

METODA OPTIMALIZACJI PROCESU OMŁOTU W KOMBAJNIE ZBOŻOWYM

Andrzej Złobecki

Katedra Inżynierii Mechanicznej i Agrofizyki, Akademia Rolnicza
ul. Balicka 120, 30-149 Kraków
e-mail: zlobecki@ar.krakow.pl

Streszczenie. Celem pracy było przeprowadzenie optymalizacji parametrów pracy zespołu młocącego kombajnu na podstawie matematycznego modelu procesu omłotu. Praca obejmuje stworzenie założeń oraz wybór właściwej metody optymalizacji i jej weryfikacji dla wieloletnich wyników badań mających na celu określenie wpływu warunków zbioru na powstawanie strat w czasie kombajnowego zbioru ziarna pszenicy. Zagadnienie optymalizacji polegało na poszukiwaniu najlepszego, względem ustalonego kryterium, rozwiązania należącego do zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Opracowana i przedstawiona metoda optymalizacji strat w zespole młocącym kombajnu Bizon cechuje się możliwością jednoczesnego uzyskiwania parametrów określających jego warunki pracy dla minimalnych wartości strat, co ma istotne znaczenie w przypadku wielowymiarowego podejścia do optymalizacji.

Słowa kluczowe: kombajn zbożowy, proces omłotu, optymalizacja

WSTĘP

Postęp w budowie kombajnów zbożowych zmierza przede wszystkim w kierunku wzrostu wydajności i zmniejszenia strat ziarna. W wyniku wprowadzania intensywnych odmian zbóż i nowych technologii upraw, nastąpił znaczny wzrost plonów ziarna. Wynoszą one obecnie 4,5-7,5 t·ha⁻¹ i więcej, i są dziś powszechnie uzyskiwane w wielu regionach świata.

Zbiór tak wysokich plonów stawia przed techniką rolniczą określone wymagania, których spełnienie utrudnia stosunkowo krótki okres zbioru wynoszący 10-15 dni, tj. około 100-200 godzin. Z tego też względu dąży się do zwiększenia przepustowości, wydajności oraz do ograniczenia powstających strat w kombajnach zbożowych, które jak dotąd są szeroko stosowane w świecie do zbioru zbóż i innych roślin. Można też sądzić, że w najbliższym czasie kombajny zbożowe nadal będą niezastąpione, pomimo prób wprowadzenia innych technologii zbioru.

W kombajnie zbożowym w trakcie zbioru przebiega wiele złożonych procesów. Obok szeregu niewątpliwych korzyści, jakie przynosi wprowadzenie kombajnów do zbioru, nie bez znaczenia jest negatywny wpływ elementów roboczych kombajnu na pozyskiwane ziarno. Prowadzi to w konsekwencji do powstawania strat ilościowych: poprzez osypywanie, nieszczelność kombajnu, niedomłot oraz ziarno wolne w słomie i plewach, jak i jakościowych: w postaci różnorodnych uszkodzeń mechanicznych ziarniaków.

O efektywności procesu omłotu, a co za tym idzie o wielkości strat decyduje znaczna ilość czynników. Większość autorów grupuje je w następujący sposób [1]:

- właściwości młóconych roślin tj. gatunek, odmiana,
- wilgotność ziarna, słomy i plew, zachwaszczenie,
- masowy stosunek ziarna do słomy,
- siła wiązania ziarna z kłosem,
- sprężystość i plastyczność ziarniaków,
- wytrzymałość ziarna na uszkodzenia mechaniczne,
- współczynnik tarcia wewnętrznego i zewnętrznego młóconej masy oraz właściwości mechaniczne masy słomy,
- parametry konstrukcyjne zespołu młócającego tj. rodzaj bębna, liczba i kształt cepów, kształt i rozmieszczenie listew oraz kąt opasania bębna klepiskiem, rodzaj zespołów zasilających,
- parametry regulacyjne zespołu młócającego tj. prędkość obwodowa cepów, wielkość szczeliny roboczej, prędkość zasilania zespołu młócającego.

Jeżeli chodzi o straty jakościowe to mogą być przyczyną wzrostu strat ilościowych, gdyż w uszkodzonych ziarniakach wzmaga się proces oddychania, co może prowadzić do samozagrzewania ziarna powodując pogorszenie jego wartości użytkowej lub nawet całkowite zepsucie. Straty pośrednie niosą ze sobą i takie niebezpieczeństwo, że obniżając zdolność kiełkowania przyczyniają się do obniżenia plonów, co jest szczególnie istotne w przypadku zbioru ziarna kwalifikowanego z przeznaczeniem do siewu. Szeroko prowadzone eksperymenty dowiodły, że wielkość tych strat nie jest bez znaczenia i wielu autorów podaje [1], że w niekorzystnych warunkach zbioru straty ilościowe mogą dochodzić do 5% zbieranej masy ziarna, a łącznie straty ilościowe i jakościowe nawet do 20%. Przeprowadzone badania wykazały również, że przy krańcowo niekorzystnych warunkach zbioru ilość uszkodzonych ziarniaków w zbieranym ziarnie może dochodzić nawet do 80% (makro- i mikrouszkodzenia) [1].

Mimo w miarę dokładnego poznania mechanizmów powstawania strat oraz wpływu różnych czynników na ich wielkość, nadal brakuje jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób należy podejść do problemu zmniejszenia strat podczas zbioru kombajnowego. Szukając odpowiedzi na to pytanie, wielu auto-

rów podejmowało próby rozwiązania tego zagadnienia na drodze teoretycznej. Podawanie zależności opisujących omawiany proces przy uwzględnieniu znacznej liczby często mało istotnych czynników rozbudowuje wzory, a tym samym stają się one mało przydatne do celów praktycznych. Natomiast opis omłotu i wydzielania ziarna za pomocą współczynników upraszcza równanie, lecz jednocześnie unieumożliwia porównywalność wyników oraz nie pozwala na wyróżnienie wpływu poszczególnych parametrów pracy na przebieg procesu. Ponadto wielkości uzyskane przy wykorzystaniu tych równań, są obciążone znacznymi błędami. Należy tutaj zauważyć, że prawie żaden ze znanych modeli nie uwzględnia strat ziarna spowodowanych uszkodzeniami, nie mówiąc o próbie ich matematycznego opisanie. Wynika to z faktu, że zagadnienie powstawania uszkodzeń ziarna w czasie omłotu nie zostało jeszcze całkowicie wyjaśnione, zarówno od strony ilościowej jak i jakościowej.

Celem pracy jest przeprowadzenie optymalizacji parametrów pracy zespołu młocącego kombajnu na podstawie matematycznego modelu procesu omłotu z wykorzystaniem metody wielomianów ortogonalnych.

Praca obejmuje stworzenie właściwych założeń oraz wybór właściwej metody optymalizacji i jej weryfikacji dla wieloletnich wyników badań mających na celu określenie wpływu warunków zbioru na powstawanie strat w czasie kombajnowego zbioru ziarna pszenicy.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem źródłowym do stworzenia modelu były wyniki trzyletnich badań prowadzonych w czasie rzeczywistego zbioru zbóż z plantacji nasiennych kombajnem Bizon Super Z056. Do przeprowadzenia badań użyto trzy odmiany pszenicy ozimej o podobnych właściwościach anatomicznych i morfologicznych ziarna. Były to: Begra, Modra, Roma. Wilgotność badanego ziarna zawierała się w przedziale 16-24%.

W procesie pozyskiwania wyników przyjęto następujące zmienne niezależne:

- wielkość zasilania ($\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) – regulowana przez zmianę prędkości jazdy kombajnu w zakresie $0,3\text{-}0,9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,
- liczbę obrotów bębna młocącego w zakresie $900\text{-}1050 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$,
- wielkość szczeliny roboczej na wyjściu w zakresie $3\text{-}16 \text{ mm}$.

Procentowe wartości niedomłotu określano po zliczeniu ilości ziaren pozostałych w wymłóconych kłosach, uwzględniając wielkość plonu, średnią liczbę źdźbeł na m^2 , oraz liczbę ziaren w kłosie.

Miarą strat w postaci uszkodzeń ziarna była jego zdolność kiełkowania. Została ona oznaczona w Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Krakowie zgodnie

z obowiązującymi normami. Liczbę ziarniaków nie wykiełkowanych w danej próbce przyjęto jako parametr opisujący wielkość strat spowodowanych uszkodzeniami.

Zagadnienie optymalizacji polega na poszukiwaniu najlepszego, względem ustalonego kryterium, rozwiązania należącego do zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Zatem zadaniem optymalizacji jest poszukiwanie elementów rozwiązań dopuszczalnych, dla których opisana na tym zbiorze funkcja, reprezentująca kryterium, przyjmie wartości ekstremalne [2].

W przypadku optymalizacji strat procesu omłotu podczas kombajnowego zbioru mamy do czynienia z optymalizacją dwukryterialną. Kryteriami tymi są:

- minimalizacja strat wynikających z niedomłotu,
- minimalizacja strat wynikających z uszkodzeń ziarna.

Charakterystyczną cechą optymalizacji wielokryterialnej jest to, że rozwiązaniem zagadnienia jest zbiór punktów wyodrębniony z całego zbioru poszukiwań, w przeciwieństwie do optymalizacji jednokryterialnej, gdzie poszukiwanie wartości optymalnej sprowadza się do znalezienia jednego punktu, będącego ekstremum funkcji. Najprostszą metodą rozwiązania wielokryterialnego jest jego przekształcenie do postaci standardowego zadania optymalizacji przez utworzenie funkcji celu będącej sumą ważoną wartości wskaźników.

Opracowując metodę optymalizacji zdecydowano się podjąć próbę zastosowania metody programowania liniowego, bazującej na metodzie sympleksów. Szczegółowy zapis optymalizowanego modelu zamieszczono w pracy [3], gdzie w procesie omłotu brano pod uwagę następujące zmienne:

- Cecha materiału wejściowego: wilgotność (%), plon z ha (t), stopień dojrzałości, gatunek i odmiana, siła wiązania ziarna z kłosem (N), wytrzymałość ziarna na obciążenia mechaniczne, stosunek masy ziarna do słomy, zachwaszczenie;
- Parametry kombajnu: rodzaj i typ bębna młócającego, prędkość obwodowa elementów roboczych ($\text{obr}\cdot\text{min}^{-1}$), liczba i kształt elementów roboczych, kąt opasania bębna klepiskiem (1°), wielkość szczeliny roboczej (mm);
- Zmienne decyzyjne:
 - O – obroty bębna młócającego ($\text{obr}\cdot\text{min}^{-1}$),
 - S – wielkość szczeliny roboczej (mm),
 - Z – wielkość zasilania (jako funkcja prędkości jazdy) ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),
 - W – wilgotność zbieranego ziarna (%);
- Empiryczne funkcje kryterialne:
 - $U = f(O, S, Z, W)$ – masa ziarna uszkodzonego (niekiełkującego),
 - $N = f(O, S, Z, W)$ – masa ziarna pozostawionego za kombajnem (niedomłot).

OPTIMALIZACJA STRAT Z ZASTOSOWANIEM METODY SYMPLEKS

Uzyskany funkcyjny zapis zmiennych decyzyjnych [3] można zoptymalizować za pomocą metod programowania liniowego. Ze względu na ich wielowymiarowy charakter, zdecydowano przeprowadzić optymalizację metodą sympleks.

Geometryczne rozwiązanie zadania programowania liniowego metodą sympleksów oznacza, że poczynając od określonego wierzchołka wielościanu wypukłego, będącego zbiorem rozwiązań dopuszczalnych, w kolejnych krokach wybieramy wierzchołki położone coraz bliżej „wierzchołka optymalnego”, tzn. odpowiadającego optymalnemu bazowemu rozwiązaniu dopuszczalnemu [2].

W celu pełnego zdefiniowania metody sympleksów należy rozpatrzyć następujące zagadnienia :

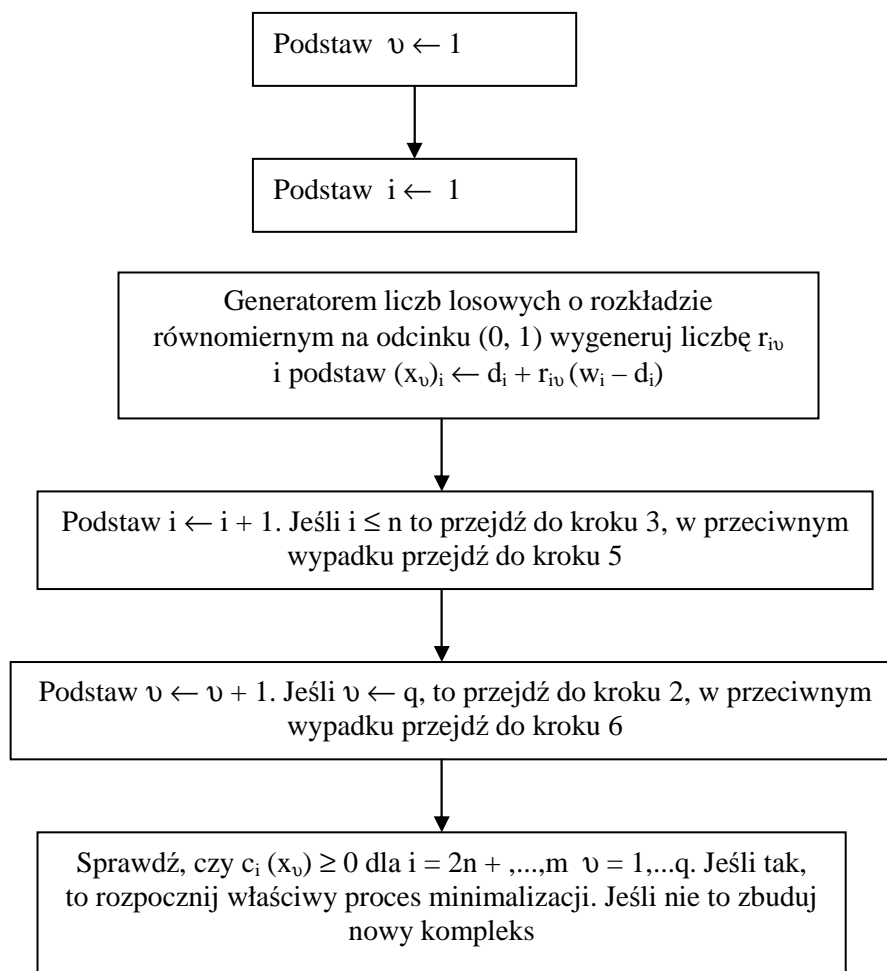
1. Sposób przechodzenia z jednej bazy do drugiej lub inaczej mówiąc, sposób wyznaczenia kolejnych rozwiązań bazowych X_B^1
2. Kryterium zbieżności, tzn. kryterium, według którego następuje zatrzymanie działania procedury,
3. Metody wyznaczania początkowego bazowego rozwiązania dopuszczalnego X_B^0 ,
4. Sposobu postępowania w przypadku pojawienia się zdegenerowanych rozwiązań bazowych.

Ze względu na to, że zmienne kryterialne są czterowymiarowe zdecydowano się przeprowadzić optymalizację metodą Complex.

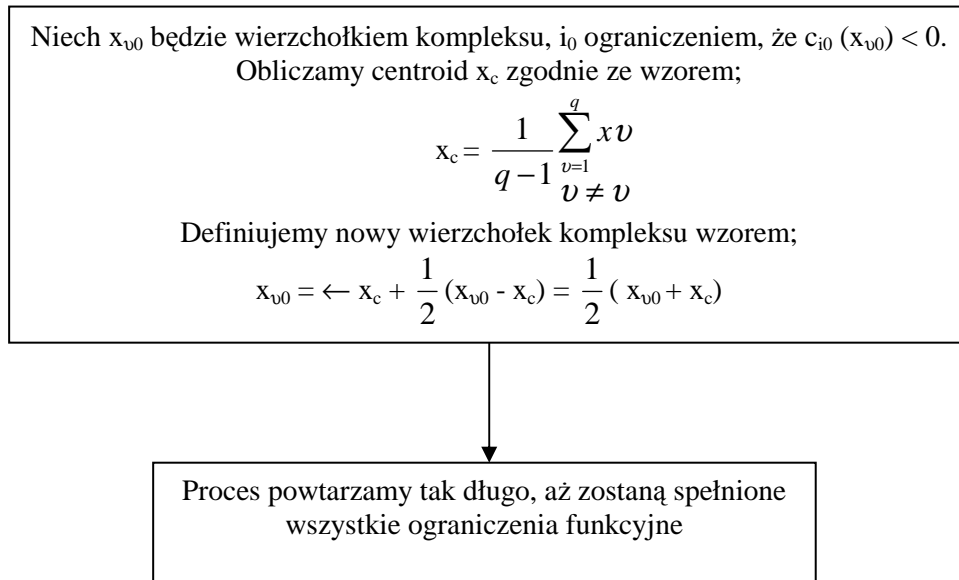
Istotą metody Complex w przeciwieństwie do innych metod jest to, że w metodzie tej nie stosuje się ani modyfikacji funkcji celu, ani też modyfikacji kierunków poszukiwań w otoczeniu ograniczeń. Istota metody Complex polega na utworzeniu w obszarze dopuszczalnym nieregularnego sympleksu o k wierzchołkach. Następnie sympleks ten, zwany kompleksem, jest tak przekształcony, aby odległość pomiędzy jego wierzchołkami malała przy posuwaniu się w kierunku minimum. Metoda ta została opracowana przez *Boxa* i jest odpowiednikiem metody sympleksu Neldera i Meadla, stosowanej w przypadku poszukiwania ekstremum bez ograniczeń [2]. Algorytm metody Complex przebiega w następujący sposób:

- A) Budowa kompleksu początkowego o $q \geq n + 1$ wierzchołkach,
- B) Budowa nowego kompleksu,
- C) Minimalizacja właściwa.

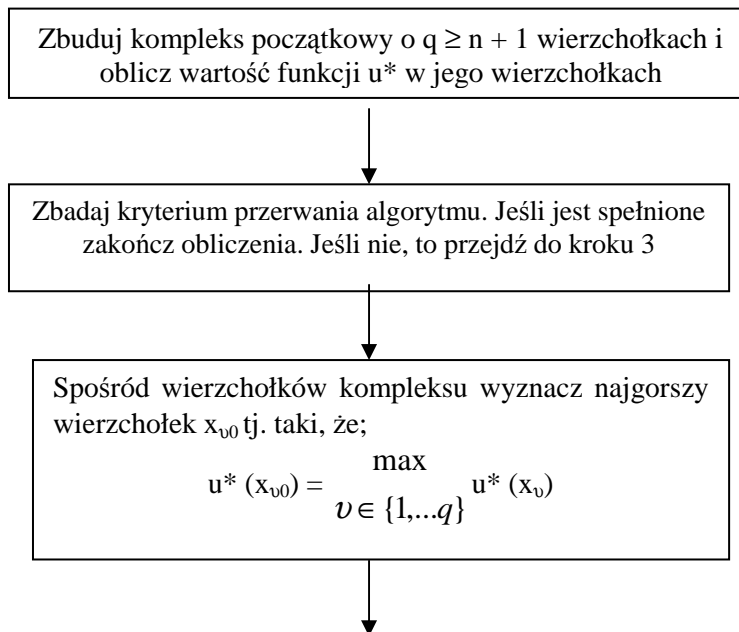
Algorytm budowy kompleksu początkowego:

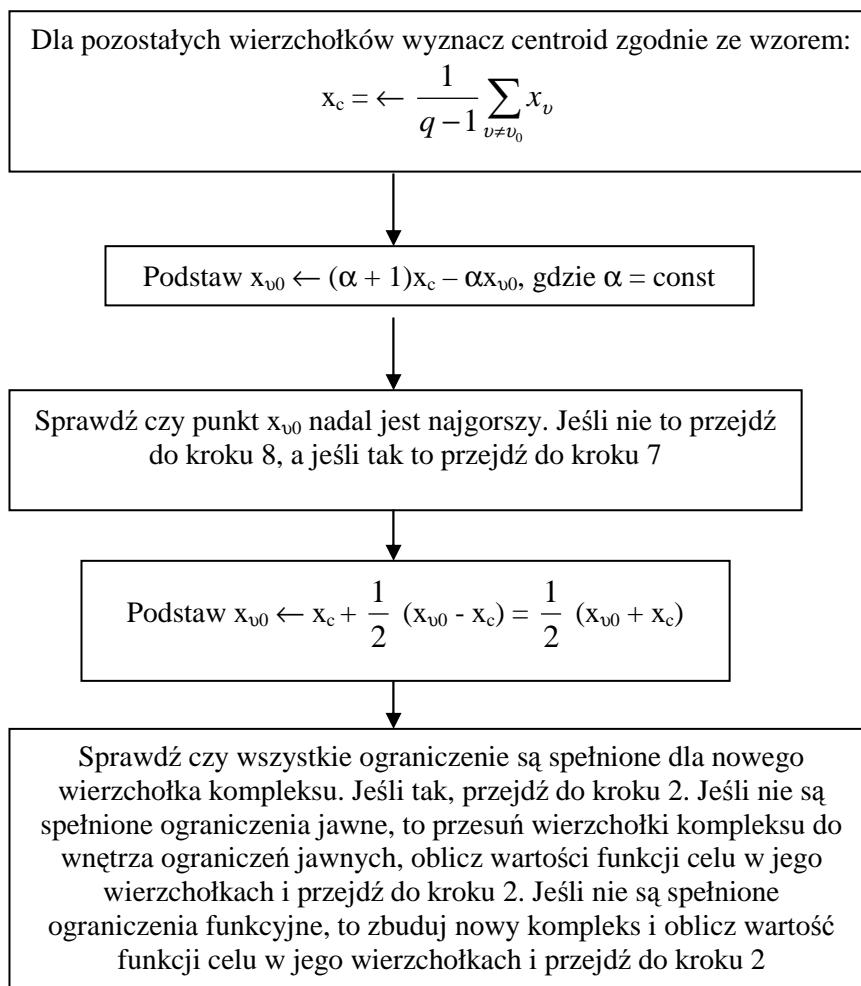


Algorytm budowy nowego kompleksu:



Algorytm minimalizacji właściwej:





TESTACJA ZAPROPONOWANEJ METODY OPTYMALIZACJI

Przedstawione algorytmy metody optymalizacji sympleksu zostały zapisane w postaci programu komputerowego w języku źródłowym C+. W programie tym możliwe było zadawanie różnych parametrów optymalizacji w zależności od rodzaju i ilości optymalizowanych danych. Zadawano takie parametry jak wilgotność (W), liczba zmiennych funkcji celu (n), liczba ograniczeń, tutaj zawsze będzie $m = 2 \cdot n$, bo brak ograniczeń funkcyjnych (m), liczba wierzchołków complexu, minimum $q = n + 2$ (q), maksymalna liczba iteracji (max iter), wartość w kryterium zakończenia obliczeń (eps_koniec), parametr dla metody complex; $\alpha > 1$ (alpha),

oraz wartość z przedziału [0,1]; waga-straty + b·(1 – waga)·niedomłot, w tym przypadku można przyjmować wagi osobno dla jakościowych strat ziarna oraz niedomłotu. Metody te weryfikowano wykorzystując dane z wieloletniego doświadczenia kombajnowego przeprowadzonego w warunkach rzeczywistych. Wyniki tej optymalizacji zamieszczone w tabeli 1. W tabeli tej zawarto wartości zmiennych wejściowych (obroty bębna młócającego, szczelina na wyjściu zespołu młócającego, zasilanie), dla których wartości strat (niedomłot i uszkodzenia) osiągały minimum. W niektórych przypadkach dochodziło do uzyskiwania kilku wartości minimalnych. Miało to miejsce w przypadku, gdy w czasie poszukiwania wartości minimalnej program natrafiał na kilkakrotnie występujące minima lokalne, co wynika z zasady działania metody Complex.

Tabela 1. Wyniki optymalizacji strat w procesie kombajnowego omłotu uzyskane przy pomocy metody optymalizacji Complex

Table 1. Results of loss optimization in combine threshing obtained by Complex optimization method

Prędkość jazdy Drive speed (m·s ⁻¹)	Obroty bębna młócającego Threshing drum rotation (obr·min ⁻¹)	Szczelina robocza Working slit (mm)	Straty ogólne Total losses (%)
Wilgotność – Moisture 16%			
0,4	962	8	0,138
Wilgotność – Moisture 18%			
0,7	1042	2	0,158*
0,3	900	8	0,145*
Wilgotność – Moisture 20%			
0,6	966	8	0,220
Wilgotność – Moisture 22%			
0,5	971	4	0,291
Wilgotność – Moisture 24%			
0,6	973	5	0,333

PODSUMOWANIE

Opracowana metoda optymalizacji strat w zespole młócającym kombajnu Bizon Super Z056 cechuje się możliwością jednoczesnego uzyskiwania parametrów określających jego warunki pracy dla minimalnych wartości strat, co ma istotne znaczenie w przypadku wielowymiarowego podejścia do optymalizacji (cztery zmienne wejściowe i dwie zmienne na wyjściu). Takie postępowanie sprawia, że graficzny zapis przebiegów zmiennych wyjściowych jest praktycznie niemożliwy do uzyskania. Przedstawiony sposób działania jest szybki i możliwy

do zastosowania w komputerowym wyposażeniu kombajnu. Przedstawiona metoda optymalizacji weryfikuje swoje działanie pozytywnie i zalecane byłoby sprawdzenie uzyskanych wyników w warunkach rzeczywistych. Biorąc pod uwagę dość dużą zmienność warunków, w jakich odbywa się zbiór a także znaczną liczbę rozwiązań konstrukcyjnych zespołów młócących należałoby uwzględnić większą ilość i zakres danych wejściowych model, jako że zarówno liczba zmiennych wejściowych jak i wyjściowych nie jest barierą zarówno dla opisującego omlot modelu jak i dla metody optymalizacji Complex.

PIŚMIENNICTWO

1. **Dreszer K., Gieroba J., Roszkowski A.:** Kombajnowy zbiór zbóż. IBMiER, Warszawa, 1998.
2. **Łapińska-Sobczak N.:** Modele Optymalizacyjne. Uniwersytet Łódzki, 1993.
3. **Złobek A., Bożek B.:** Model procesu powstawania strat w czasie omlotu zbóż kombajnem. Acta Agrophysica, 6(2), 569-577, 2005.

OPTIMIZATION METHOD OF THRESHING PROCESS IN COMBINE HARVESTER

Andrzej Złobek

Agroengineering Department, University of Agriculture
ul. Balicka 120, 30-149 Kraków
e-mail: zlobek@ar.krakow.pl

Abstract. The aim of this paper was optimization of work of the threshing assembly of a harvester combine basing on a mathematical model of threshing process. This paper contains a way of selecting an optimization method and its verification by applying results of investigations showing influence of crop conditions on grain losses. The problem of optimization consisted in searching for the best solution from admissible solutions with regard to settled criterion. The proposed optimization of the threshing method in Bison harvester allows simultaneous obtaining of work conditions at minimum values of grain losses, which is an essential issue in the case of multi-dimensional optimization.

Key words: harvester-thresher, process of thrashing, optimization