

**Michał CZAJKA<sup>1</sup>, Stanisław PODSIADŁOWSKI<sup>2</sup>, Ryszard WALKOWIAK<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Department of Mathematical and Statistical Methods, University of Life Sciences in Poznań

<sup>2</sup>Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Institute of Agricultural Engineering, University of Life Sciences in Poznań

## **Zróźnicowanie składu granulometrycznego jako skutek erozji eolicznej gleb lekkich\***

### **Light soil granulometric structure differentiation as result of wind erosion**

**Słowa kluczowe:** erozja eoliczna, skład granulometryczny gleby, kriging

**Key words:** wind erosion, texture, cringing

#### **Wprowadzenie**

Erozja eoliczna jest ważnym czynnikiem kształtującym strukturę gleby. Dotyczy to przede wszystkim gleb lekkich, przeważających na terenach równinnych Europy Środkowej (Richter 1980), w tym także środkowej Polski (Stach i Podsiadłowski 2001). Przeprowadzone dotychczas badania erozji eolicznej pozwoliły dobrze rozpoznać jej dynamikę czasową, charakteryzującą się silną sezonowością i dużą rolą epizodycznie występujących okresów maksymalnego jej natężenia (Fullen 1985, Kostrzewski i Szpikowski

1994). Wyraźny jest też wpływ reżimu wiatrów, stanu pokrycia terenu, właściwości fizycznych gruntu oraz zabiegów uprawowych na intensywność erozji eolicznej (Fullen 1985, Podsiadłowski 1988, 1994b, 1995). W literaturze dość dobrze rozpoznany jest wpływ erozji eolicznej na teksturę gleb, ilość zawartej w glebie substancji organicznej oraz na wiele innych właściwości fizycznych i chemicznych gleby (Fullen 1985, Lyles i Tatarko 1986, Stach 1995, Stach i Podsiadłowski 2001). Znacznie mniej jest prac dotyczących badania bezwzględnej wielkości natężenia erozji eolicznej (Kostrzewski i in. 1994, Podsiadłowski 1994a, Walkowiak i Podsiadłowski 1994) i zmienności przestrzennej jej skutków (Jönsson 1994, Kostrzewski i Szpikowski 1994, Podsiadłowski 1994a, Stach i Podsiadłowski 1998). Brak wiarygodnej metodyki umożliwiającej oszacowanie rzeczywistego obszarowego natężenia deflacji i akumulacji

\*Praca wykonana w ramach grantu nr R12 005 03, „Opracowanie modelu prognozowania zintegrowanej uprawy antyerozyjnej”, finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

potrzebnych do bilansu mas w procesie erozji eolicznej gleb. Pojedyncze na ogół stanowiska pomiarowe nie dają możliwości oceny zmienności przestrzennej natężenia i efektów erozji (Stach i Podsiadłowski 2001).

Wyniki pasywnego eksperymentu przeprowadzonego w Wielkopolsce w 1986 roku wskazują, że intensywność erozji eolicznej waha się w granicach od 5 do 20 t·ha<sup>-1</sup> rocznie. Pośrednim efektem erozji eolicznej są widoczne zmiany tekstury gleby i zawartości materii organicznej w warstwie ornej zerodowanego pola. Intensywność erozji pulweryzacyjnej i eolicznej w środkowej Polsce powoduje bardzo dużą zmienność przestrzenną gleby, nawet na małych, pojedynczych polach. Jest to efektem polifrakcyjności i różnorodności osadów morenowych. Erozja eoliczna powiększa jeszcze tę naturalną zmienność przestrzenną gleby.

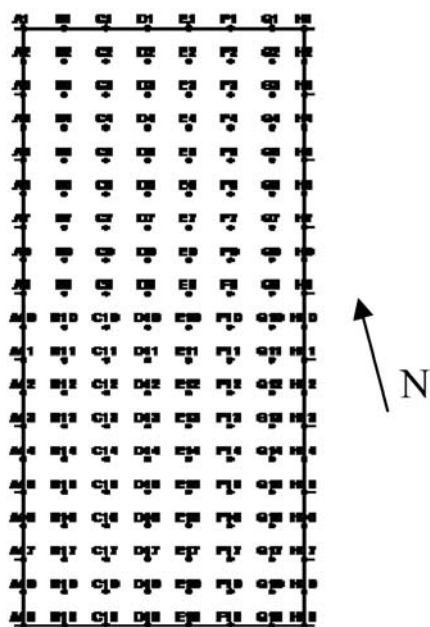
Konsekwencje erozji eolicznej – zmienność składu granulometrycznego i zawartości próchnicy oraz pochodnych właściwości fizycznych i chemicznych gleb, utrudniają postęp w rolnictwie: optymalne dawkowanie nawozów, siewów, oprysków itd. Stach i Podsiadłowski (2001) wykazali, że nawet w obrębie jednego pola erozja eoliczna może spowodować znaczne zróżnicowanie składu granulometrycznego gleby. Dysponowali przy tym polem o powierzchni 64 ha, otoczonym z trzech stron zadrzewieniami przydrożnymi, na którym zlokalizowane były także trzy zadrzewienia śródpolne. Celem niniejszej pracy było zbadanie zróżnicowania składu granulometrycznego gleby pola znacznie mniejszego, o powierzchni około 7 ha, nieosłoniętego zadrzewieniami.

## Material i metody

Badania prowadzono na polu o powierzchni około 7 ha, znajdującym się we wsi Bąblin, 32 km na północny zachód od Poznania (52°40'50"N, 16°44'0"E). Jest to obszar płaskiej moreny dennej. Obiekt ten wybrano między innymi ze względu na prawie płaską, mało urozmaiconą morfologię terenu, co pozwala przypuszczać, że wpływ erozji wodnej na glebę jest nieistotny. Badane pole otoczone jest polami uprawnymi bez zadrzewień śródpolnych. Od północy ogranicza je niewielki uskok terenu.

Na obszarze Wielkopolski typowy dla Polski przejściowy klimat umiarkowany wilgotny wykazuje dominację wpływów oceanicznych (Woś 1986, 1994). Charakteryzuje go duża zmienność warunków pogodowych i następowanie po sobie lat o kontrastowych cechach oceanicznych bądź kontynentalnych. Średnia roczna prędkość wiatrów nie jest w okolicach Poznania duża, 4 m·s<sup>-1</sup>, lecz największe prędkości występują między listopadem a kwietniem, kiedy pola pozbawione są pokrywy roślinnej lub jest ona ograniczona. W trakcie roku notowanych jest ponad 50 dni z wiatrem o prędkości przekraczającej 10 m·s<sup>-1</sup> i około 3 dni ponad 15 m·s<sup>-1</sup> (Niedźwiedz i in. 1993). Najsilniejsze są wiatry zachodnie i północno-zachodnie, szczególnie często występujące w grudniu i styczniu. W marcu notuje się również wysoką frekwencję wiatrów wschodnich.

Zmienność glebową warstwy ornej gleby na polu w Bąblinie badano, analizując skład granulometryczny próbek gleby, pobranych w regularnej siatce kwadratowej o boku 25 m (rys. 1). Odle-



RYSUNEK 1. Schemat poboru próbek gleby na polu w Bąblinie  
 FIGURE 1. Pattern of soil sampling on the field in Bąblin

głości między punktami  $G_i$  a  $H_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 19$ ) zmniejszono do 20 m ze względu na rozmiar pola. Otrzymano w ten sposób 152 próbki gleby.

Skład mechaniczny poszczególnych próbek ustalono za pomocą standardowych metod – sitowej i areometrycznej Prószyńskiego (Mocek i in. 1997). Wydzielono następujące frakcje: 2–0,5 mm, 0,5–0,2 mm, 0,2–0,1 mm, 0,1–0,05 mm, 0,05–0,02 mm, 0,02–0,002 mm i < 0,002 mm.

Analizę statystyczną poszczególnych frakcji wykonano programem Statistica 8.0 (StatSoft Polska 2008). Estymację wariogramów i mapy zmienności przestrzennej wykonano programem Surfer 8.06 (Golden Software Inc. 2006).

## Wyniki

Podstawowe wyniki analizy statystycznej poszczególnych frakcji granulometrycznych zamieszczono w tabeli 1.

TABELA 1. Statystyki składu granulometrycznego próbek gleby z pola w Bąblinie  
 TABLE 1. Statistics of the grain-size composition of soil samples from the Bąblin field

Frakcja [mm] Fraction	Średnia Mean	Mediana Median	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Odchylenie standardowe Standard deviation	Współczynnik zmienności Variation coefficient	Skośność Skewness	Kurtoza Kurtosis
2,0–0,5	7,12	7,05	4,11	9,59	1,07	15	–0,13	–0,06
0,5–0,2	35,66	34,85	20,36	62,19	5,48	15	1,45	4,85
0,2–0,1	27,48	27,97	12,05	39,00	4,65	17	–0,82	1,83
0,1–0,05	15,81	16,00	5,00	21,00	2,09	13	–1,93	8,87
0,05–0,02	5,88	6,00	1,00	10,00	1,60	27	–0,37	0,91
0,02–0,002	5,13	5,00	2,00	9,00	1,79	35	–0,15	0,04
< 0,002	3,18	3,00	2,00	5,00	1,31	30	–0,53	–1,16
Piasek Sand	86,06	86,00	80,00	92,00	2,47	3	0,13	–0,15
Pył Silt	11,01	11,00	4,00	17,00	2,73	28	0,07	–0,47

Według klasyfikacji międzynarodowej (FAO-UNESCO) wśród 152 przebadanych próbek gleby 33% próbek stanowiły piaski (Sand), a pozostałe 67% piaski gliniaste (Loamy Sand). Według klasyfikacji PTG (Mocek i in. 1997) wyróżniono następujące trzy podgrupy granulometryczne: piasek gliniasty lekki (13%), piasek słabo gliniasty (81%) i piasek luźny (6%).

Można zauważyć, że dla większości frakcji średnia i mediana są bardzo zbliżone, co oznacza, że rozkłady tych frakcji są prawie symetryczne. Niewielkie wartości współczynników skośności potwierdzają tę tezę. Stosunkowo duża wartość kurtozy dla frakcji 0,1–0,05 mm i 0,5–0,2 mm świadczy, że wartości tych frakcji są znacznie bardziej skupione wokół wartości średniej niż ma to miejsce w rozkładzie normalnym. Współczynniki zmienności poszczególnych frakcji granulometrycznych wahały się w granicach od 13 do 35%, przy czym największą zmienność, od 27 do 35%, wykazywały frakcje najdrobniejsze, poniżej 0,05 mm, a więc frakcje najbardziej podatne na erozję eoliczną.

Stach i Podsiadłowski (2001) wskazują, że analiza przestrzennego zróżnicowania tekstury gleb podlegających działaniu erozji eolicznej, w przypadku obszarów pokrytych osadami polodowcowymi, jest bardzo utrudniona. Wynika to z dużej losowej zmienności litologii gleb.

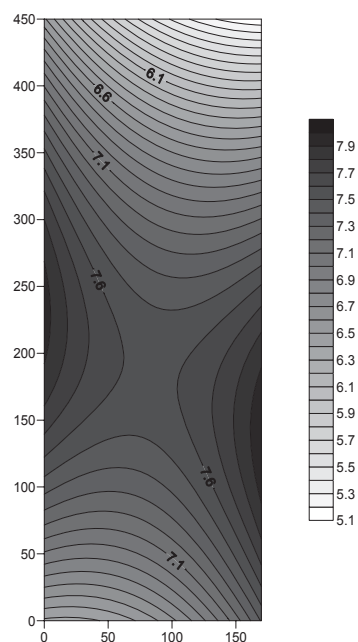
Niezbędne jest tutaj zastosowanie metod geostatystycznych (Marcinek 1992, Oliver i in. 1989).

W pierwszej kolejności sprawdzono istnienie regularnej tendencji w rozmieszczeniu poszczególnych frakcji na

badanym polu. Jedynie dla frakcji 2–0,5 mm wykryto trend kwadratowy (rys. 2).

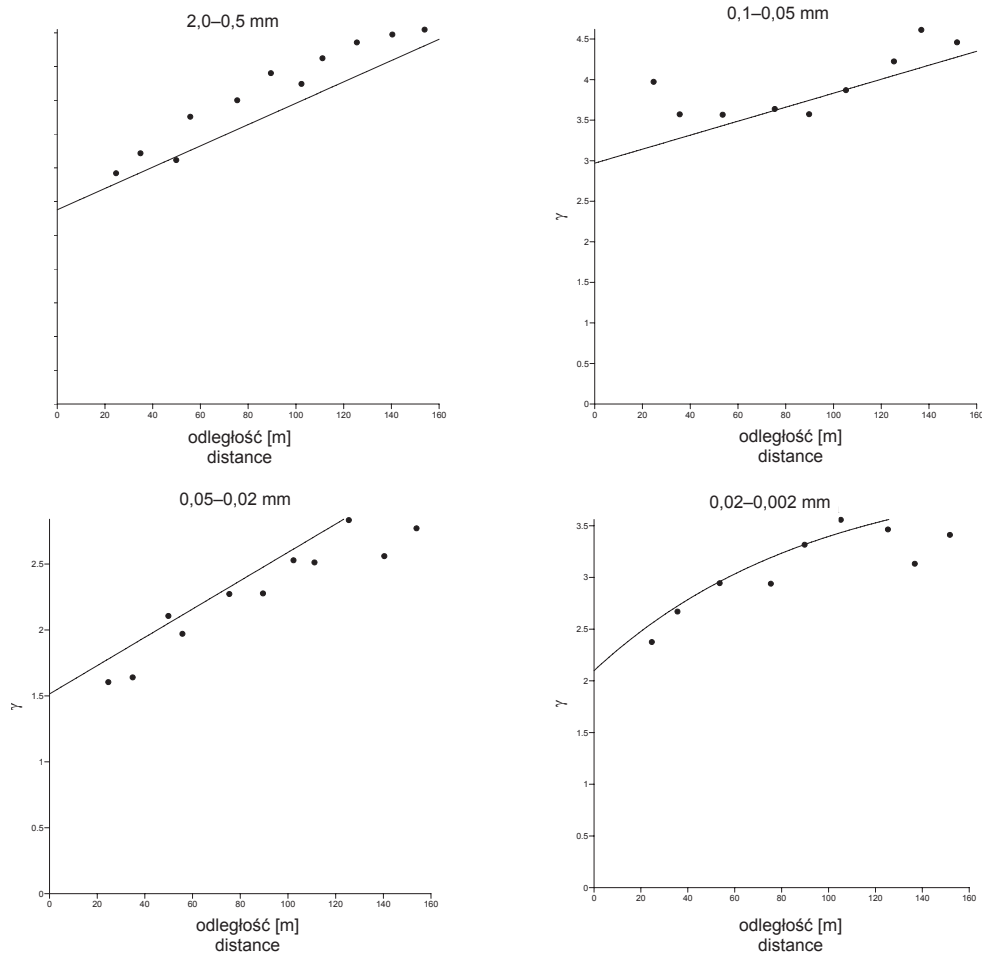
Następnym etapem badań było sprawdzenie autokorelacji przestrzennej poprzez utworzenie semiwariogramów empirycznych i dopasowanie odpowiednich semiwariogramów teoretycznych (Izaaks i Srivastava 1989). Parametry tych semiwariogramów zapisane są w tabeli 2. Okazało się, że frakcje 0,5–0,2 mm, 0,2–0,1 i poniżej 0,002 mm nie wykazują autokorelacji przestrzennej w badanej skali przestrzennej (odstęp = 25 m), tzn. ich zmienność jest całkowicie losowa.

Semiwariogramy dla pozostałych frakcji pokazane są na rysunku 3. Zasięg autokorelacji (tab. 2) jest różny. Przykładowo dla frakcji 2–0,5 mm w kierunku



RYSUNEK 2. Mapa trendu kwadratowego dla frakcji 2,0–0,5 mm

FIGURE 2. The map of quadratic trend for the 2,0–0,5 mm fraction



RYSUNEK 3. Semiwariogramy empiryczne i modele zawartości wybranych frakcji w próbkach gleby z pola w Bąblinie  
 FIGURE 3. Empirical and theoretical semivariograms of the contents of selected fractions in samples from the Bąblin field

NW–SE wynosi 160 m, a w kierunku SW–NE  $160/2 = 80$  m (proporcja = 2). Oznacza to, że w kierunku SW–NE zmienność zawartości frakcji 2–0,5 mm jest dwukrotnie większa niż w kierunku NW–SE. Podobnie, choć z krótszym zasięgiem, zachowuje się frakcja 0,05–0,02 mm. Natomiast frakcje 0,1–0,05 oraz 0,02–0,002 mm największy zasięg (najmniejszą zmienność) wykazują

w kierunku NNE–SSW, odpowiednio 155 i 171 m.

Wykorzystując metodę kriginu sporządzono mapy zawartości tych frakcji, które wykazują autokorelację przestrzenną (rys. 4).

Bardziej syntetyczny obraz zmienności przestrzennej gleby na badanym polu dają mapy zawartości piasku i pyłu, sporządzone również metodą kriginu,

TABELA 2. Parametry semiwariogramów teoretycznych  
TABLE 2. Parameters of theoretical semivariograms

Frakcja [mm] Fraction	Semiwariogram Semivariogram	Nugget C <sub>0</sub> Nugget	Skala C Scale	Próg C + C <sub>0</sub> Sill	Zasięg [m] Range	Anizotropia Anizotropy	
						Proporcja Ratio	Kąt [°] Angle
2,0–0,5	liniowy linear	0,6		1,15	160	2	152
0,5–0,2	nuggetowy nugget	26,3		26,3	< 25		
0,2–0,1	nuggetowy nugget	21,4		21,4	< 25		
0,1–0,05	liniowy linear	2,9		4,3	155	2	55
0,05–0,02	liniowy linear	1,5		2,6	96	2	120
0,02–0,002	wykładniczy exponential	2,1	1,9	4	171	2	58
< 0,002	nuggetowy nugget	1,7		1,7	< 25		
Piasek Sand	wykładniczy exponential	0,9	8	8,9	98	1,4	111
Pył Silt	wykładniczy exponential	1,3	8	9,3	71	1,4	90

z wykorzystaniem wymienionych w tabeli 2 semiwariogramów (rys. 5). Widać na nich wyraźnie strefy większej i mniejszej zawartości pyłu, przebiegające w przybliżeniu w kierunku NW–SE.

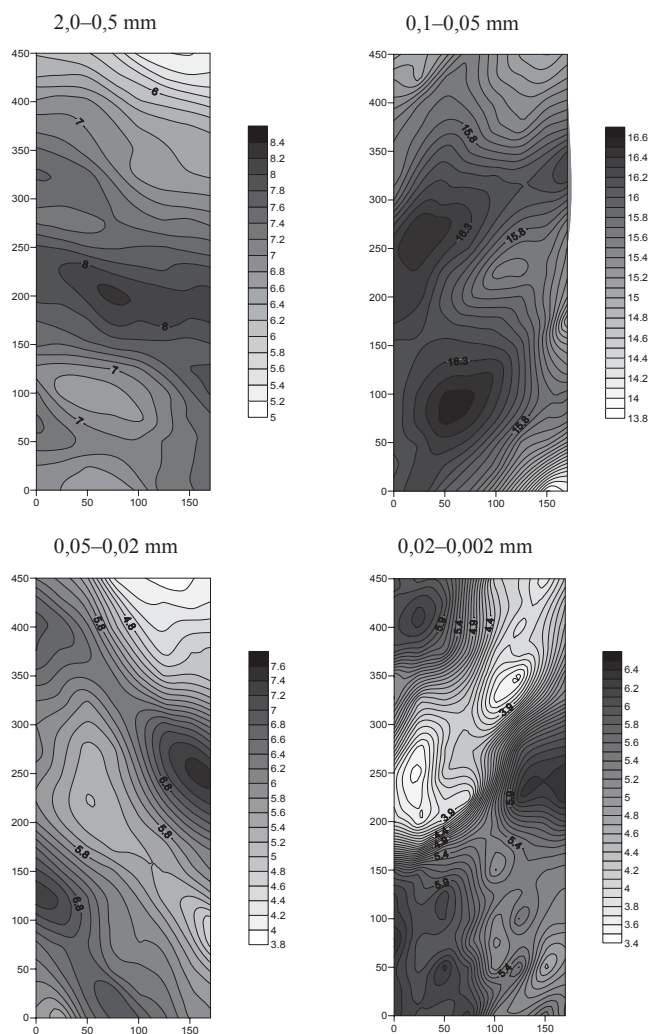
### Podsumowanie i dyskusja

Badania przeprowadzone na próbkach gleby pobranej z pola eksperymentalnego w Bąblinie wykazały, że nawet na niewielkim, pojedynczym polu występuje dość znaczne zróżnicowanie składu granulometrycznego gleby. Jest ono spowodowane między innymi długotrwałym działaniem erozji eolicznej, szczególnie intensywnej, gdy na polu brak pokrywy roślinnej lub jest ona szczątkowa. W takiej sytuacji konieczne

jest poszukiwanie metod uprawy gleby, pozwalających na uprawę precyzyjną, a także możliwie skutecznie zapobiegającą erozji eolicznej.

Badania prowadzone nad wpływem uprawy mechanicznej gleb lekkich na erozję eoliczną wykazują, iż istotny proces erozji eolicznej zachodzi w warunkach Wielkopolski w zasadzie jedynie na glebach lekkich, piaskach gliniastych, w okresie odpowiadającym wykonywaniu upraw przedsiewnych (Podsiadłowski 1995). Dzieje się tak dlatego, gdyż:

- struktura agregatowa tych gleb wykazuje względnie małą wytrzymałość mechaniczną,
- podczas tradycyjnej uprawy wierzchnia warstwa gleby poddawana jest oddziaływaniu zarówno energii upra-



RYSUNEK 4. Rozkład przestrzenny wybranych frakcji gleby na polu w Bąblinie  
 FIGURE 4. Spatial distribution of selected fractions of soil on the Bąblin field

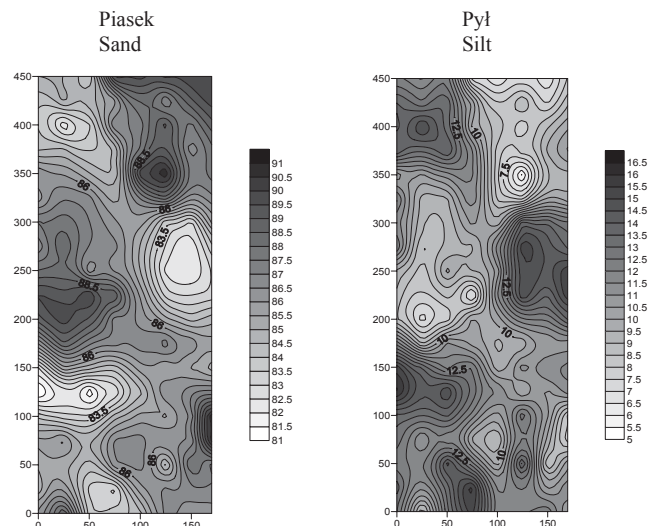
wy ( $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ ), jak i energii ugniatania, pochodzącej od kół ciągnika,

- uprawa przedsewna na glebach lekkich odbywa się zazwyczaj przy względnie niskiej wilgotności wierzchniej warstwy gleby, co sprzyja destrukcji i stymuluje erozję pulweryzacyjną.

Systemy uproszczonej uprawy gleby zapewniają jej ochronę przed erozją eoliczną dzięki pozostawianym na

powierzchni pola resztkom roślinnym. Jednakże w warunkach gleb o niskiej porowatości naturalnej systemy takie powodują wyraźny spadek plonów roślin tradycyjnie tam uprawianych, takich jak: ziemniaki, buraki cukrowe czy jęczmień.

Na glebach lekkich należy rozważyć wprowadzenie systemu zintegrowanej uprawy gleby. Jego istotą jest wykonywanie orki, uprawy popłucznej i siewu



RYSUNEK 5. Rozkład przestrzenny udziału piasku i pyłu w glebie na polu w Bąblinie  
 FIGURE 5. Spatial distribution of the proportions of sand and silt on the Bąblin field

lub sadzenia podczas jednego przejazdu ciągnika. Zintegrowana uprawa gleby pozwala na osiągnięcie następujących korzyści:

- ciągnik porusza się po glebie mającej jeszcze strukturę spójną, co oznacza, iż koła ciągnika nie ugniatają gleby mającej już strukturę agregatową,
- eliminacja kolein pozwala na względnie dowolne kształtowanie porowatości ogólnej warstwy ornej gleby, zgodnie z wymaganiami roślin i prognozą meteorologiczną,
- dwukrotna eliminacja kolein pozwala także na ograniczenie ogólnego nakładu energii jednostkowej uprawy i w konsekwencji na zmniejszenie zużycia paliwa,
- ograniczenie nakładów energii jednostkowej uprawy oraz wykonywanie jej w warunkach stabilnej (na ogół średniej) wilgotności pozwala na uzyskanie względnie dużej wytrzymałości mechanicznej powstałej struktury agregatowej, co zmniejsza

prawdopodobieństwo wystąpienia erozji eolicznej.

### Wnioski

Badania przeprowadzone na próbkach warstwy ornej gleby pobranych z pola doświadczalnego w Bąblinie pozwalają na następujące wnioski:

- wyróżniono następujące trzy podgrupy granulometryczne: piasek gliniasty lekki, piasek słabo gliniasty i piasek luźny,
- frakcje 0,5–0,2 mm, 0,2–0,1mm i poniżej 0,002 mm nie wykazują autokorelacji przestrzennej w badanej skali przestrzennej,
- pozostałe frakcje wykazują autokorelację liniową bądź wykładniczą o zróżnicowanym zasięgu w zależności od kierunku; frakcje 0,1–0,05 oraz 0,02–0,002 mm największy zasięg (najmniejszą zmienność) wykazują w kierunku NNE–SSW,



- na glebach lekkich należy rozważyć wprowadzenie systemu zintegrowanej uprawy gleby.

## Literatura

- FULLEN M.A. 1985: Wind erosion of arable soils in East Shropshire (England) during spring 1983. *Catena* 12: 111–120.
- IZAAKS E.H., SRIVASTAVA R.M. 1989: Applied Geostatistics. *Oxford University Press*, Oksford.
- JÖNSSON P. 1994: Influence of shelter on soil sorting by wind erosion. *Catena* 22: 35–47.
- KOSTRZEWSKI A., SZPIKOWSKI J. 1994: Zmienność sezonowa i przestrzenna opadu i transportu eolicznego w zlewni Młyńskiego Potoku. W: Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Stacja Bazowa Storkowo. Red. A. Kostrzewski. *Bibl. Monitoringu Środowiska*, Warszawa: 165–184.
- KOSTRZEWSKI A., STACH A., SZPIKOWSKI J. 1994: Transport i opad eoliczny jako wskaźnik erozji gleb (Pojezierze Drawskie, Równina Wrzesińska). *Rocz. AR w Poznaniu*, 266, *Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14: 201–209.
- LYLES L., TATARKO J. 1986: Wind erosion effects on soil texture and organic matter. *Journal of Soil and Water Conservation*: 191–193.
- NIEDŹWIEDŹ T., PASZYŃSKI J., CZEKIERDA D. 1993: Wiatry (winds). W: Atlas of the Republic of Poland. Surveyor General of Poland, sheet 31.6.
- MARCINEK J. 1992: Parametryzacja środowiska glebowego w aspekcie gospodarki wodnej gleb. *Problemy Agrofizyki* 67: 20–52.
- MOCEK A., DRZYMAŁA S., MASZNER P. 1997: Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wydaw. AR w Poznaniu, Poznań.
- OLIVER M.A., WEBSTER R., GERRARD J. 1989: Geostatistics in physical geography. Part I: theory. Part II: applications. *Transactions Institution of British Geographers N.S.*, 14: 259–269, 270–286.
- PODSIADŁOWSKI S. 1988: Wind erosion of light soil in the wheel track of a farm tractor. *J. of Agric. Enging. Res.* 39: 231–243.
- PODSIADŁOWSKI S. 1994a: Pomiar erozji eolicznej za pomocą deflametru na Nizinie Wielkopolsko-Kujawskiej. *Rocz. AR w Poznaniu* 260: 77–85.
- PODSIADŁOWSKI S. 1994b: Wpływ energii jednostkowej uprawy na strukturę agregatową i erozję pulweryzacyjną gleby lekkiej. *Rocz. AR w Poznaniu* 266, *Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14: 211–218.
- PODSIADŁOWSKI S. 1995: Rola uprawy mechanicznej w stymulacji procesu erozji eolicznej gleb lekkich. *Rocz. AR w Poznaniu, Rozpr. Nauk.* 246: 1–47.
- RICHTER G. 1980: On the soil erosion problem in the temperate humid area of Central Europe. *Geojourn.* 4: 279–287.
- STACH A. 1995: Procesy i osady eoliczne na polach środkowej Wielkopolski. *Stud. z Geogr. Fiz. PTPN, Spraw. Wydz. Mat.-Przyr.* 109 za lata 1991–1994 1: 145–153.
- STACH A., PODSIADŁOWSKI S. 1998: The effect of wind erosion on spatial variability of cultivated soils in the Wielkopolska region (Poland). *International conference on agricultural engineering AgEng Oslo 98*, Oslo, 24–27 August 1998, Part 2: 998–999.
- STACH A., PODSIADŁOWSKI S. 2001: Wpływ erozji eolicznej na teksturę lekkich gleb Niziny Wielkopolskiej. *Wydawnictwo Naukowe UAM, Seria Geografia* 64: 359–379.
- WALKOWIAK R., PODSIADŁOWSKI S. 1994: Estymacja erozji eolicznej metoda pomiaru transportu eolicznego. *Rocz. AR w Poznaniu* 266, *Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14: 243–246.
- WOŚ A. 1986: Makroklimat województwa poznańskiego. *Bad. Fizjogr. nad Pol. Zach.* 36, ser. A.: 217–239.
- WOŚ A. 1994: Klimat niziny Wielkopolskiej. *Wydaw. Nauk. UAM, Poznań.*

## Summary

**Light soil granulometric structure differentiation as result of wind erosion.** Wind erosion is an important soil structure forming factor. Concerning mostly light soils covering for the most part of the European Plains, including Central Poland. Wind

erosion susceptibility depends mostly on the aggregate and granulometric structure of the soil. The aim of the paper is to use geostatistical methods to map the changeability of the granulometric structure of the soil on the experimental field in the case of its great variability, and description of the soil cultivation methods which minimizes loss of soil caused by wind erosion.

**Author's address:**

Ryszard Walkowiak  
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu  
Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych  
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań