płaszczyzny płaskich sit, podsiewacza, wytrząsacza i wialni. Rysunek 37a przedstawia model zmiany przepływu ziarna po powierzchni sit na terenie płaskim. Zmiana nachylenia sit wywołuje zmianę prędkości materiału „spływającego” po ich powierzchni, a co za tym idzie, zmianę ich przepustowości jednostkowej. Rozpatrując przypadek jazdy kombajnu „z góry” (rys. 37c), w strefie małych nachyleń zbocza możemy spotkać się ze zjawiskiem korzystnym – masa omlotowa przemieszcza się z mniejszą prędkością, co prowadzi do wydłużenia procesu czyszczenia ziarna. W czasie jazdy „pod górę” (rys. 37d) siła ciężkości powoduje nadmierny wzrost prędkości masy omlotowej przemieszczającej się po powierzchni sit, maleje wtedy ich przesiewalność, rosną straty ogólne ziarna. W przypadku pochyłeń bocznych (na prawo i lewo) prędkość przemieszczania masy omlotowej nie ulega zmianie. Pochylenie boczne sita o kąt α powoduje uniesienie bocznej jego krawędzi i zmianę kierunku przepływu masy zbożowej (rys. 37b).

Posługując się analogią do mechaniki płynów, należy przyjąć, że bez względu na kąt α nachylenia bocznego sita masa omlotowa zachowuje poziom w przekroju poprzecznym (rys. 38) [Detyna 2000].



Rys. 37. Rozmieszczenie masy na powierzchni sita podczas pracy kombajnu zbożowego w terenie; a) płaskim, b) nachylonym bocznie, c) nachylonym wzdłużnie z góry, d) nachylonym wzdłużnie pod górę. α – poprzeczny kąt nachylenia płaszczyzny głównej sita, β – wzdłużny kąt nachylenia płaszczyzny sita [Banasiak 1999, Pogoda 2007]

Fig. 37. The distribution of mass on surface of sieve during work of cereal combines harvester in terrain; a) flat, b) sloping by sides, c) sloping longitudinal from mountain, d) sloping longitudinal under mountain. α – the transverse angle of inclination of main plane of sieve, β – the longitudinal angle of inclination of plane of sieve



Rys. 38. Przekrój poprzeczny przez warstwę ziarna na początku sita pochylonego pod kątem α do poziomu; B_s – szerokość robocza sita, h_p' , h_p'' – wysokość warstwy ziarna na początku sita dla $\alpha \geq 0^\circ$, Δh – różnica wysokości warstwy ziarna [Detyna 2000]

Fig. 38. Cut transverse through layer of grain on beginning of oblique sieve under angle α to level. B_s – the working width of sieve, h_p – the height of layer of cereal mass on beginning of sieve for $\alpha = 0^\circ$, near capacity the Q_p , h_p' – the height of layer of cereal mass on beginning of sieve for $\alpha > 0^\circ$, near capacity the isolated Q_p' , h_p'' – the height of layer of cereal mass on beginning of sieve for $\alpha > 0^\circ$, near capacity the isolated Q_p''

W celu analizy zachowania się ziarna na sicie nachylonym wprowadzono następujące oznaczenia:

- h_p – wysokość warstwy ziarna na początku sita dla $\alpha = 0^\circ$, przy przepustowości Q_p ,
- h'_p – wysokość warstwy ziarna na początku sita dla $\alpha > 0^\circ$, przy przepustowości jednostkowej Q'_p ,
- h''_p – wysokość warstwy ziarna na początku sita dla $\alpha > 0^\circ$, przy przepustowości jednostkowej Q''_p ,
- $h'_p > h_p > h''_p$
- $\alpha > 0^\circ$ wtedy $\Delta h = h'_p - h''_p$
- $h'_p = h_p + \Delta h/2$ i $h''_p = h_p - \Delta h/2$
- B_s – szerokość robocza sita [m],
- ρ – masa objętościowa przesiewanego materiału [kg m^{-3}],
- v – prędkość początkowa [m s^{-1}].

Początkowe obciążenie przypadające na 1 m szerokości sita pracującego w warunkach terenów płaskich wynosi:

$$q_p = Q_p / B_s \quad [\text{kg (m}\cdot\text{s)}^{-1}] \quad (2.25)$$

i jest stałe na całej jego szerokości, a grubość warstwy na początku sita wynosi:

$$h_p = Q_p / B_s \cdot v \cdot \rho \quad [\text{m}] \quad (2.26)$$

Po przekształceniach:

$$B_s \cdot v \cdot \rho = Q_p / h_p \quad [\text{m}] \quad (2.27)$$

Dla maszyny nachylonej poprzecznie pod kątem α do poziomemu obciążenie sita oraz wysokość warstwy czyszczonej zmieniają się na szerokości:

$$h_{px} = Q_{px} / B_{sx} \cdot v \cdot \rho \quad \text{gdzie } B_{sx} \rightarrow 0 \quad [\text{m}] \quad (2.28)$$

Po przekształceniu:

$$B_{sx} \cdot v \cdot \rho = Q_{px} / h_{px} \quad [\text{m}] \quad (2.29)$$

Na brzegach sita:

$$B_{sx} \cdot v \cdot \rho = Q'_p / h'_p \quad [\text{m}] \quad (2.30)$$

$$B_{sx} \cdot v \cdot \rho = Q''_p / h''_p \quad [\text{m}] \quad (2.31)$$

natomiast w środku:

$$B_{sx} \cdot v \cdot \rho = Q_p / h_p \quad [\text{m}] \quad (2.32)$$

przyjmując $a = B_s \cdot v \cdot \rho$, otrzymujemy:

$$a = Q_p / h_p = Q'_p / h'_p = Q''_p / h''_p \quad [^0] \quad (2.33)$$

stąd

$$Q'_p = Q_p / h_p \cdot h'_p \quad [\text{kg s}^{-1}] \quad (2.34)$$

$$Q''_p = Q_p / h_p \cdot h''_p \quad (2.35)$$

przyjmując z kolei $Q_p / h_p = b$, otrzymujemy:

$$Q'_p = b \cdot h'_p \quad [\text{kg s}^{-1}] \quad (2.36)$$

analogicznie

$$Q''_{p.} = b \cdot h''_{p.} \text{ [kg s}^{-1}\text{]} \quad (2.37)$$

Podstawiając $h'_{p.}$ i $h''_{p.}$, otrzymujemy:

$$Q'_{p.} = b \cdot (h_p + \Delta h/2) \text{ [kg s}^{-1}\text{]} \quad (2.38)$$

$$Q''_{p.} = b \cdot (h_p - \Delta h/2) \text{ [kg s}^{-1}\text{]} \quad (2.39)$$

Z zależności geometrycznych: $\tan \alpha = \Delta h/B_s \Rightarrow \Delta h = B_s \cdot \tan \alpha$;
podstawiając do powyższych zależności, ostatecznie otrzymamy:

$$Q'_{p.} = b \cdot [h_p + (B_s \cdot \tan \alpha)/2] \text{ [kg s}^{-1}\text{]} \quad (2.40)$$

oraz

$$Q''_{p.} = b \cdot [h_p - (B_s \cdot \tan \delta)/2] \text{ [kg s}^{-1}\text{]} \quad (2.41)$$

Bezpośrednio z obciążeniem sita (a ściślej z wysokością warstwy materiału) wiąże się jednostkowa przesiewalność ziarna.

Jeżeli ogólną przesiewalność oznaczmy przez $P \text{ [kg s}^{-1}\text{]}$, to na odcinku sita o długości L_s i szerokości B_{sx} (gdzie $B_{sx} \rightarrow 0$) jednostkowa przesiewalność wynosi:

$$p = P/(B_{sx} \cdot L_s) \text{ [kg m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}\text{]} \quad (2.42)$$

Miejscowe obciążenie sita wyraża się wzorem:

$$Q = Q_p - P \text{ [kg s}^{-1}\text{]} \quad (2.43)$$

W tym przypadku zasadniczej zmianie ulega przepustowość jednostkowa urządzeń czyszczących (odniesiona do powierzchni czyszczącej), przy jednoczesnym zachowaniu przepustowości ogólnej maszyny.

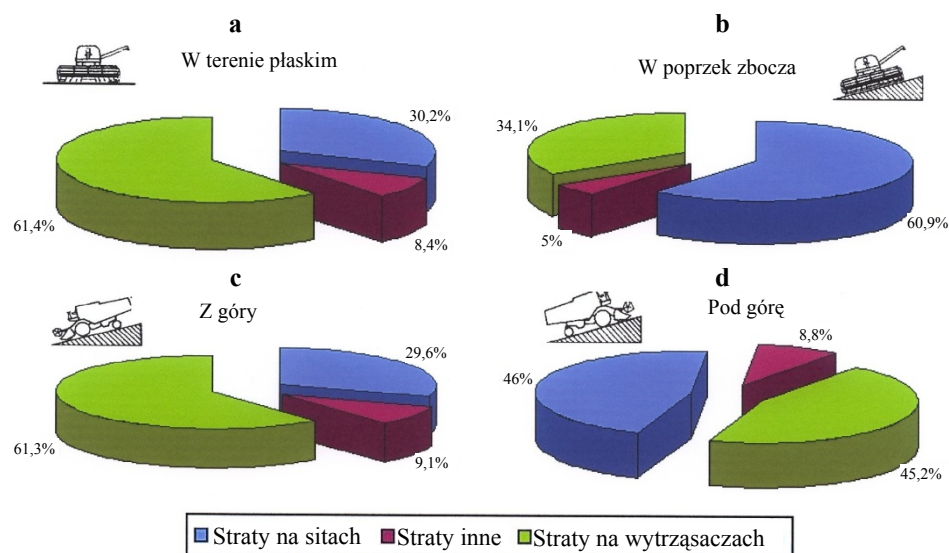
Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że przepustowość sita nachylonego poprzecznie zmienia się na jego szerokości. Przy większych nachyleniach może dochodzić do sytuacji, w których część sita nie jest w ogóle obciążona, a część nadmiernie obciążona. Wiąże się to ze zmniejszeniem miejscowej jednostkowej przesiewalności, a w końcowym efekcie – ze wzrostem strat w zespole czyszczącym kombajnu. Dlatego należy szukać takich rozwiązań zespołów czyszczących, które będą eliminowały tę niedogodność.

2.4.2. Rozwiązania konstrukcyjne stosowane w kombajnach w wersji górskiej

W procesie produkcji roślinnej stosuje się wiele maszyn do zbioru płodów rolnych. Pracują one efektywnie, jeżeli ich zespoły robocze zajmują wymagane położenie w stosunku do poziomu powierzchni pola lub zbieranych roślin. Jakość i efektywność pracy kombajnów zbożowych ulega znacznemu pogorszeniu podczas zbioru zbóż na zboczach. Wzrastają straty i zanieczyszczenia ziarna wynikające z nierównomiernego obciążenia zespołów wydzielających i czyszczących [Gieroba i in. 1980, Gieroba i Rejak

1986, Kutzbach 1985, Maleř 1988, Miłosz 1992, Ukalski i in. 1980]. Praca maszyn w terenie pochyłym wiąże się także z pogorszeniem ich właściwości trakcyjnych. Wpływa to na zwiększenie obciążenia psychofizycznego operatora i zmniejszenie wydajności eksploatacyjnej maszyny [Rewiakin, Rusanow 1987, Roszkowski 1989].

Materiał omlotowy w zespole młócająco-czyszczącym przesypuje się w stronę pochylenia maszyny. Zjawisko to ze względu na jakość czyszczonej mieszaniny szczególnie mocno występuje w koszu sitowym. Aby wyeliminować opisane niedogodności podczas pracy maszyn na terenach nachylonych, firmy Allis – Chalmers, John Deere, New Holland, Fahr, Laverda prowadzą prace nad zmianami konstrukcyjnymi w standardowych kombajnach.



Rys. 39. Struktura strat ziarna w zespołach roboczych kombajnów zbożowych pracujących na terenach o zróżnicowanym ukształtowaniu; a – na terenie płaskim, b – w poprzek zbocza, c – z góry, d – pod górę [Komarnicki 2008]

Fig. 39. The structure of losses of grain of teams working cereal combine harvester working on terrains about diverse form; a – on flat terrain, b – across slope, c – from mountain, d – under mountain

Badania kombajnów pracujących w terenach pochyłych wykazały, że największe straty powodowane są niewłaściwą pracą (bądź jej zakłóceniem) układu czyszczącego. Głównym zespołem ograniczającym przepustowość kombajnu przy pracy w terenach równinnych są wytrząsacze, które powodują 60% wszystkich strat (bez strat zespołu żniwnego), natomiast straty na sitach wynoszą ok. 30% [Miłosz 1992, 1996, Roszkowski 1988, 1989]. W terenach nachylonych proporcje te ulegają odwróceniu (rys. 39) [Komarnicki 2008]. Spowodowane to jest różnicą w mechanizmie powstawania strat na wytrząsaczu i sitach. Ziarna zbóż pozostające po omlocie w kłosach wydzielane są na wytrząsaczu. Część z nich na drodze pomiędzy bębnem młócającym a ujściem wytrząsacza

nie zdoła przejść przez warstwę słomy i zostaje wyrzucona na powierzchnię pola. W zespole czyszczącym następuje separacja mieszaniny ziarnistej. Ziarno celne w wyniku ruchu wahadłowego sita powinno przedostać się przez jego szczeliny. W wyniku działania czynników zakłócających proces czyszczenia, np. pochylenie sita, pewna ilość ziarna, która nie zdołała przedostać się przez szczeliny sita, wraz z zanieczyszczeniami wydalaną jest na zewnątrz maszyny.

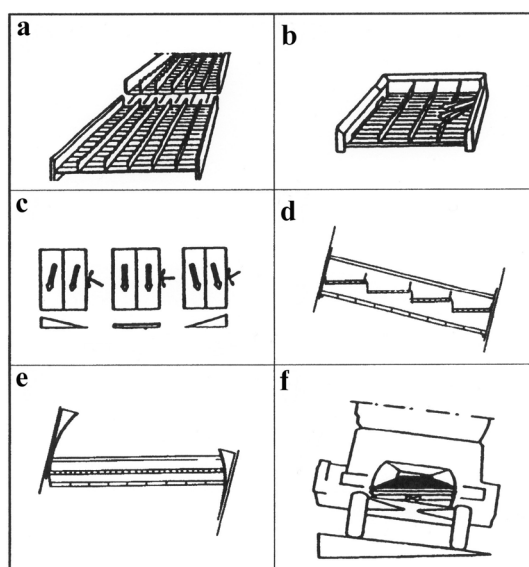
Najmniej wrażliwe na pochylenie terenu są rozwiązania konstrukcyjne kombajnów z automatycznym poziomowaniem całej bryły kombajnu (tzw. kombajny „górskie”) w płaszczyźnie poprzecznej i podłużnej. Kombajny górskie z poziomowanymi młocarniami oprócz niewątpliwych zalet (mniejsze straty ziarna, wyższa wydajność maszyny), wynikających z zapewnienia warunków pracy takich jak podczas ruchu maszyny po powierzchni poziomej, są cięższe o ok. 35%, muszą posiadać podwyższoną moc silników do 30%, a przede wszystkim są droższe nawet o 100%.

Analizy opłacalności zastosowania kombajnów górskich, przeprowadzone w różnych krajach, wykazują, że ich eksploatacja jest opłacalna przy średnich pochyleniach terenu 12° i przy rocznym wykorzystaniu nie mniejszym niż 110–120 ha. Zatem działania zmierzające do eliminowania zjawisk powodujących przyrost strat ziarna w zespołach czyszczących podczas pracy w terenach nachylonych mają znaczenie podstawowe (rys. 40). Dlatego w kombajnach zbożowych przeciwdziała się nierównomiernemu obciążeniu układu czyszczącego poprzez:

- montowanie podłużnych listew (przegród) na podsiewaczu i sitach (rys. 40a);
- dostarczenie bocznego strumienia powietrza nad sita górne, który przemieszcza ziarno zsuwające się pod wpływem siły ciężkości (rys. 40b);
- stosowanie dodatkowych mechanizmów rozprowadzających ziarno na powierzchni sit;
- zmianę kierunku drgań sit (rys. 40c);
- podział sita na segmenty, których położenie dostosowywane jest do pochylenia maszyny (rys. 40d);
- poziomowanie rzeszot sitowych (rys. 40e);
- poziomowanie zespołów czyszczących (rys. 40f).

Cztery pierwsze rozwiązania (rys. 40) obniżają straty na sitach w niewielkim stopniu, ze względu na ograniczony zasięg działania nie obejmujący całej powierzchni sit. Cechuje te rozwiązania stosunkowo niski koszt wykonania. Skuteczniejsze w działaniu są konstrukcje związane ze zmianą kierunku drgań sit i poziomowaniem koszy sitowych [Miłosz 1992, Paulsen, Nave 1980, Roszkowski 1989, Segler, Freye 1977, Sołowiew 1969, Spiess 1980, Wrubleski, Smith 1980]. Zmiana kierunku drgań sit stosowana jest w najnowszych modelach kombajnów firmy Claas. Poziomowanie układów czyszczenia wykorzystano w kombajnach serii TF firmy New Holland. Układ poziomujący sita kombajnu działa w zakresie $\pm 10^\circ$ pochylenia poprzecznego. Opisane powyżej układy wspomagające pracę kombajnu stosowane przez firmy Claas i New Holland, pomimo swej dużej skuteczności, działają tylko przy przechyłach poprzecznych, a w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych maszyny poruszają się po polu w różnych kierunkach.

Przykładem kombajnu górskiego może być Dominator 98H firmy Claas. Charakteryzuje się całkowitym poziomowaniem bryły kombajnu w zakresach: do 20° przy pochyleniu bocznym, 17° przy jeździe pod górę i do 12° przy jeździe z góry [Miłosz 1992, Pieczonka 1990, Pintara 1987, Ukalski i in. 1980]. Podane graniczne pochylenia wynikają z warunków równowagi maszyn pracujących na pochyłościach. Młocarnia kombajnu jest połączona z podwoziem obrotowo i podczas zbioru na pochyleniach jest automatycznie poziomowana przez cztery siłowniki zamontowane w przedniej i tylnej części młocarni. Zespół żniwny, zawieszony obrotowo na obudowie przenośnika pochylego dostosowuje się do nierówności terenu (kopiowanie terenu). Zawieszenie tego zespołu stanowi specjalny uchwyt w kształcie litery „U” wraz z linką pociągową, umożliwiającą obrót zespołu żniwnego w zakresie pochylenia poprzecznego wynoszącego ok. 20° z równoległym do ziemi prowadzeniem osi przedniej układu jezdnego. Jednocześnie realizowane jest pionowe ustawienie kół jezdnych w czasie pracy na pochyleniach, co poprawia stateczność kombajnu. Napęd na koła jezdne przenoszony jest z silnika za pośrednictwem układu hydraulicznego. Kombajn Dominator 98H podczas pracy na zboczach spełnia na ogół podstawowe wymagania agrotechniczne, powoduje jednak nieco większe makrouszkodzenia ziarna (ponad 2%) [Miłosz 1992].

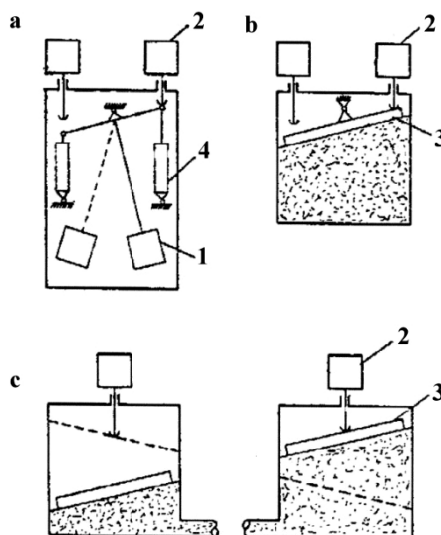


Rys. 40. Rozwiązania konstrukcyjne zmierzające do zmniejszenia strat ziarna w układach czyszczących w kombajnach zbożowych eksploatowanych na zboczach; a – podłużne listwy, b – boczne strumienie powietrza, c – zmiany kierunku drgań sita, d – podział sita na segmenty, e – poziomowane rzeszoto sitowe, f – poziomowane zespoły czyszczące [Bie-niek 2003]

Fig. 40. The constructional solutions which lead towards the decrease of losses of grain in cleaning unit of combine-harvester working on the slopes; a – longitudinal battens, b – side streams of the air, c – changes of direction of the sieve vibrations, d – segmentation of the sieve, e – levelled section of the sieve, f – levelled cleaning units

Kombajny górskie produkuje obecnie kilka konkurujących ze sobą firm. Modele różnią się szczegółami konstrukcyjnymi dotyczącymi głównie systemu poziomowania i przeniesienia napędu na koła jezdne, lecz ich parametry techniczne są zbliżone do przedstawionego modelu Dominator 98H.

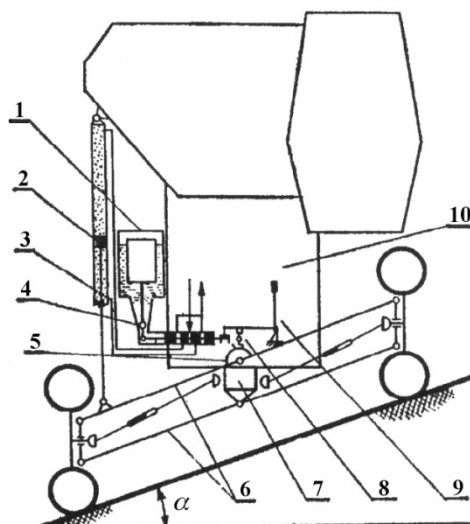
Urządzenia sterujące położeniem zespołów młocących i czyszczących budowane są zwykle jako mechaniczne (rys. 41a) lub mechaniczno-hydrauliczne (rys. 41b, c) [Roszkowski 1989]. W urządzeniach mechanicznych właściwym elementem roboczym jest „wahadło” współpracujące z przekaźnikami elektrycznymi i tłumikami drgań (regulator czułości). Stosują je firmy John Deere, New Holland, Claas. W urządzeniach mechaniczno-hydraulicznych (Claas, Laverda) rolę właściwego elementu roboczego pełni „pływak” współpracujący z przekaźnikami elektrycznymi. Na rysunku 41b przedstawiono regulator czułości, w którym wykorzystano cechy fizyczne cieczy roboczej (lepkość, gęstość), natomiast w rozwiązaniu z rysunku 41c funkcję tę spełnia przede wszystkim prędkość przepływu cieczy roboczej w kanale łączącym obie komory pływakowe. Przekaźniki elektryczne współpracujące z „wahadłem” lub „pływakiem” przekazują impulsy przesterowujące położenie zaworów elektrohydraulicznych w hydraulicznych układach zawieszonych kół napędowych i sterujących. Zaprezentowane rozwiązanie konstrukcyjne charakteryzuje się automatycznym poziomowaniem młocarni w dwóch płaszczyznach (poprzecznej i podłużnej). Początkowo, niektóre z wymienionych firm budowały uproszczone wersje kombajnów wyposażone wyłącznie w urządzenia do poziomowania w jednej tylko płaszczyźnie (najczęściej poprzecznej).



Rys. 41. Schematy urządzeń sterujących; a – mechaniczne, b, c – mechaniczno-hydrauliczne, 1 – wahadło, 2 – przekaźnik elektryczny, 3 – pływak, 4 – tłumik drgań (regulator czułości) [Spiess 1980]

Fig. 41. Diagram of devices steering; a – mechanical, b, c – the mechanical – hydraulic, 1 – pendulum, 2 – electric relay, 3 – swimmer, 4 – the silencer of trembling (the regulator of tenderness)

Kombajny z urządzeniami do poziomowania poprzecznego produkowano również w Rumunii (Gloria CP-12) i byłym Związku Radzieckim (Niwa SKK-5) [Ukałski i in. 1980]. Kombajn zbożowy Niwa SKK-5 był modyfikacją kombajnu o oznaczeniu SK-5, który wyposażono dodatkowo w automatyczny system wyrównywania młocarni w płaszczyźnie poprzecznej (rys. 42). Przeznaczony był do pracy na terenach górzystych o spadku do 20° . Najważniejszym elementem tego urządzenia jest czujnik kąta nachylenia młocarni, który szybko i dokładnie sygnalizuje zmiany odchylenia. Szybkość wyrównywania młocarni do położenia poziomego wynosi $3,3 \div 3,5^\circ$ w ciągu sekundy. Działanie systemu wyrównującego polega na tym, że kiedy ulegnie zmianie kąt nachylenia α , to pływak czujnika 1, aby zachować pionowe położenie, obraca ramię i przesuwą tłok rozdzielacza hydraulicznego 4. Olej pod ciśnieniem kierowany jest poprzez rozdzielacz do właściwego kanału siłownika hydraulicznego dwustronnego działania 2 i przemieszcza tłok. Przesunięcie tłoka w cylindrze siłownika powoduje ruch drążka wyrównującego układu równoległoboku 6 połączonego z układem zawieszenia 5 i kołami jezdny. Przemieszczanie układu jezdny trwa do momentu, aż młocarnia osiągnie położenie poziome. Wówczas pływak czujnika 1 przyjmuje położenie pionowe i poprzez dźwignię przesuwą tłok rozdzielacza hydraulicznego do położenia neutralnego. Drgania maszyny przenoszone na czujnik nachylenia tłumione są przez ciecz roboczą, w której zanurzone jest wahadło. Właściwości fizyczne tej cieczy określają próg czułości urządzenia sterującego.



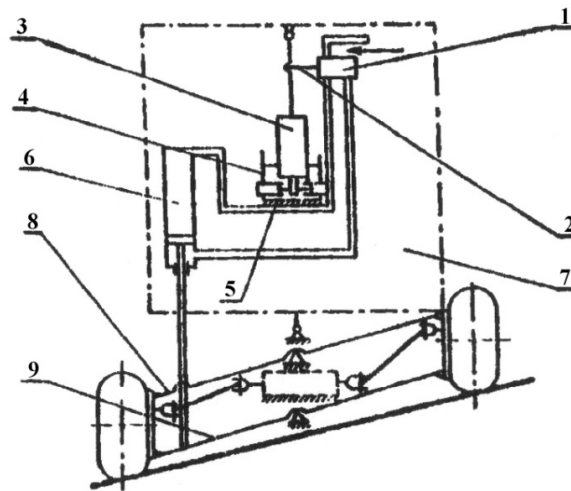
Rys. 42. Schemat urządzenia do poprzecznego poziomowania młocarni kombajnu SKK – 5; 1 – czujnik nachylenia, 2 – siłownik hydrauliczny, 3 – zawór bezpieczeństwa, 4 – rozdzielacz oleju, 5 i 6 – wahadłowy zespół wyrównujący, 7 – skrzynia przekładniowa, 8 – dźwignia dwuramienna, 9 – dźwignia sterowania ręcznego, 10 – młocarnia [Ukałski i in. 1980]

Fig. 42. Diagram of device to transverse leveling the threshing-machine of combines harvester the SKK – 5; 1 – sensor of inclination, 2 – hydraulic servo-motor, 3 – safety-valve, 4 – distributor of oil, 5, 6 – pendulum equalizer team, 7 – transmission, 8 – two-armed lever, 9 – lever of hand steering, 10 – the threshing-machine

Inny sposób tłumienia drgań maszyny zastosowano w czujniku wahadłowym kombajnu firmy Mc Cormick (rys. 43), eksploatowanego w latach osiemdziesiątych i na początku lat dziewięćdziesiątych w USA. Kombajn ten przeznaczony był na zbocza o spadku większym niż 9° . Wyposażono go w mechanizm automatycznego wyrównywania młocarni (w płaszczyźnie poprzecznej) i nachylenia zespołu tnącego. Aparat tnący tego kombajnu ustawia się równolegle do pola (kopiowanie terenu), a młocarnia z zespołem czyszczącym zostaje wypoziomowana automatycznie niezależnie od ustawienia kół kombajnu. Urządzenie automatycznego poziomowania młocarni składa się z wahadła 3 umieszczonego w zbiorniku z olejem 4. Dolna część osi wahadła połączona jest z dwoma tłokami 5 wchodzącymi w cylindry z niewielkim luzem w celu przepuszczenia oleju. Górna część osi wahadła połączona jest z suwakiem rozdzielacza 1 kierującego olej do siłownika dwustronnego działania 6. Rozdzielacz wyposażony jest w zawory kontrolne zabezpieczające odpływ oleju z siłownika w razie zatrzymania się kombajnu. Oprócz tego zawory te pozwalają na odłączenie przewodów od cylindra, nie powodując przechylenia się maszyny. Koła jezdne kombajnu ustawiają się pionowo w stosunku do płaszczyzny poziomej przy dowolnej rzeźbie terenu dzięki zastosowaniu mechanizmu równoległoboku. Dwa krótsze ramiona równoległoboku tworzą koła jezdne, pozostałe tworzą oś podstawową 9 i pomocniczą 8, które połączone są przegubowo z tłokami. Obydwie osie w środkowej części połączone są przegubowo z ramą kombajnu, na której umocowana jest młocarnia 7. Połączona jest ona z osią podstawową za pomocą siłownika hydraulicznego, który wraz z nią tworzy drugą podpórę. Przy nachyleniu młocarni wahadło pochyla się w tę samą stronę i popycha suwak 2 rozdzielacza. Rozdzielacz kieruje olej pod ciśnieniem do właściwej komory siłownika, który wyrównuje położenie młocarni. Kołysanie młocarni eliminowane jest tłumikiem olejowym, a tłumienie odchylen wahadła odbywa się za pomocą tłoków znajdujących się w zbiorniku z olejem. Mechanizm wyrównuje młocarnię z nachylenia 25° do płaszczyzny poziomej w ciągu 4 sekund [Ukalski i in. 1980].

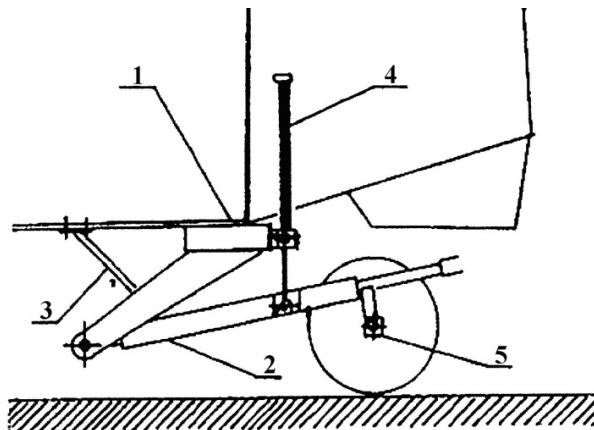
Prace projektowo-badawcze dotyczące poziomowania młocarni, ze względu na zróżnicowaną konfigurację wysokościową gruntów ornych, prowadzone były (w końcu lat osiemdziesiątych i na początku dziewięćdziesiątych) w byłej Czechosłowacji [Maleř 1988, 1989, 1990] oraz w Polsce [Gieroba, Rejak 1986].

W literaturze czeskiej można odnaleźć prace Maleřa [1988, 1989, 1990], który bazując na kombajnie niemieckim E-514H firmy Fortschritt, skonstruował układ automatycznego poziomowania młocarni w płaszczyźnie podłużnej i poprzeczno-podłużnej. Konstrukcja tego kombajnu, z automatycznym poziomowaniem w płaszczyźnie podłużnej, została przedstawiona na rysunku 44. Koła tylne sterujące 5 zostały zamocowane na ramie 2, która połączona jest przegubowo z ramą młocarni 1. Podnoszenie i opuszczanie młocarni w płaszczyźnie podłużnej realizowane było za pomocą dwóch siłowników hydraulicznych 4. Cylindry siłowników zamocowane zostały do części stałej ramy połączonej z młocarnią 1, natomiast tłoki przegubowo połączono z częścią wahliwą ramy 2. W przedstawionej konstrukcji zastosowano siłowniki dwustronnego działania. Siłowniki rozmieszczono (w części tylnej maszyny) symetrycznie względem osi kombajnu.



Rys. 43. Schemat urządzenia do wyrównywania młocarni kombajnu firmy Mc Cormick; 1 – rozdzielacz oleju, 2 – drążek suwakowy, 3 – wahadło, 4 – zbiornik oleju, 5 – tłok tłumika drgań, 6 – cylinder siłownika hydraulicznego, 7 – młocarnia, 8 – dodatkowa oś, 9 – oś główna [Ukalski i in. 1980]

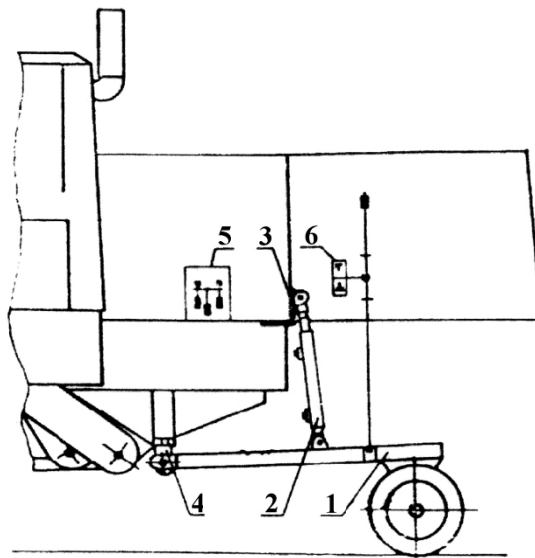
Fig. 43. Diagram of device to leveling the threshing-machine of combines harvester of firm the Mc the Cormick; 1 – distributor of oil, 2 – slider stick, 3 – pendulum, 4 – reservoir of oil, 5 – crowd of silencer of tremblings, 6 – cylinder of hydraulic servo-motor, 7 – threshing-machine, 8 – additional axis, 9 – the main axis



Rys. 44. Kombajn E-514 z automatycznym poziomowaniem w płaszczyźnie podłużnej; 1 i 2 – rama urządzenia poziomowania podłużnego, 3 – podpora, 4 – siłownik hydrauliczny, 5 – oś koła tylnego (sterującego) [Małeś 1989]

Fig. 44. Automatically level system in combine-harvester E-514; 1 and 2 – frame of the level longitudinal system, 3 – support, 4 – hydraulic servos, 5 – axle of the tail wheel (of operate)

W Polsce nie uruchomiono produkcji polskiego kombajnu w wersji górskiej. Przemawiał za tym czynnik ekonomiczny [Francik, Ślipek 1997]. Jednak w latach osiemdziesiątych zrealizowano pomysł przystosowania kombajnu Bizon Super Z050 do zbioru zbóż na zboczach [Gieroba, Rejak 1986]. Adaptacja maszyny polegała na zastąpieniu (rys. 45) sztywnego zawieszenia kół tylnych wahliwą ramą nośną 1, której położenie sterowane było za pomocą dwóch siłowników hydraulicznych 2. Siłowniki hydrauliczne do poziomowania młocarni zasilane były z oddzielnego układu hydraulicznego z własnym zbiornikiem oleju i pompą. Przedstawione rozwiązanie techniczne nie zostało w Polsce wdrożone do produkcji seryjnej. Konstrukcja prototypu urządzenia do poziomowania podłużnego kombajnu Bizon Super Z050 posłużyła wyłącznie do przeprowadzenia doświadczeń w warunkach polowych.



Rys. 45. Schemat urządzenia poziomującego w kombajnie Bizon Super Z050; 1 – rama nośna, 2 – siłowniki hydrauliczne, 3 – górna półka nośna, 4 – dolna półka nośna, 5 – czujniki kąta nachylenia zbocza, 6 – wyłączniki krańcowe [Gieroba, Rejak 1986]

Fig. 45. The diagram level system in combine-harvester Bizon Super Z050; 1 – frame, 2 – hydraulic servos, 3 – upper plate, 4 – lower plate, 5 – inclination sensor of the slope, 6 – limit switch

Badania kombajnów górskich wykazały, że podczas pracy na terenach nachylonych największe straty ziarna powodowane są niewłaściwą pracą układu czyszczącego. Poprośnienie warunków pracy zespołu czyszczącego, bez konieczności stosowania drogich i skomplikowanych urządzeń elektroniczno-hydraulicznych, można osiągnąć przez zmianę kształtu sit lub sterowanie strumieniem powietrza, zmieniając jego kierunek i natężenie przepływu [Banasiak i in. 2003a, 2005, Bieniek i in. 2005a, 2006b, 2008a, b, Bieniek, Banasiak 2008, Komarnicki i in. 2007b].

2.5. Ocena badań studyjnych

Niezależnie od koncepcji rozwoju rolnictwa w najbliższych latach – na terenach fałistych i podgórskich nadal będą uprawiane zboża, z których zysk stanowi poważną pozycję w budżetach lokalnych społeczności wiejskich.

Biorąc pod uwagę, że rolnictwo polskie zostało dostosowane do zbioru zbóż kombajnami, oraz że pomimo podejmowania licznych prób nie opracowano jeszcze nowej efektywnej i energooszczędnej technologii zbioru zbóż, zbiór kombajnami pozostanie nadal wiodącą technologią pozyskiwania ziarna zbóż i innych roślin. Ta metoda zbioru będzie również dominującą na terenach nachylonych.

Pozostaje zatem niezwykle ważny i aktualny problem, w jaki sposób skutecznie ograniczyć straty ziarna towarzyszące kombajnowemu zbiorowi podczas pracy na zboczach. W celu ograniczenia strat ziarna podczas pracy kombajnu na zboczach czołowe firmy w swoich maszynach stosują następujące rozwiązania: automatyczne poziomowanie bryły kombajnu, poziomowanie zespołu kosza sitowego, wyrównywanie czyszczonej masy ziarna na sicie pomocniczym strumieniem powietrza, sterowanie zmianą parametrów ruchu drgającego sita.

Przedstawione rozwiązania są z reguły skomplikowane konstrukcyjnie, a co za tym idzie – i stosunkowo drogie. W konsekwencji, stosowanie takich rozwiązań podnosi koszt całego kombajnu. Problemy związane z eksploatacją kombajnów zbożowych w terenach o zróżnicowanej konfiguracji skłaniają do szukania nowych rozwiązań konstrukcyjnych, ich badań i analizy, które w konsekwencji doprowadzą do ograniczenia niekorzystnych zjawisk związanych ze stratami ziarna. W naszych warunkach geograficznych, mając na uwadze ilość gruntów o pochyłościach przekraczających 10° i obsianych zbożami, zagadnienie pracy kombajnów na terenach nachylonych nie jest bez znaczenia [Bieniek 2003, Bogdanowicz 1994, Dreszer i in. 1998b, Francik, Ślipek 1997, Michałek, Kowalski 1993, Roszkowski 1989].

3. SEPARACJA ZIARNA ZBÓŻ NA SITACH KSZTAŁTOWYCH

3.1. Problem badawczy

Mimo prób wprowadzenia innych technik zbioru zbóż, jak np. zbioru totalnego, użycie kombajnu zbożowego jest nadal dominujące we wszystkich krajach o wysokiej kulturze agrotechnicznej [Banasiak 1999, Dieter, Wacker 1995, Gach i in. 1991, Kęska 1994, Kuczewski 1981, Kutzbach, Wacker 1992a, Roszkowski 1989, Traulsen 1997].

Z technologicznego punktu widzenia rozwój konstrukcji kombajnów zbożowych zmierza w kierunku:

- przystosowania ich do zbioru jak najszerzej grupy roślin nasiennych o odmiennych właściwościach fizyko-mechanicznych,
- wzrostu przepustowości ogólnej,
- poprawy skuteczności procesu separacji nasion w warunkach pracy w terenach nachylonych.

Podczas pracy kombajnów zbożowych w terenach górzystych pojawiają się trudności z wykorzystaniem nominalnej, konstrukcyjnie zakładanej przepustowości zespołu czyszczącego, a to wiąże się z przepustowością całej maszyny. Podczas jazdy po pochyłościach, wzdłuż warstwic, następuje przyspieszenie biegu masy zbożowej po powierzchni sit oraz boczne jej przemieszczanie. Rosnące wtedy straty ziarna zmuszają do ograniczenia wykorzystywanej przepustowości maszyny [Dreszer 2001].

Firmy produkujące kombajny zbożowe stosują różne rozwiązania w celu poprawy skuteczności ich pracy na pochyłościach. W literaturze prezentowane są różne, technologicznie skuteczne rozwiązania konstrukcyjne i zostały one przedstawione na rysunku 40 w rozdziale 2.4.2. Jednak istotną wadą przedstawionych rozwiązań jest bardzo wysoki koszt ich zastosowania. Do tej pory brak było rozwiązań idących w kierunku zmian geometrii sita, które to z uwagi na aspekt ekonomiczny powinny być rozwiązaniami tańszymi.

Głównym czynnikiem, decydującym o przepustowości zespołu czyszczącego jest powierzchnia czynna sita. Przy założonych konstrukcyjnie rozmiarach kosza sitowego stosowane sito płaskie żaluzjowe ma ograniczoną powierzchnię czynną. Powierzchnia ta dobrana z uwagi na kryterium przepustowości ogólnej spełnia wymagania tylko w warunkach pracy na terenach płaskich. Zwiększenie powierzchni sit wiąże się ze wzrostem masy własnej maszyny i powiększeniem jej wymiarów zewnętrznych, a przy pracy w nachyleniu daje niewspółmiernie małe efekty. Koncepcja zmian w konstrukcji zespołu czyszczącego kombajnu zbożowego oparta została na następujących założeniach wstępnych:

- zachowanie żaluzjowej konstrukcji sita,
- podział powierzchni sita na sekcje,
- wyeliminowanie lub ograniczenie biernych powierzchni występujących na sicie.

Przeprowadzone badania studyjne i analiza teoretyczna wykazały, że istnieją pewne obszary, w których brak jest konkretnych danych. Wychodząc naprzeciw tym wyzwaniom, autorzy: Banasiak i in. [2004, 2006], Bieniek i in. [1999, 2000, 2001a,b, 2006a], Komarnicki [2008], Pogoda [2007] podjęli kompleksowe badania stanowiskowe i eksploatacyjne. W niniejszej pracy przedstawiono nowe rozwiązania sit żaluzjowych oraz wyniki ich badań, które potwierdziły możliwość zastosowania tych sit w kombajnach zbożowych pracujących w warunkach zmiennego nachylenia. Rysunek 46 przedstawia koncepcję badań w postaci algorytmu. Kolorem ciemnym zaznaczono parametry pracy, zmiany wynikowe i kryteria optymalizacji zespołu czyszczącego kombajnu zbożowego, które były analizowane podczas badań.

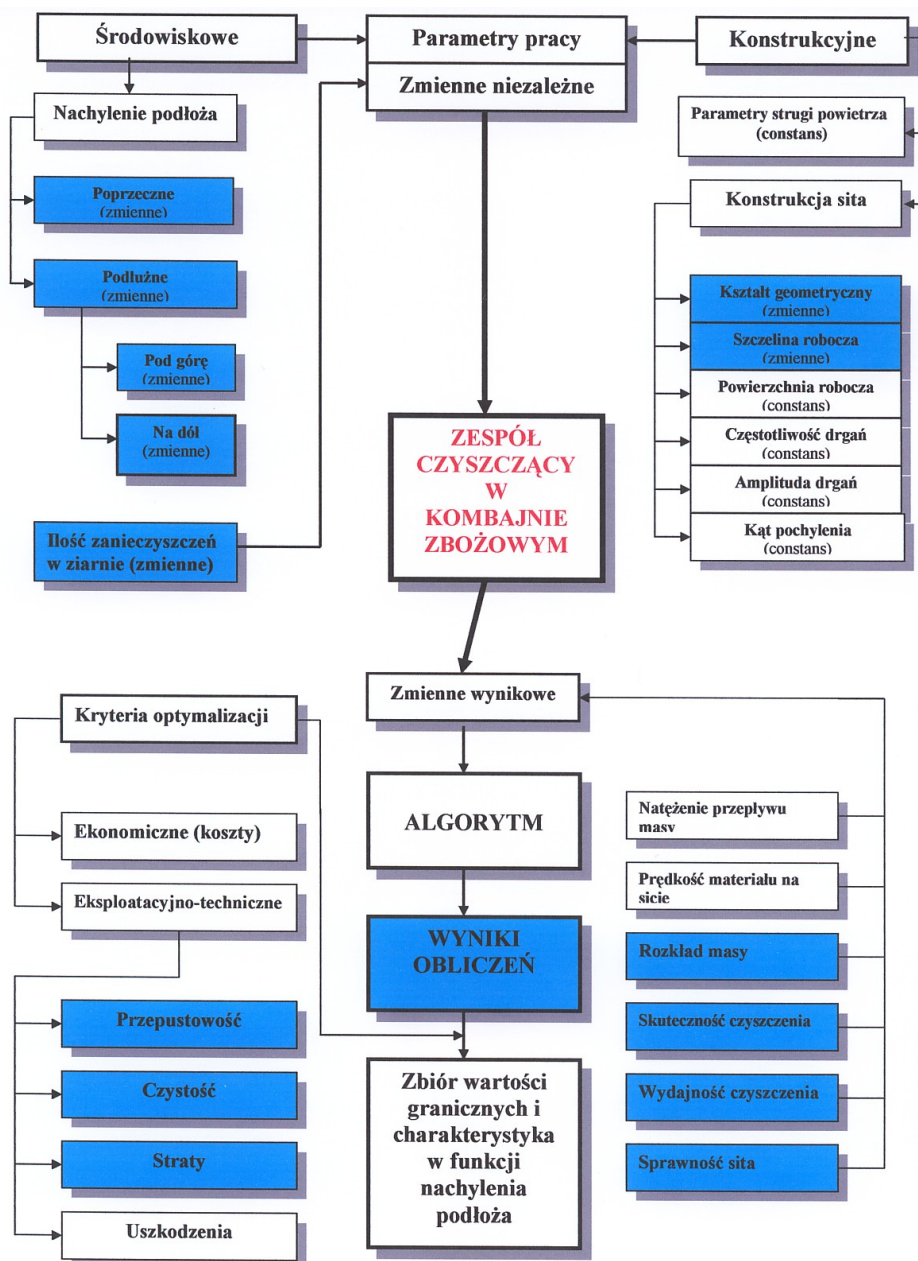
3.2. Zagadnienia metodyczne badań

3.2.1. Badania laboratoryjne

Obiekt badań

W niniejszej monografii przedstawiono dotychczasowe osiągnięcia badawcze zastosowania w kombajnach zbożowych sit żaluzjowych, ukształtowanych cylindrycznie, daszkowo i wzdłużnie dwupłaszczyznowo, które pracują na powierzchniach o zmiennym nachyleniu terenu.

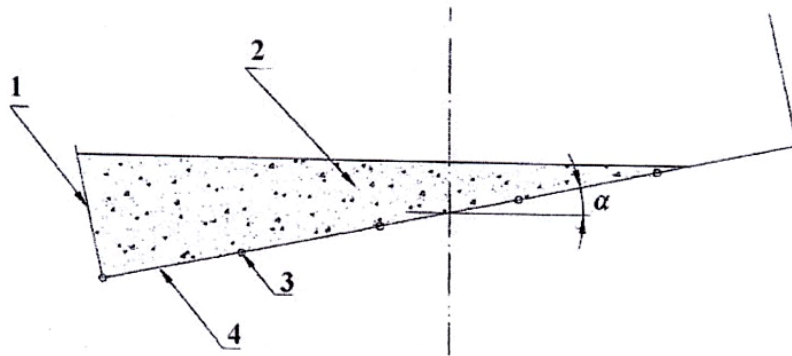
Sito cylindryczne – Dla przeciwdziałania zjawisku zsuwania się masy poomłotowej na położoną niżej część sita płaskiego podczas pracy kombajnu w nachyleniu poprzecznym zaproponowano cylindryczny kształt powierzchni sita (rys. 47). Na rysunku 47a pokazano hipotetyczny rozkład masy na sicie płaskim nachylonym poprzecznie pod kątem α , natomiast na rysunku 47b rozkład masy na sicie ukształtowanym cylindrycznie [Banasiak i in. 2001, Detyna 2007, Detyna i in. 2006]. Biorąc pod uwagę względy konstrukcyjne dotyczące budowy sita żaluzjowego, wprowadzono uproszczenie polegające na zastąpieniu powierzchni wewnętrznej walca sekcjami połączonymi przegubowo, tworząc sito cylindryczne, co pokazano na rysunku 48. Sito to z wzdłużnymi sekcjami dzięki przegubom umożliwia zmiany kątów ich nachylenia. Kąt nachylenia sekcji sita ulega zmianie w granicach $0 \div \alpha_{\max}$, przy czym kąt $\alpha_{\max}$ występuje w punktach skrajnych płaszczyzny sita i wynosił 20° . W czasie badań sito zasilano masą ziarnistą (zakres zasilania Q_0 wynosił $1,3 \div 3,3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$), a regulacji podlegały kąty poprzecznego nachylenia poszczególnych sekcji sita. Przyjęto dziesięć ustawień kątów nachylenia poszczególnych pięciu segmentów sita względem płaszczyzny poziomej, oznaczając je „O”, „A”, „B” i „C”, co opisano w literaturze [Bieniek i in. 2000].



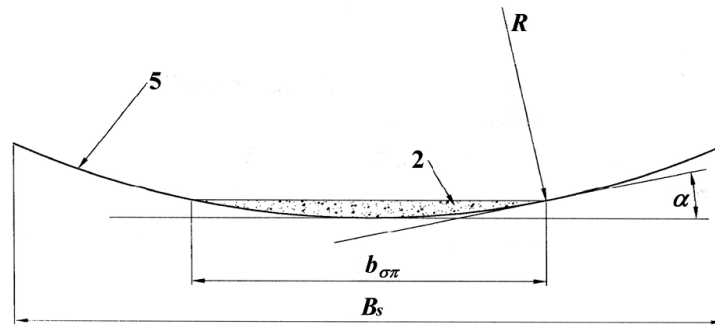
Rys. 46. Algorytm badań: parametry pracy sita, kryteria optymalizacji, zmienne wynikowe [opracowanie autora]

Fig. 46. The algorithm of research: operating data of sieve, criteria of optimization, variable of results [Author's study]

a)

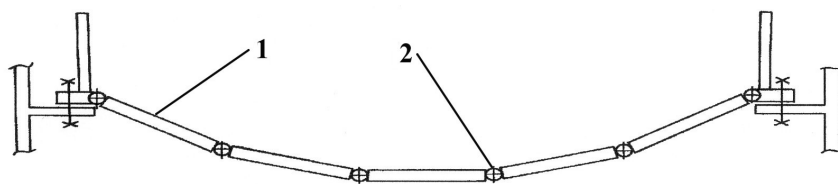


b)



Rys. 47. Model sita cylindrycznego; a – hipotetyczny rozkład masy ziarna na sicie płaskim nachylnym pod kątem α , b – rozkład masy ziarna na sicie cylindrycznym, B_s – szerokość całkowita sita, b_{sp} – szerokość płaszczyzny czynnej sita cylindrycznego, R – promień powierzchni cylindrycznej, α – kąt nachylenia sita płaskiego, kąt nachylenia stycznej do sita w miejscu początkowym kontaktu materiału z sitem, 1 – powierzchnia boczna bierna, 2 – materiał czyszczony, 3 – połączenie przegubowe sekcji, 4 – sekcje ułożone płasko, 5 – powierzchnia sita [Bieniek 2004]

Fig. 47. Model the cylindrical sieve; a – hypothetical distribution of cleaned mass in the flat plane inclination α , b – distribution of cleaned mass on the cylindrical sieve, B_s – width of sieve [m], b_{sp} – width plane active of sieve [m], R – plane of the cylindrical radius, α – inclination angle of the flat sieve, 1 – side passive surface, 2 – cleaned material, 3 – articulated joint of the section, 4 – flat-arranged section, 5 – section of the cylindrical sieve



Rys. 48. Schemat żaluzjowego sita cylindrycznego z podziałem na pięć sekcji; 1 – sekcja sita, 2 – połączenie przegubowe między sekcjami [Bieniek i in. 2000]

Fig. 48. Diagram of the shutter cylindrical sieve with five section; 1 – section of the sieve, 2 – articulated joint of the section

Na fotografii 1 przedstawiono widok sita cylindrycznego [Banasiak i in. 2002].



Fot. 1. Widok żaluzjowego sita cylindrycznego pięciosekccyjnego [fot. J. Bieniek]

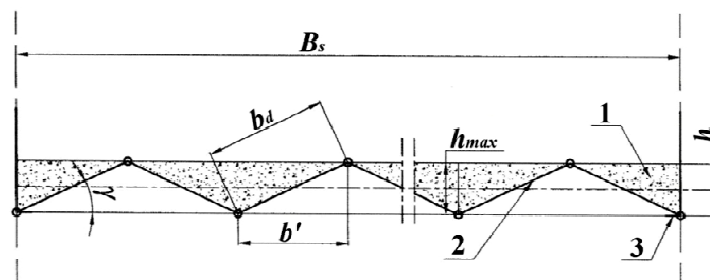
Phot. 1. View of the shutter cylindrical sieve with five section

Sito daszkowe – Przykładem innego rozwiązania sita kształtowego jest sito o powierzchni roboczej ukształtowanej w postaci daszków (rys. 49).

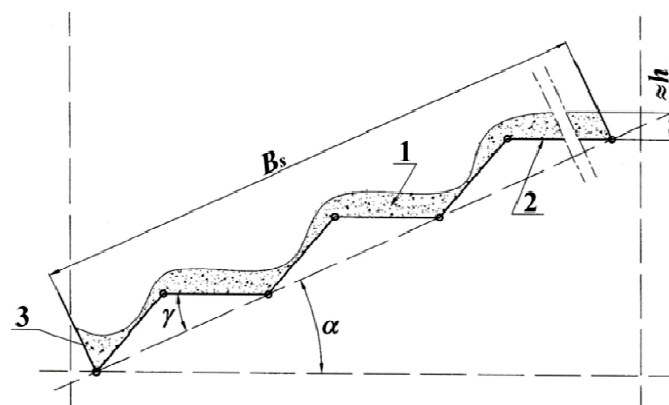
Mając na uwadze względy konstrukcyjne budowy sita żaluzjowego, wprowadzono zmiany polegające na zastąpieniu sekcji sita płaskiego – daszkiem żaluzjowym. Każda sekcja sita jest podzielona wzdłuż na dwie części i połączona przegubem, co umożliwia ustawienie daszków sekcji pod kątem od 0° do 15° . Przyjęto jednocześnie założenie, że kąt poprzecznego nachylenia kosza sitowego związanego z nachyleniem podłoża nie przekroczy wartości kąta α . Na rysunku 49a przedstawiono hipotetyczne zachowanie się masy czyszczonej na wymienionym sicie podczas pracy w pozycji wypoziomowanej. Praca tego sita w pozycji nachylonej powoduje zmianę rozkładu sił działających na materiał czyszczony i przeciwdziała jego przemieszczaniu w kierunku nachylenia, co pokazano na rysunku 49b. Skutkuje to zmniejszeniem grubości warstwy mieszaniny,

a także zlikwidowaniem (całkowitym lub częściowym w zależności od wielkości nachylenia) nieczynnych powierzchni sita. Podczas poprzecznego nachylenia sita daszkowego materiał czyszczony pod wpływem składowej siły ciężkości przemieszcza się po jej powierzchni. Szerokość sita powinna zostać tak dobrana, aby podczas maksymalnych przechyłów poprzecznych można było zapewnić swobodę ruchu mieszaniny ziarnowej. W czasie badań sito zasilano masą zbożową (zakres zasilania Q_0 wynosił $1,3 \div 3,3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$), a regulacji podlegały kąty nachylenia poszczególnych daszków sita γ w granicach od 0° do 15° [Bieniek 2003].

a)



b)



Rys. 49. Model sita daszkowego z hipotetycznym rozkładem masy czyszczonej na jego powierzchni; a – pracującym w pozycji poziomej, b – pracującym przy nachyleniu α ; 1 – materiał czyszczony, 2 – element sekcji sita daszkowego, 3 – rama kosza sitowego, B_s – szerokość sita, b_d – szerokość elementu sita daszkowego, h_{max} – maksymalna grubość czyszczonej masy w początkowej fazie procesu, $h = h_{max} / 2$ – średnia grubość warstwy czyszczonej masy w początkowej fazie procesu, α – kąt bocznego nachylenia kosza sitowego, γ – kąt nachylenia elementu sita daszkowego [Bieniek 2003]

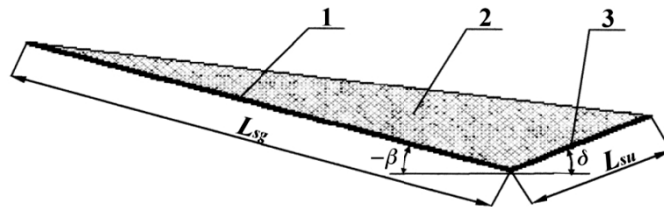
Fig. 49. Model the canopy sieve of hypothetical distribution of cleaned mass on it plane; a – work in horizontal position, b – work at inclination α ; 1 – cleaned mass, 2 – element of canopy sieve section, 3 – frame of basket sieve, B_s – width of sieve [m], b_d – width of element of canopy sieve [m], h_{max} – maximal thickness of layer of cleaned mass [m], $h_{sr} = h_{max} / 2$ – mean thickness of layer of cleaned mass [m], α – angle of lateral inclination of sieve, γ – angle of inclination of canopy sieve element

Na fotografii 2 przedstawiono widok sita daszkowego wykorzystanego do badań laboratoryjnych [Banasiak 1998].



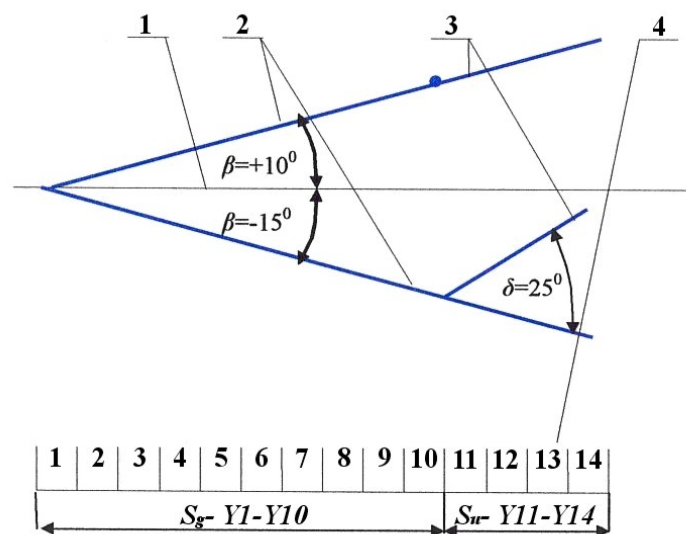
Fot. 2. Widok żaluzjowego pięciosekccyjnego sita daszkowego [fot. J. Bieniek]
Phot. 2. View of the shutter canopy sieve with five section

Sito dwupłaszczyznowe – Podczas pracy kombajnu w nachyleniu wzdłużnym (przy jeździe pod górę) następuje zsuwanie się masy poomłotowej na sicie na tylną część zespołu separatora. Z tego też względu rozważono możliwość zastosowania części uchylnej zarówno z sitem płaskim, jak i daszkowym. Jest to sito zbudowane z dwóch płaszczyzn. Przyjęto założenie, że w czasie pracy kombajnu na zboczach o nachyleniu β (pod górę) główna płaszczyzna sita będzie pracować w niekorzystnych warunkach charakteryzujących się zmniejszoną efektywnością przesiewania. Dodatkowa uchylna część sita będzie natomiast pracować w nachyleniu odwrotnym względem płaszczyzny głównej, co przedstawiono na rysunku 50. W trakcie badań – regulacji podlegały kąty β wychylenia płaszczyzny głównej kosza sitowego w sposób odpowiadający pracy kombajnu zbożowego „pod górę” (β^-) i „z góry” (β^+) oraz kąt δ wychylenia części uchylnej względem płaszczyzny głównej w granicach $0-25^\circ$. Na rysunku 51 przedstawiono zakres stosowanych kątów pochylenia głównej i dodatkowej płaszczyzny sita, odpowiednio względem płaszczyzny poziomej i względem płaszczyzny głównej sita [Bieniek i in. 2006b, Bieniek, Banasiak 2008]. W czasie badań sito zasilano masą zbożową (zakres zasilania Q_0 wynosił $1,3-3,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$).



Rys. 50. Model sita dwupłaszczyznowego z hipotetycznym rozkładem przesiewanej masy na jego powierzchni; 1 – płaszczyzna główna sita, 2 – materiał czyszczony, 3 – płaszczyzna uchylna sita, L_{sg} – długość płaszczyzny głównej sita, L_{su} – długość części uchylnej sita, β – kąt nachylenia kosza sitowego (pod górę), δ – kąt nachylenia płaszczyzny dodatkowej sita względem poziomu [Bieniek, Banasiak 2008]

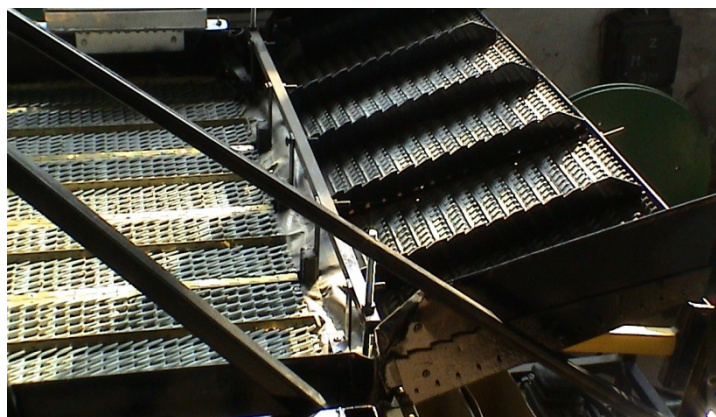
Fig. 50. Model the two-plans sieve of hypothetical distribution of cleaned mass on it plane; 1 – main sieve plane, 2 – grain mass to be cleaned, 3 – adjustable half-open part of the sieve, L_{sg} – length of the main sieve plane [m], L_{su} – length of the half-open part of the sieve [m], β – inclination angle of the sieve basket (up the hill), δ – angle of the additional sieve plane inclined from the horizontal plane



Rys. 51. Schemat wychylenia płaszczyzny głównej β i płaszczyzny uchylnej δ sita dwupłaszczyznowego względem płaszczyzny poziomej; 1 – płaszczyzna pozioma, 2 – płaszczyzna główna sita, 3 – płaszczyzna sita uchylnego, 4 – strefy pomiarowe, S_g – Y1 – Y10 – strefy pomiarowe pod sitem głównym, S_u – Y11 – Y14 strefy pomiarowe pod sitem uchylnym [Bieniek, Banasiak 2008]

Fig. 51. Deflection scheme of the main β and half-open planes' δ of the two-plans sieve from the horizontal plane; 1 – horizontal plane, 2 – main sieve plane of the separator, 3 – half-open sieve of the separator, 4 – measurement points, S_g – Y1 – Y10 – measurement zones under the main sieve, S_u – Y11 – Y14 – measurement zones under the half-open sieve

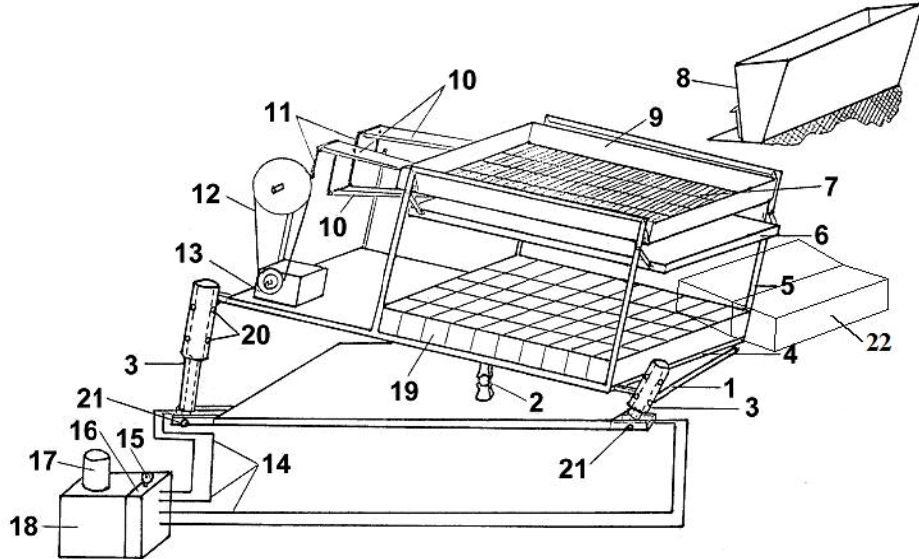
Na fotografii 3 przedstawiono widok sita dwupłaszczyznowego.



Fot. 3. Widok sita dwupłaszczyznowego zamontowanego na stanowisku badawczym [fot. J. Bieniek]
Phot. 3. View of the two-plans sieve install on test bed

Stanowisko badawcze

Stanowisko, które wykorzystano do badań, zaprojektowano i wykonano w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu [Bieniek i in. 2005b]. Służyło ono do realizacji eksperymentów badawczych związanych z funkcjonowaniem zespołów czyszczących. Na rysunku 52 przedstawiono schemat tego stanowiska. Jest ono wyposażone w przesiewacz żaluzjowy typowy dla kombajnów zbożowych. Symulacja pracy badanych separatorów na stanowisku pozwoliła uzyskać szczegółowe informacje, których nie można zarejestrować w czasie badań eksploatacyjnych.



Rys. 52. Schemat stanowiska badawczego zmiany kąta nachylenia sita; 1 – podstawa, 2 – przegub kulowy, 3 – siłownik, 4 – płyta nośna, 5 – rama, 6 – przeciwwaga, 7 – sito, 8 – kosz zasypowy, 9 – kosz sitowy, 10 – targańce, 11 – wał wykorbiony, 12 – przekładnia pasowa, 13 – silnik, 14 – przewody hydrauliczne, 15 – ciśnieniomierz, 16 – zawór rozdzielczo-sterujący, 17 – pompa hydrauliczna, 18 – zbiornik, 19 – pojemniki pomiarowe, 20 – wodziki, 21 – sworzeń, 22 – dysza układu aerodynamicznego [Banasiak i in. 2003a]

Fig. 52. Research station diagram for the change of the angle of inclination of sieve; 1 – base, 2 – ball joint, 3 – servomotor, 4 – carrier panel, 5 – frame, 6 – counterbalance, 7 – sieve, 8 – feeding hopper, 9 – sieve shoe, 10 – the pitmen's, 11 – crank shaft, 12 – belt transmission, 13 – engine, 14 – the hoses, 15 – manometer, 16 – distribution and control valve, 17 – hydraulic pump, 18 – tank, 19 – measuring container, 20 – supper, 21 – pin, 22 – nozzle of aerodynamic arrangement

Podstawą stanowiska jest płyta 1, na której znajduje się umieszczony centralnie przegub kulowy 2 stanowiący ośrodek jego układu kinematycznego. Płyta nośna stanowiska 4, oprócz podparcia na przegubie, dodatkowo połączona jest z podstawą dwoma siłownikami hydraulicznymi 3. Trzypunktowy układ związania płyty nośnej stanowiska z podstawą umożliwia zmianę kątów jej nachylenia względem podstawy. Układ taki

daje możliwość dokonywania ciągłych zmian kątów nachylenia w wielu płaszczyznach w zakresie od -25° do $+25^\circ$. Siłowniki dwustronnego działania osadzone są na sworzniach, w sąsiadujących ze sobą narożach podstawy, łącząc ją z odpowiednimi punktami płyty nośnej. Połączenie kosza sitowego 9 z płytą nośną 4 zrealizowano poprzez ramę 5, w której wahliwie zamocowany został kosz z sitem żaluzjowym 7. Siłowniki hydrauliczne połączone są przewodami hydraulicznymi 14, poprzez zawór rozdzielczo-sterujący 16 wyposażony w ciśnieniomierz 15, z agregatem pompy hydraulicznej 17 osadzonej na zbiorniku oleju 18. W zależności od charakteru badań – pod koszem sitowym na płycie 4 umieszcza się niezbędną ilość pojemników pomiarowych 19. Kosz zasypowy 8 o pojemności 1 m^3 usytuowany nad sitem 7 został uźebrowany wewnątrz pionowymi przegrodami mającymi na celu wyeliminowanie zjawiska zsuwania się masy podczas przechyleń w czasie podawania masy poomłotowej na sito. Kosz sitowy zawieszony jest na czterech wieszakach za pomocą sworzni, co umożliwia bardzo łatwy demontaż i zastąpienie innym urządzeniem przeznaczonym do badań. W koszu można umieścić sito o wymiarach: długość – 1,03 m, szerokość – 1,29 m, co odpowiada $1,33\text{ m}^2$ powierzchni roboczej. Ruch posuwisto-zwrotny kosza sitowego zapewnia wał wykorbiony 11 i targaniec 10 napędzany za pośrednictwem przekładni pasowo-klinowej 12 z silnika elektrycznego 13. Zrównoważenie kinematyczne kosza zapewnia przeciwwaga 6. Prędkość kątowa wału napędowego może wynosić $0\text{--}60\text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, amplituda sita $0,07\text{ m}$, natomiast częstotliwość drgań sita może zawierać się w zakresie $0\text{--}600\text{ cykl}\cdot\text{min}^{-1}$ [Banasiak i in. 2003a]. Stanowisko wyposażone było w układ aerodynamiczny z dyszą 22, umożliwiającą wytworzenie strumienia powietrza o wydatku $Q_1 = 1,95\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ i prędkości strumienia $v_p = 5,0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [Bieniek i in. 2006a].

Celem eksperymentu badawczego, w którym wykorzystano opisane wyżej stanowisko, było określenie wpływu różnego kierunku i wielkości kąta nachylenia sita na proces przesiewania materiałów ziarnistych. Stanowisko wykorzystywano do badań trzech typów sit w zakresie wychylenia wzdłużnego, poprzecznego lub wypadkowych tych kierunków od 0° do 15° .

Metodyka badań stanowiskowych

Analiza procesu separacji na sitach nachylonych wymagała opracowania metodyki pomiaru i oceny efektywności pracy sit. W tym celu wykorzystano informacje zawarte w pracach autorów: Dmitrewski i in. [1981], Kacprzyński [1974], Oktaba [1986], Pabis [1985], Polański [1984], Volk [1973].

W trakcie badań, na stanowisku opisanym w poprzednim rozdziale, zmieniano kąt nachylenia stanowiska, symulując w ten sposób nachylenie terenu oraz zmieniano kąty nachylenia poszczególnych sekcji sita. Podczas eksperymentów powierzchnie badanych sit zasilano masą ziarna z dodatkiem zanieczyszczeń w ilości i sposobie, które odpowiadały zasilaniu poprzecznemu, promieniowo-stycznemu zespołowi młódcemu o przepustowości ogólnej $3\div 7\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. Szerokość szczeliny roboczej c można było regulować od 0 do 8 mm.

W badaniach przyjęto następujące symbole określające ustawienie kąta nachylenia sita (ramy stanowiska) w stosunku do płaszczyzny poziomej:

- α – kąt nachylenia poprzecznego (symulacja jazdy wzdłuż zbocza) [°],
- β – kąt nachylenia wzdłużnego (symulacja jazdy „pod górę” i „z góry”) [°],
- γ – kąt nachylenia sekcji sita daszkowego [°],
- δ – kąt nachylenia części uchylnej separatora względem sita głównego [°].

Badania obejmowały:

- sposób pobierania prób i metodę określania ich reprezentatywnych liczebności,
- określanie masy przesianych ziaren przez sita w poszczególnych strefach,
- ocenę jakości pracy sit.

Sposób pobierania prób i metoda określania ich reprezentatywnej liczebności

Do badań wykorzystano mieszaninę ziarnistą pobraną losowo z podsiewacza kombajnu zbożowego Bizon Z058. Mieszaninę tę stanowiło ziarno pszenicy odmiany Eta oraz naturalne zanieczyszczenia (plewy, zgoniny, słoma, kłosa, nasiona chwastów itp.). W pierwszej kolejności określono procentowy udział zanieczyszczeń w mieszaninie. Następnie przed każdym eksperymentem mieszano dokładnie ziarno z zanieczyszczeniami, aby masa stanowiła strukturalnie jednorodną mieszaninę zbliżoną do materiału czyszczonego w kombajnie zbożowym. Ze względu na małą zmienność warunków badań stanowiskowych wystarczające okazały się pomiary w pięciu powtórzeniach dla poszczególnych kombinacji ustawień i parametrów pracy zespołu czyszczącego (Q_0 , α , β , γ , δ).

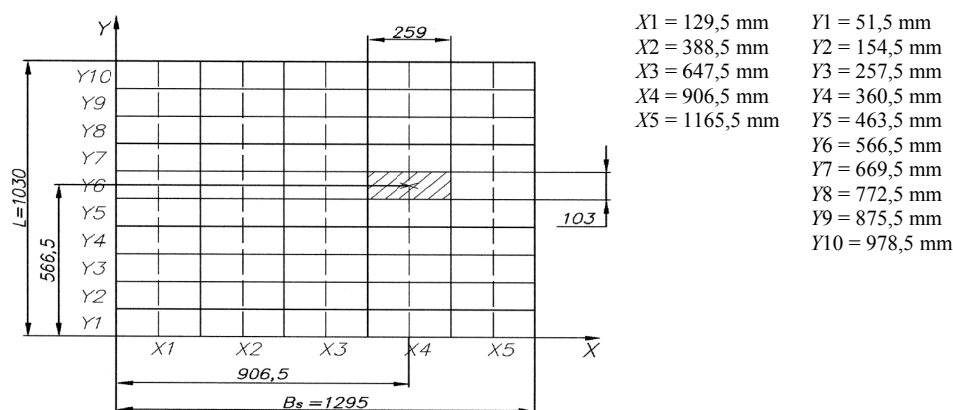
Określanie ilości przesianych ziaren przez sito w poszczególnych strefach

Przesiane przez sito ziarno z resztkami zanieczyszczeń zbierano do pojemników pomiarowych umieszczonych pod jego powierzchnią. Powierzchnię sita cylindrycznego i daszkowego podzielono na 50 pól pomiarowych o wymiarach 259 mm x 103 mm według schematu przedstawionego na rysunku 53 [Bieniek 2003]. Natomiast dla sita dwupłaszczyznowego dodatkowo pod częścią uchylną umieszczono 20 pól pomiarowych.

Weryfikację masowego rozkładu czyszczonej masy (m_z) w strefach pomiarowych pod badanymi sitami przeprowadzono zgodnie z zależnością:

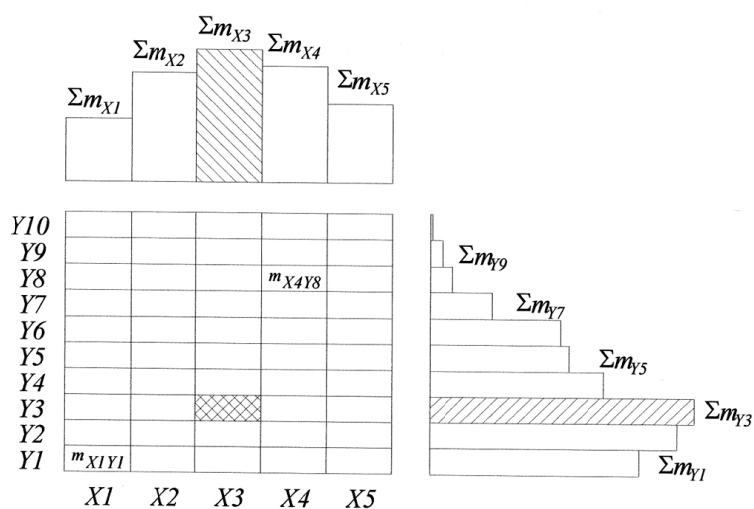
$$m_{x_i y_j} = \frac{\sum m_{x_i}}{\sum m} \cdot \frac{\sum m_{y_j}}{\sum m} \quad (3.1)$$

Rysunek 54 przedstawia graficzną ilustrację sposobu określania masy w pojemnikach pomiarowych pod sitem. Proces przesiewania i separacji ziarna w poszczególnych strefach pomiarowych sita analizowano przy zasilaniu masą od 1,3 do 3,3 kg·s⁻¹, co odpowiadało obciążeniu sita od 1,0 do 2,5 kg·s⁻¹·m⁻². Podawanie masy poomłotowej (o określonym strumieniu) na powierzchnię sita 4 (rys. 55) zapewniał dozownik umieszczony w zbiorniku zasypowym 7. Wentylator 17 dzięki dyszom 10 podawał stały strumień powietrza pod powierzchnię badanych sit.



Rys. 53. Schemat podziału powierzchni sita na strefy pomiarowe, którym przypisano środki mas m_z ; oś X – szerokość sita B_s , ($X1 \dots X5$ – numery sekcji sita). oś Y – długość sita L , ($Y1 \dots Y10$ – numery stref pomiarowych), np. $X4 \times Y6$ – położenie strefy pomiarowej 6 w sekcji 4 [Bieniek 2003]

Fig. 53. A diagram of segmentation of the sieve surface to whom were attributed centres of mass m_z ; axle X – width of a sieve B_s ($X1 \dots X5$ – numbers of sieve sections), axle Y – length of a sieve L ($Y1 \dots Y10$ – numbers of the measurement zones), e.g. $X4 \times Y6$ – location of the measurement zone 6 in a section 4

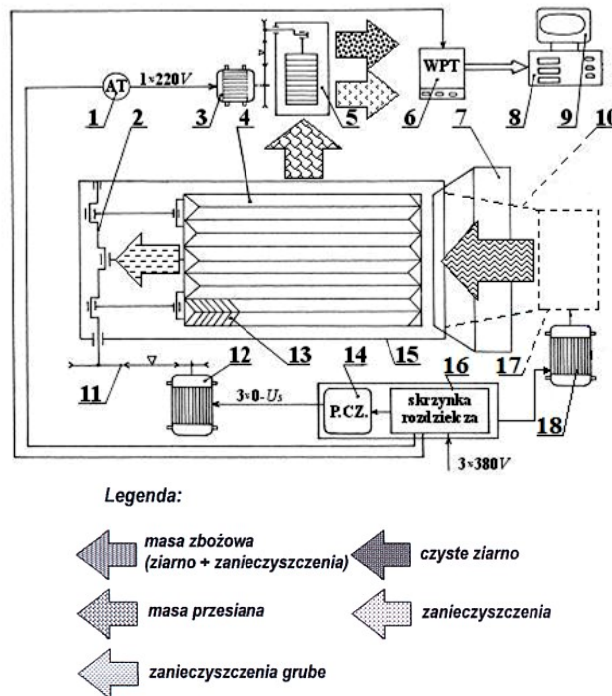


Rys. 54. Przykład określania wartości masy (ziarna) w strefie pomiarowej [Bieniek 2003]

Fig. 54. The example of the determination of the mass (grain) in the measurement zone

Dla kombajnu zbożowego pracującego na zboczu, graniczny kąt nachylenia zarówno poprzecznego, jak i podłużnego nie powinien być większy niż 15° [Bogdanowicz 1994, Małe 1990, Martini 1953]. Mając na uwadze ww. ograniczenia, badania sit przeprowadzono dla ustawień:

- kąt nachylenia bocznego kosza sitowego $0^\circ \leq \alpha \leq +15^\circ$,
- kąt nachylenia wzdłużnego kosza sitowego $-15^\circ \leq \beta \leq +15^\circ$,
- kąt nachylenia segmentów sita daszkowego $0^\circ \leq \gamma \leq +15^\circ$,
- kąt nachylenia części uchylnej sita $0^\circ \leq \delta \leq +20^\circ$.



Rys. 55. Schemat blokowy stanowiska badawczo-pomiarowego; 1 – autotransformator, 2 – wał wykorbiony, 3 – silnik elektryczny wytrząsarki, 4 – sito daszkowe, 5 – wytrząsarka, 6 – waga, 7 – zbiornik zasypowy z dozownikiem, 8 – komputer PC, 9 – monitor, 10 – dysza układu aerodynamicznego, 11 – przekładnia napędu kosza sitowego, 12 – silnik elektryczny, 13 – żaluzje sekcji sita, 14 – przemiennik częstotliwości, 15 – rama stanowiska, 16 – skrzynka zasilająco-rozdzielcza, 17 – wentylator, 18 – silnik elektryczny wentylatora [Bieniek 2003]

Fig. 55. The block diagram of the research-measuring stand; 1 – autotransformer, 2 – crankshaft, 3 – electric motor of straw shaker, 4 – canopy sieve, 5 – straw shaker, 6 – balance, 7 – dosing tank, 8 – PC computer, 9 – monitor, 10 – nozzle of aerodynamic arrangement, 11 – transmission of sieve tray, 12 – electric motor, 13 – sieve shutter, 14 – frequency converter, 15 – frame of the stand, 16 – feeder-separate box, 17 – fan, 18 – electric motor of fan

Sito na szerokości B_s podzielono na 5 kolumn, oznaczając je odpowiednio $X1 \dots X5$ (sekcje sita) i każdej z niej przyporządkowano wartość liczbowa wynikającą z szerokości sita (rys. 53), natomiast sito na długości L podzielono na 10 rzędów, oznaczając je $Y1, \dots, Y10$ (strefy pomiarowe) i każdej strefie również przyporządkowano wartość liczbowa wynikającą z długości sita (przykład z rys. 53 – $X4 = 906,5$ mm a $Y6 = 566,5$ mm). Każdej strefie przyporządkowano pojemnik pomiarowy. Dla sita dwupłaszczyznowego pod częścią uchylną umieszczono dodatkowo 4 rzędy pojemników oznaczone $Y11 \dots Y14$. W ten sposób uzyskano układ, w którym masę m_z przesianą przez sito można przypisać środkom poszczególnych stref i opisać współrzędnymi X_i, Y_j . Z każdej próbki oddzielano zanieczyszczenia na wytrząsarce. Wytrząsarka zbudowana była z dwóch sit i pojemnika. Sito górne o otworach $4,0 \times 24,0$ mm służyło do oddzielenia grubych zanieczyszczeń w postaci drobnych kawałków słomy i plew. Sito dolne o otworach $1,6 \times 20,0$ mm służyło do oddzielenia drobnych zanieczyszczeń w postaci piasku, drobnych kamyków, nasion chwastów oraz pośladu, które zbierane były w pojemniku. Próbkę zanieczyszczeń ważono, a wyniki pomiarów zapisywano w komputerowej bazie danych w celu dalszej analizy statystycznej. Oznaczenie zanieczyszczeń przeprowadzono zgodnie z polską normą PN-R-74015. Rozkłady ziarna określono dla wszystkich możliwych kombinacji ustawień, dla trzech badanych sit.

Całkowita masa przesianego materiału pod sitami (masa ziarna oraz zanieczyszczeń) m_c wynosi (rys. 56):

$$m_c = \sum_{i=1}^{i=5} m_c(X_i) = \sum_{j=1}^{j=10} m_c(Y_j) \quad [\text{kg}] \quad (3.2)$$

gdzie:

$m_c(X_i)$ – całkowita masa przesianego ziarna pod i -tą sekcją sita ($i = 1 \div 5$),

$m_c(Y_j)$ – całkowita masa przesianego ziarna pod j -tą strefą sita ($j = 1 \div 10$),

masę m_c obliczamy z zależności:

$$m_c = \int_{B_s=0}^{B_s=1295} m_c(B_s) \cdot dB_s = \int_{L=0}^{L=1030} m_c(L) \cdot dL \quad [\text{kg}] \quad (3.3)$$

gdzie:

$m_c(B_s)$ – całkowita masa przesianego materiału pod sekcją sita na szerokości B_s [mm]

($B_s = 0 \div 1295$),

$m_c(L)$ – całkowita masa przesianego materiału pod strefą sita na długości L [mm]

($L = 0 \div 1030$).

Skumulowana pod sitem na jego długości L masa całkowita $m_c^s(L)$ wynosi:

$$m_c^s(L) = \int_{L=0}^{L=1030} m_c(L) \cdot dL \quad [\text{kg}] \quad (3.4)$$

przy czym $m_c^s(L_{1030}) = m_c$ (rys. 56).

$$\begin{aligned} m_c(Y1) &= m_{X1Y1} + m_{X2Y1} + m_{X3Y1} + m_{X4Y1} + m_{X5Y1} \\ m_c(Y2) &= m_{X1Y2} + m_{X2Y2} + m_{X3Y2} + m_{X4Y2} + m_{X5Y2} \\ &\dots\dots\dots \\ m_c(Y10) &= m_{X1Y10} + m_{X2Y10} + m_{X3Y10} + m_{X4Y10} + m_{X5Y10} \end{aligned}$$
$$\begin{aligned} m_c^s(Y1) &= m_c(Y1) \\ m_c^s(Y2) &= m_c(Y1) + m_c(Y2) \\ m_c^s(Y3) &= m_c(Y1) + m_c(Y2) + m_c(Y3) \\ &\dots\dots\dots \\ m_c^s(Y10) &= m_c(Y1) + m_c(Y2) + m_c(Y3) + \dots + m_c(Y10) \end{aligned}$$

The figure consists of two parts. On the left is a 10x5 grid with columns labeled X1, X2, X3, X4, X5 and rows labeled Y1, Y2, Y3, Y4, Y5, Y6, Y7, Y8, Y9, Y10. On the right is a horizontal bar chart with 10 bars, each corresponding to a row Yj. The bars are labeled m_c(Yj) on the right side. The length of the bars increases from Y1 to Y10. The bars are shaded with diagonal lines.

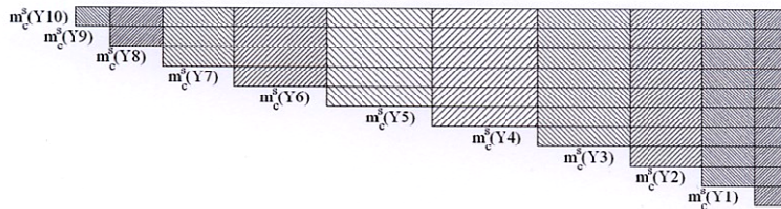


Fig. 56. Designations of total mass under zones sieve $m_c(L)$ and of accumulated total mass under sieve $m_c^s(L)$

Współczynnik skumulowanej masy całkowitej pod sitami na długości sita od $L = 0$ do $L = 1030$ wyznaczano wg wzoru [Bieniek 2003]:

$$k_{mc}^s(L) = \frac{m_c^s(L)}{m_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.5)$$

Metodyka oceny jakości pracy sit

Pracę sit daszkowego i dwupłaszczyznowego oceniano w aspekcie ich skuteczności i wydajności separacji oraz sprawności sita.

Ocena skuteczności separacji ziarna

Ocenę skuteczności separacji na sitach określa się poprzez obliczenie ułamka masyowego ziarna uzyskanego w produkcie m_z w stosunku do ogólnej ilości w mieszaninie wejściowej ($m_z + m_{z0}$) oraz ilości zanieczyszczeń wydzielonych faktycznie do odpadu m_{i0} w stosunku do ogólnej ich ilości w mieszaninie wejściowej ($m_i + m_{i0}$), gdzie zanieczyszczenia m_i składają się z zanieczyszczeń grubych m_g i zanieczyszczeń drobnych m_d ($m_i = m_g + m_d$) [Grochowicz 1994]:

$$E = \frac{m_z}{m_z + m_{z0}} \cdot \left(1 - \frac{m_{i0}}{m_i + m_{i0}}\right) \quad (3.6)$$

gdzie:

$m_z (m_z + m_{z0})^{-1}$ – stosunek wielkości uzysku materiału podstawowego do wejściowego,

$1 - m_{i0} (m_i + m_{i0})^{-1}$ – stopień wydzielania zanieczyszczeń,

m_z – masa ziarna w produkcie [kg],

m_i – masa zanieczyszczeń w produkcie [kg],

m_{z0} – masa ziarna w odpadzie [kg],

m_{i0} – masa zanieczyszczeń w odpadzie [kg].

Zatem współczynnik E jest sumą współczynnika efektywności separacji i wskaźnika precyzji podziału (stratności).

Uwzględniając, że:

$$m_z + m_{z0} = m_p = I - m_q \quad [\text{kg}] \quad (3.7)$$

$$m_i + m_{i0} = m_q = I - m_p \quad [\text{kg}] \quad (3.8)$$

gdzie: m_p – masa materiału podstawowego (ziarna) w materiale wejściowym [kg],

m_q – masa zanieczyszczeń w materiale wejściowym [kg],

otrzymujemy:

$$E = \frac{m_z}{m_p} - \frac{m_i}{m_q} \quad (3.9)$$

Współczynnik skuteczności separacji E może przyjmować wartości $1 \geq E \geq -1$. Jeżeli $E = +1$, czyszczenie jest procesem idealnym, gdy $E = -1$ – ziarno w całości przeszło do odpadu, a wszystkie zanieczyszczenia do produktu [Bieniek 2003].

Ocena sprawności sita

W rzeczywistości każda mieszanina wejściowa zawiera składniki z cechami negatywnymi, które wydzielane są przy użyciu innych urządzeń i elementów rozdzielczych. W takim przypadku oceniając jakość pracy sita, korzystnie jest określić sprawność sita η [Grochowiec 1994]:

$$\eta = \frac{m_q - m_i}{m_q} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.10)$$

gdzie: m_i i m_q jak wyżej.

Ocena czystości ziarna

Czystość ziarna C określa się zależnością:

$$C = \frac{m_z}{m_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.11)$$

gdzie:

m_z – masa ziarna uzyskana po separacji [kg],

m_c – masa całkowita ziarna przesianego przez sito (ziarno plus zanieczyszczenia) [kg].

Określenie wydajności separacji

Wydajność separacji q sit określa się drogą pośrednią. Pomiar ten polega na określeniu ilości przesianego ziarna przez otwory sita m_z do czasu trwania procesu t_w [Bieniek 2003]:

$$q = \frac{m_z}{t_w} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.12)$$

gdzie: m_z – masa ziarna przesianego przez otwory sita w czasie t_w [kg],

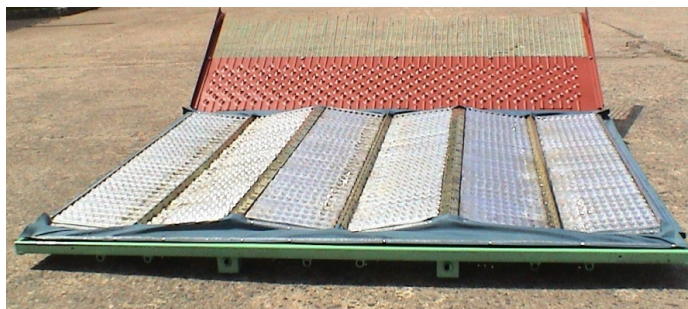
t_w – czas trwania separacji masy ziarna m_z [s].

3.2.2. Badania eksploatacyjne – polowe

Obiekt badań

Sito cylindryczne – Oceniając sito cylindryczne sekcyjne pod względem uzyskanej przesiewalności, autorzy Bieniek i Banasiak stwierdzili, że podczas pracy na stanowisku badawczym spełniło ono wymogi stawiane tego typu sitom. Jednak zastosowanie takiego sita w kombajnie zbożowym ze względu na jego kształt jest utrudnione. Konieczne byłyby zmiany konstrukcyjne w koszu sitowym kombajnu. Z tego też powodu zrezygnowali oni z budowy prototypu sita cylindrycznego do kombajnu i jego badań eksploatacyjnych. Uzyskane wyniki ukierunkowały dalsze badania i pozwoliły rozwiązać problem separacji ziarna podczas zbioru zbóż na terenach nachylonych z wykorzystaniem innych sit kształtowych.

Sito daszkowe i dwupłaszczyznowe – Prototypy badanych sit przedstawiono na fotografiach 4 i 5. Wykonane one zostały w Instytucie Inżynierii Rolniczej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Szczegółowa budowa sita daszkowego (fot. 4) opisana została w zastrzeżeniu patentowym pod numerem P-3227256 [Banasiak 1998], a sita dwupłaszczyznowego (fot. 5) w zastrzeżeniu patentowym pod numerem P-367380 [Bieniek i in. 2004]. W czasie badań sito daszkowe oraz dwupłaszczyznowe zainstalowane było w koszu sitowym kombajnu Bizon Z058 w miejsce fabrycznie stosowanego sita płaskiego. Utylitarnym celem tych badań była ocena funkcjonalności i skuteczności działania zaprojektowanych sit. Ich skuteczność wyznaczały dwa wskaźniki: czystość zbieranego ziarna i poziom strat.



Fot. 4. Widok prototypu sita daszkowego do kombajnu zbożowego [fot. J. Bieniek]
Phot. 4. View of the prototype canopy sieve to combine-harvester



Fot. 5. Widok prototypu sita dwupłaszczyznowego do kombajnu zbożowego [fot. J. Bieniek]
Phot. 5. View of the prototype two-plans sieve to combine-harvester

Miejsce badań

Badania polowe przeprowadzono na dwóch polach, na Dolnym Śląsku u podnóża Sudetów. Usytuowanie miejsc pomiarowych podyktowane było konfiguracją terenu. Pomiaru kątów nachylenia pól w miejscach pomiarowych dokonano poziomnicą elektryczną. Dla sita daszkowego średnia wilgotność zbieranego ziarna zawierała się od 9,9%

do 12,8%, średnie nachylenie terenu wynosiło od 7,0° do 13,4° (tab. 3) a dla sita dwupłaszczyznowego średnia wilgotność ziarna wynosiła od 11,9% do 14,7% a średnie nachylenie terenu od 7,8° do 10,5° (tab. 4) [Bieniek i in. 2008a].

Tabela 3
Table 3

Nachylenie terenu oraz wilgotność ziarna występująca w trakcie badań sita daszkowego
(wartości średnie) [Bieniek i in. 2008a]

Land inclination and grain moisture contents occurrence in research of the canopy sieve (mean)

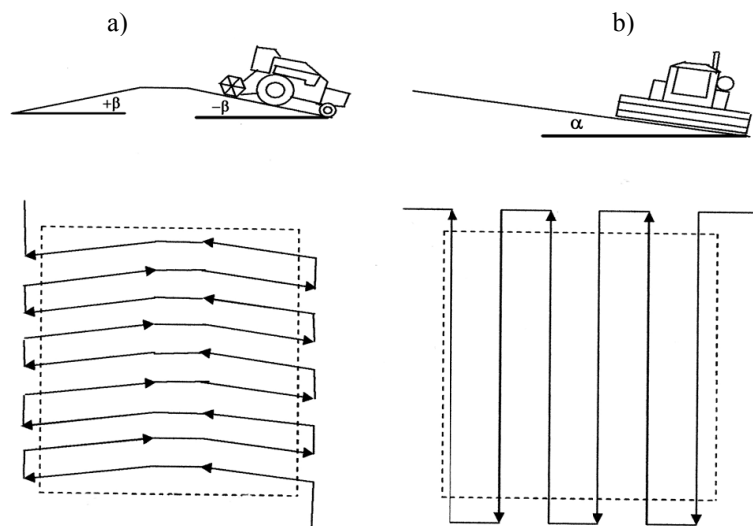
Lp.	Pole / Field nr 1			Pole / Field nr 2		
	Nachylenie terenu Land inclination		Wilgotność ziarna Grain moisture contents	Nachylenie terenu Land inclination		Wilgotność ziarna Grain moisture contents
	1 °	%	%	1 °	%	%
1.	Ustawienie daszków / Adjustment of the canopy $\gamma = 0^\circ$					
	7,0	11,7	9,9	12,4	21,8	11,4
2.	Ustawienie daszków / Adjustment of the canopy $\gamma = 5^\circ$					
	8,5	15,0	11,8	12,9	22,9	12,3
3.	Ustawienie daszków / Adjustment of the canopy $\gamma = 10^\circ$					
	8,0	14,1	12,8	13,4	23,6	11,8
4.	Ustawienie daszków / Adjustment of the canopy $\gamma = 15^\circ$					
	7,8	13,5	11,9	13,2	23,3	12,2

Tabela 4
Table 4

Nachylenie terenu oraz wilgotność ziarna występująca w trakcie badań sita dwupłaszczyznowego
(wartości średnie) [Bieniek i in. 2008a]

Land inclination and grain moisture contents occurrence in research of the two-plane sieve (mean)

Lp.	Pole / Field nr 1			Pole / Field nr 2		
	Nachylenie terenu Land inclination		Wilgotność ziarna Grain moisture contents	Nachylenie terenu Land inclination		Wilgotność ziarna Grain moisture contents
	1 °	%	%	1 °	%	%
1.	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section $\delta = 0^\circ$					
	9,3	16,5	13,3	9,8	17,3%	13,3%
2.	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section $\delta = 5^\circ$					
	8,2	14,4	12,9	10,5	18,5%	13,7%
3.	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section $\delta = 10^\circ$					
	8,4	15,2	11,9	9,8	17,3%	13,9%
4.	Ustawienie sekcji uchylnej / Adjustment of the tiltable section $\delta = 15^\circ$					
	7,8	13,8	12,3	9,1	16%	14,7%



Rys. 57. Schemat roboczego ruchu kombajnu zbożowego w terenie nachylonym; a) wzdłuż zbocza, b) w poprzek zbocza [Bieniek i in. 2005a]

Fig. 57. Diagram of elemental motions of combine-harvester in the sloping field. a – crosswise to the slope, b – along to the slope [Bieniek et al. 2005a]

Na rysunku 57 przedstawiono dwa zasadnicze kierunki ruchu roboczego kombajnu zbożowego na zboczu: ruch kombajnu wzdłuż kierunku spadku terenu, prostopadłe do warstwy (+β i -β) z odcinkiem płaskim na szczycie wzniesienia (rys. 57a) oraz ruch kombajnu zbożowego wzdłuż warstwy (rys. 57b) w nachyleniu poprzecznym (α) [Bieniek i in. 2008a].

Metodyka badań eksploatacyjnych

Badania polowe przeprowadzono w trzech etapach. Najpierw wykorzystano sito płaskie – fabryczne. Następnie badania prowadzono z użyciem sita daszkowego zamontowanego w miejsce sita fabrycznego (fot. 6), z kolei zaś – z sitem dwupłaszczyznowym. Mieszanina ziarnista, grawitacyjnie transportowana w kombajnie z podsiewacza i wytrząsaczy, stanowiła materiał wejściowy na sita. W trakcie realizacji badań – parametry pracy zespołu czyszczącego, szerokość szczeliny roboczej sita oraz prędkość strumienia powietrza były ustalone dla określonych warunków pracy kombajnu. W procesie czyszczenia pojawiają się dwie frakcje: dolna i górna. W dolnej powinna znajdować się cała masa materiału podstawowego i zanieczyszczenia drobne. Na sicie powinny pozostać i z niego zejść tylko zanieczyszczenia duże, pozbawione całkowicie frakcji dolnej. W praktyce ziarno pozostające we frakcji górnej oznacza jego stratę. Podczas badań polowych dokonano pomiaru czystości i strat ziarna. W każdym punkcie pomiarowym pobrano próby przy różnych kątach nachylenia daszków γ , ustawianych w przedziale od 0° do 15° co 5° oraz dla kątów nachylenia części uchylnej sita dwupłaszczyznowego δ , ustawianej w przedziale od 0° do 15° co 5° .



Fot. 6. Widok sita daszkowego zamontowanego w kombajnie Bizon Z 058 [fot. J. Bieniek]
 Phot. 6. View of the canopy sieve install in combine-harvester Bizon Z 058

W celu ustalenia strat pod gardzielą wylotową zainstalowano bęben z nawiniętą folią o wymiarach 4 x 8,0 m (fot. 7). Rozwijanie folii następowało podczas normalnego biegu roboczego kombajnu po wcześniejszym ustabilizowaniu się warunków jego pracy w miejscach, w których wcześniej wyznaczono plon całkowity. Zebrane ziarno z folii stanowiło straty łączne, generowane pracą sita daszkowego lub dwupłaszczyznowego i standardowych wytrząsaczy kombajnu. W czasie zbierania ziarna w celu oznaczenia strat – pobierano również próby w celu określenia jego czystości z miejsca wysypu ziarna do zbiornika (fot. 8). Pomiarów dokonywano podczas jazdy roboczej kombajnu w trzech kierunkach: poprzecznie do kierunku spadku zbocza α oraz wzdłuż linii spadku pod górę ($-\beta$) i w dół ($+\beta$).



Fot. 7. Sposób zbierania ziarna w celu określenia strat [fot. J. Bieniek]
 Phot. 7. Drawing of samples to determine the loss of grain

Po zebraniu wszystkich próbek – w laboratorium Instytutu Inżynierii Rolniczej dokonywano sortowania i ważenia pobranego materiału oraz analizy statystycznej wyników badań [Bieniek i in. 2005a, Bieniek i in. 2008b].



Fot. 8. Sposób pobierania próbek ziarna w celu określenia jego czystości [fot. J. Bieniek]
Phot. 8. Drawing of samples to determine the clean of grain

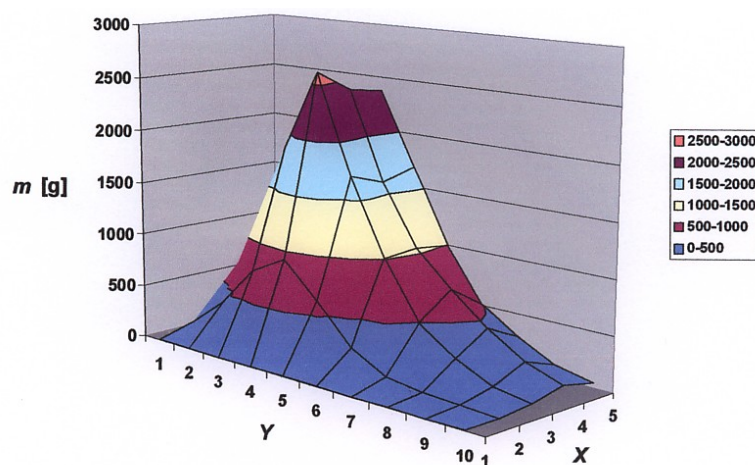
3.3. Wyniki badań

3.3.1. Badania stanowiskowe

Sito cylindryczne

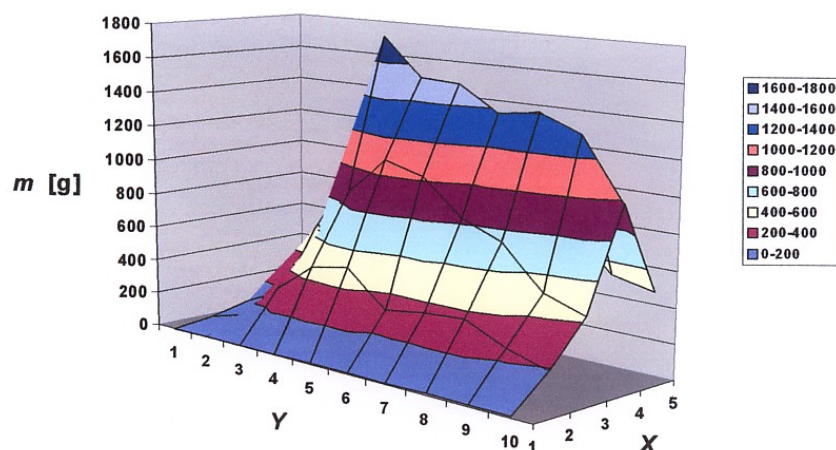
Badania przeprowadzono dla każdej kombinacji ustawienia sekcji i nachylenia sita. W niniejszej publikacji przedstawiono analizę wyników badań dla czterech przykładowych ustawień ramy [Bieniek 2004]. Sekcje skrajne sita nie były uniesione, a rama ustawiona tak jak przy jeździe kombajnu po „terenie płaskim” (ustawienie „O” – rys. 58). Dla tego ustawienia rozkład masy zbożowej w strefach pomiarowych był zgodny z zasadą przemieszczania się masy czyszczonej na sicie. Stwierdzono, że rozkład nie jest równomierny dla wszystkich sekcji. Największe obciążenie sita masą czyszczoną, zarówno w tym, jak i w pozostałych przypadkach obserwuje się w strefie początkowej sita $Y_2 - Y_4$ i trzech środkowych sekcjach (X_2, X_3, X_4). Analizując rozkład masy przy ustawieniu symulującym jazdę „pod górę” (ustawienie „A” – rys. 59), okazuje się, że najbardziej obciążoną jest trzecia sekcja (X_3), gdzie widać wyraźną różnicę w rozkładzie masy zbożowej. Podczas nachylenia sita, które symulowało jazdę kombajnu „w poprzek zbocza” (ustawienie „C” – rys. 60), największy udział w procesie przesiewania mają sekcje X_4, X_5 . Najmniejsze wartości zanotowano dla sekcji X_1 i X_2 . Roz-

kład masy ziarna podczas symulacji „jazda w dół zbocza” przedstawiono na rysunku 61 (ustawienie „A”). W tym przypadku najbardziej obciążonym obszarem sita były strefy pomiarowe Y1 – Y4 dla wszystkich sekcji. Ilość ziarna, która znalazła się w tych punktach pomiarowych wahała się w granicach od 2500 do 3500 g.



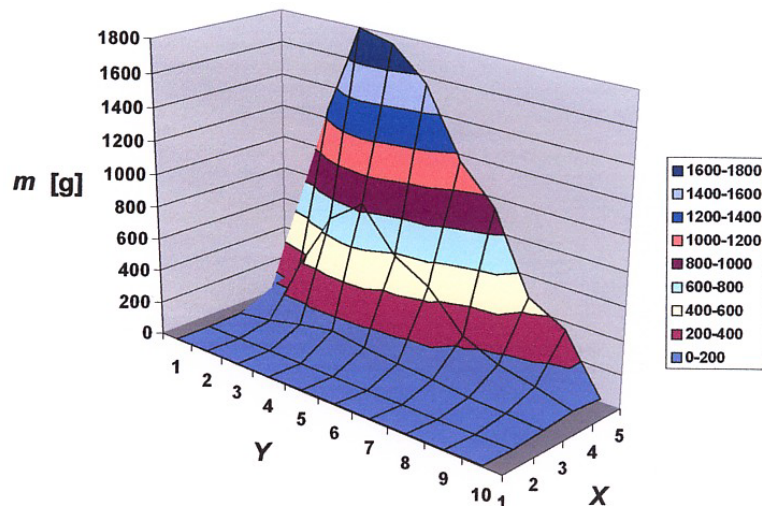
Rys. 58. Rozkład masy ziarna pod sitem cylindrycznym dla ustawienia sita „0” – „symulacja jazda po terenie płaskim”; Y1 – Y10 strefy pomiarowe, X1 – X5 sekcje sita, m – masa przesianego ziarna [Bieniek 2004]

Fig. 58. Distribution of grain mass under the cylindrical sieve at the of sieve position „0” – „simulation horizontal land”; Y1 ... Y10 – numbers of the measurement zones, X1 ... X5 – numbers of sieve sections, m – cleaned mass



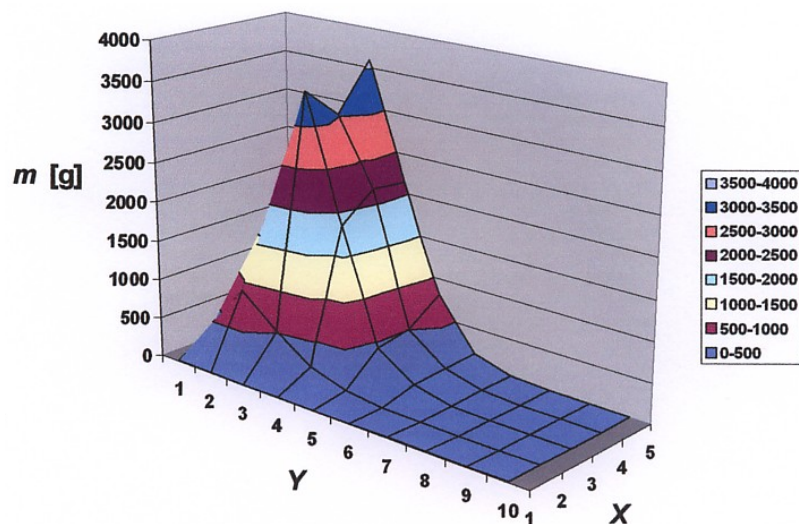
Rys. 59. Rozkład masy ziarna pod sitem cylindrycznym dla ustawienia sita „symulacja jazdy pod górę”; Y1 – Y10 strefy pomiarowe, X1 – X5 sekcje sita, m – masa przesianego ziarna [Bieniek 2004]

Fig. 59. Distribution of grain mass under the cylindrical sieve at the of sieve position „simulation upwards land”; Y1 ... Y10 – numbers of the measurement zones, X1 ... X5 – numbers of sieve sections, m – cleaned mass



Rys. 60. Rozkład masy ziarna pod sitem cylindrycznym dla ustawienia sita „symulacja jazdy wzdłuż warstw”; $Y1 - Y10$ strefy pomiarowe, $X1 - X5$ sekcje sita, m – masa przesianego ziarna [Bieniek 2004]

Fig. 60. Distribution of grain mass under the cylindrical sieve at the of sieve position „simulation crosswise land”; $Y1 \dots Y10$ – numbers of the measurement zones, $X1 \dots X5$ – numbers of sieve sections, m – cleaned mass



Rys. 61. Rozkład masy ziarna pod sitem cylindrycznym dla ustawienia sita „symulacja jazdy w dół zbocza”; $Y1 - Y10$ strefy pomiarowe, $X1 - X5$ sekcje sita, m – masa przesianego ziarna [Bieniek 2004]

Fig. 61. Distribution of grain mass under the cylindrical sieve at the of sieve position „simulation downwards land”; $Y1 \dots Y10$ – numbers of the measurement zones, $X1 \dots X5$ – numbers of sieve sections, m – cleaned mass

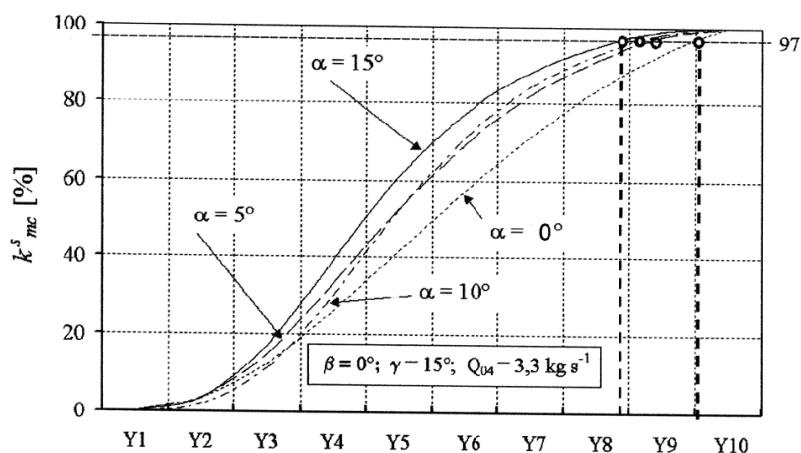
Badania sita cylindrycznego dowiodły poprawności jego działania w czasie symulacji „jazdy pod i z góry zbocza” oraz poprawienia jakości pracy poprzez korzystniejszy rozkład masy ziarna pod sitem w czasie symulacji „jazdy w poprzek zbocza”. Jednak ze względu na kształt sita zamontowanie go w koszu sitowym wiązałoby się ze zmianami konstrukcyjnymi w kombajnie [Bieniek 2004].

Sito daszkowe

Przesiewalność ziarna na sicie daszkowym

Analiza przesiewalności ziarna w funkcji długości sita L wykazała, że największym stopniem przesiewania charakteryzowała się środkowa jego część (strefy $Y4 - Y7$). Przesiewalność była tym większa, im większe były wartości przechyłu poprzecznego sita (rys. 62). Należy to tłumaczyć tym, że dla większych nachyleń kosza sitowego α przypisane są automatycznie odpowiednio większe kąty nachylenia „daszków” (segmentów) sita.

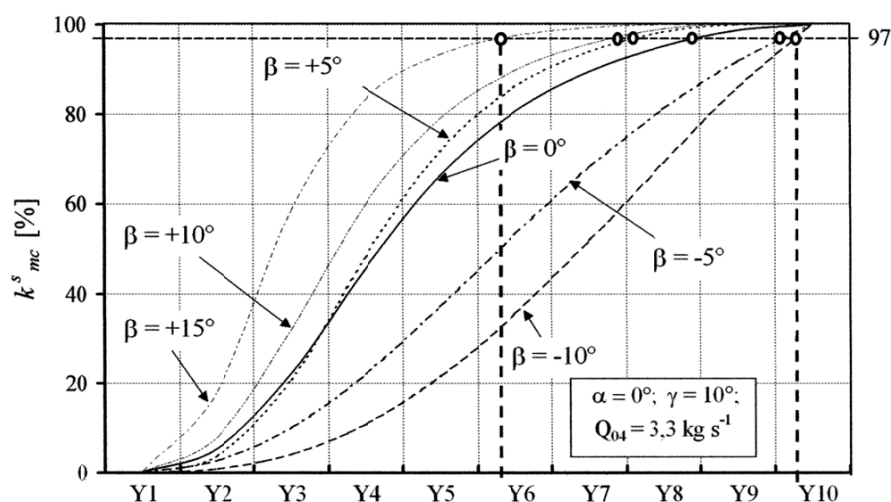
Odmienny charakter ma wpływ ustawienia wzdłużnego kosza sitowego β na proces separacji (przesiewania ziarna). Ujemnym pochyleniom kosza sitowego ($\beta \leq 0^\circ$) towarzyszy krótszy czas przebywania czyszczonej masy w strefie działania sita oraz jej większa prędkość przemieszczania. Czynniki te w decydujący sposób wpływają na proces separacji czyszczonej masy. W tych warunkach stopień przesiewania ziarna przez żaluzje sita jest wyraźnie zmniejszony, o czym świadczą przebiegi krzywych współczynnika skumulowanej masy całkowitej pod sitem $k_{mc}^s = f(-\beta, Y)$ (rys. 63). Konsekwencją zmniejszonej intensywności procesu separacji jest fakt, że stuprocentową przesiewalność osiągnięto dopiero w końcowych strefach sita ($Y9/Y10$).



Rys. 62. Wartość współczynnika skumulowanej masy całkowitej pod sitem k_{mc}^s wyznaczona dla poszczególnych stref pomiarowych ($Y1-Y10$) i kąta nachylenia poprzecznego sita (α) [Bieniek 2003]

Fig. 62. Stage of screening accumulated total mass under sieve k_{mc}^s determine for of the measurement zone ($Y1-Y10$) and angle of lateral inclination of sieve (α)

Korzystny przebieg ma proces przesiewania ziarna przy dodatnich kątach nachylenia kosza sitowego ($\beta \geq 0^\circ$). Znajdująca się na sicie masa czyszczona przemieszcza się po jego powierzchni ze znacznie mniejszą prędkością. Efektem tego jest większy stopień przesiewania ziarna. Na podstawie przeprowadzonych badań nasuwają się następujące spostrzeżenia – dla spełnienia wymogów pracy sita w warunkach nachylenia wzdłużnego -10° należałoby zwiększyć długość wspomnianego sita (np. o jedną strefę pomiarową Y11), zaś optymalnym kierunkiem ruchu maszyny (kombajnu) wyposażonego w takie sito (zalecanym do zbioru zbóż) jest jazda wzdłuż warstwy lub pod niewielkim kątem do warstwy [Bieniek 2003].



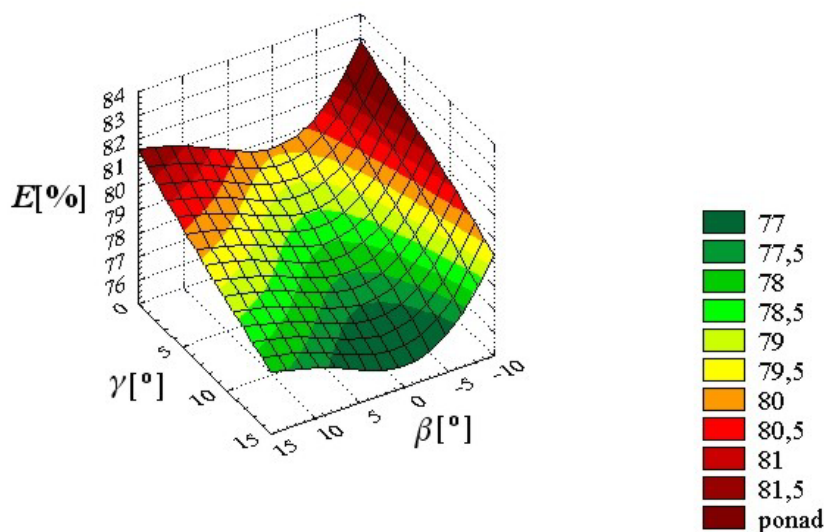
Rys. 63. Wartość współczynnika skumulowanej masy całkowitej pod sitem k_{mc}^s wyznaczona dla poszczególnych stref pomiarowych (Y1–Y10) i kąta nachylenia wzdłużnego sita (β) [Bieniek 2003]

Fig. 63. Stage of screening accumulated total mass under sieve k_{mc}^s determine for of the measurement zone (Y1-Y10) and angle of longitudinal inclination of sieve (β)

Wpływ zmiennych parametrów na jakości pracy sita daszkowego

Przeprowadzone na stanowisku przechyłowym pomiary przesiewalności sita daszkowego umożliwiły określenie wpływu kąta α (nachylenie poprzeczne), kąta β (nachylenie wzdłużne) i kąta γ (nachylenie daszków sita) na:

- współczynnik skuteczności separacji E (rys. 64),
- sprawność sita η (rys. 65),
- czystość ziarna C (rys. 66, 67),
- wydajność separacji q (rys. 68).



Rys. 64. Skuteczność separacji E [%] w funkcji kątów β i γ dla $\alpha = 10^\circ$ [Bieniek 2003]
 Fig. 64. Efficacy of separation E [%] as function of angle β and γ for $\alpha = 10^\circ$

Poniżej przedstawiono wykresy z przykładowymi wynikami badań dla sita zasilanego strumieniem masy ziarnistej $2,0 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

Wyznaczone wg wzoru 3.9 współczynniki skuteczności separacji E dla wybranego kąta $\alpha = 10^\circ$ pozwoliły określić najkorzystniejsze przedziały katowe nachyleń sita i nachyleń daszków. Są to kąty: γ od 0° do 5° , β od -5° do -10° i od 10° do 15° (rys. 64). Natomiast najmniejszą skuteczność odnotowano dla małych kątów β od -5° do $+5^\circ$ i dużych kątów γ od 10° do 15° [Bieniek 2003].

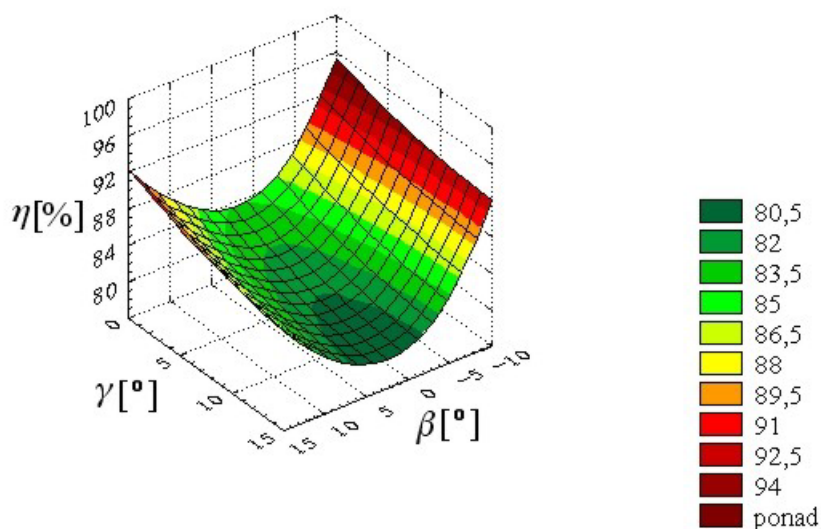
Sprawność sita η (rys. 65), wyrażająca stosunek różnicy zanieczyszczeń ($m_q - m_i$) do masy zanieczyszczeń wejściowych m_q (wzór 3.10), mieściła się w zakresie 80–95%.

Największą sprawnością charakteryzowało się sito dla całego zakresu kątów γ od 0° do 15° przy kącie $\beta = -10^\circ$. Z kolei, najmniejszą sprawność sita uzyskano dla kątów nachyleń daszków γ od 10° do 15° i nachyleń wzdłużnym sita β od 0° do $+5^\circ$.

Kolejnym wskaźnikiem oceny jakości pracy badanego sita była czystość ziarna C definiowana zależnością 3.11. Podobnie jak dla wskaźnika sprawności η tak i dla czystości C badany układ separujący osiągnął najlepsze efekty czyszczenia ziarna powyżej 98,0% dla kątów $\alpha = 10^\circ$ i $\beta = -10^\circ$ dla całego zakresu $\gamma = 0^\circ$ – 15° (rys. 66). Najgorszy efekt czyszczenia wystąpił dla kąta $\beta = 0^\circ$. Świadczy to o wyższej skuteczności czyszczenia w nachyleniu bocznym sita $\alpha = 10^\circ$ – 15° i nachyleniu wzdłużnym $\beta = -10^\circ$ i $\beta = +15^\circ$ niż dla sita pracującego w płaszczyźnie poziomej.

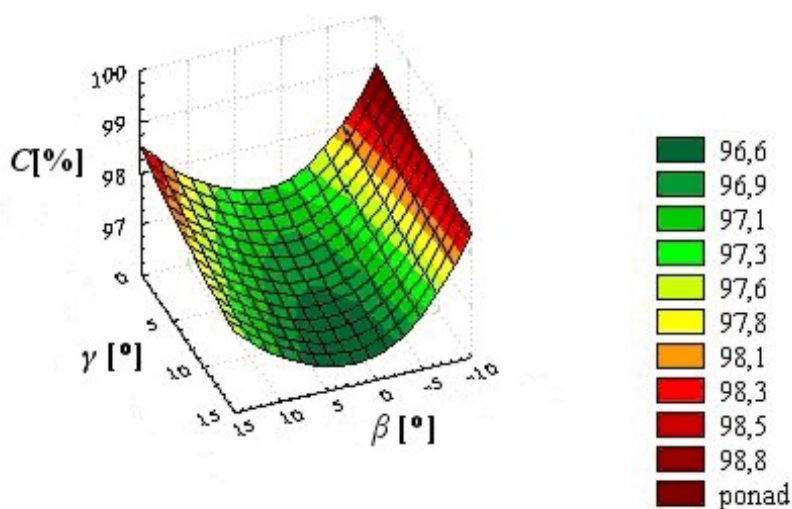
Na rysunku 67 przedstawiono zmiany wskaźników czystości C w funkcji kątów nachyleń poprzecznego sita α i kąta nachyleń wzdłużnego sita β przy stałym (założonym) kącie $\gamma = 10^\circ$. Jak widać z przebiegu krzywych, wskaźnik czystości ziarna wzrasta wraz ze wzrostem poprzecznego nachyleń sita α . Jednak największy przyrost

wskaźnika czystości ziarna występuje przy granicznych kątach nachylenia wzdłużnego sita, czyli przy $\beta = -10^\circ$ i $\beta = +15^\circ$ i osiąga wartość ponad 99,0%. Z kolei najmniejszy przyrost wskaźnika czystości występuje przy kątach nachylenia wzdłużnego β od -5° do $+10^\circ$ i kątach α od 0° do 5° , osiągając maksymalnie wartość 96,7%.



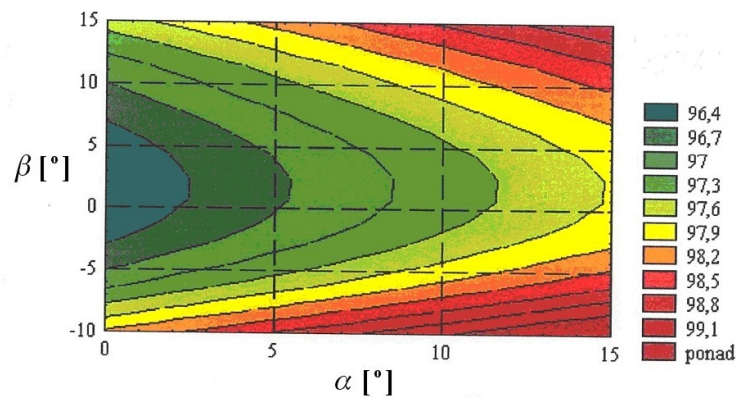
Rys. 65. Sprawność sita η [%] w funkcji kątów β i γ dla $\alpha = 10^\circ$ [Bieniek 2003]

Fig. 65. Efficiency of the sieve η [%] as function of angles β and γ for $\alpha = 10^\circ$



Rys. 66. Czystość ziarna C [%] w funkcji kątów β i γ dla $\alpha = 10^\circ$ [Bieniek 2003]

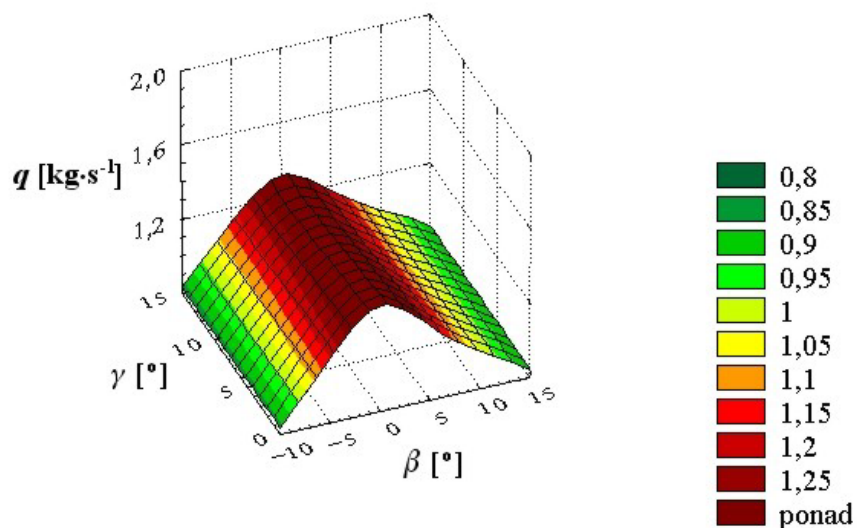
Fig. 66. Purity of the grain C [%] as function of angles β and γ for $\alpha = 10^\circ$



Rys. 67. Czystość ziarna C [%] w funkcji kątów α i β dla $\gamma = 10^\circ$ [Bieniek 2003]

Fig. 67. Purity of the grain C [%] as the function of angles α and β for $\gamma = 10^\circ$

Przedstawiona poniżej analiza wydajności separacji q (rys. 68) dla kąta nachylenia poprzecznego sita $\alpha = 10^\circ$ wykazała największe wartości q dla obszaru zmienności kątów β od -5° do $+5^\circ$ w całym zakresie kątów γ od 0° do 15° [Bieniek 2003].

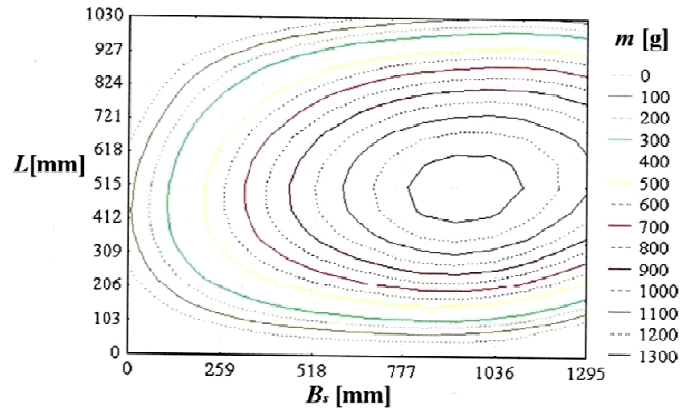


Rys. 68. Wydajność separacji q [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] w funkcji kątów β i γ dla $\alpha = 10^\circ$ [Bieniek 2003]

Fig. 68. Capacity of the separation q [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] as function of angles β and γ for $\alpha = 10^\circ$

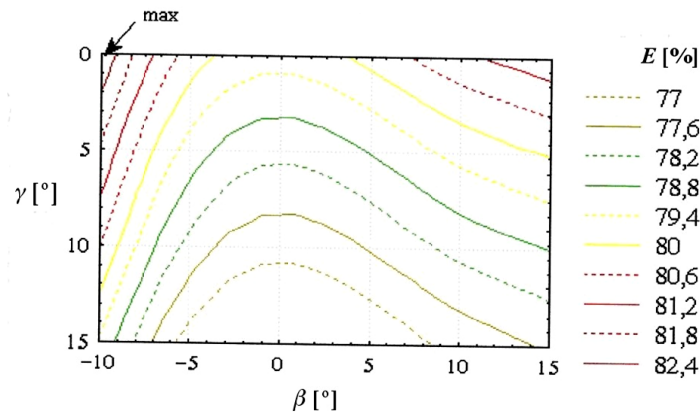
Wyznaczenie optymalnych kątów pracy sita daszkowego

Wykorzystując wyznaczone w czasie badań formuły matematyczne, przeprowadzono analizę rozkładu masy ziarna dla założonego strumienia zasilania, w celu określenia kątów nachylenia sita, przy których rozkład jest najbardziej zbliżony do rozkładu wzorcowego ($\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\gamma = 0^\circ$). Dla tych warunków poszukiwana wielkość kąta ustawienia daszków sita γ wynosi $8,9^\circ$ przy nachyleniu bocznym sita $\alpha = 5^\circ$ i wzdłużnym $\beta = -2^\circ$.



Rys. 69. Rozkład masy ziarna m pod sitem dla optymalnego ustawienia sita ($\gamma = 8,9^\circ$; $\alpha = 5^\circ$; $\beta = -2^\circ$). B_s – szerokość sita, L – długość sita [Bieniek 2003]

Fig. 69. Disintegration of grain mass m [g] under the sieve for optimal setting of the sieve ($\gamma = 8,9^\circ$; $\alpha = 5^\circ$; $\beta = -2^\circ$)



Rys. 70. Wyznaczenie maksimum skuteczności separacji E na sicie daszkowym w funkcji kąta jego nachylenia wzdłużnego β i kąta ustawienia daszków γ ($E_{max} = 88,0\%$ dla $\alpha = 10,6^\circ$, $\beta = -10^\circ$, $\gamma = 0^\circ$) [Bieniek 2003]

Fig. 70. A calculation of the maximum values of an efficacy of the separation E [%] on the canopy sieve as function of angle of longitudinal inclination of frame β and angles of canopy setting γ ($E_{max} = 88,0\%$ for $\alpha = 10,6^\circ$, $\beta = -10^\circ$, $\gamma = 0^\circ$)

Na rysunku 69 przedstawiono rozkład masy ziarna pod sitem dla wyżej wyznaczonych kątów α , β , γ . Ponadto wyznaczono kąty ustawienia sita, przy których skuteczność separacji osiąga maksimum $E_{\max} = 88,0\%$. Są to kąty β od -5° do -10° i γ od 0° do 5° (rys. 70). Wyznaczono również największe wartości sprawności sita $\eta_{\max} = 95,13\%$ i czystości ziarna $C_{\max} = 99,04\%$. Dla tych parametrów wartości maksymalne osiągnięto przy ustawieniu stanowiska $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 15^\circ$ i $\gamma = 10^\circ$.

Z przeprowadzonej analizy wyników badań wynika, że E , η i C osiągają wartości maksymalne dla następujących kątów nachylenia sita: α ($10^\circ - 15^\circ$), β (-10°) i γ ($0^\circ - 5^\circ$) [Bieniek 2003].

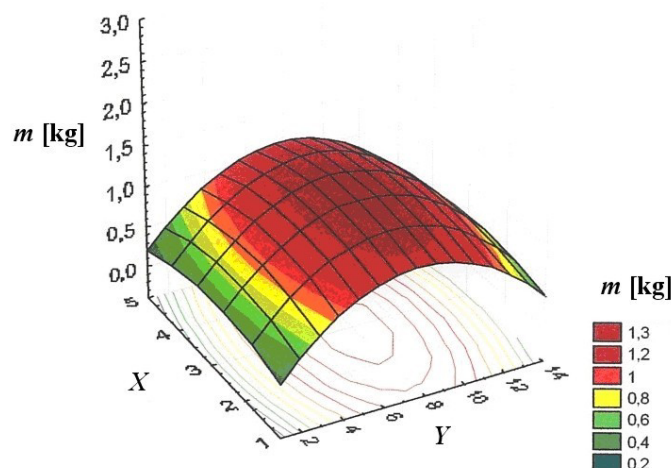
Sito dwupłaszczyznowe

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań badanego sita dwupłaszczyznowego.

Rozkład masy ziarna pod sitem

Dla ustawień sita: $\alpha = 0^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\delta = 0^\circ$

W przeprowadzonych badaniach parametrem odniesienia jest kąt nachylenia płaszczyzny uchylnej sita δ . Wyznacza on nachylenie dodatkowej płaszczyzny sita względem wypoziomowanej płaszczyzny podstawowej separatora. Rysunek 71 przedstawia rozkład przesiewanej masy w odniesieniu do kątów $\alpha = 0^\circ$ i $\beta = 0^\circ$ oraz kąta części uchylnej $\delta = 0^\circ$. Uzyskane wyniki dla ustawienia bazowego wskazują, że maksimum wartości przesiewu na długości separatora umiejscowione jest w punktach Y7, Y8 i Y9. Krzywe rozkładu masy na szerokości sita wykazują maksimum przesiewu w środkowej części sita X2 – X4 [Pogoda 2007].

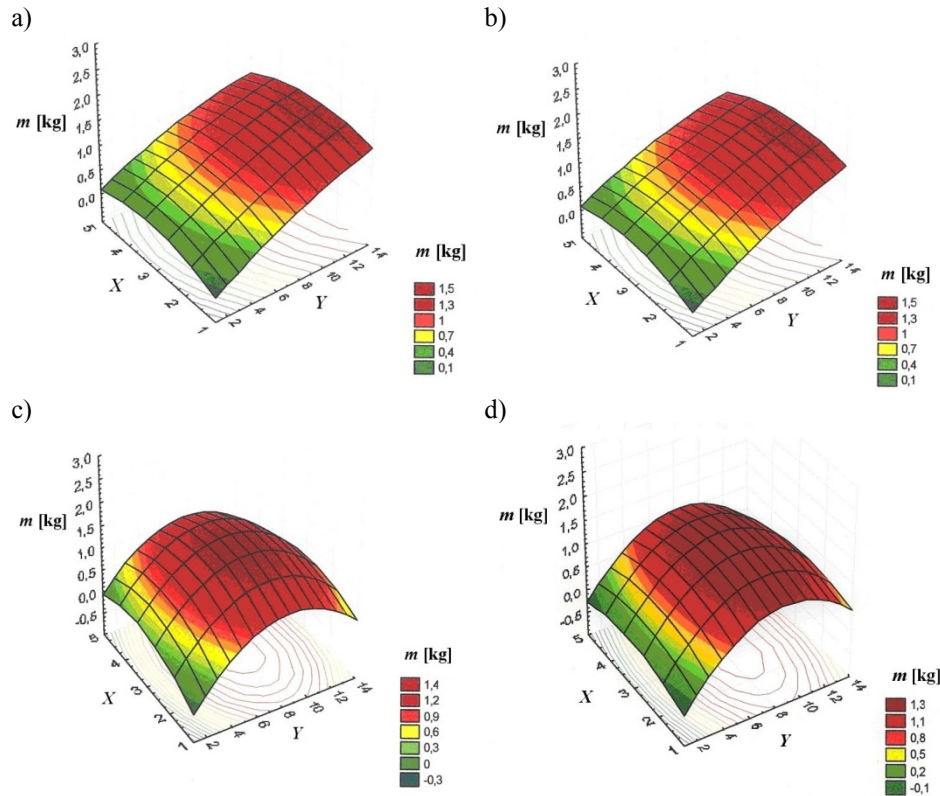


Rys. 71. Rozkład masy ziarna m przy wypoziomowanej płaszczyźnie głównej sita ($\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$) i kącie sekcji uchylnej sita $\delta=0^\circ$ [Pogoda 2007]

Fig. 71. Distribution of grain mass m [kg] for horizontal main plan sieve ($\alpha=0^\circ$, $\beta=0^\circ$) and angle half-open sieve of the section $\delta=0^\circ$

Dla ustawień sita: $\alpha = 0^\circ$, $\beta = -10^\circ$, $\delta = 0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$

W nachyleniu wzdłużnym sita pod kątem $\beta = -10^\circ$ symulującym „jazdę pod górę” można zaobserwować tendencję do przesunięcia maksimum przesianej masy ziarna w stronę części wylotowej Y14 (rys. 72a, b). Z wykresów na rysunku 72 c, d wynika, że zwiększenie kąta pochylenia sekcji uchylnej δ do 15° i 25° powoduje przesunięcie ekstremum mas przesianych przez sito w kierunku jego środkowej części Y8. Sugeruje to, że podczas jazdy kombajnu zbożowego „pod górę” nastąpi wzrost skuteczności procesu separacji ziarna. Jednocześnie zmniejszenie prędkości czyszczonej masy na sicie przez część uchylną spowoduje znaczne ograniczenie strat ziarna [Pogoda 2007].



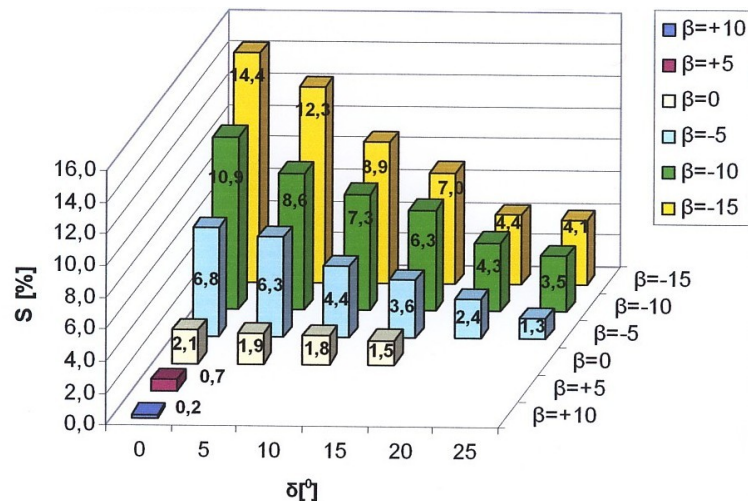
Rys. 72. Rozkład masy ziarna m dla sita dwupłaszczyznowego, przy symulacji „jazdy pod górę” ($\alpha=0^\circ$, $\beta=-10^\circ$) i dla kątów nachylenia sekcji uchylnej: a – $\delta=0^\circ$, b – $\delta=5^\circ$, c – $\delta=15^\circ$, d – $\delta=25^\circ$ [Pogoda 2007]

Fig. 72. Distribution of grain mass m [kg] for two-plans sieve, for „simulation upwards land” ($\alpha=0^\circ$, $\beta=-10^\circ$) and angle half-open sieve of the section. a – $\delta=0^\circ$, b – $\delta=5^\circ$, c – $\delta=15^\circ$, d – $\delta=25^\circ$

Analiza strat ziarna

Jednym z głównych parametrów ekonomicznych pracy kombajnu zbożowego są straty ziarna. Za straty przyjęto ziarno, które w trakcie badań wypadło poza obszar płaszczyzny sita. Badania wskazują (rys. 73), że wzrost kąta nachylenia sita (β) w stronę wartości ujemnych (symulacja jazdy „pod górę”), przy sekcji uchylnej ustawionej w jednej płaszczyźnie z sitem podstawowym ($\delta = 0^\circ$), powoduje zwiększenie poziomu strat ziarna nawet do 14,4% (dla $\beta = -15^\circ$). Przy takim samym ustawieniu sita, zwiększanie kąta sekcji uchylnej δ z 0° do 25° spowodowało obniżenie poziomu strat ziarna do 4,1%. Taką samą tendencję odnotowano przy sicie nachylonym pod kątem $\beta = -10^\circ$, a straty spadły do wartości 3,5%. Straty ziarna przy nachyleniu sita pod kątem $\beta = -5^\circ$ i sekcji uchylnej ustawionej w jednej płaszczyźnie z sitem podstawowym wyniosły 6,8%, natomiast dla kąta wychylenia sekcji uchylnej 25° straty spadły do 1,3%. Dla sita z poziomo ustawioną płaszczyzną główną przy $\delta = 0^\circ$ straty wyniosły 2,1%, a przy $\delta = 15^\circ$ już tylko 1,5%. W strefie dodatnich nachyleń sita przy symulacji jazdy „z góry” straty ziarna były minimalne i osiągnęły poziom 0,7%. Dla każdego ujemnego kąta β nachylenia części głównej sita przy symulacji jazdy „pod górę” zwiększenie kąta nachylenia sekcji uchylnej δ skutkuje zmniejszeniem strat ziarna. Spowodowane jest to zatrzymaniem przemieszczania się czyszczonej masy po powierzchni sita dwupłaszczyznowego przez część uchylną separatora. Dla każdego ustawienia kąta sekcji uchylnej δ zmiana kąta nachylenia kosza sitowego β z -15° do 0° powoduje zmniejszenie strat ziarna.

Przeprowadzona analiza wyników badań dowiodła, że sekcja uchylna sita dwupłaszczyznowego poprawia skuteczność jego działania [Pogoda 2007].



Rys. 73. Straty ziarna S dla sita dwupłaszczyznowego przy kątach nachylenia sita $\beta = 10^\circ, 5^\circ, 0^\circ, -5^\circ, -10^\circ, -15^\circ$ i kątach nachylenia sekcji uchylnej $\delta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$ [Pogoda 2007]

Fig. 73. Losses of grain S [%] for two-planes sieve, for of angles inclination sieve $\beta = 10^\circ, 5^\circ, 0^\circ, -5^\circ, -10^\circ, -15^\circ$ and angles half-open sieve of the section $\delta = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$

Optymalizacja pracy sita w funkcji jakości czyszczenia

Optymalizacja procesu separacji w aspekcie wydajnościowo-jakościowym, ze względu na dwa kryteria (przepustowość i czystość) oraz nieliniowość funkcji celu, jest problemem polioptymalizacyjnym nieliniowym. Można go rozwiązać, np. wprowadzając do ograniczeń jedno z kryteriów, a mianowicie dopuszczalną czystość $C = 97,5\%$ w przypadku maksymalizacji przepustowości lub najmniejszą dopuszczalną przepustowość przy maksymalizacji czystości. Ze względów ekonomicznych korzystniejsza jest maksymalizacja przepustowości przy najmniejszej dopuszczalnej czystości.

Przyjmując, że czystość ziarna nie może być mniejsza niż $97,5\%$, oraz że przepustowość sita dwupłaszczyznowego powinna być maksymalna, zależność funkcji celu przyjmie postać:

$$P = 4598,2 - 37,3 \cdot \beta + 18,1 \cdot \delta - 9,281 \cdot \beta^2 - 0,025 \cdot \beta \cdot \delta^2 \rightarrow \max \quad (3.13)$$

przy ograniczeniach czystości:

$$C = (0,992 - 0,005 \cdot \beta^2 - 0,000028 \cdot \beta^3 - 0,000026 \cdot \beta \cdot \delta) \cdot 100 \geq 97,5\% \quad (3.14)$$

dla zakresów kątów β i δ :

$$-15^\circ \leq \beta \leq +10^\circ$$

$$0^\circ \leq \delta \leq 25^\circ.$$

Jest to zadanie programowania nieliniowego z ograniczeniami nierównościami. W wyniku jego rozwiązania otrzymuje się:

maksymalną przepustowość $P = 5,1 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ dla $\beta = -1,97^\circ$ i $\delta = 25^\circ$ przy zachowanej czystości $C = 97,5\%$. Wymagana czystość może być uzyskana jedynie na zboczach o pochyleniu:

$$-1,97^\circ \geq \beta \geq +1,8^\circ.$$

Ponieważ nie mamy wpływu na nachylenie zbocza, to dla pewnych średnich wartości kąta β zamieszczonych w tabeli 4 maksymalne możliwe przepustowości $P_{\max}$ uzyskuje się przy kątach $\delta = 25^\circ$. W tabeli przedstawiono również dopuszczalne przepustowości dla wybranych kątów β , które są uwzględniane w ograniczeniach zadania optymalizacyjnego w aspekcie jakościowym.

Tabela 4
Table 4

Przepustowość maksymalna i dopuszczalna dla kątów β i δ [Pogoda 2007]
Capacity limit for angles selection β in aspect productivity

Lp.	$\beta [^\circ]$	$\delta [^\circ]$	$C [\%]$	$P_{\max} [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$	$P_{\text{dop}} [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$
1.	-15	25	98,4	3,757	3,381
2.	-10	25	97,7	4,652	4,187
3.	-5	25	98,6	5,084	4,576
4.	0	25	99,2	5,051	4,546
5.	5	8	97,5	4,311	3,880
6.	10	2	97,5	4,204	3,784

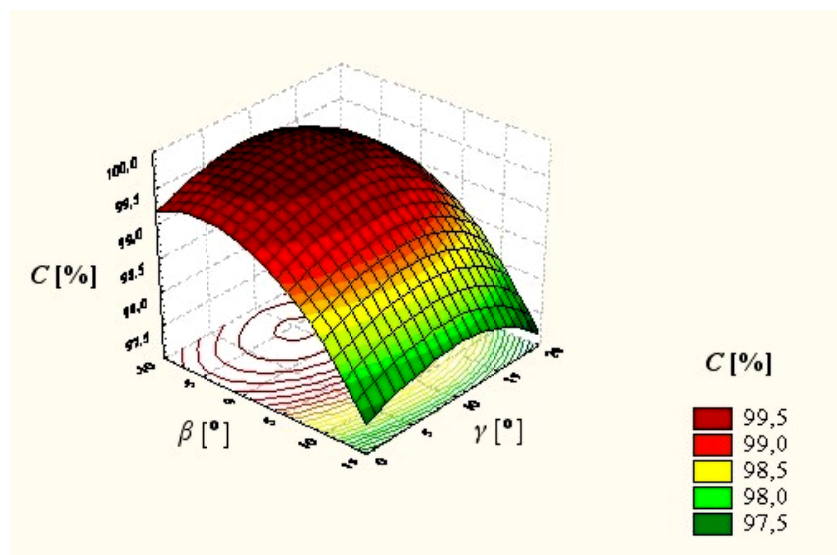
Zachowując dopuszczalną czystość masy ziarna w zakresie kąta nachylenia sita od $\beta=0^\circ$ do $\beta=-15^\circ$, optymalnym kątem nachylenia sekcji uchylnej δ jest kąt 25° . Przy dodatnich nachyleniach sita $\beta=5^\circ$ oraz $\beta=10^\circ$ optymalnym kątem nachylenia sekcji uchylnej jest odpowiednio kąt $\delta=8^\circ$ i $\delta=2^\circ$ (tab. 4) [Pogoda 2007].

3.3.2. Badania eksploatacyjne

Sito daszkowe

Ocena czystości ziarna

Na rysunku 74 przedstawiono zmiany wskaźników czystości ziarna C uzyskane w czasie badań eksploatacyjnych sita daszkowego. Z przebiegu wykresu wynika, że najwyższą wartość parametru czystości ziarna 99,6% uzyskiwano przy jeździe kombajnu pod górę, w nachyleniu $\beta = -10^\circ$, przy ustawieniu daszków sita pod kątem $\gamma = 10^\circ$. Przechył sita związany z jazdą maszyny w dół powodował spadek czystości ziarna do poziomu ok. 97,5%. Przyjmując jako kryterium wskaźnik czystości, optimum dla kąta $\alpha = 10^\circ$ zawierało się w przedziale wartości kąta γ od 7° do 13° [Banasiak i in. 2006].

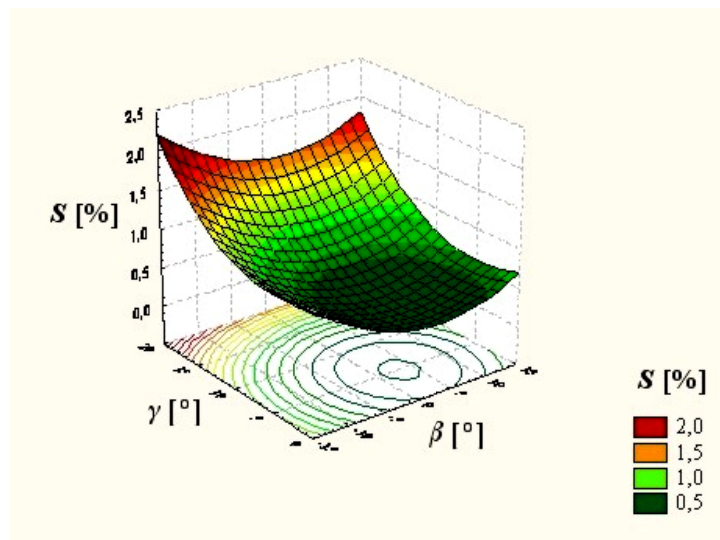


Rys. 74. Czystość ziarna C w funkcji kątów nachylenia wzdłużnego sita β i kątów nachylenia daszków γ dla $\alpha = 10^\circ$ [Banasiak i in. 2006]

Fig. 74. Purity of the grain C [%] as function of angles longitudinal inclination sieve β and angles of canopy setting γ for $\alpha = 10^\circ$

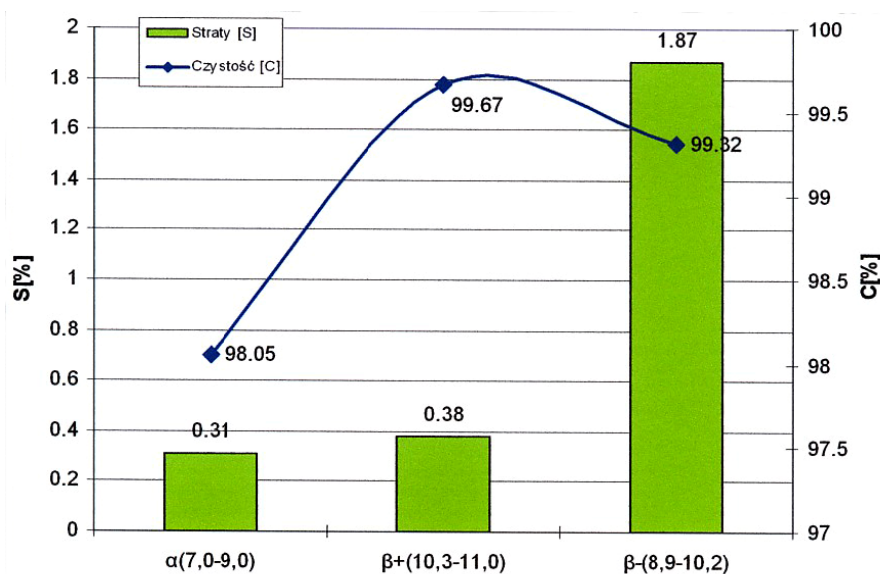
Ocena strat ziarna

Zależność strat ziarna od kątów nachylenia wzdłużnego β i kątów nachylenia daszków γ dla $\alpha=10^\circ$ przedstawiono na rysunku 75. Podczas pracy kombajnu w nachyleniu poprzecznym przy kątach $\alpha = 10^\circ$ i $\beta = 0^\circ$ straty ziarna utrzymują się poniżej przyjętego poziomu 1,5% masy plonu. Straty przekroczyły nieznacznie ten poziom tylko w nachyleniu $\alpha = 15^\circ$. Wyższe straty odnotowano przy nachyleniu wzdłużnym – najwyższe przy jeździe pod górę ($-\beta$), przekraczające 2%, kolejny wzrost strat do 1,7% następuje przy przechyle maszyny do pozycji jazdy w dół ($+\beta$). Drugą zmienną zadaną był kąt nachylenia daszków γ rozpatrywany dla różnych kierunków jazdy kombajnu. Najmniejsze straty wystąpiły dla kąta ustawienia daszków sита $\gamma=5^\circ$, natomiast największe straty odnotowywano przy jeździe kombajnu pod górę i maksymalnym wychyleniu powierzchni daszków sита $\gamma = 20^\circ$. Na rysunku 76 przedstawiono średnie wskaźniki czystości i strat ziarna uzyskiwane w trzech fazach ruchu roboczego kombajnu. Analiza wyznaczonych wskaźników czystości wskazuje, że pozycja i nachylenie terenu, w którym odbywał się ruch roboczy kombajnu, w niewielkim stopniu wpływały na czystość zbieranego ziarna. Wszystkie wskaźniki czystości mieściły się w przedziale 98,05÷99,67% i były wyższe od normatywnych (97%). Wskaźniki strat ziarna podczas pracy kombajnu poprzecznie do spadku α i jazdy z góry $+\beta$ utrzymują się na poziomie około 0,38%. W fazie ruchu roboczego pod górę ($-\beta$) widoczny jest 6-krotny wzrost wskaźnika strat do 1,87% [Bieniek i in. 2005a, Banasiak i in. 2003b].



Rys. 75. Zależność strat ziarna S w zespole separującym od kąta nachylenia pola β i kąta nachylenia daszków γ dla $\alpha = 10^\circ$ [Bieniek i in. 2005a]

Fig. 75. Dependence of losses grain S [%] in clearing unit from of angles β and γ for $\alpha = 10^\circ$



Rys. 76. Strata S i czystość C ziarna dla trzech faz ruchu roboczego maszyny; α – praca kombajnu w poprzek zbocza, $+\beta$ – jazdy z góry zbocza, $-\beta$ – jazdy pod górę zbocza, dla kąta nachylenia daszków $\gamma = 10^\circ$ [Banasiak i in. 2005]

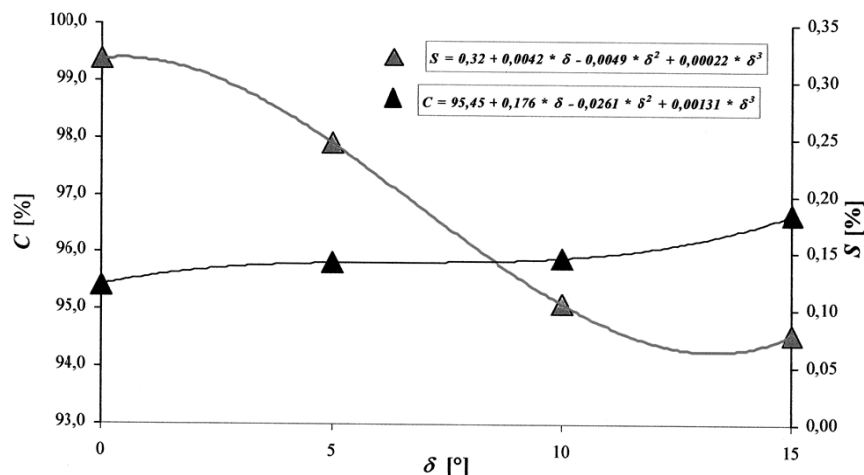
Fig. 76. Losses S and purity C of the grain for three stage motion combine-harvester; α – of the combine-harvester work crosswise land, $+\beta$ – work downwards land, $-\beta$ – work upwards land, for angle of canopy setting $\gamma = 10^\circ$

3.3.2.2. Sito dwupłaszczyznowe

Wpływ kąta δ nachylenia sekcji uchylnej sita dwupłaszczyznowego na czystość i straty ziarna

Na rysunku 77 przedstawiono wskaźniki czystości oraz straty ziarna uzyskane podczas pracy kombajnu zbożowego z wykorzystaniem sita dwupłaszczyznowego z uchylną sekcją.

Z analizy wykresu wynika, że najniższą czystość uzyskano przy ustawieniu separatora uchylnego pod kątem $\delta=0^\circ$ ($C=95,4\%$). W miarę zwiększania kąta δ do 10° zwiększała się nieznacznie czystość zebranego materiału do wartości $96,0\%$. Dalsze zwiększenie kąta nachylenia uchylnej płaszczyzny do 15° powoduje dalszy wzrost czystości do $C=96,5\%$. Czystość pszenicy zbieranej kombajnem wyposażonym (fabryczne) w sito płaskie wyniosła 95% . Najwyższe straty odnotowano przy zastosowaniu sita fabrycznego ($S=6,0\%$). Po zamontowaniu prototypowego sita z sekcją uchylną ustawioną pod kątem $\delta=0^\circ$ poziom strat zmniejszył się do $0,32\%$. Przy zwiększeniu kąta δ do 5° straty zmalały do wartości $0,25\%$. Dalsze zwiększenie kąta δ do 10° spowodowało zmniejszenie strat do $0,10\%$. Po zwiększeniu kąta nachylenia części uchylnej δ do 15° straty ziarna osiągnęły poziom bliski zera [Bieniek i in. 2008a].



Rys. 77. Czystość zebranego ziarna C oraz jego straty S w zależności od kąta ustawienia sekcji uchyłnej sita dwupłaszczyznowego δ podczas badań eksploatacyjnych [Bieniek i in. 2008a]

Fig. 77. Of grain purity C and of losses S of grain in function of the tillable plane adjustment two-planes sieve angle δ

3.4. Dyskusja nad wynikami

W dotychczasowej literaturze brak było prac dotyczących badań sit kształtowych, które charakteryzowałyby się wysokimi parametrami pracy i przydatnością do działania w warunkach terenów nachylonych. Od roku 2000 autorzy Bieniek, Banasiak, Pogoda i Detyna opublikowali wiele prac, w których przedstawili wyniki swoich badań dotyczących sit kształtowych.

Ocena przesiewalności sita cylindrycznego sekcyjnego przy ustawieniu stanowiska symulującego jazdę kombajnu „wzdłuż warstwy” (nachylenie boczne) pozwala stwierdzić, że ziarno przesiewając się przez poszczególne sekcje sita, obciąża równomiernie masą ziarna sekcje środkowe, co przedstawili w swojej publikacji Detyna i Bieniek [2008]. Przy ustawieniu stanowiska symulującego jazdę „w dół” zbocza (nachylenie wzdłużne) stwierdzono, że masa czyszczonego ziarna skumulowała się na początku sita na całej jego szerokości. Oceniając sito w ustawieniu symulującym jazdę „pod górę” zaobserwowano mniejsze obciążenie sekcji skrajnych niż sekcji wewnętrznych. Podsumowując efekty badań, można stwierdzić, że wśród analizowanych ustawień sita najkorzystniejszy rozkład masy czyszczonej zaobserwowano przy ustawieniu symulującym jazdę po terenie płaskim oraz „pod górę” [Bieniek i in. 2001a].

Analiza wyników badań przy różnym nachyleniu płaszczyzny głównej sita daszkowego wykazała istnienie ekstremów przesiewalności ziarna przemieszczającego się

w kierunku wzdłużnym sita w zależności od wielkości kąta nachylenia jego płaszczyzny oraz kąta nachylenia daszków. Nachylenie poprzeczne płaszczyzny głównej sita spowodowało przesunięcie ekstremum przesiewalności zgodnie z kierunkiem spadku sita wzdłuż jego szerokości. Wzdłużne nachylenie płaszczyzny głównej sita podczas symulacji jazdy „w dół” i „w górę” stoku powodowało w obu przypadkach zlokalizowanie ekstremum przesiewalności w centralnej sekcji sita. Nachylenie symulujące „jazdę w dół” stoku, w badanym zakresie kątów daje korzystny efekt przesunięcia ekstremum przesiewalności na długości sita. Wiąże się to niewątpliwie z sygnalizowanym w literaturze [Kutzach, Wacker 1992a, Miłosz 1992] zmniejszeniem prędkości przepływu masy zbożowej w kierunku wylotu sita. Rosnąca prędkość przepływu masy czyszczonej przy jeździe „pod górę” powoduje niekorzystne zjawisko przesunięcia przesiewanej masy w kierunku wylotu sita. Skutkiem tego było przemieszczenie się ekstremum przesiewalności poza symulowanym polem sita już przy nachyleniu płaszczyzny głównej $\beta = -10^\circ$. Analiza uzyskanych wyników badań rozkładu masy ziarna na sicie upoważnia do stwierdzenia, że zmiana kąta daszków sita ma pozytywny wpływ na jakość jego pracy. W efekcie przeprowadzonej analizy wyników jakości procesu separacji ziarna na tym sicie – wyznaczono optymalne wartości kątów nachylenia dla poszczególnych parametrów jakościowych takich jak: skuteczność i wydajność separacji, sprawność sita i czystość ziarna.

Zwiększenie nachylenia kąta daszków poszczególnych sekcji z $\gamma = 0^\circ$ do $\gamma = 5^\circ$ przy nachyleniu bocznym sita $\alpha = 10^\circ$ poprawia przesiewalność. Dalsze zwiększanie nachylenia daszków do $\gamma = 10^\circ$ w nieznacznym stopniu poprawia rozkład przesianej masy przez sito. Do znacznego poprawienia jakości pracy sita przyczynia się zwiększenie nachylenia sekcji do $\gamma = 15^\circ$. Wówczas separowana masa przesuwa się na sekcje środkowe. Jest to spowodowane tym, że zsuwające się ziarno po powierzchni sita daszkowego nie tylko zostaje wyhamowane przez jej poziome powierzchnie, ale pojawiają się składowe siły przeciwnie skierowane, działające na pojedyncze ziarno. One to przyczyniają się do polepszenia jakości pracy sita daszkowego podczas nachylenia. Natomiast rozkład masy ziarna w tym układzie jest zbliżony do rozkładu na sicie daszkowym przy ustawieniu poziomym ($\alpha = 0^\circ$). Podsumowując, można stwierdzić, że przy nachyleniu bocznym jakość pracy tego sita poprawia się wraz ze wzrostem kąta nachylenia daszków z $\gamma = 0^\circ$ do $\gamma = 15^\circ$. Zjawisko to jest korzystne w czasie procesu separacji ziarna na sicie nachylonym bocznie [Bieniek 2003].

Dla wskaźników czystości i strat ziarna uzyskanych w czasie badań polowych należy przede wszystkim ocenić wpływ różnego kierunku nachylenia sita daszkowego na parametr czystości [Banasiak i in. 2006]. W fazie poprzecznego nachylenia sita, w zakresie kąta $\alpha = 0 \div 15^\circ$, nie zauważa się istotnych różnic w stopniu zanieczyszczenia zebranego materiału. Istotne różnice stwierdzone zostały w nachyleniu wzdłużnym sita. W badanym zakresie kąta $\beta = 0 \div 15^\circ$ występują relacje odwrotne do zaobserwowanych strat ziarna. Stwierdzono, że czystość ziarna rośnie w nachyleniu (β^-), czyli podczas jazdy kombajnu pod górę i dla tych warunków odnotowano najwyższe straty ziarna. Czystość ziarna maleje podczas jazdy w dół stoku (β^+), a straty dla tego ustawienia są najniższe [Banasiak i in. 2006].

Nachylenie wzdłużne płaszczyzny głównej sita dwupłaszczyznowego podczas symulacji jazdy kombajnu „w górę” stoku powodowało zlokalizowanie ekstremum prze-

siewalności w końcowej części sekcji uchylnej dla niskich wartości kąta δ . W tym przypadku jest to związane ze stratami ziarna, które wydostało się poza obręb sita, przy równocześnie obniżonej czystości ziarna wynoszącej około 97,5%. W przypadku zwiększenia kąta nachylenia sekcji uchylnej δ ekstremum przesiewalności zostaje przesunięte w miejsce łączenia obydwu płaszczyzn roboczych sita: głównej i dodatkowej. Z przesunięciem ekstremum przesiewalności związane jest zmniejszenie się strat ziarna. Nachylenie sita podczas symulacji jazdy „w dół” stoku, w badanym zakresie nachyleń daje korzystny efekt przesunięcia maksimum przesiewalności w kierunku środkowej części płaszczyzny głównej sita. Związane jest to ze spadkiem prędkości przemieszczania się czyszczonej masy po powierzchni sita. Niekorzystnym zjawiskiem przy takich nachyleniach jest spadek przepustowości całego separatora oraz zmniejszenie czystości przesianego ziarna, natomiast zaletą jest zminimalizowanie strat ziarna [Bieniek i in. 2006b].

Badania połowe sita dwupłaszczyznowego dowiodły, że w zakresie nachyleń wzdłużnych $\beta = 10 \div 5^\circ$ występuje zależność pomiędzy czystością ziarna a jego stratami. Czystość ziarna i straty ziarna wzrastają podczas jazdy kombajnu pod górę, natomiast maleją podczas jazdy w dół stoku. Potwierdzają to w swej publikacji autorzy Bieniek, Banasiak, Pogoda [2008a].

W czasie badań eksploatacyjnych stwierdzono, że sito ukształtowane daszkowo z sekcją uchylną (sito dwupłaszczyznowe) zamontowane w kombajnie w miejsce sita standardowego spełniło wymogi stawiane sitom żaluzjowym, straty były poniżej 2,5% a czystość ziarna powyżej 97,5%.

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Na przełomie XX i XXI w. wśród rolników wystąpiło wzmożone zainteresowanie nowymi kombajnami zbożowymi, a z kolei prowadzenie upraw zbóż na terenach nachylnych spowodowało konieczność dostosowania pracy kombajnów do tych terenów. W pracy przedstawiono rozwiązania zespołów czyszczących z nowymi sitami kształtowymi: cylindrycznym, daszkowym i dwupłaszczyznowym.

Badania laboratoryjne sita cylindrycznego sekcijnego dowiodły, że spełnia ono wymogi stawiane tego typu sitom. Jednak zastosowanie takiego sita w kombajnie zbożowym jest utrudnione ze względu na jego kształt, dlatego zrezygnowano z budowy prototypu sita do kombajnu i jego badań eksploatacyjnych.

Przeprowadzone badania sita daszkowego w symulowanych warunkach zmiennego nachylenia wykazały, że taka konstrukcja sita może być wykorzystana w zespole czyszczącym kombajnu zbożowego pracującego zarówno na terenie płaskim, jak i nachylnym w granicach do 15° i zasilanego masą poomłotową do $3,3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$. Takie same wnioski nasunęły się po badaniach polowych sita dwupłaszczyznowego.

Badania dowiodły, że w kombajnie zbożowym pracującym na terenach nachylnych należy zastosować sito dwupłaszczyznowe z powierzchnią główną ukształtowaną daszkowo oraz sekcją uchylną. Powierzchnia główna sita daszkowego rozwiązuje problem spływu masy zbożowej w czasie pracy przy nachyleniu poprzecznym, natomiast powierzchnia uchylna sita eliminuje straty ziarna przy nachyleniu wzdłużnym kosza sitowego.

Wyniki badań stanowiskowych i polowych pozwalają sformułować tezę, że sito o konstrukcji daszkowej z sekcją uchylną zastosowane w kombajnie do zbioru zbóż pozwoli uzyskiwać normatywne parametry: przepustowości, strat i czystości ziarna oraz zastąpić drogie rozwiązanie poziomowania poprzecznego i wzdłużnego bryły kombajnu zbożowego jak i kosza sitowego na pochyłościach do 15° .

Uzyskane wyniki badań oraz ich analiza pozwoliły sformułować następujące wnioski:

1. Proces separacji ziarna na sicie cylindrycznym z unoszonymi sekcjami w czasie pochyleń poprzecznego charakteryzuje się bardziej równomiernym rozkładem masy czyszczonej w stosunku do sita o powierzchni płaskiej i poprawia efekt rozkładu masy przesianej tylko w dolnej strefie sita. Dlatego konieczna jest reakcja kątowa, dająca dodatnią zmianę kąta tylko w tej strefie sita.
2. Daszkowe ukształtowanie nachylonej poprzecznie powierzchni roboczej sita hamuje boczny spływ czyszczonej masy zbożowej na niżej położone strefy, a w relacji do sita płaskiego dla badanych kątów α , β , γ daje bardziej równomierne obciążenie powierzchni roboczej masą zbożową.

3. Zależność między przesiewalnością a kątem poprzecznego nachylenia sita α wskazuje, że najkorzystniejszą dynamikę tego procesu uzyskuje się przy nachyleniu daszków pod kątem zbliżonym do $\gamma = 10^\circ$.
4. Pracę sita daszkowego charakteryzowała wysoka skuteczność separacji wynosząca 88,0% (dla kątów $\alpha = 10,6^\circ$ i $\beta = -10^\circ$) oraz wysoka jakość pracy: czystość ziarna w granicach 97÷99%, sprawność separacji na poziomie 82÷96%.
5. Badania sita daszkowego dowiodły, że może być ono zastosowane w kombajnie zbożowym pracującym w terenie o nachyleniu do 15° . Praca sita w fazach jazdy „z góry” i „poprzecznie do spadku” z wyłączeniem ruchu „pod górę” w warunkach nachylenia poprzecznego kombajnu $\alpha = 15^\circ$, przy zoptymalizowanym kącie nachylenia daszków $\gamma = 9,5^\circ$, umożliwiła osiągnięcie niskiego poziomu strat ziarna, wynoszącego 0,55%, przy czystości ziarna na poziomie powyżej 97%.
6. Optymalizacja dzięki kryteriom przepustowości sita dwupłaszczyznowego strat i czystości ziarna celnego dla jazdy kombajnu „pod górę” (β -) pozwoliła wyznaczyć optymalny kąt nachylenia części uchylnej sita δ , wynoszący 25° . Dla jazdy kombajnu „z góry” (β +) optymalny kąt nachylenia sekcji uchylnej δ wahał się w granicach od 0° do 2° .
7. Nachylenie wzdłużne sita dwupłaszczyznowego w zakresie nachyleń kąta (β -) nie powoduje istotnych zmian czystości ziarna celnego i osiąga wartość 99%. W fazie jazdy „pod górę” wraz ze wzrostem czystości przesianej masy ziarna wzrastają jego straty. Natomiast w fazie jazdy „z góry” wraz ze zmniejszeniem się strat ziarna zmniejsza się jego czystość do około 92%.
8. Zaproponowane sito dwupłaszczyznowe może być stosowane zarówno w terenach nachylonych, jak i w terenach płaskich. W nachyleniu wzdłużnym kombajnu $\beta = -10^\circ$, przy kącie nachylenia sekcji uchylnej $\delta = 15^\circ$ nie występują straty ziarna celnego, a jego czystość osiągnęła poziom 98%.
9. Sito daszkowe z częścią uchylną sita dwupłaszczyznowego może być zastosowane w kombajnie zbożowym, gdyż zmniejszyło ono straty ziarna do 1,5% podczas pracy kombajnu w nachyleniu poprzecznym, a sekcja uchylna ograniczyła przemieszczanie się czyszczonej masy na powierzchni separatora w kierunku wylotu podczas jazdy kombajnu pod górę.

PIŚMIENNICTWO

- Afonso Junior P.C., Corrêa P.C., Pinto F.A.C., Queiroz D.M., 2007. Aerodynamic properties of coffee cherries and beans. *Biosystems Engineering*, 98, 39–46.
- Banasiak J., 1998. Patent nr rej. P–3227256. „Sito podsiewacza kombajnu zbożowego”.
- Banasiak J., 1999. *Agrotechnologia*. PWN, Warszawa.
- Banasiak J., Bieniek J., Detyna J., 2002. Patent nr P–183072. „Sito czyszczące kombajnu zbożowego”.
- Banasiak J., Bieniek J., Lewandowski B., 2003a. Stanowisko do badania zespołów roboczych maszyn pracujących w warunkach zmiennego nachylenia. *Górnictwo Odkrywkowe*, 2–3, 18–20.
- Banasiak J., Bieniek J., Lewandowski B.: 2003b. Wpływ nachylenia płaszczyzny głównej sita daszkowego na poziom strat ziarna. *Acta Agrophysica*, 2(95), 7–14.
- Banasiak J., Bieniek J., Lewandowski B., 2006. Wpływ nachylenia terenu na czystość ziarna zbieranego kombajnem BIZON Z 058 wyposażonym w sito daszkowe. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 61–71.
- Banasiak J., Bieniek J., Lewandowski L., Detyna J., 2001. Wyniki czyszczenia ziarna pszenicy w symulowanych warunkach nachylenia sita sekcyjnego. *Inżynieria Rolnicza*, 12(32), 39–43.
- Banasiak J., Bieniek J., Olszewska A., 2004. Wpływ ustawienia skrzydełek żaluzji na przesiewalność sita. *Inżynieria Rolnicza*, 3(58), t. I, 61–68.
- Banasiak J., Bieniek J., Pogoda G., 2005. Wpływ nachylenia kosza sitowego na przepustowość sita daszkowego i czystość ziarna. *Inżynieria Rolnicza*, 6(66), 17–22.
- Beck F., 1994. Ein mathematischer Ansatz zur Modellierung von Entmischungs und Abscheidevorgängen im Mährescher. *International conference on agricultural engineering. Proceedings of a conference held in Stuttgart, Germany, Landtechnik*, 36.1–36.3.
- Beck F., 2000. Die Reinigungsanlage im Mährescher. *Landtechnik*, 55, 76–80.
- Beck F., Zhao Y., Kutzbach H.D.: 1997. Mähreschersimulation. *Modellierung der Korn / Stroh / Spreu – Trennung. Jahrgang Landtechnik*, 4.
- Bernhardt G., 1994. Mähreschermarkt im Wandel. *Agrartechnik Jg.*, 11(73), 30–31.
- Bieniek J., 2003. Proces separacji ziarna zbóż na sicie daszkowym w zmiennych warunkach pracy. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, Rozprawy CXCVIII, 462, ISSN 0867-7964.
- Bieniek J., 2004. Sito o zmiennych kątach nachylenia sekcji do kombajnów zbożowych pracujących na zboczach. *Przegląd Mechaniczny*, 10, 29–31.
- Bieniek J., Banasiak J., 2008. A review of the research work on the impact of the geometry of the inclined adjustable section sieve on its screening ability. *Maintenance And Reliability – Eksploatacja i Niezawodność, Polish Maintenance Society (Warsaw) 1 (37)*, ISSN 1507–2711, 49–53.
- Bieniek J., Banasiak J., Detyna J., 1999. Badania obciążeń roboczych zespołu czyszczącego w kombajnie zbożowym pracującym na pochyłości. *Materiały konferencyjne Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Politechniki Wrocławskiej. T. 1, Wrocław – Szklarska Poręba*, 155–162.
- Bieniek J., Banasiak J., Detyna J., 2000. Analiza przesiewalności sit kombajnu zbożowego. *Zesz. Nauk. Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, Wydział Nauk Technicznych, Olsztyn, t. I*, 249–254.

- Bieniek J., Banasiak J., Komarnicki P., 2006a. Analiza porównawcza strumienia aerodynamicznego w kombajnie zbożowym w świetle koncepcji badawczej. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 119–129.
- Bieniek J., Banasiak J., Lewandowski B., Detyna J., 2001a. Analiza przepustowości ziarna na sekcyjnym sicie żaluzjowym w warunkach zmiennego nachylenia. *Inżynieria Rolnicza*, 1(21), 27–32.
- Bieniek J., Banasiak J., Lewandowski B., Detyna J., 2001b. Czystość ziarna uzyskana na sicie sekcyjnym. *Acta Agrophysica*, 46, 7–14.
- Bieniek J., Banasiak J., Lewandowski B., 2005a. Straty ziarna w zespole czyszczącym wyposażonym w sito daszkowe. *Inżynieria Rolnicza*, 3(63), 71–79.
- Bieniek J., Banasiak J., Lewandowski B., 2005b. Wzór użytkowy nr rej. W-113583. „Stanowisko do badania urządzeń pracujących przy różnych nachyleniach, zwłaszcza sit i podsiewaczy kombajnów zbożowych”.
- Bieniek J., Banasiak J., Pogoda G., 2004. Zgłoszenie patentowe nr rej. P-367380. „Sito czyszczące kombajnu zbożowego”.
- Bieniek J., Banasiak J., Pogoda G., 2006b. Rozkład wskaźników przepustowości i czystości masy przesianej na sicie wielopłaszczyznowym. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 129–137.
- Bieniek J., Banasiak J., Pogoda G., 2008a. Application of the multi-plane sieve for the harvester-thresher cereals cropping under the conditions of sloping areas. *Maintenance And Reliability – Eksploatacja i Niezawodność, Polish Maintenance Society (Warsaw)* 2(38), ISSN 1507-2711, 34–40.
- Bieniek J., Banasiak J., Pogoda G., 2008b. Wpływ wzdłużnego nachylenia sita dwupłaszczyznowego na czystość ziarna zbieranego kombajnem zbożowym. *Inżynieria Rolnicza*, 4(102), 105–109.
- Bogdanowicz J., 1989. Badania nad dostosowaniem typowych ciągników i maszyn rolniczych do prac w Sudetach. *Fragm. Agron.*, 2, 46–53.
- Bogdanowicz J., 1994. Specyfika pracy ciągników i maszyn rolniczych na skłonach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 415.
- Byków V.S., 1997. Oprieditelnije kinematiczeskich parametrov rieszeta. *Tech. Sel. Choz.*, 5, 16–18.
- Byszewski W., Haman J., 1977. Gleba, maszyna, roślina. PWN, Warszawa.
- Detyna J., 2000. Analiza wpływu geometrii sita żaluzjowego na przebieg procesu czyszczenia ziarna w kombajnach zbożowych pracujących w warunkach terenów nachylonych. Rozprawa doktorska. Wydział Rolniczy, Akademia Rolnicza, Wrocław.
- Detyna J., 2007. Maksimum entropii jako teoretyczne kryterium statystycznego opisu separacji materii granulowanej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Rozprawa habilitacyjna. ISBN 978-83-7493-330-8.
- Detyna J., Banasiak J., Bieniek J., 2006. Kinematyczne aspekty przemieszczania materiałów ziarnistych w procesie separacji sitowej. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 231–239.
- Detyna J., Bieniek J., 2008. Methods of statistical modeling in the process of sieve separation of heterogeneous particles. *ELSEVIER, Applied Mathematical Modelling*, vol. 32, (elec. journals – www.elsevier.com/locate/apm), 992–1002.
- Dieter W., Wacker P., 1995. Mährescher – Neu- und Weiterentwicklungen. *Landtechnik*, 6, 320–321.
- Dmitrewski J., Gach S., Roszkowski H., Waszkiewicz C., 1981. Elementy teorii i obliczania maszyn czyszczących oraz urządzeń suszarniczych. Skrypt SGGW AR, Warszawa.
- Dreszer A.K., 1991. Proces wydzielania ziarna w wielobębnowym zespole młócaço-wydzielającym kombajnu zbożowego. Rozprawa habilitacyjna, Wydawnictwo AR, Lublin.
- Dreszer A.K., 2001. Problem strat ziarna przy kombajnowym zbiorze zbóż na zboczach. *Inżynieria Rolnicza*, 12(32), 65–70.

- Dreszer A.K., Gieroba J., Roszkowski A., 1998a. Kombajnowy zbiór zbóż. IBMER Warszawa, ISBN 83-86246-48-9.
- Dreszer A.K., Gieroba J., Ukalski J., 1998b. Kombajny zbożowe do pracy na terenach pochyłych. Problemy Inżynierii Rolniczej, 19, 57–78.
- Drinca V.M., 1997. Razdielenie semjan na płaskich resetach pri nischodjasciem vozdusnom potokie. Mechaniz. Elektrif. Sel. Choz., 11, 29–31.
- Feder S., 1995. Identyfikacja parametrów ruchu mieszaniny ziarnistej w układzie czyszcząco-separującym dla potrzeb projektowania kombajnu zbożowego. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 40(1), 16–23.
- Feder S., 1996. Badania ruchu mieszaniny ziarnistej w kanałach czyszczących. Prace Przemysłowego Instytutu Maszyn Rolniczych, 41(5), 73–76.
- Francik S., Ślipek Z., 1997. Analiza celowości podjęcia produkcji „górskiego” kombajnu zbożowego. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 1, 5–7.
- Gach S., Kuczewski J., Waszkiewicz C., 1991. Maszyny rolnicze. Elementy teorii i obliczeń. Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Gieroba J., Dreszer K., 1990. Nowe konstrukcje zespołów czyszczących w kombajnach zbożowych. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, 7–8, 8–9.
- Gieroba J., Dreszer K., 1993. Wybrane zagadnienia procesu omlotu i wydzielania ziarna z masy zbożowej. Problemy Inżynierii Rolniczej, 1, 17–23.
- Gieroba J., Dreszer K., 1994. Kombajny zbożowe na wystawie „Agritechnica 93”. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 10, 6–9.
- Gieroba J., Dreszer K., Nowak J., 1980. Nowe rozwiązania konstrukcyjne urządzeń czyszczących w kombajnach zbożowych. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, 7, 13–15.
- Gieroba J., Nowak J., 1980. Kombajny zbożowe o wzdłużnym zasilaniu zespołu młócającego. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, 5, 8–10.
- Gieroba J., Rejak A., 1986. Przystosowanie kombajnu „Bizon” do zbioru zbóż na zboczach. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, 10–11, 3–6.
- Goriaczkin W.P., 1965. Sobranije soczinienij. t. 3, Izdat. Kołos, Moskwa.
- Grochowicz A., 1970. O potrzebie badań nad aerodynamicznymi właściwościami nasion. Maszyny i Ciągniki Rolnicze, 4, 6–8.
- Grochowicz J., 1994. Maszyny do czyszczenia i sortowania nasion. Wydawnictwo AR, Lublin.
- Herbsthofer F.J., 1974. Wo stehen wir in Mährescherbau und wie geht es weiter? Grundlagen der Landtechnik, 3, 94–102.
- Hubner R., 1998. Auslegung von Reinigungen im Mährescher. Landtechnik, 4, 232–233.
- Kacprzyński B., 1974. Planowanie eksperymentów – podstawy matematyczne. WNT, Warszawa.
- Kahrs J., 1994. Aerodynamic properties of weed seeds. International Agrophysics, Vol. 8, 2, 259–262.
- Kalinowicz Z., Rawa T., 2001. Analiza teoretyczna skuteczności rozdzielania mieszaniny nasion gryki i łuszczyń rzodkwi świrzepy w tryjerze kieszonkowym w strefie napełniania wgłębień. Problemy Inżynierii Rolniczej, 3(33), 13–20.
- Kanafojski C., 1980. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. t. II, 1, PWRiL, Warszawa.
- Kanafojski C., Karwowski T., 1972. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. t. 2, PWRiL, Warszawa.
- Kanafojski Cz., Karwowski T., 1980. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. t. II, 1 Maszyny do zbioru ziemiopłodów. PWRiL, Warszawa.
- Kęska W., 1994. Uwarunkowania i tendencje konstrukcji kombajnów zbożowych. Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej, 10, 2–5.
- Komarnicki P., 2008. Wpływ wielokierunkowego strumienia powietrza na efektywność sitowego procesu rozdzielczego. Rozprawa doktorska. UP Wrocław.

- Komarnicki P., Bieniek J., Banasiak J., 2007a. Wpływ wybranych parametrów strumienia powietrza na rozkład przesiewanej masy zbożowej. *Inżynieria Rolnicza*, 8(96), 13–21.
- Komarnicki P., Bieniek J., Banasiak J., 2007b. Operational effectiveness of a sieve-aerodynamic separator under the conditions of the variable load of sieves. *Maintenance And Reliability – Eksploatacja i Niezawodność*, Polish Maintenance Society (Warsaw), 4 (36), ISSN 1507–2711, 33–35.
- Kośmicki Z., Hetmański M., Kęska W., 1981. Separacja ziarna i możliwości jej poprawienia w obróbce bezklepiskowych zespołów młócących. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 6, 10–12.
- Kośmicki Z., Hetmański M., Kęska W., 1985. Zespoły młócaço-separujące kombajnów zbożowych. *Materiały III Sympozjum*, Wydawnictwo Politechnika Warszawska–Płock, 119–122.
- Kropsz I., 2001. Analiza stanu infrastruktury obszarów wiejskich Dolnego Śląska. *Rozprawa doktorska*, Wydział Rolniczy, Akademia Rolnicza, Wrocław.
- Krzysiak Z.: 1999. Stożkowy rotacyjny zespół czyszczący dla kombajnu zbożowego. *Praca doktorska*. AR, Lublin.
- Krzysiak Z., Gołacki K., Dreszer K., 1998. Przegląd zespołów czyszczących kombajnów zbożowych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3, 43–54.
- Kuczewski J., 1981. *Budowa i regulacje maszyn rolniczych*. PWN, Warszawa.
- Kutkowska B., 1996. Możliwości kreowania dochodów w gospodarstwach rodzinnych położonych w rejonie Sudetów. *Zesz. Nauk. AR Wroc.*, 294, *Rozprawy CXLVI*.
- Kutzbach H.D., 1985. Verringerung der Körnerverluste bei Mähdreschern im Hangeinsatz. *Landtechnik*, 6, 278–283.
- Kutzbach H.D., Grobler V.H., 1984. Regelung einer Mähdrescherreinigungsanlage IOth International Congress of Agricultural Engineering, Budapest, 221–231.
- Kutzbach H.D., Wacker P., 1992a. Dresch- und trenneinrichtungen moderner mähdrescher. *Landtechnik*, 6, 268–271.
- Kutzbach H.D., Wacker P., 1992b. Mähdrescher – Technischer Stand und Triends. *Landtechnik*, 7, 258–264.
- Liska M., 1988. Tendencje rozwojowe maszyn do zbioru zbóż. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 5, 7–10.
- Maleř J., 1988. Svahova dostupnost standartnich sklizacich mlaticek. *Zemed. Techn.* 34, 8.
- Maleř J., 1989. Sklizeci mlaticka z podelinym vyrovnanim svahu. *Zemed. Techn.* 35, 6.
- Maleř J., 1990. A hillside harvester – thresher provided with transverse and longitudinal levelling systems. *Zemed. Techn.*, 36, 3, 161–173.
- Martini Z., 1953. Badanie przemieszczeń gleby przy orce na zboczach. *Rocz. Nauk Rol.* t. 66-C2.
- Michałek R., 2002. Uwarunkowania naukowego awansu w inżynierii rolniczej. *Monografia*, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków.
- Michałek R., Kowalski J., 1993. Wybrane problemy mechanizacji rolnictwa w rejonach górskich i podgórskich. *Nauka Praktyce Rolniczej*, z. 1, *Pol. Tow. Inż. Rol. i Kom. Tech. Rol.* – PAN, Kraków.
- Miłosz T., 1983. Różne technologie zbioru zbóż. *Mechanizacja Rolnictwa*, 6.
- Miłosz T., 1985. Doskonalenie mechanizacji technologii produkcji zbóż. *Prace IBMER*, Warszawa.
- Miłosz T., 1992. Rezultaty kombajnowego zbioru zbóż na terenach pochyłonych. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 5, 8–9.
- Miłosz T., 1996. Tendencje w doskonaleniu kombajnów zbożowych. *Przegląd Techniki Rolniczej i Leśnej*, 1, 10–14.
- Negrini O., Spillman C.K. i in., 1994. Evaluation of laboratory grain cleaning. *Trans. of the ASAE*, vol. 37, 6, 1913–1918.
- Oktaba W., 1986. *Metody statystyki matematycznej w doświadczałnictwie*. PWN, Warszawa.

- Orzechowski J., Michalski R., 1990. Rozwój i wizja kombajnu zbożowego. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 7–8, 5–7.
- Pabis S., 1985. *Metodologia i metody nauk empirycznych*. PWN, Warszawa.
- Paulsen M.R., Nave W.R., 1980. Corn Damage from Ancoventional and Rotary Combines. *Trans. of the ASAE*, vol. 23, 5.
- Pieczonka K., 1990. *Maszyny urabiające. Teoria urabiania i przemieszczania*. Wyd. Politechniki Wrocławskiej.
- Pintara C., 1987. Badania laboratoryjno-polowe wzorca kombajnu TF 42 na pochyłościach. *Maszynopis Stow. Inż. Techn. Rol.*, Warszawa.
- Pogoda G., 2007. Analiza skuteczności działania dwupłaszczyznowego sita żaluzjowego w kombajnach zbożowych pracujących w terenach nachylonych. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Przyrodniczy, Wrocław.
- Polański Z., 1984. *Planowanie doświadczeń w technice*. PWN, Warszawa.
- Reed W.B., Bigsby F.W., 1977. A Cleaning System Aspirator for Combines. *Grain and Forage Harvesting. American ASAE*, September, 25–29, 192–193.
- Reed W.B., Zoerb G.C., Bigsby F.W., 1974. A Laboratory Study of Grain-Staw Separation. *Trans of the ASAE*, 452–460.
- Rewiakin E., Rusanow A., 1987. Krutosklonnyje ziernoubornyje kombajny. *Technika w sielskom chozajstwie*, 1, 11–13.
- Rocznik Statystyczny Rolnictwa, Portal Internetowy – 2008. GUS, Warszawa, www.stat.gov.pl.
- Roszkowski A., 1980. Kierunki rozwoju konstrukcji kombajnów zbożowych. *Mechanizacja Rolnictwa*, 10, 15–19.
- Roszkowski A., 1988. Kombajn zbożowy – tradycyjny czy inny? *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 7–8, 5–8.
- Roszkowski A., 1989. Kombajny zbożowe do pracy na zboczach. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 11, 9–12.
- Segler G., Freye T., 1977. Vibro-pneumatische Trennung von Stroh, Korn und Sreu im Mähdre-scher. *Grundl. der Landtechnik* 4.
- Sołowiew A.T., 1969. Propuskanaja sposobnost milotilki kombajna pri rabotie na sklonach. *Mech. i Elektrif. Soc. Sielsko. Choz.* 5.
- Spiess E., 1980. Exialmähdrescher – erste Vergleichsversuche. *Blätter für Landtechnik* 6.
- Stelmaszczyk W., 1978. Przegląd zespołów czyszczących we współczesnych kombajnach zbożowych. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 5, 25–29.
- Tabatabaifar A., Persson S.P.E., 1995. Layer breakup and particle movement on a chaffer sieve. *Trans. Of the ASAE*, vol. 38, 5, 1305–1313.
- Traulsen H., 1997. Nowoczesne, wydajne kombajny zbożowe. *Top Agrar. Polska*, 6, 30–34.
- Ukalski J., Rejak A., Hodara K., 1980. Kombajny do zbioru zbóż na zboczach. *Maszyny i Ciągniki Rolnicze*, 8, 23–26.
- Volk W., 1973. *Statystyka stosowana dla inżynierów*. WNT, Warszawa.
- Wacker P., Kutzbach H.D.: 1992. Dresch und trenneinrichtungen moderner mähdrescher. *Land-technik* 6.
- Wacker P., Kutzbach H.D., 1999. Entwicklungsstand der Getreideernte. *Landtechnik*, 4, 202–204.
- Waszkiewicz C., Gach S., Miszczak M., 1989. *Projektowanie maszyn rolniczych*. SGGW-AR, Warszawa.
- Wrubleski P.D., Smith L.G., 1980. Separation characteic of Conventional and Non – Conventio-nal Grain Combine. *Trans of the ASAE*, vol 23, 3.
- Zanko N.D., Dispov N.M., 1996. Ocenka propusknoj sposobnosti molotilki s sistemoj intiensiv-noj separacji zerna. *Traktory i Sielsko. Choz. Masziny*, 10, 13–15.

SEPARACJA ZIARNA W KOMBAJNACH ZBOŻOWYCH

Streszczenie

W pracy przedstawiono przegląd rozwiązań konstrukcyjnych stosowanych w zespołach czyszczących kombajnów zbożowych oraz propozycję nowych rozwiązań zespołu czyszczącego. Omówione zostały zespoły z sitami płaskimi i z sitami rotacyjnymi.

Publikacja prezentuje także wykorzystanie nowych typów sit kształtowych: cylindrycznego, daszkowego i dwupłaszczyznowego, które charakteryzują się lepszymi parametrami pracy niż stosowane obecnie sito płaskie i można je używać w zespole czyszczącym kombajnu zbożowego pracującego na terenach nachylonych.

Badania wykonano na specjalnym stanowisku badawczym do symulacji warunków pracy sita podczas jazdy kombajnów zbożowych o nachyleniu w różnych kierunkach. Stanowisko stwarzało możliwość regulacji nachylenia poprzecznego jak i wzdłużnego sita w zakresie od 0° do 15° . Uzyskane wyniki mają znaczenie poznawcze w zakresie: metod oceny pracy sit kształtowych, określenia rozkładów przesiewu masy czyszczonej w różnych układach nachylenia sit podczas przebiegu procesu separacji, określenia wpływu kąta nachylenia daszków i części uchylnej na parametry pracy sit.

Praca ma również znaczenie użytkowe, gdyż uzyskane wyniki umożliwiają optymalizację ustawień parametrów sit i wyznaczenie parametrów eksploatacyjnych pracy zespołu czyszczącego w warunkach jego nachylenia. Przeprowadzone badania zespołu czyszczącego w warunkach laboratoryjnych i polowych wykazały, że sito daszkowe i dwupłaszczyznowe o zachowanych podstawowych wymiarach i parametrach kinematycznych mogą być zastosowane w kombajnie zbożowym pracującym zarówno na terenie płaskim, jak i nachylonym do 15° .

Słowa kluczowe: sito cylindryczne, sito daszkowe, sito dwupłaszczyznowe, zespół czyszczący, separacja, nachylenie, przesiewanie, kombajn zbożowy

GRAIN SEPARATION IN COMBINE-HARVESTERS

Summary

The work is a review of the construction solutions in combine-harvester cleaning units as well as a proposition of the author's solutions connected with the cleaning units. Besides, cleaning units with flat and rotary sieves have been presented.

The work also shows the use of new types of shaped sieves: cylindrical, canopy, and two-plane sieves with better parameters than a flat screening sieve used so far, possible to apply in a grain combine-harvester working on slopes.

The research was carried out using a specially designed testing stand for simulation of the sieve working conditions at different inclination angles. The stand facilitated changes in the regulation of the sieve inclinations transversely and longitudinally, within the range from 0° to 15° .

The results obtained in the study can be useful for the assessment methods of work, during the separation process, when a specially shaped sieve is applied, determination of inclination angles of the canopies and their impact on some parameters of the sieve work, as well as determination of the screened mass distribution.

The work is of practical significance since the results obtained help to optimize the positioning of the canopy angles and determine the exploitation parameters for the work of the purifying set at different inclination angles. The research of the purifying set, carried out under laboratory and field conditions, proved that the canopy and two-plane sieves of the basic sizes and kinematic parameters can be applied in grain combine-harvesters working both on flat areas and slopes to 15° .

Key words: cylindrical sieve, canopy sieve, two-plane sieve, cleaning unit, separation, inclination angles, screening, combine-harvester

Zboża ozime 2010

pszenica jakościowa - grupa A/E

Lukullus

Pierwsza w Polsce pszenica w grupie elitarnej

- bardzo wysoki plon
- wysoka liczba opadania
- wysoki ciężar właściwy
- bardzo wysoka zawartość białka



saat gut - ernte gut
Lukullus
Winterweizen
saatbau linz
www.saatbau-linz.at

Centrala Nasienna Sp. z o.o.
w Środzie Śląskiej
tel.(71) 399 55 00, fax (71) 317 37 99
www.centrala-nasienna.pl



saatbau linz®