

## EVALUATION OF PROCESS OF SWEET CORN CUTTING SUPPORTED BY PROFILE ANALYSIS

### Summary

In the paper, profile analysis for evaluation of process of sweet corn cutting is considered. Likelihood ratio test procedures, for three hypotheses about "parallelism", "level hypothesis" and "no condition variation", are given. Data on sweet corn cutting process are analysed for unit electrical energy consumption (kWh/cob) and weight percentage of kernels cut off (%). As profiles assume linear velocities of cob feeder.

## OCENA PROCESU CIĘCIA ZIARNA KUKURYDZY OPARTA NA ANALIZIE PROFILOWEJ

### Streszczenie

W pracy wykorzystujemy analizę profilową do opisu procesu cięcia ziarna kukurydzy. Podajemy funkcje testowe do weryfikacji trzech hipotez o równoległości profili, o istotnych odległościach pomiędzy profilami oraz o równoległości profili do osi odciętych. Dane dotyczące procesu cięcia ziarna kukurydzy analizujemy dla jednostkowego zużycia energii elektrycznej (kWh/kolbę) i procentu odciętej masy ziarna (%). Jako profile przyjęto liniową prędkość podajnika kolb.

### 1. Wprowadzenie

Kukurydza cukrowa jest rośliną, której powierzchnia uprawy zarówno do bezpośredniego spożycia, jak i na cele przetwórcze systematycznie wzrasta [8, 9].

Kukurydzą cukrową jako surowiec dla przemysłu przetwórczego zbiera się w stadium dojrzałości późno-mlecznej [1]. W okresie tym ziarno zawiera najwięcej składników pokarmowych i charakteryzuje się małą zawartością suchej substancji, 24-28% [10].

W odróżnieniu od dojrzałości fizjologicznej ziarno nie ma wyodrębnionej „naturalnej granicy oddzielania”. Miękkie ziarna ściśle przylegają do siebie, jak i do rdzenia kolby, co wpływa niekorzystnie na proces jego oddzielania od rdzeni kolb. Pozyskiwanie ziarna kukurydzy cukrowej na cele przetwórcze (konserwowanie w puszkach, mrożenie) odbywa się poprzez jego mechaniczne odcinanie od rdzenia kolby za pomocą specjalnych maszyn. Proces ten związany jest jednak z powstawaniem dużych strat ilościowych i jakościowych ziarna [2, 4].

W pracy tej do oceny procesu cięcia ziarna kukurydzy użyto analizy profilowej. Analiza profilowa pozwala na głębsze przeanalizowanie eksperymentu i daje nam odpowiedź na pytanie czy profile dla grup są podobne. Analiza profilowa jest dobrze znaną metodą rozpatrywaną w książkach Srivastava [6, 7], Morrisona [5] oraz Greenhouse'a i Geisser'a [3].

### 2. Materiał i metody

Materiałem badawczym były kolby kukurydzy cukrowej odmiany normalnie słodkiej Candle. Kolby do badań pobierano ręcznie w sposób losowy z różnych miejsc plantacji w stadium dojrzałości późno – mlecznej. Do badań wybierano kolby zdrowe, o prostych kształtach i pełnym zaziarnieniu. Przed poddaniem ich do procesu

cięcia, usuwano liście okrywowe a następnie określano ich właściwości fizyczne i geometryczne.

Ziarno od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej odcinano na obcinarce Corn Cutter SC-120 firmy FMC FoodTech. Pomiary wykonywano dla czterech prędkości kątowych głowicy nożowej obcinarki (167,5; 201,0; 234,6; 268,1 rad·s<sup>-1</sup>) i trzech prędkości liniowych podajnika kolb (0,31; 0,61; 0,92 m·s<sup>-1</sup>). Zmianę prędkości obrotowej głowicy nożowej obcinarki uzyskiwano za pomocą przetwornika częstotliwości prądu elektrycznego.

Straty ilościowe ziarna, dotyczące ilości ziarna pozostającego na rdzeniu kolby po cięciu ( $S_z$ ) określano według wzoru:

$$S_z = \frac{W_b - U_z}{W_b} \cdot 100 \quad [\%], \quad (1)$$

gdzie:

$W_b$  - wydajność biologiczna ziarna [%],

$U_z$  - udział odciętego ziarna od rdzeni kolb [%].

Udział odciętego ziarna od rdzeni kolb  $U_z$ , wyznaczano według wzoru:

$$U_z = \frac{m_{oz}}{m_k} \cdot 100 \quad [\%], \quad (2)$$

gdzie:

$m_{oz}$  - masa odciętego ziarna [g],

$m_k$  - masa kolby [g].

Z kolei  $W_b$  określono według formuły:

$$W_b = \frac{m_k - m_z}{m_k} \cdot 100 \quad [\%], \quad (3)$$

gdzie:

$m_z$  – masa ręcznie wyłuskanego ziarna [g].

Jednostkowe zużycie energii elektrycznej podczas odcinania ziarna od rdzeni kolb kukurydzy cukrowej określano z różnicy całkowitej energii elektrycznej zużywanej w czasie procesu cięcia i energii elektrycznej biegu jałowego obcinarki.:

$$E_u = E_c - E_{bj} \quad kWh / kolbę \quad (4)$$

gdzie:

$E_c$  – zużycie energii elektrycznej w czasie pracy obcinarki [kWh],

$E_{bj}$  – zużycie energii elektrycznej w czasie biegu jałowego obcinarki [kWh].

Przyjmijmy, że porównujemy  $K$  testów (krzywoliniowych prędkości) i  $J$  grup (liniowych prędkości) z  $n$  obserwacjami dla każdej kombinacji. Niech  $y_{ijk}$  ( $i=1, \dots, n$ ;  $j=1, \dots, J$ ;  $k=1, \dots, K$ ) jest  $i$ -tą obserwacją  $j$ -tej grupy dla  $k$ -tego testu. Następnie  $y_{ij} = [y_{ij1}, \dots, y_{ijK}]'$  jest  $(K \times 1)$  wektorem o  $K$ -wymiarowym rozkładzie normalnym  $N_K(\mu_j, \Sigma)$ , gdzie  $\mu_j = [\mu_{j1}, \dots, \mu_{jK}]'$  ( $j = 1, \dots, J$ ) jest wartością oczekiwaną, a  $\Sigma$  jest nieznaną macierzą kowariancji.

Skoncentrujemy się na trzech problemach Srivastava [7]. Po pierwsze zbadamy czy profile dla grup są równoległe. Następnie, przyjmując równoległość profili dla grup, obliczymy odległość pomiędzy profilami i sprawdzimy ich istotność. Trzecim problemem jakim się zajmiemy, przyjmując ponownie równoległość profili, będzie sprawdzenie czy profile są równoległe do osi  $OX$ .

## 2.1. Test dla równoległości profili

Profile dla różnych grup są równoległe (podobne), gdy następująca hipoteza jest prawdziwa

$$H_1^0 : \begin{cases} \mu_1 - \mu_2 = \gamma_1 \mathbf{1}_K \\ \vdots \\ \mu_{J-1} - \mu_J = \gamma_{J-1} \mathbf{1}_K \end{cases},$$

gdzie  $\mathbf{1}_K$  jest wektorem składający się z  $K$  jedynek,  $\gamma_i$  ( $i = 1, \dots, J-1$ ) odległością pomiędzy profilami  $i$ -tej i  $(i+1)$ -ej grupy. Do testowania  $H_1^0$  stosujemy statystykę [7]:

$$\lambda_1 = \frac{|\mathbf{C}\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E}\mathbf{C}'|}{|\mathbf{C}(\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E} + \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{T}\mathbf{R})\mathbf{C}'|}, \quad (5)$$

gdzie  $\mathbf{C}$  jest  $(K-1) \times K$  macierzą kontrastów postaci

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & K & \dots & 1-1 \end{pmatrix}, \text{ spełniającą warunek } \mathbf{C}\mathbf{1}_K = \mathbf{0}_{K-1}$$

,  $\mathbf{0}_{K-1}$  jest wektorem składającym się z  $(K-1)$  zer,

$$\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{T}\mathbf{R} = \sum_{j=1}^J n \bar{y}_{.j} \bar{y}_{.j}' - nJ \bar{y}_{..} \bar{y}_{..}',$$

$$\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E} = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^n \mathbf{y}_{ij} \mathbf{y}_{ij}' - \sum_{j=1}^J n \bar{y}_{.j} \bar{y}_{.j}', \quad \text{ i } \quad \bar{y}_{.j} = n^{-1} \sum_{i=1}^n \mathbf{y}_{ij},$$

$$\bar{y}_{..} = (nJ)^{-1} \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^n \mathbf{y}_{ij}.$$

Zgodnie z [6] wiemy, że  $-[J(n-1) - \frac{1}{2}(K-J+1)] \ln \lambda_1$  ma rozkład  $\chi^2$  z  $(K-1)(J-1)$  stopniami swobody.

## Test i przedział ufności dla $\gamma$

Jeżeli nie odrzuciliśmy hipotezy  $H_1^0$  tzn. profile dla grup są równoległe, wówczas możemy sprawdzić czy odległość profili pomiędzy grupami jest istotna. Hipotezę w tym przypadku możemy zapisać następująco:

$$H_2^0 : \gamma = [\gamma_1, K, \gamma_{J-1}]' = \mathbf{0}_{J-1}.$$

Statystykę dla hipotezy  $H_2^0$  przedstawia poniższy wzór:

$$\lambda_2 = \frac{1}{\lambda_1} \frac{|\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E}|}{|\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E} + \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{T}\mathbf{R}|}. \quad (6)$$

Po przekształceniu  $\lambda_2$  otrzymujemy:

$$\frac{(J(n-1) - K + 1) 1 - \lambda_2}{J - 1} \frac{1}{\lambda_2} = F_{J-1, J(n-1) - K + 1}.$$

W przypadku odrzucenia hipotezy  $H_2^0$  możemy estymować  $\gamma$  i wyznaczyć przedziały ufności dla każdej składowej  $\gamma_j$  ( $j = 1, \dots, J-1$ ). Estymator największej wiarygodności dla  $\gamma$  jest postaci:

$$\hat{\gamma} = \frac{\mathbf{Z}' \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E}^{-1} \mathbf{1}_K}{\mathbf{1}_K' \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E}^{-1} \mathbf{1}_K}, \quad (7)$$

gdzie  $\mathbf{Z} = (\bar{y}_{.1} - \bar{y}_{.2}, K, \bar{y}_{.(J-1)} - \bar{y}_{.J})$ .

Natomiast  $(1-\alpha)$  100% przedział ufności dla  $\gamma_j$  jest następujący [6]:

$$\hat{\gamma}_j \pm T_\alpha \sqrt{\frac{\mathbf{a}_j' [\mathbf{A} + \mathbf{Z}' \mathbf{C}' (\mathbf{C} \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E} \mathbf{C}')^{-1} \mathbf{C} \mathbf{Z}] \mathbf{a}_j}{\mathbf{1}_K' \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E}^{-1} \mathbf{1}_K}}, \quad (8)$$

gdzie  $T_\alpha = \frac{J-1}{J(n-1) - K + 1} F_{J-1, J(n-1) - K + 1, \alpha}$ ,

$\mathbf{A} = \frac{1}{n} \mathbf{1}_{J-1} \mathbf{1}_{J-1}' + \frac{1}{n} \mathbf{I}_{J-1}$ ,  $\mathbf{I}_{J-1}$  macierz identycznościowa wymiaru  $(J-1)$ ,  $\mathbf{a}_j$  jest to wektor o wymiarze  $(J-1)$  mający jedynkę tylko na  $j$ -tym miejscu, a pozostałe składowe to zera.

## 2.2. Test o równoległości profili do osi $OX$

Przypuśćmy, że profile są równoległe (hipoteza  $H_1^0$  nie została odrzucona). Hipoteza o równoległości profili wszystkich grup do osi  $OX$  można zapisać następująco:

$$H_3^0 : \mu_j = \delta \mathbf{1}_{K-1},$$

gdzie  $\delta$  jest nieznaną stałą. Hipoteza  $H_3^0$  odrzucimy, gdy poniższy warunek będzie spełniony:

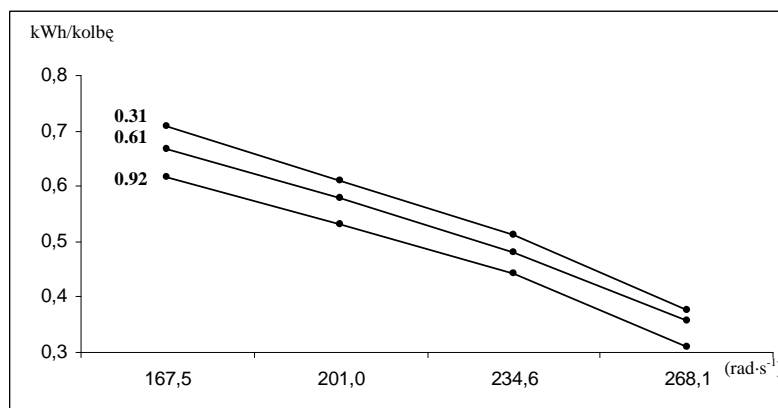
$$\frac{nJ(nJ-K+1)}{K-1} \bar{y}_{..}' \mathbf{C}' [\mathbf{C}(\mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{E} + \mathbf{S}\mathbf{S}\mathbf{T}\mathbf{R})\mathbf{C}]^{-1} \mathbf{C} \bar{y}_{..} \geq F_{K-1, nJ-K+1, \alpha}. \quad (9)$$

## 3. Przykłady

W opisanym powyżej doświadczeniu rozpatrujemy trzy grupy – liniowych prędkości podajnika kolb ( $m s^{-1}$ ): 0,31; 0,61; 0,92 i cztery testy - kątowych prędkości głowicy nożowej obcinarki ( $rad s^{-1}$ ): 167,5; 201,0; 234,6; 268,1 powtarzanych na 60 kolbach kukurydzy. Zatem mamy  $J = 3$ ,  $K = 4$ ,  $n = 60$ . Średnią energię odcięcia masy dla 60 powtórzeń przedstawia tab. 1, profile dla trzech liniowych prędkości podajnika kolb zilustrowana jest na rys. 1.

Tab. 1. Średnie zużycie energii elektrycznej w czasie odcinania ziarna (kWh/kolbę)  
 Table 1. The average consumption of electrical energy for the kernel cutting (kWh/cob)

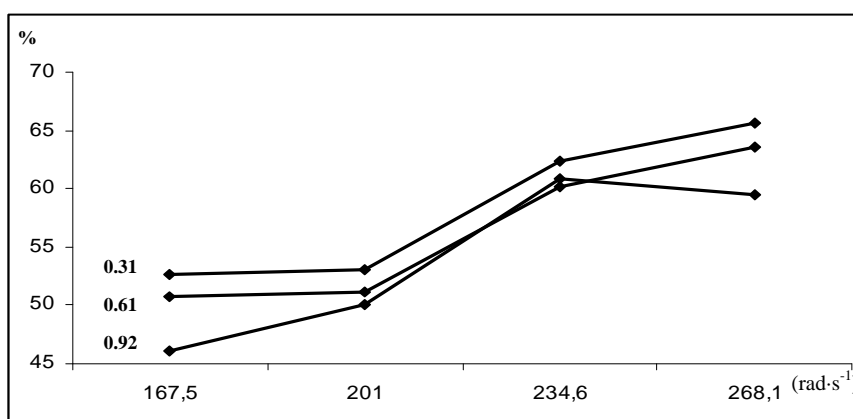
Grupa Liniowa prędkość	Kątowa prędkość głowicy nożowej obcinarki (test)				Średnia dla grup
	167,5	201	234,6	268,1	
0,31	0,71	0,61	0,51	0,38	0,55
0,61	0,67	0,58	0,48	0,36	0,52
0,92	0,62	0,53	0,44	0,31	0,47
Średnia dla testów	0,66	0,57	0,48	0,35	0,52



Rys. 1. Profile grup dla prędkości liniowej  
 Fig. 1. The profiles of groups for linear velocity

Tab. 2. Rezultaty testowania hipotez  
 Table 2. The results of testing the hypotheses

Hipotezy	Funkcja testowa	Wartość krytyczna	Decyzja
$H_1^0$	5,44 ( $\lambda_1 = 0,97$ )	$\chi^2_{(K-1)(J-1)} = 12,59$	Nie odrzucamy
$H_2^0$	136,09 ( $\lambda_2 = 0,39$ )	$F_{J-1, n-J-K+1} = 3,05$	odrzucaamy
$H_3^0$	1075,33	$F_{K-1, nJ-K+1, 0.05} = 2,66$	odrzucaamy



Rys.2. Profile grup dla prędkości liniowej  
 Fig. 2. The profiles of groups for linear velocity

Tab. 3. Średni procent wagi ziarna odciętego (%)  
 Table 3. The average weight percentage of kernels cut off (%)

Grupy Liniowa prędkość	Kątowa prędkość głowicy nożowej obcinarki (test)				Średnia dla Grup
	167,5	201	234,6	268,1	
0,31	52,64	52,99	62,37	65,58	58,40
0,61	50,8	51,22	60,2	63,52	56,43
0,92	46,07	50,09	60,78	59,45	54,10
Średnia dla testów	49,84	51,43	61,12	62,85	56,31

Z danych otrzymaliśmy następujące macierze:

$$SSE = \begin{pmatrix} 0,537 & 0,024 & 0,024 & -0,094 \\ 0,024 & 0,388 & -0,011 & -0,045 \\ 0,215 & -0,011 & 1,556 & -0,068 \\ -0,094 & -0,045 & -0,068 & 0,385 \end{pmatrix},$$

$$SSTR = \begin{pmatrix} 0,245 & 0,215 & 0,169 & 0,181 \\ 0,215 & 0,215 & 0,148 & 0,162 \\ 0,169 & 0,148 & 0,118 & 0,123 \\ 0,181 & 0,162 & 0,123 & 0,141 \end{pmatrix},$$

Wyniki przedstawia tab. 2. Hipotezy  $H_1^0$  dotyczącej równoległości profili nie odrzucamy, zatem profile dla liniowych prędkości podajnika kolb są do siebie równoległe. Drugą hipotezę  $H_2^0$  dotyczącą badania istotności odległości pomiędzy profilami odrzucamy, a to znaczy, że te odległości pomiędzy profilami  $\gamma$  są różne od zera i możemy je estymować, a także wyznaczyć przedziały ufności dla składowych  $\gamma$ . Estymator  $\gamma$  i 95% przedziały ufności są odpowiednio równe:  $\hat{\gamma}' = [0,029; 0,049]$ ,  $\gamma_1 \in (0,017; 0,040)$  i  $\gamma_2 \in (0,036; 0,058)$ .

Drugą zmienną rozpatrywaną w doświadczeniu i przetestowaną jest procentowa waga odciętego ziarna (%). Dla danych otrzymaliśmy średnie przedstawione w tab. 3 i zilustrowane na rys. 2.

W tym przypadku dla  $H_1^0$  otrzymaliśmy wartość funkcji testowej 22,17, a wartość krytyczną 12,17. Zatem odrzucamy hipotezę dotyczącą równoległości profili dla liniowych prędkości podajnika kolb w przypadku, gdy rozważamy procentową wagę odciętego ziarna. To natomiast nie pozwala nam testować pozostałych hipotez.

#### 4. Wnioski

Stosując analizę profilową pokazaliśmy, że profile dla grup liniowej prędkości dla średniego zużycia energii elektrycznej są podobne. To oznacza, że wzrost liniowej prędkości powoduje stałą zmianę w zużyciu energii elektrycznej. Udowodniliśmy, że odległości pomiędzy

profilami różnią się istotnie. Pokazaliśmy także, że wzrost liniowej prędkości i wzrost krzywoliniowej prędkości powoduje spadek zużycia energii elektrycznej. Oprócz tego, pokazaliśmy, że liniowe prędkości nie są równoległe do osi OX. Przedziały ufności przedstawiają odległości pomiędzy liniowymi prędkościami.

Stosując powyższą analizę pokazaliśmy również, że profile liniowej prędkości dla procentowej wagi odciętego ziarna nie są do siebie podobne (co jest uwidocznione na rys. 2 – trzeci profil zachowuje się inaczej).

#### 5. Literatura

- [1] Brecht J.K.: Fresh cut sweet corn kernels. *Citrus and Vegetable Magazine*, 63(7), 36-37, 1998.
- [2] Feibert, E., Shock, F. 1996. Supersweet corn and sweet corn variety evaluations, Malheur Experiment Station, Oregon State University Ontario, Oregon, 34.
- [3] Greenhouse, S. W., Geisser, S. 1959, On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika* 24, 95-112.
- [4] Hanna, H. Y., Story, R. N., Adams, A. J. 1988. Effects of sweet corn production practices on yield and other characteristics. ASHS-SR Meeting, New Orleans, LA, Feb. *HortScience* 23(5), 824.
- [5] Morrison, D. F. 1967. *Multivariate Statistical Methods*. McGraw-Hill.
- [6] Srivastava, M. S. 1987. Profile analysis of several groups. *Commun. Statist.-Theory Meth.*, 16(3), 909-926.
- [7] Srivastava, M.S. 2002. *Methods of Multivariate Statistics*. Wiley-Interscience.
- [8] Waligóra H. 2006. Zbiór i wykorzystanie kukurydzy cukrowej. *Kukurydza*. Nr 2(28). s. 26-27.
- [9] Warzecha R., Nosecka B. 2007. *Kukurydza cukrowa*. Agro Serwis. Nr 4 (355). s. 31.
- [10] Wong, A. D., Juvik, J. A., Breeden, D. C, Swiader, J. M. 1994. Shrunken2 sweet corn yield and the chemical components of quality, *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119(4), 747-755.