

## **BADANIE PROCESU MIESZANIA WIELOSKŁADNIKOWEJ MIESZANINY ZIARNISTEJ W ZALEŻNOŚCI OD SPOSOBU PODAWANIA SKŁADNIKÓW**

Jolanta Królczyk, Marek Tukiendorf

*Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej, Politechnika Opolska*

**Streszczenie:** Badania prowadzono w mieszalniku pionowym z mieszadłem ślimakowym o działaniu okresowym. Specyfiką procesu jest dodatkowa recyrkulacja mieszanego materiału. Obserwowany proces odbywał się w mieszalni zajmującej się produkcją i dystrybucją pasz dla gołębi. W artykule przedstawiono wyniki badań uzyskanych dla mieszaniny 9-składnikowej. Przeprowadzono serię badań w zależności od sposobu podawania jednego ze składników mieszaniny – sorgo. W pierwszym eksperymencie sorgo podawano do mieszalnika z silosu poprzez przenośnik taśmowy, natomiast w drugim eksperymencie sorgo trafiało bezpośrednio do mieszalnika. Wyniki badań przedstawiono graficznie wykorzystując do analizy sumę kwadratów reszt. Analiza zmienności tego parametru w czasie pozwoliła zauważyć istotne różnice pomiędzy procesami prowadzonymi w różnych warunkach.

**Słowa kluczowe:** mieszanie materiałów ziarnistych, materiały ziarniste, wieloskładnikowa mieszanina ziarnista, pasza, suma kwadratów reszt

### **Wprowadzenie**

Proces mieszania, od dawna stosowany w wielu dziedzinach działalności człowieka, jest zaganieniem trudnym do opisanego, zwłaszcza, kiedy mamy do czynienia z mieszaniem układów niejednorodnych i wieloskładnikowych. W procesie mieszania materiałów ziarnistych przez określenie układu niejednorodny rozumiane są mieszaniny ziarniste, złożone ze składników różniących się przede wszystkim cechami, takimi jak przeciętne wymiary ziaren lub gęstość [Boss 1987; Boss 1991; Stręk 1971]. Mniejsze znaczenia odgrywają różnice kształtu, wilgotności czy współczynników tarcia wewnętrznego. Większość układów, z jakimi mamy do czynienia w przemyśle wydobywczym, ceramicznym, farmaceutycznym, spożywczym i rolniczym to właśnie układy niejednorodne. Opis stanu dynamicznego takich mieszanin, a także kinetyka przebiegu należą do podstawowych problemów mieszania [Boss 1987].

Jak już powiedziano wcześniej mieszanie materiałów ziarnistych jest procesem zależnym od wielu parametrów, które można pogrupować jako: charakteryzujące własności mieszanych materiałów, charakteryzujące cechy urządzenia mieszającego oraz charakteryzujące warunki prowadzenia procesu [Boss 1987]. Do tych ostatnich zaliczamy (udziały masowe czy objętościowe) poszczególnych składników, stosunek objętości mieszaniny do

roboczej objętości mieszalnika, sposób, kolejność i szybkość dodawania składników mieszanki oraz intensywność mieszania.

W artykule podjęto próbę określenia przebiegu procesu mieszania przy różnym sposobie podawania jednego ze składników 9-składnikowej mieszanki ziarnistej.

## Cel badań

Celem badań było określenie czy sposób (miejsce) podawania jednego ze składników 9-składnikowej mieszanki ziarnistej ma wpływ na przebieg mieszania. Badania prowadzono z recyrkulacją składników w pionowym mieszalniku z komorą nieruchomą z mieszadłem ślimakowym w warunkach przemysłowych.

## Metodyka badań

Przedmiotem badań była 9-składnikowa mieszanka pasz dla gołębi o składzie podanym w tabeli 1.

Tabela 1. Wymagane udziały procentowe składników mieszanki.

Table 1. Input components' percentages of the mixture

Komponent mieszanki	Udział procentowy [%]
Pszenica	30,00
Jęczmień	29,00
Kukurydza	16,00
Peluszka	10,00
Sorgo	5,00
Groch	5,00
Proso	2,25
Słonecznik czarny	1,50
Dari	1,25

Do badań wykorzystano pionowy mieszalnik z nieruchomą komorą i mieszadłem ślimakowym (podnośnikowym) o działaniu okresowym (rys. 1), o następujących wymiarach:

- A - wysokość części cylindrycznej - 1550 mm,
- B - wysokość części stożkowej - 1600 mm,
- C - wysokość otworu wysypowego - 300 mm,
- D - średnica wewnętrzna części cylindrycznej - 1800 mm,
- E - średnica wewnętrzna otworu wysypowego - 300 mm.

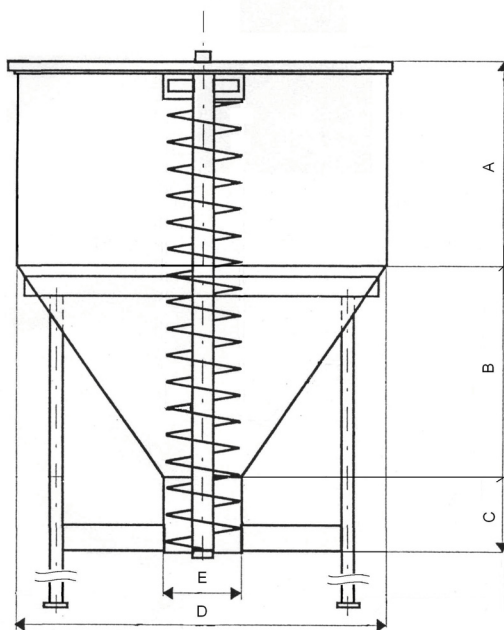
Zainstalowana moc mieszadła wynosi 5,5 kW. Masa wszystkich komponentów mieszanki zasypana do zbiornika wynosiła 2000 kg. Mieszanie zasypanego materiału ziarnistego następowało w wyniku ruchu mieszadła ślimakowego mieszalnika oraz w wyniku recyrkulacji składników poprzez przenośnik kulekowy. W trakcie mieszania okresowego

## Badanie procesu mieszania...

komponenty mieszanki wysypywały się w miejscu spustu z mieszalnika, a następnie kierowane były na przenośnik kulekowy, skąd trafiały z powrotem do mieszalnika.

W pierwszym i drugim przypadku mieszaniu poddano ten sam układ ziarnisty o jednakowych udziałach mieszanych komponentów. Różnica w prowadzeniu procesu polegała jednak na innym sposobie podawania wybranego składnika mieszanki. W pierwszym eksperymencie sorgo podawane było do mieszalnika z silosu. Ziarno z silosu trafiało na przenośnik taśmowy a następnie do mieszalnika. W drugim eksperymencie sorgo podawano bezpośrednio do mieszalnika. Czas mieszania składników wynosił 30 minut.

Próby do badań pobierano w sposób dyskretny w miejscu spustu mieszalnika w 30 sekundowych odstępach czasu. W ten sposób otrzymano 60 prób poddanych następnie analizie ilościowej.

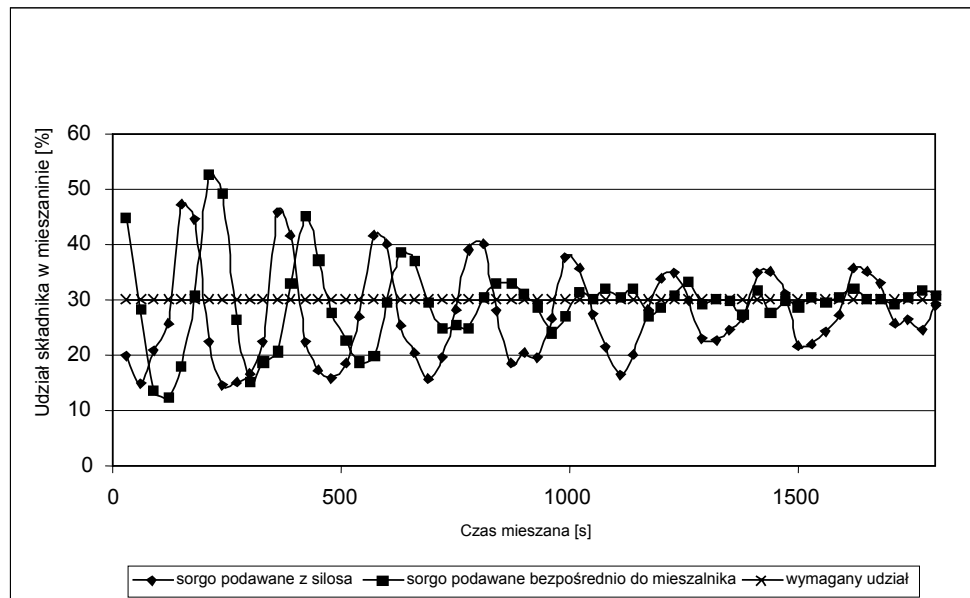


Rys. 1. Mieszalnik pasz

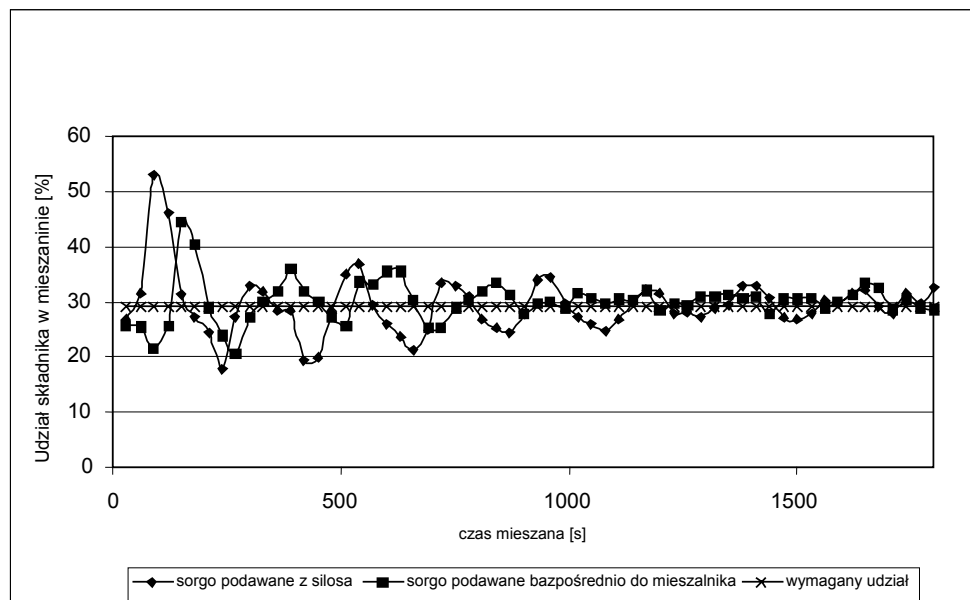
Fig. 1. Pellet mixer

## Wyniki badań pomiarowych

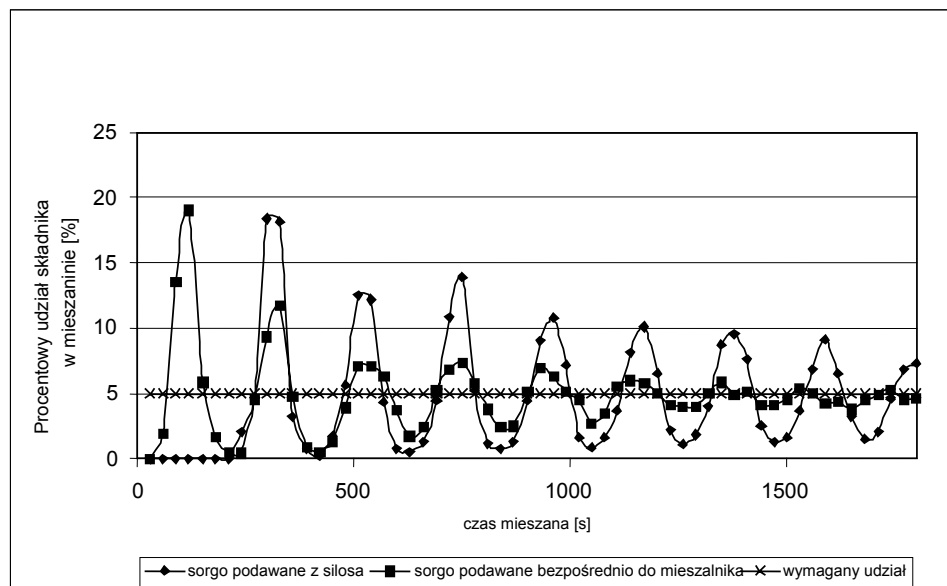
Pobrane próby mieszanek pasz rozdzielono na poszczególne komponenty, zmierzono ich masę, a następnie przeprowadzono analizę otrzymanych wyników. Charakter zmian procentowych udziałów w funkcji czasu mieszania zaprezentowano na poniższych wykresach (rys. 2, rys. 3, rys. 4). Na wykresach porównano zmiany udziałów procentowych wybranych składników w przypadku, gdy sorgo podawane było z silosa poprzez przenośnik ślimakowy do mieszalnika oraz gdy sorgo podawano bezpośrednio do mieszalnika.



Rys. 2. Wykres zmian procentowego udziału pszenicy w czasie 30 minut mieszania  
 Fig. 2. Graph of the percentage changes of the wheat during 30 mixing time



Rys. 3. Wykres zmian procentowego udziału jęczmienia w czasie 30 minut mieszania  
 Fig. 3. Graph of the percentage changes of the barley during 30 mixing time



Rys. 4. Wykres zmian procentowego udziału sorgo w czasie 30 minut mieszania  
 Fig. 4. Graph of the percentage changes of the sorghum during 30 mixing time

Analiza zmian udziałów poszczególnych składników w czasie (rys. 2, rys. 3, rys. 4) pozwala zauważyć charakter procesu. Zmiany mają charakter oscylacyjny. Udziały każdego ze składników oscylują wokół wymaganego udziału składników zmniejszając wraz z narastającym czasem wartość amplitudy odchylenia od wartości oczekiwanej. Analiza każdego z wykresów pozwala na porównanie zmian udziałów procentowych komponentów mieszaniny w czasie w przypadku, gdy sorgo podawane jest z silosa oraz gdy sorgo podawane jest bezpośrednio do mieszalnika. W przypadku wykresu na rysunku 4 sorgo podawane bezpośrednio z mieszalnika pojawiło się w próbkach 5 minut szybciej niż w przypadku, gdy sorgo podawano z silosa. W przypadku sorgo podawanego bezpośrednio do mieszalnika proces mieszania ma przebieg łagodniejszy – amplitudy odchylenia od wartości docelowej są mniejsze niż w przypadku sorgo podawanego z silosa. Proces ulega szybszej stabilizacji.

Analiza procesów różniących się sposobem podawania składnika do mieszalnika możliwa jest również dzięki wykorzystaniu parametru prostej regresji liniowej – resztowej sumy kwadratów.

### Analiza statystyczna

Wymodelowano związki między dwiema zmiennymi: zmienną zależną Y (wynikową) – docelowym rozkładem częstości składników i zmienną niezależną X (objaśnianą) – rozkłady udziałów poszczególnych składników w kolejnych odstępach czasowych. Prosty model

regresji (dla populacji) składa się ze składnika nielosowego (linia prosta) wyznaczona przez człon  $\beta_0 + \beta_1 X$  równania [Aczel A. D. 2005] oraz składnika losowego  $\varepsilon$  (błędu):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1)$$

gdzie:

- Y – zmienna zależna (objaśniana),
- X – zmienna niezależna (objaśniająca),
- $\beta_0$  – parametr modelu, wyraz wolny,
- $\beta_1$  – parametr modelu, współczynnik kierunkowy,
- $\varepsilon$  – błąd losowy,

Oszacowaniem powyższego równania regresji jest równanie:

$$Y = b_0 + b_1 X + e \quad (2)$$

gdzie:

- Y – zmienna zależna (objaśniana),
- X – zmienna niezależna (objaśniająca),
- $b_0$  – oszacowanie  $\beta_0$ ,
- $b_1$  – oszacowanie  $\beta_1$ ,
- $e$  – zaobserwowane błędy (reszty) z dopasowania linii prostej  $b_0 + b_1 X$  do zbioru  $n$  wyników obserwacji obu zmiennych,

W badaniach dokonano analizy błędów zaobserwowanych w wyniku dopasowania modelu regresji do danych. Zaobserwowane błędy informują, na ile wyniki obserwacji nie zostały wyjaśnione przez model [Aczel A. D. 2005].

Suma kwadratów reszt jest zdefiniowana następująco:

$$SSE = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

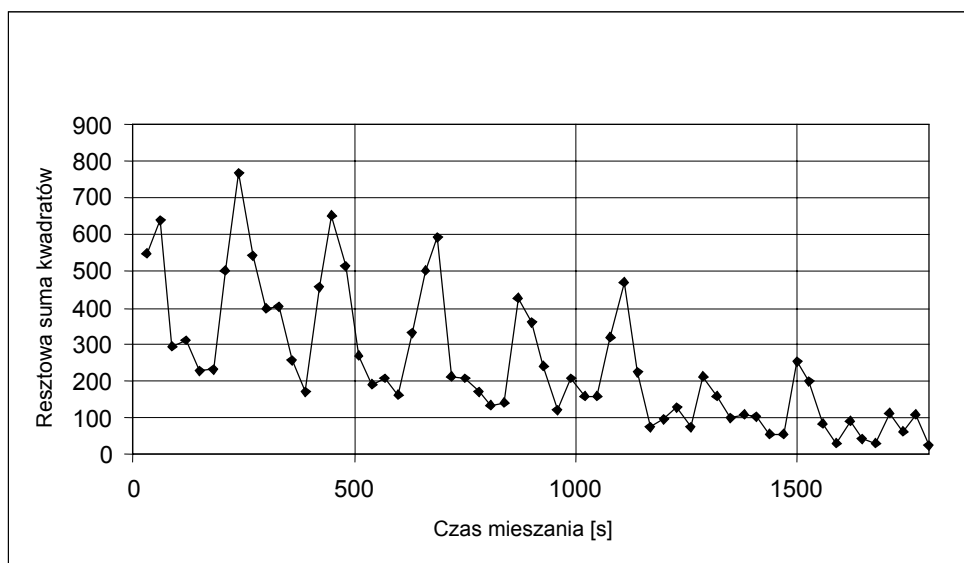
gdzie:

- SSE – suma kwadratów reszt,
- $e_i$  – błąd  $i$ -tej obserwacji,
- $y_i$  – wartość wyniku obserwacji (pomiaru) – wartość procentowego udziału danego komponentu w czasie.
- $\hat{y}_i$  – wartość przewidywana z oszacowania otrzymanego z prostej regresji,

Resztowe sumy kwadratów (SSE) stały się podstawą do opracowania wykresów przedstawiających zmianę jakości mieszanki w czasie (rys. 5, rys. 6). Gdy suma kwadratów reszt jest równa zero, wówczas udziały wszystkich komponentów w określonym punkcie czasowym są równe wartościom docelowym.

## Wyniki analizy statystycznej

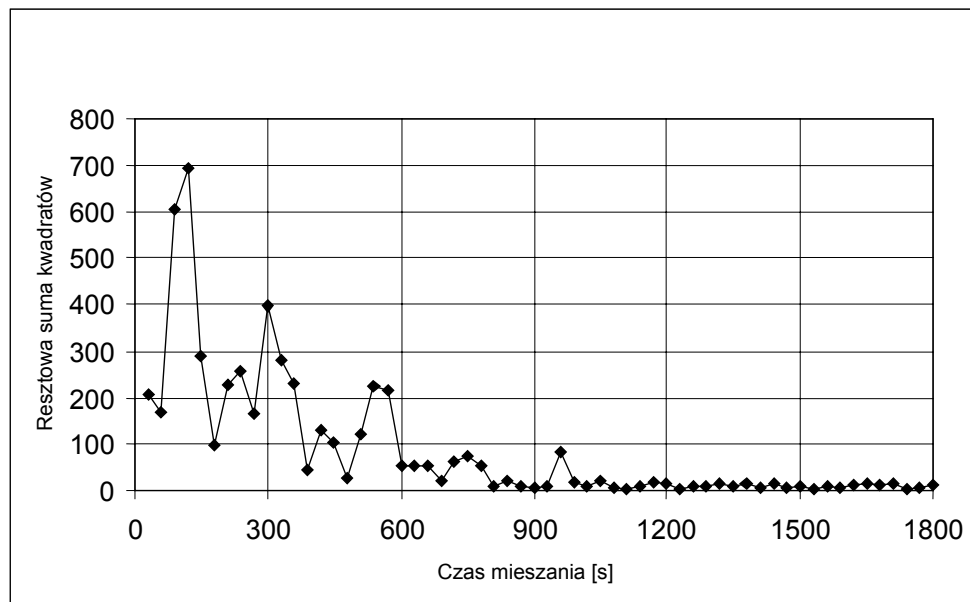
- Na wykresach przedstawiono zmiany resztowej sumy kwadratów dla dwóch przypadków:
- gdy sorgo podawano do mieszalnika z silosa poprzez przenośnik ślimakowy (rys. 5),
  - gdy sorgo podawano do mieszalnika bezpośrednio do mieszalnika (rys. 6).



Rys. 5. Wykres zmian sumy kwadratów reszt w zależności od czasu mieszania uzyskany dla mieszaniny 9 składnikowej (mieszanina zimowa) w przypadku podawania sorgo z silosa

Fig. 5. The graph showing the sum of squares changed depending on mixing time for the 9 component mixture (winter mixture) in the case of adding sorghum from silo

Analiza wykresów zależności sumy kwadratów reszt od czasu obrazuje charakter przebiegu procesu. Można zaobserwować w drugim przypadku (rys. 6) szybszą stabilizację parametru resztowej sumy kwadratów. Począwszy od 10 minuty procesu mieszania parametr ten nie ulega znacznym wahaniom. Dokonując analizy pierwszego przypadku (rys. 5), można powiedzieć, że dopiero po 18 minucie mieszania parametr resztowej sumy kwadratów ulega stabilizacji.



Rys. 6. Wykres zmian sumy kwadratów reszt w zależności od czasu mieszania uzyskany dla mieszaniny 9 składnikowej (zimowa) w przypadku podawania sorgo bezpośrednio do mieszalnika

Fig. 6. The graph showing the sum of squares changed depending on mixing time for the 9 component mixture (winter mixture) in the case of - adding sorghum direct to the mixer

## Wnioski

1. Sposób podawania składnika wpływa w istotny sposób na przebieg procesu mieszania.
2. Na podstawie obserwacji zmian SSE w czasie, wysunięto wniosek o skróceniu czasu mieszania dla obydwu badanych przypadków.
3. Podawanie sorgo bezpośrednio do mieszalnika powoduje szybszą stabilizację procesu niż w przypadku podawania sorgo z silosu.
4. Sorgo podawane bezpośrednio do mieszalnika wpływa na uzyskanie lepszej jakości mieszaniny w krótszym czasie.

## Bibliografia

- Aczel A.D. 2005. Statystyka w zarządzaniu. PWN, s. 456-513.
- Boss J. 1987. Mieszanie materiałów ziarnistych. PWN, Warszawa – Wrocław. ISBN 83-01-07058-7.
- Boss J. 1991. Czas mieszania materiałów ziarnistych, Studia i monografie, WSI w Opolu. ISSN 0239-5991.
- Strępek F. 1971. Mieszanie i mieszalniki. WNT. s. 325-354.





**ZPORR**  
Zintegrowany Program  
Operacyjny  
Rozwoju Regionalnego



*Praca powstała przy współfinansowaniu Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej oraz budżetu państwa*

## **STUDY OF THE PROCESS OF MIXING A MULICOMPONENT GRANULAR MIXTURE DEPENDING ON THE COMPONENT FEEDING METHOD**

**Abstract.** The investigation concerned a periodical vertical mixer with a worm agitator. The specificity of the process consists in additional recirculation of the mixed material. The observed process took place in a mixing chamber for the production and distribution of pigeon feed. In the paper the results of studies obtained for a nine-component mixture are presented. A series of tests using different methods for feeding one of the mixture components – sorghum, was carried out. In the first experiment sorghum was fed into the mixer from a silo through a band conveyor, and in the second experiment sorghum was fed directly into the mixer. The results of the study have been presented graphically, using for the analysis the sum of rest squares. The analysis of the variability of that parameter in time has made it possible to note significant differences between the processes carried out under varied conditions.

**Key words:** mixing of granular materials, granular materials, multicomponent granular mixture, feed, sum of rest squares

**Adres do korespondencji:**

Jolanta Królczyk; e-mail: [jolantakrolczyk@wp.pl](mailto:jolantakrolczyk@wp.pl)  
Katedra Techniki Rolniczej i Leśnej  
Politechnika Opolska  
ul. Mikołajczyka 5  
45-271 Opole