

## ASPEKTY METODYCZNE SPORZĄDZANIA MAP APLIKACYJNYCH ZLOKALIZOWANEGO NAWOŻENIA MINERALNEGO

Mirosław Zagórda, Maria Walczyk

*Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa, Akademia Rolnicza w Krakowie*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono problem wpływu rozdzielczości map zasobności i wielkości siatki poboru próbek gleby na wyniki szacowania zmienności przestrzennej zasobności w składniki pokarmowe i w efekcie na zmienność przestrzenną w zlokalizowanym nawożeniu mineralnym. Badania wykonano na przykładzie zapotrzebowania na fosfor na polu z uprawą pszenicy ozimej. Z wykorzystaniem rejestracji automatycznej wraz z pozycjonowaniem geograficznym kombajnu określono średni plon pszenicy z hektara, niezbędny do szacowania wymaganej ilości składnika mineralnego. Zawartość fosforu określono dla różnej liczebności próbek gleby, wynikającej z trzech różnych wielkości siatki punktów na polu. Dla każdego wariantu siatki mapę zasobności sporządzono w czterech rozdzielczościach. Na podstawie powyższych informacji obliczono zbilansowane dawki nawożenia fosforem i porównano z nawożeniem tradycyjnym. Najlepsze dopasowanie dawek do zmienności występującej na polu uzyskano przy rozdzielczości mapy 10 m oraz dla 50-metrowego boku kwadratu siatki.

**Słowa kluczowe:** mapy zasobności, rozdzielczość mapy, siatka poboru gleby

### Wstęp

Podstawą rolnictwa precyzyjnego jest kontrolowanie zmienności, która może mieć charakter przestrzenny i sezonowy. Przestrzenna zmienność dla potrzeb rolnictwa precyzyjnego może być wyrażona w postaci konturów na mapie wektorowej lub liczbą pikseli o jednakowej elementarnej powierzchni na mapie rastrowej. Sezonowa zmienność uwidacznia się przy porównaniu map z poszczególnych lat [Lipa 1997].

Zlokalizowane nawożenie, wykonywane na podstawie map aplikacyjnych, wykorzystuje informacje o przestrzennej zmienności zarówno plonów, jak i zasobności gleby w składniki pokarmowe [Jadczyzyn 1998; Rataj i Urbanowicz 2002a; Rataj i Urbanowicz 2002b]. Do sporządzenia map aplikacyjnych potrzebna jest znajomość zawartości fosforu, potasu i azotu w glebie, ponieważ są to składniki, które w najwyższym stopniu działają plonotwórczo [Walczkova i Zagórda 2005a]. Optymalizację nawożenia uważa się za główny czynnik obniżający koszty oraz niekorzystny wpływ na środowisko przyrodnicze. W związku z tym dla precyzyjnego nawożenia pola muszą być dobrze zmapowane i powinna być pobrana odpowiednia liczba próbek do analizy chemicznej [Stehno 2003]. Oprócz liczby próbek znaczny wpływ na odwzorowanie zmienności występującej na polu ma również rozdzielczość wykonywanych map zasobności, będących podstawą map aplikacyjnych nawożenia.

## Cel i zakres badań

Przedstawione badania miały na celu określenie wpływu rozdzielczości zarówno map rastrowych, jak i siatki poboru próbek gleby, na zróżnicowanie przestrzenne zapotrzebowania na składniki pokarmowe i w efekcie na wielkość zużycia zastosowanego nawozu mineralnego w zlokalizowanym nawożeniu mineralnym.

Badania wykonano na przykładzie zapotrzebowania na fosfor w uprawie pszenicy ozimej i zakres badań obejmował następujące zagadnienia:

- określenie średniego plonu pszenicy ozimej z wykorzystaniem rejestracji automatycznej z wyznaczaniem geograficznego położenia kombajnu na polu,
- wykonanie analizy chemicznej na zawartość fosforu dla trzech wielkości siatki poboru próbek gleby na polu, a więc dla różnej liczebności próbek,
- sporządzenie mapy zasobności fosforu w czterech rozdzielczościach;
- określenie na bazie ww. informacji zbilansowanej dawki nawożenia fosforem w programie Agronom 2.1 i porównanie z nawożeniem tradycyjnym.

## Metodyka

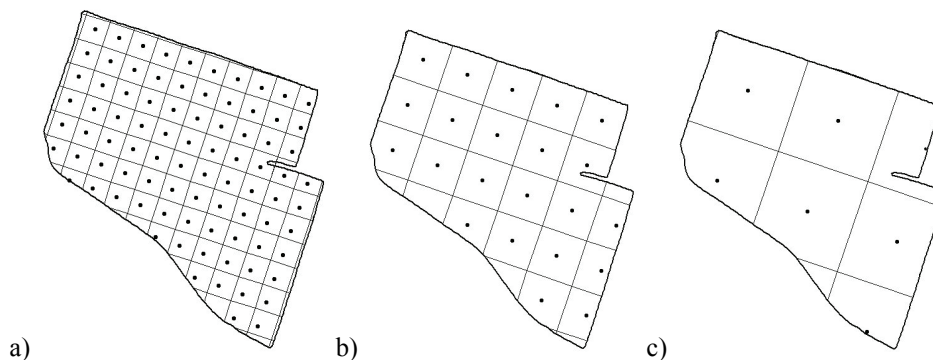
Pierwszym krokiem w przedstawionych badaniach było wykonanie mapy plonu pszenicy ozimej, uprawianej na polu o powierzchni 21,66 ha i określenie jego średniej wartości. Zastosowany do zbioru kombajn Claas Lexion 430 wyposażony był w optyczny system rejestracji plonu firmy Agrocom [Walczykova i Zagórda 2005c].

Pobierając próbki gleby na określenie jej zasobności w składniki pokarmowe, kierowano się zasadami zawartymi w normie PN-R-04031:1997 [Walczykova i Zagórda 2005a]. Zgodnie z cytowaną normą jedna próbka ogólna gleby, na którą składa się 20 próbek pierwotnych równomiernie rozłożonych na badanej powierzchni, reprezentuje 4 ha. W przedstawionych badaniach dla realizacji założonego celu zastosowano dodatkowo dwa warianty, pobierając jedną próbkę główną z 1 hektara oraz z powierzchni 0, 25 ha. W ten sposób uzyskano 3 rozdzielczości siatki poboru próbek - 50 m, 100 m i 200 m.

Mapę cyfrową pola wykonano z zastosowaniem rejestratora kartograficznego pracującego w trybie DGPS [Walczykova i Zagórda 2005b] i w zależności od przyjętego wariantu nakładano na nią siatkę o odpowiednich wymiarach boku kwadratu. W centrum każdego kwadratu siatki (rys. 1), znajdował się punkt odpowiadający jednej próbce ogólnej pobranej do analizy gleby.

Wyniki analizy chemicznej na zawartość fosforu połączono w programie ArcView 3.3 z danymi o położeniu geograficznym każdego punktu pomiarowego siatki, sporządzając w ten sposób mapy przestrzenne rozmieszczenia danego składnika na polu [Walczykova i Zagórda 2005a].

Do wykonania mapy zasobności fosforu zastosowano metodę IDW, dla której liczba sąsiadujących punktów wynosiła 12, a waga 2. Parametry te były jednakowe bez względu na wielkość siatki poboru próbek i zastosowana rozdzielczość mapy [Walczykova i Zagórda 2005a].



Rys. 1. Mapa cyfrowa badanego pola z siatką punktów poboru próbek o bokach kwadratu: a) 50 m, b) 100 m, c) 200 m

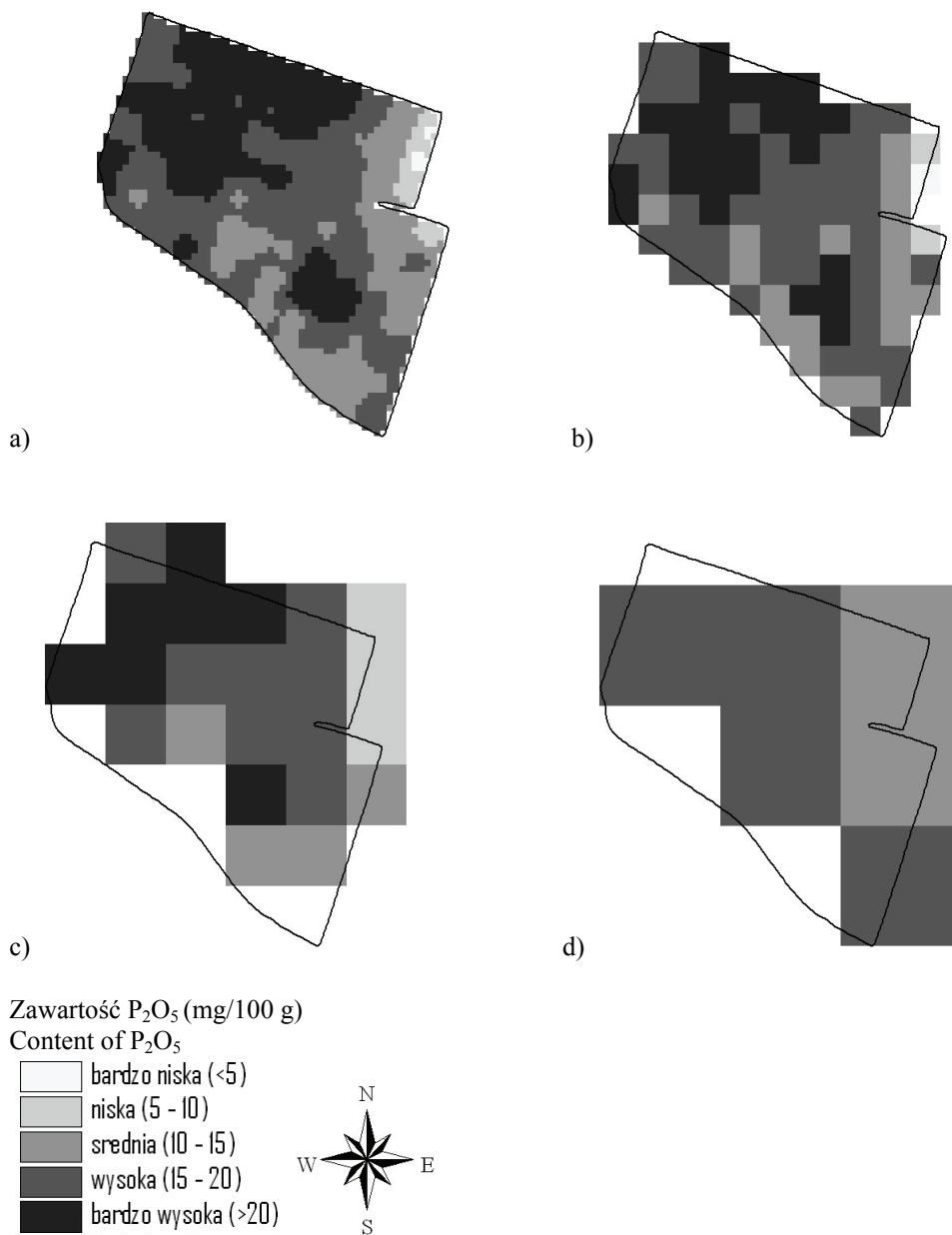
Fig. 1. Digital map of the field superimposed by grids with points of soil sample collection, having following size of the squares: a) 50 m, b) 100 m, c) 200 m

Na podstawie ww. mapy zasobności gleby i zmierzonego średniego plonu pszenicy ozimej, oszacowano zapotrzebowanie na fosfor z uwzględnieniem kategorii agronomicznej gleby. Przy określaniu dawki nawozów stosowne obliczenia wykonano w programie Agrom 2.1, opracowanym przez ośrodek Doradztwa Rolniczego w Drwinowie [Walczykova i Zagórda 2005a].

## Wyniki

Wizualizację wpływu rozdzielczości na przestrzenne rozmieszczenie zasobności fosforu przedstawiono na mapach wykonanych dla jednego z wariantów poboru próbek, a mianowicie w siatce o bokach 50 m (rys. 2). Na ich podstawie można stwierdzić, że zwiększanie rozdzielczości mapy wpływa na pogorszenie jej czytelności, powodując zatarcie różnic pomiędzy obszarami. Na przykładowych mapach zasobności fosforu (rys. 2) widać, że siatka rastrowa, z której powstaje mapa jest ułożona w kierunku N – S (północ-południe). W związku z tym dokładne odwzorowanie pola w postaci mapy rastrowej miałyby miejsce tylko wówczas, gdyby pole było w kształcie prostokąta, którego dwa boki są równoległe do kierunku N – S, lub w przypadku stosowania bardzo małych pikseli (rys. 2a).

Wykonanie mapy zasobności w fosfor na podstawie próbek reprezentujących 3 różne powierzchnie kwadratu siatki (rys. 3), przedstawiono przykładowo w rozdzielczości równej 10 m. Zamieszczone rysunki wykazują, że ze wzrostem kwadratu siatki, a więc ze zmniejszaniem się liczby próbek głównych z badanego pola, traci się informacje o zróżnicowaniu przestrzennym danego czynnika. Występujące miejscowo obszary o bardzo niskiej lub wysokiej zawartości fosforu nie zostają zidentyfikowane podczas pobierania próbek.



Rys. 2. Mapa zasobności gleby w fosfor w rozdzielczościach: a) 10 m, b) 50 m, c) 100 m, d) 200 m; dla siatki o bokach 50 m

Fig. 2. Map of the phosphorus content made in following resolutions: a) 10 m, b) 50 m, c) 100 m, d) 200 m; the assumed grid size is 50 m



Rys. 3. Mapa zasobności gleby w fosfor dla siatki poboru próbek o bokach: a) 50 m, b) 100 m, c) 200 m; dla rozdzielczości mapy 10 m

Fig. 3. Map of the phosphorus content based on collection of samples in grid of the following size: a) 10 m, b) 50 m, c) 100 m, d) 200 m; the assumed map resolution is 10 m

W tabeli 1 zawarto liczbowe zestawienie cząstkowych powierzchni o różnym poziomie zasobności w fosfor oraz ich procentowy udział w ogólnej powierzchni badanego pola. Dane te obliczono na podstawie map przestrzennego rozmieszczenia fosforu dla wszystkich przyjętych w badaniach wariantów, przedstawionych na rysunkach 2 i 3. Powierzchnia ogółem dla rozpatrywanych wariantów jest nieznacznie zróżnicowana (tab. 1), w uwagi na fakt, że określano ją z map rastrowych w różnych rozdzielczościach,

Tabela 1. Powierzchnie o różnej zasobności w fosfor – na podstawie rysunków 2 i 3  
Table 1. Areas of different phosphorus content – based on figures 2 and 3

Rozdzielczość siatki (m)	Zasobność	Powierzchnie przy rozdzielczości mapy [m]							
		10		50		100		200	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
50	b. niska	0,09	0,5	0,25	1,1	0,07	0,3	0	0
	niska	0,59	2,7	0,5	2,2	0,63	2,9	0	0
	średnia	5,06	23,3	4,5	20,2	4,99	23,0	8	33,3
	wysoka	9,13	42,0	10,75	48,4	9,20	42,4	16	66,7
	b. wysoka	6,85	31,5	6,25	28,1	6,84	31,4	0	0,0
	RAZEM	21,72	100	22,25	100	21,74	100	24	100
100	b. niska	0	0	0	0	0	0	0	0
	niska	0,14	0,6	0	0	0	0	0	0
	średnia	2,50	11,5	3,00	14,1	4,00	17,4	4	16,7
	wysoka	13,40	61,7	13,00	61,2	14,00	60,9	16	66,6
	b. wysoka	5,68	26,2	5,25	24,7	5,00	21,7	4	16,7
	RAZEM	21,72	100	21,25	100	23,00	100	24	100
200	b. niska	0	0	0	0	0	0	0	0
	niska	0	0	0	0	0	0	0	0
	średnia	1,18	5,4	1,75	7,9	1,00	4,3	4	16,7
	wysoka	14,84	68,4	15,00	67,4	17,00	73,9	16	66,6
	b. wysoka	5,70	26,2	5,50	24,7	5,00	21,8	4	16,7
	RAZEM	21,72	100	22,25	100	23,00	100	24	100

Uzyskane wyniki (tab. 1) pozwalają prześledzić zmiany powierzchni cząstkowych na skutek zmiany rozdzielczości mapy i siatki. I tak, skutkiem zwiększania rozdzielczości zarówno mapy, jak i siatki poboru próbek, jest zmniejszanie się obszarów o zasobności bardzo niskiej, niskiej oraz bardzo wysokiej, aż do ich całkowitego zniknięcia. Ich kosztem następuje wzrost powierzchni pozostałych obszarów i wynikiem tego jest uśrednianie zasobności występującej na polu.

Realizując ostatnie zadanie z przyjętego zakresu opracowania, dokonano oszacowania zapotrzebowania na fosfor na podstawie map zasobności dla wszystkich analizowanych wariantów rozdzielczości, zakładając uzyskanie średniego plonu pszenicy na poziomie  $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Jest to metodą zmierzająca do wyrównania zróżnicowania plonu na polu, przy założeniu braku innych czynników uniemożliwiających uzyskanie założonego poziomu plonowania. W tabeli 2 przedstawiono wyniki takiego szacowania plonu z wykorzystaniem programu Agronom 2.1.

Tabela 2. Zapotrzebowanie na fosfor przy założeniu uzyskania średniego plonu  $7 \text{ t ha}^{-1}$   
 Table 2. Demand on phosphorus when assuming the average yield at  $7 \text{ t ha}^{-1}$

Rozdzielczość siatki [m]	Liczba próbek	Zapotrzebowanie na $\text{P}_2\text{O}_5$	Nawożenie tradycyjne [kg]	Rozdzielczość mapy [m]			
				10	50	100	200
50	4 na 1 ha	dla całego pola [kg]	2491	1075	1109	1235	1408
		na 1 ha [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ]	115	49,6	51,2	57	65
100	1 na 1 ha	dla całego pola [kg]	2491	997	992	1113	1188
		na 1 ha [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ]	115	46	45,8	51,4	54,8
200	1 na 4 ha	dla całego pola [kg]	2491	950	998	1026	1188
		na 1 ha [ $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ]	115	43,8	46,1	47,5	54,8

Zapotrzebowanie na fosfor rosło ze wzrostem rozdzielczości mapy i malało na skutek wzrostu boku kwadratu siatki (tab.2). Zmiany te wahały się w zakresie od  $43,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (1 próbka/4ha; rozdzielczość mapy 10 m) do  $65 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (4 próbki/1 ha rozdzielczość mapy 200 m). W porównaniu z dawką wysiewaną przez rolnika oszczędności wyniosłyby 77-163%.

Zmiany dawki, jakie wystąpiły wskutek wzrostu rozdzielczości mapy odniesiono do dawki przy jej najmniejszej rozdzielczości, czyli 10 m (tab. 3), zaś wpływ zmiany rozdzielczości siatki porównano z wynikami uzyskanymi dla boku kwadratu 200 m (tab. 3). Dla tych parametrów obliczone zapotrzebowanie na fosfor było bowiem najmniejsze. Na podstawie danych uzyskanych w tym porównaniu (tab. 3) można stwierdzić, że największe oszczędności nawozu daje pobieranie próbek gleby do określenia zawartości składnika w rozdzielczości siatki 200 m i 100 m, czyli 1 próbka główna na 4 hektary oraz 1 próbka główna na hektar. W odniesieniu do map zasobności jest to rozdzielczość 10 oraz 50 m.

Zapotrzebowanie na nawóz mineralny wg map zasobności wykonanych w rozdzielczości siatki poboru próbek o boku kwadratu 50 m (rys. 2, a), jaki Autorzy stosują w swoich badaniach, bardzo dobrze odzwierciedla zmienność występującą na polu. Oszczędność nawozu przy rozdzielczości mapy 10 i 50 m jest na poziomie 125 oraz 132% w porównaniu z wysiewem tradycyjnym (tab. 2), jednakże koszty związane z pobieraniem większej liczby próbek do analizy chemicznej niwelują realne oszczędności.

Przeprowadzona analiza wykazała, że jakość map aplikacyjnych w aspekcie lokalnego zaspokojenia potrzeb nawozowych rośliny zależy w dużej mierze od przedstawionych czynników.

Tabela 3. Względna zmiana zapotrzebowania na fosfor (%)  
Table 3. Relative change of demand on phosphorus (%)

Zmiana rozdzielczości	Rozdzielczość siatki [m]	Liczba próbek	Rozdzielczość mapy [m]			
			10	50	100	200
mapy	50	4 na 1 ha	0	3,2	14,9	31
	100	1 na 1 ha	0	-0,5	11,6	19,1
	200	1 na 4 ha	0	5,1	8,0	25,1
siatki	50	4 na 1 ha	13,2	11,1	20,3	18,5
	100	1 na 1 ha	4,9	-0,6	8,5	0
	200	1 na 4 ha	0	0	0	0

## Wnioski

1. Zapotrzebowanie na fosfor rosło ze wzrostem rozdzielczości mapy zasobności i malało na skutek wzrostu boku kwadratu siatki poboru próbek.
2. Największe oszczędności nawozu dało określanie zawartości składnika w rozdzielczości siatki poboru próbek 200 m i 100 m, w odniesieniu do map zasobności jest to 10 oraz 50 m.
3. Zastosowanie informacji o plonie i zasobności gleby do określenia zapotrzebowania na fosfor spowodowało oszczędności w zakresie 76–162% w porównaniu z dawką wysianą przez rolnika.

## Bibliografia

- Jadczyzyn T.** 1998. System rolnictwa precyzyjnego. III. Nawożenie w rolnictwie precyzyjnym. Praca przeglądowa. *Fragmenta Agronomica* (XV) Nr 1 (57), s. 29-38.
- Lipa J.J.** 1997. Rolnictwo precyzyjne – nowe technologie. Praca przeglądowa. *Fragmenta Agronomica* (XIV), nr 3 (55), s. 17-26.
- Rataj V., Urbanovič A.** 2002a. Spresnenie riadenia výroby na základe poznania priestorovej efektívnosti. W: *Fungování podniků v současném světě*. Zlín: UTB, s. 82-89.
- Rataj V., Urbanovič A.** 2002b. Uplatnenie poznatkov o priestorovej premenlivosti v rastlinnej výrobe. W: *Technika v procesech trvale udržitelného hospodaření a produkce bezpečných potravín*. Brno: MZLU, s. 143-147.
- Stehno L.** 2003. Problematika variabilního hnojení. *Mechanizace zemědělství*, nr 9, s. 22-23.
- Walczkova M. Zagórda M.** 2005a. Zmienne nawożenie mineralne pszenicy ozimej z wykorzystaniem map przestrzennego rozmieszczenia plonów. *Inż. Roln.* 10 (70), s. 375-383.
- Walczkova M. Zagórda M.** 2005b. Application of 3R-GPS recorder for control of some agricultural machine operations. *Proceedings of Int. Conf., Slovak Agricultural University, Dudince 2-3. 06.2005*, s. 453-460.
- Walczkova M. Zagórda M.** 2005c. Preparation of yield maps in Agro-Map expert program. *Proceedings of Int. Conf., Slovak Agricultural University, Dudince 2-3. 06.2005*. s. 461-470.



## **METHODOLOGICAL ASPECTS OF CREATING APPLICATION MAPS FOR A LOCALIZED FERTILIZATION**

**Summary.** In the presented paper resolution of the map and size of the grid, on which soil sample collection was based, were considered as factors influencing the results of estimation of spatial variation of soil minerals content and, finally, also the variation during performing of localized fertilization. Research was carried out on a field with winter wheat cultivation and demand on phosphorus was considered. Yield was monitored with the combine harvester geographical positioning and its average value was taken into consideration at estimation of required amount of phosphorus. Determination of the phosphorus content was based on different number of soil samples, as their collection was carried by 3 sampling grids that differed in size. For each grid map of the mineral content was prepared in 4 resolutions. Based on the above a balanced rate of phosphorus fertilization was calculated and compared with the traditional one. Rates best adjusted to variation on the field were obtained for 10 m resolution for the map and for 50 m long side of grid.

**Key words:** maps of minerals content, resolution, sampling grid

**Adres do korespondencji:**

Mirosław Zagórda; e-mail: [miroslaw.zagorda@poczta.fm](mailto:miroslaw.zagorda@poczta.fm)  
Katedra Eksploatacji Maszyn, Ergonomii i Podstaw Rolnictwa,  
Akademia Rolnicza w Krakowie  
ul. Balicka 116 B  
30-149 Kraków