

Wpływ erozji eolicznej na teksturę lekkich gleb Niziny Wielkopolskiej

Alfred Stach

Instytut Badań Czwartorzędu UAM

Stanisław Podsiadłowski

Instytut Mechanizacji Rolnictwa AR w Poznaniu

Wprowadzenie

Erozja eoliczna jest istotnym procesem wpływającym na ewolucję gleb na użytkowanych rolniczo obszarach Niziny Środkowoeuropejskiej (Richter 1980). Znajomość wielu jednak aspektów funkcjonowania tego zjawiska i jego skutków jest w dalszym ciągu bardzo niewielka.

Do tej pory względnie dobrze rozpoznano dynamikę czasową zjawiska erozji eolicznej o silnie zaznaczonej sezonowości i dużej roli epizodycznie występujących okresów maksymalnego jego natężenia (Fullen 1985, Kostrzewski, Szpikowski 1993, 1994). Wyraźnie rysują się również uwarunkowania zmienności czasowej związane z reżimem wiatrów, stanem pokrycia terenu, właściwościami fizycznymi gruntu, a zwłaszcza z zabiegami uprawowymi (Fullen 1985, Krysztofiak i in. 1993, Podsiadłowski 1988, 1994c, 1995). Istnieje również sporo danych na temat wpływu erozji eolicznej na teksturę gleb, ilość zawartej w nich substancji organicznej i składników biogenicznych oraz na szereg innych ważnych z rolniczego punktu widzenia właściwości fizycznych i chemicznych pokrywy glebowej (Fullen 1985, Lyles, Tatarko 1986, Podsiadłowski 1994a, Stach 1995).

Znacznie mniej można powiedzieć o bezwzględnej wielkości natężenia procesu (Kostrzewski i in. 1994, Podsiadłowski 1994b, Sutherland i in. 1991, Walkowiak, Podsiadłowski 1994), i zmienności przestrzennej jego skutków sedymentologicznych i geomorfologicznych (Jönsson 1994, Kostrzewski, Szpikowski 1994, Podsiadłowski 1994a, Stach, Podsiadłowski 1998, Sutherland, De Jong 1990a, 1990b, Sutherland i in. 1991). Istnieje co prawda szereg kilku, czy nawet kilkunastoletnich ciągów pomiarowych transportu i depozycji eolicznej, lecz nie ma opracowanej wiarygodnej metodyki umożliwiającej oszacowanie rzeczywistego obszarowego natężenia deflacji i akumulacji potrzebnych do bilansu mas w procesie erozji eolicznej gleb. Pojedyncze, najczęściej, stanowiska pomiarowe nie dają też możliwości oceny zmienności przestrzennej natężenia i efektów procesu. Z niewielu dostępnych danych pomiarowych, oraz z obserwacji jakościowych wynika że zmienność ta jest bardzo duża w skali nawet $10^1 - 10^2$ m, a więc najczęściej mniejszej niż obszar pojedynczego pola. 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 itp.

Można przypuszczać, że na płaskim użytkowanym rolniczo obszarze Niziny Wielkopolskiej, w danym momencie czasu, zmienność przestrzenna tekstury powierzchniowych warstw gleby jest wypadkową trzech składowych:

- pierwotnej zmienności litologicznej związanej z charakterem depozycji glacialnej, czy też fluwioglacialnej,
- eolicznej selekcji materiału zachodzącej w obrębie względnie stałego (trwającego od kilku do ponad 100 lat) układu stref deflacji i akumulacji związanego z kierunkiem

dominujących, silnych wiatrów w okresie jesieni i wczesnej wiosny, układem przeszkód terenowych takich zadrzewienia przydrożne i śródpolne, zabudowania, mikrotopografia terenu itp. i pierwotną litologią,

- eolicznej selekcji materiału w trakcie ostatniego silnego epizodu eolicznego; układ ukształtowanych w jego efekcie stref deflacji i akumulacji może znacznie odbiegać od przeciętnej z wielolecia.

Autorzy opracowania podjęli pierwszą na obszarze Nizżu Polskiego próbę oceny wpływu erozji eolicznej na zmienność przestrzenną tekstury typowych, uprawianych rolniczo gleb lekkich, próbę delimitacji stref deflacji i akumulacji oraz określenia bezwzględnego bilansu eolicznego w obrębie podstawowej jednostki – pola uprawnego, które poprzez analogię do zlewni rzecznej można nazwać „zwiewnią”.

Obszar badań

Badania przeprowadzono na polu zlokalizowanym 14 km na północny-wschód od centrum miasta Poznań (52°29'11"N, 17°24'06"E) w pobliżu wsi Milno. Jest to obszar płaskiej moreny dennej zlodowacenia Wisły (Würm). Na piaskach gliniastych i piaszczystych glinach wykształciły się gleby płowe (Typic Hapludalfs, Soil Taxonomy 1975, Orthic Luvisols - FAO), pospolite na Nizżu Polskim.

Obiekt ten wybrano do badań między innymi ze względu na prawie płaską, mało urozmaiconą morfologię terenu, co pozwala na przypuszczenie, że wpływ erozji wodnej na gleby jest nieistotny. Maksymalne deniwelacje sięgają co prawda 6,25 m (98,75 – 105,0 m n.p.m.), ale ponad 2/3 pola leży w przedziale 101-103 m n.p.m. Spadki mieszczą się w przedziale od 0 – 6,2°, lecz średni wynosi zaledwie $0,74 \pm 0,61^\circ$ (± 1 SD). Na 37% powierzchni pola spadki są mniejsze od 0,5°, a na 77% - od 1,0°. Nachylenia większe od 2,0°, a więc takie na których na glinach piaszczystych może powstawać spłukiwanie skoncentrowane (Sutherland i in. 1991), zajmują zaledwie 3,2% powierzchni badanego pola. Podane powyżej parametry morfometrii terenu obliczono posługując się zdigitalizowaną mapą topograficzną w skali 1:10 000 o cięciu poziomym 1,25 m.

Badane pole osłonięte jest z trzech stron zadrzewieniami przydrożnymi o następujących parametrach: bok północno-wschodni – średnia wysokość drzew $H = 17,5$ m, porowatość osłony $P_o = 14\%$, bok południowo-wschodni – $H = 13$ m, $P_o = 42\%$, bok południowo-zachodni – $H = 7,5$ m, $P_o = 7\%$. Średnią wysokość i porowatość zadrzewień przydrożnych określono metodą fotograficzną w sierpniu 1988. Na polu zlokalizowane są również 3 zadrzewienia śródpolne oznaczone na rycinie 1 liczbami od 1 do 3.

Na badanym polu stosowany jest typowy dla obszarów gleb lekkich w Polsce płodozmian: ziemniaki lub kukurydza - zboża (pszenżyto ozime lub żyto) – łubin lub rzepak – zboża. Uprawa gleby prowadzona jest przy pomocy ciągników o nominalnej mocy silnika do 63 KW. Uprawa przedsięwna w Polsce tradycyjnie zakłada zróżnicowanie zagęszczenia gleby na przewidywanym poziomie siewu. Oznacza to silne spulchnienie i rozdrobnienie wierzchniej warstwy gleby (0 – 3 cm) co, jak wykazano, stymuluje erozję eoliczną (Podsiadłowski 1995).

Od 1986 na polu prowadzone są, przy użyciu deflametru (Podsiadłowski 1994b), pomiary transportu eolicznego. Średnie natężenie zjawiska w latach 1986-1997 wynosiło $8,9 \pm 8,1$ kg m^{-1} rok $^{-1}$ (± 1 SD). Minimalne i maksymalne sumy roczne wynosiły 1 i 29 kg m^{-1} rok $^{-1}$. Największe natężenie procesu notowane było zazwyczaj wczesną wiosną (III-IV) w trakcie upraw przedsięwnych i siewu.

Na obszarze Wielkopolski typowy dla Polski przejściowy klimat umiarkowany wilgotny wykazuje dominację wpływów oceanicznych (Woś 1986, 1994). Przejściowość klimatu przejawia się w dużej zmienności warunków pogodowych i następowaniu po sobie lat o kontrastowych cechach bądź kontynentalnych bądź oceanicznych. Średnia roczna temperatura w Poznaniu wynosi 8°C; minimum miesięczne notowane jest zazwyczaj w lutym (-1,4°C), a maksimum w lipcu (18°C). Okres wegetacyjny (średnia dobowa temperatura > 5°C), który trwa tutaj 220 dni, zaczyna się 3 IV, a kończy 8.XI. W ciągu roku w Poznaniu spada przeciętnie 528 mm opadów. Najwyższe sumy miesięczne opadów (>55 mm) występują latem (VI, VII i VIII), najniższe (<30 mm) – zimą. Pokrywa śnieżna zalega w okolicach Poznania przez około 50 dni. Na rozmiary i zmienność czasową erozji eolicznej wpływa w dużym stopniu reżim anemologiczny. Średnia roczna prędkość wiatrów nie jest w okolicach Poznania wysoka – tylko 4 m·s⁻¹, lecz najwyższe prędkości występują między listopadem a kwietniem, kiedy pola pozbawione są pokrywy roślinnej, lub jest ona ograniczona. W trakcie roku notowane jest ponad 50 dni z wiatrem o prędkości ponad 10 m·s⁻¹ i około 3 – ponad 15 m·s⁻¹ (Niedźwiedz i in. 1993). Dominują wiatry z sektora W i SW (w sumie ponad 1/3 czasu w roku). Wiatry zachodnie i północno zachodnie są również najsilniejsze, a szczególnie wysoka frekwencja ich występowania jest w grudniu i styczniu. W marcu z wysoką frekwencją notuje się również silne wiatry wschodnie. Badane pole w Milnie znajdujące się w „korytarzu” o orientacji W-E zlokalizowanym między dwoma kompleksami leśnymi, jest szczególnie narażone na silną erozję eoliczną.

Metodyka badań

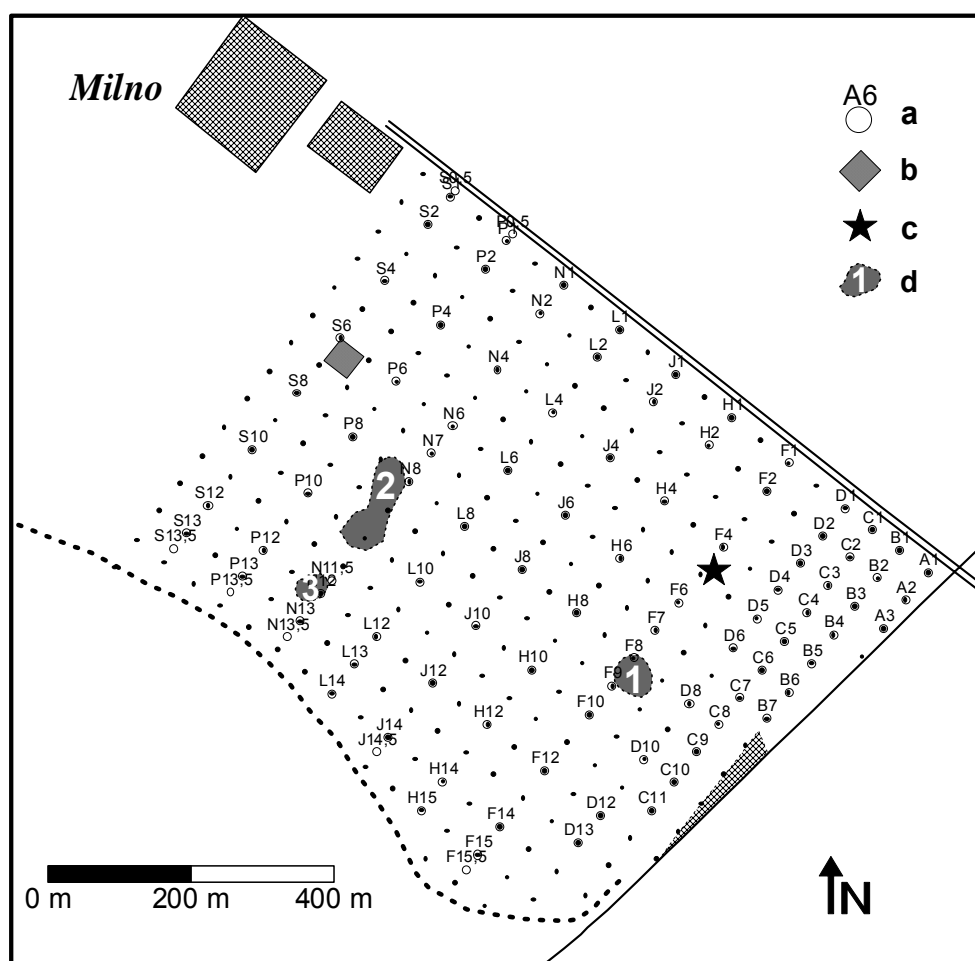
Zmienność przestrzenną gleb na polu w Milnie badano analizując wybrane właściwości próbek pobranych w siatce regularnej (ryc. 1) na powierzchni około 64 ha. Wzdłuż północno-wschodniej granicy pola wytyczono linię bazową, od której prostopadle biegnęły linie profilowe na których pobierano próbki. Podstawowe „oczko” siatki miało wymiary 50×50 m. Na otwartej przestrzeni w centrum pola siatka było „rozrzedzona” do 100 m., w pobliżu krawędzi i zadrzewień próbki pobierano co 25 m, a nawet 12,5 m. Ze względu na czasochłonność prac i warunki atmosferyczne, próbki pobierano w trzech terminach między sierpniem a październikiem 1996. Umożliwiło to ocenę błędów lokalizacji punktów. Wzdłuż linii bazowej punkty były zlokalizowane z dokładnością ± 1 m. Rozmiary niedokładności położenia punktów rosły wzdłuż linii profilowych, i przy południowo-zachodniej granicy pola osiągały ± 5 m. Dla oceny zmienności właściwości gleb w małej skali, na całkowicie płaskim fragmencie pola, wytyczono w obrębie kwadratu 20 × 20 m siatkę o oczkach 5 m. Północny wierzchołek tej siatki stanowił punkt S6 (ryc. 1), a jej orientacja była zgodna z orientacją siatki podstawowej. W siatce podstawowej znajdowało się 99 stanowisk poboru próbek, a dodatkowej – 24.

W każdym punkcie pobierano dwie próbki. Jedna pochodziła z powierzchni (do 10 cm), i była pobierana w trzech punktach w promieniu 1m. Traktowano ją jako reprezentatywną dla warstwy ornej gleby. Druga próbka pochodziła z wierceń wykonywanych świdrem mechanicznym firmy Stihl. W każdym punkcie wykonywano trzy wiercenia do głębokości 50 cm, uzyskane rdzenie mieszano na miejscu starannie w pojemniku i pobierano reprezentatywną próbkę o masie około 1kg. W obu próbkach oznaczono skład mechaniczny i straty prążenia; w próbkach z wierceń ponadto – aktywność cezu-137.

Interpretacja zmienności przestrzennej aktywności ¹³⁷Cs w glebach w kategoriach erozji i akumulacji wymaga określenia poziomu odniesienia. Może nim być wartość skumulowanej depozycji (z uwzględnieniem rozpadu radioaktywnego), określona na podstawie pomiarów opadu radioaktywnego. Innym sposobem określenia poziomu odniesienia jest pomiar

aktywności izotopu w stanowisku stabilnym, gdzie od roku 1954 nie występowały procesy ani erozji, ani depozycji, ani inne procesy mechaniczne powodujące zaburzenie profilu gleby. Próbkę pobrano w miejscowości Wierzenica oddalonej o 2 km na południe od pola. Były to dwa rdzenie gleby o miąższości 30 cm (w 10 cm segmentach) zlokalizowane w odległości 10 m od siebie w obrębie parku. Stanowisko znajdowało się na łagodnym (ok. 5°) zadarnionym skłonie w luce między koronami ponad 50 letnich drzew rosnących w parku.

W laboratorium próbki zostały wysuszone w 105°C do stałej wagi, mechanicznie rozkruszono agregaty większe od 1mm, a następnie przesiano je przez sита o średnicy 2 i 1 mm. Do kolejnych analiz używano wyłącznie materiału pozbawionego frakcji szkieletowych i makroszczątków humusowych.



Ryc. 1. Schemat poboru próbek gleby na polu w okolicach Milno.

Objaśnienia: a – lokalizacja próbek (główna siatka), b – mała siatka poboru próbek, c – deflometr, d – kępy drzew.

Fig. 1. Diagram of soil sampling pattern on the field near Milno. Description: a – sampling points (main grid), b – secondary small grid, c – dust trap, d – mid-field tree cluster.

Skład mechaniczny frakcji ziemistych określono stosując standardową w Polsce metodę areometryczną Casagrande w modyfikacji Bouyoucosa i wydzielając frakcje 1-0,1, 0,1-0,05, 0,05-0,02, 0,02-0,005, 0,005-0,002 i < 0,002 mm. W dalszej części pracy stosowano klasyfikację uziarnienia gleb USDA (Soil Survey Staff 1975).

Jako miarę zawartości substancji organicznej przyjęto straty prażenia w temperaturze 375°C przez 16 godzin, co według Ball (1964) eliminuje straty wody z minerałów ilastych. Analizę wykonywano w 2 powtórzeniach.

Oznaczenia aktywności cezu-137 wykonano według metodyki zaproponowanej przez Ritchie i McHenry (1974) z niewielkimi modyfikacjami zaczerpniętymi z opracowania De Jong i in. (1982). Oznaczenia wykonano na 1024 kanałowym analizatorze podłączonym do sondy scyntylacyjnej z kryształem NaI(Tl). Pomiar aktywności ^{137}Cs próbek gleby i wzorców trwał zazwyczaj 36000 s (10h), a tła 86400 s (24h). Kalibrację przyrządu wykonywano analogicznie do procedury stosowanej przez de Jong i in. (1982), wykorzystując pozbawione cezu-137 próbki gleby o składzie mechanicznym piasku gliniastego (*loamy sand*) pobrane z poziomu C i wzorcowy roztwór CsCl w 0,2M HCl (błąd wzorca łącznie z błędem rozcieńczania wynosił $\pm 2,5\%$), wykonany w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku. Analizę uzyskanych widm promieniowania gamma przeprowadzono za pomocą programu obliczeniowego PIMP (Mietelski 1989).

Obliczenia statystyczne wykonano za pomocą oprogramowania Statistica (StatSoft Polska 1997), a geostatystyczne posługując się programami Variowin 2.1 (Pannatier 1993) i GS+ for Windows (Gamma Design Software 1998). Za pomocą programu Surfer v. 6.04 (Golden Software Inc. 1995) przeprowadzono interpolację metodą krigingu oraz wykreślano mapy rozkładów przestrzennych analizowanych parametrów.

Wyniki

Zmienność przestrzenna tekstury gleb

Sumaryczną charakterystykę statystyczną tekstury gleb na polu w Milnie przedstawiono w tabeli 1. Spośród 246 analizowanych próbek 57,4% stanowiły gliny piaszczyste, 41,2% piaski gliniaste, 1,4% piaski. Różnice w odsetku udziału klas teksturalnych w próbkach z warstwy ornej i wierceń nie przekraczały 0,9% i były nieistotne statystycznie. Istotne różnice ($p < 0,001$) stwierdzono jedynie w przypadku 3 z 8 wyróżnianych frakcji - > 2000 , $1000 - 2000$ i $< 2 \mu\text{m}$. Nie występuje tutaj zatem w obrębie całej opróbowanej powierzchni wielokrotnie stwierdzone na polach erodowanych przez wiatr zubożenie powierzchni w frakcje pylaste i wzbogacenie w piaszczyste i grubsze (Fullen 1985, Jönsson 1994, Lyles, Tataro 1986, Stach 1995). Jönsson (1994) stwierdza jednakże, że w obrębie jednego, nawet niewielkiego pola występują strefy deflacji i akumulacji, a ich zasięg zmienia się znacznie w trakcie poszczególnych epizodów erozyjnych.

Współczynniki zmienności (C_v) poszczególnych klas teksturalnych na badanym polu wahały się w granicach od 9 do 58%. Najwyższe, powyżej 50% są w przypadku frakcji grubych ($> 1000 \mu\text{m}$). W granicach od 25 do blisko 50% mieszczą się C_v dla frakcji drobniejszych niż $20 \mu\text{m}$, od 15 do 25% - dla frakcji z przedziału $20 - 100 \mu\text{m}$, a poniżej 10% dla frakcji od 100 do $1000 \mu\text{m}$.

Analiza przestrzennego zróżnicowania tekstury gleb będącego efektem erozji eolicznej jest w przypadku obszarów pokrytych osadami bezpośredniej akumulacji lodowca na Niżu Polskim bardzo utrudniona. Wynika to z dużej zmienności losowej litologii gleb wynikającej z nierównomiernej zawartości detrytusku skalnego w lodzie lodowcowym często w bardzo małej skali. Niezbędne jest w takiej sytuacji stosowanie metod geostatystycznych (Marcinek 1992, Oliver, Webster 1986, Oliver i in. 1989).

Pierwszym etapem analizy było testowanie danych tekstury gleb na obecność liniowego lub kwadratowego trendu przestrzennego. Rozkład żadnej frakcji oprócz iłu koloidalnego ($< 2 \mu\text{m}$) w warstwie ornej nie wykazuje regularnej tendencji.

Tab. 1. Statystyki składu granulometrycznego próbek gleby z pola w Milnie.

Fracje grube (> 1000 µm) przedstawiono w procentach całej masy próbki, pozostałe w stosunku do sumy frakcji < 1000 µm. Grupy granulometryczne (piasek, pył, il) są zgodne z klasyfikacją USDA (Soil Survey Staff, 1975)

Table 1. Statistics of the grain-size composition of soil samples from the Milno field.

Coarse fractions (> 1000 µm) are presented as per cent of total soil mass; the remaining ones, in relation to sum total of < 1000 µm fractions. Grain-size groups (sand, silt and clay) follow the USDA classification (Soil Survey Staff, 1975).

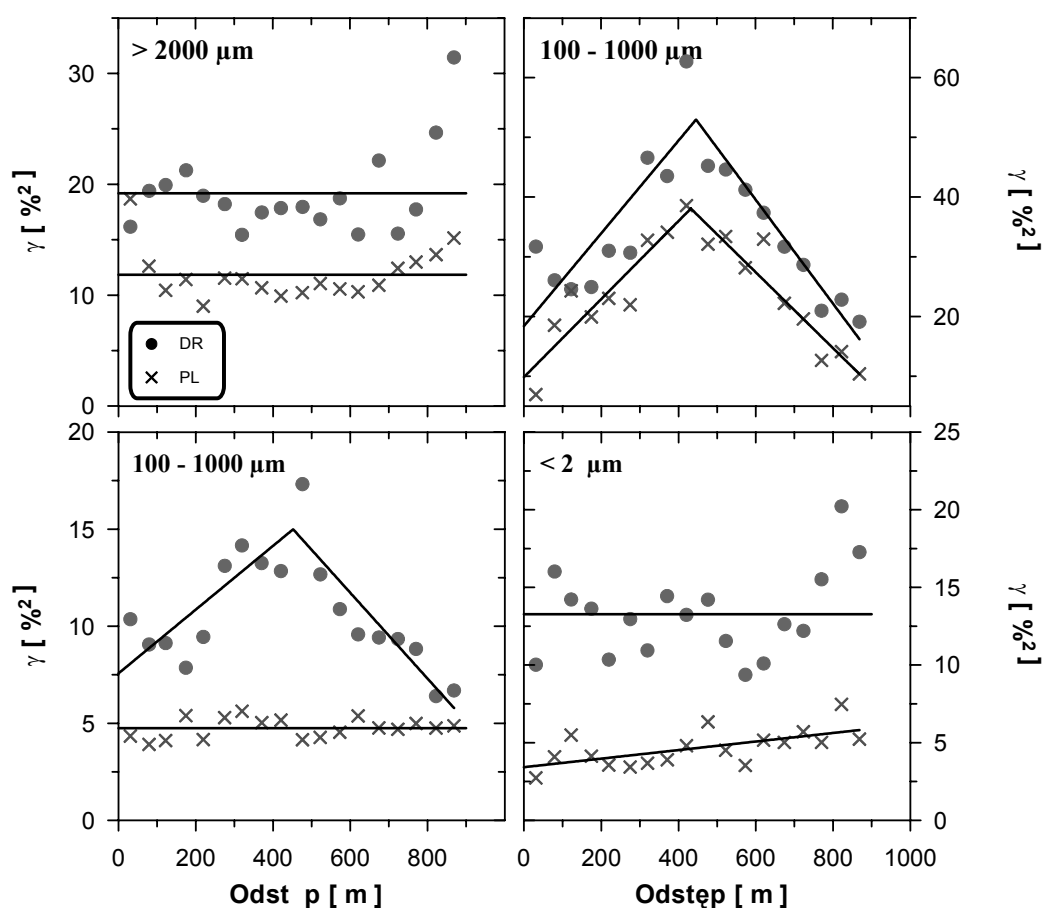
| | Frakcja | Średnia | Media- na | Mini- mum | Maksi- mum | Odch. stand. | Skoś- ność | Kurtoza | |
|---|------------------|---------|--------------|--------------|---------------|-----------------|---------------|----------|--|
| | Fraction [µm] | Average | Median | Mini- mum | Maxi- mum | Stand. Dev. | Skew- ness | Kurtosis | |
| | | [%] | | | | | | | |
| War- stwa orna Plough- ed layer samples | > 2000 | 5,98 | 5,16 | 1,3 | 21,1 | 3,48 | 1,542 | 3,458 | |
| | 1000 ÷ 2000 | 5,42 | 4,72 | 1,3 | 18,1 | 3,05 | 1,313 | 2,265 | |
| | 100 ÷ 1000 | 56,09 | 55,00 | 38,0 | 73,0 | 4,94 | 0,810 | 3,352 | |
| | 50 ÷ 100 | 15,33 | 16,00 | 8,0 | 20,0 | 2,25 | -0,472 | 0,339 | |
| | 20 ÷ 50 | 10,87 | 11,00 | 5,0 | 17,0 | 2,13 | -0,518 | 1,101 | |
| | 6 ÷ 20 | 7,94 | 8,00 | 3,0 | 14,0 | 1,94 | 0,054 | 0,489 | |
| | 2 ÷ 6 | 3,82 | 4,00 | 0,0 | 10,0 | 1,59 | 0,381 | 1,433 | |
| | < 2 | 5,94 | 6,00 | 2,0 | 16,0 | 2,15 | 1,059 | 4,001 | |
| | Piasek Sand | 74,70 | 74,12 | 52,6 | 90,9 | 5,09 | -0,517 | 4,887 | |
| | Pył Silt | 20,21 | 20,41 | 6,6 | 39,7 | 4,48 | 0,770 | 4,875 | |
| Il Clay | 5,10 | 5,34 | 1,6 | 9,3 | 1,65 | -0,203 | -0,210 | | |
| Wier- cenia Bore- hole samples | > 2000 | 8,38 | 7,96 | 1,9 | 21,6 | 4,37 | 0,657 | 0,003 | |
| | 1000 ÷ 2000 | 7,92 | 7,24 | 0,0 | 17,5 | 3,75 | 0,574 | -0,043 | |
| | 100 ÷ 1000 | 55,81 | 55,00 | 40,0 | 83,0 | 5,71 | 1,390 | 4,946 | |
| | 50 ÷ 100 | 14,97 | 15,00 | 3,0 | 25,0 | 3,17 | -0,520 | 2,491 | |
| | 20 ÷ 50 | 10,77 | 11,00 | 1,0 | 19,0 | 2,58 | -0,815 | 4,535 | |
| | 6 ÷ 20 | 7,83 | 8,00 | 2,0 | 14,0 | 2,06 | -0,006 | 0,300 | |
| | 2 ÷ 6 | 3,73 | 4,00 | 0,0 | 7,0 | 1,42 | -0,397 | 0,062 | |
| | < 2 | 6,90 | 7,00 | 1,0 | 20,0 | 3,43 | 1,314 | 2,649 | |
| | Piasek Sand | 75,42 | 74,74 | 66,1 | 94,7 | 4,52 | 0,990 | 2,336 | |
| | Pył Silt | 18,69 | 18,99 | 4,5 | 26,8 | 3,57 | -0,616 | 1,607 | |
| Il Clay | 5,88 | 5,49 | 0,9 | 15,4 | 2,81 | 0,951 | 1,052 | | |

Zmienność losowa litologii badanych gleb jest widoczna szczególnie w odniesieniu do zawartości grubych (> 1000 µm) frakcji (ryc. 2). W badanej skali przestrzennej (odstęp = 50 m i skala = 900 m) nie wykazują one żadnej istotnej autokorelacji przestrzennej. Semiwariancja ma charakter wyłącznie nuggetowy. Zmienność systematyczna mieści się prawdopodobnie w skali mniejszej niż podstawowy odstęp opróbowania pola (< 50 m), i ma być może charakter periodyczny. Istotne jest jednakże, że udział tych frakcji w warstwie ornej jest nie tylko mniejszy niż w próbkach z wierzeń, ale także ich semiwariancja jest niższa. Wskazuje to na zubożenie i większą homogenizację warstwy ornej w odniesieniu do najgrubszych frakcji.

Systematyczną zmienność przestrzenną wykazuje zawartość frakcji 100 – 1000 µm (ryc. 2). Wariancja nuggetowa jest niewielka i wynosi w przypadku próbek z wierzeń 4,3%, a próbek z warstwy ornej – 3,1%. Do odległości około 440 m semiwariancja rośnie liniowo, a obliczone modele są dobrze dopasowane do danych empirycznych (wiercenia – $r^2 = 0,66$, warstwa orna – $r^2 = 0,83$). Dalej w obu przypadkach semiwariancja maleje liniowo, osiągając w odległości 900 m wartość zbliżoną do wielkości nuggetowej. Ten rzadko spotykany układ

jest prawdopodobnie skutkiem periodycznej zmienności systematycznej występującej w znacznie większej skali przestrzennej.

Autokorelację przestrzenną podobną do opisaną powyżej wykazują frakcje 50 – 100, 20 – 50, 6 – 20, 2 – 6 μm w próbkach z wierceń, oraz 20 – 50, 6 – 20, 2 – 6 μm w próbkach z warstwy ornej (tab. 2). Zasięg regresji autokorelacji waha się od 374 do 494 m, a udział wariancji nuggetowej od 25,9% do 68,4% całkowitej wariancji. We frakcjach 50 – 100 μm w próbkach z warstwy ornej i $< 2 \mu\text{m}$ w próbkach z wierceń podobnie jak we frakcjach grubych stwierdzono jedynie „czystą” wariancję nuggetową. Il koloidalny w warstwie ornej wykazuje jak to stwierdzono poprzednio istotny trend przestrzenny który najlepiej oddaje wielomian drugiego stopnia. Autokorelację przestrzenną w obrębie opróbowanego obszaru opisano wszakże (nie usuwając trendu) funkcją liniową (tab. 2). Mimo że dopasowanie liniowe modelu semiwariancji w większości przypadków okazało się zadowalająco dobre ($r^2 > 0,60$), trzeba zwrócić uwagę, że w danych empirycznych dla wszystkich frakcji zaznacza się słabiej lub mocniej periodyczna oscylacja o skali 200 – 300 m. Wydaje się, że w tym odstępzie występują pasy większego i mniejszego zróżnicowania składu granulometrycznego gleb, wywołanego właśnie erozją eoliczną, nakładające się na wyjściową zmienność litologiczną gleb. Zmienność oscylacyjna wynosi od 0 do ponad 40% całkowitej zmienności przestrzennej poszczególnych frakcji i można postawić hipotezę, że taka jest skala wpływu erozji na teksturę.



Ryc. 2. Semivariogramy empiryczne (punkty) i modele (linie) zawartości wybranych frakcji w próbkach z wierceń (DR) i warstwy ornej (PL) na polu w Milnie.

Fig. 2. Empirical semi-variograms (points) and models (lines) of the contents of selected fractions in samples from boreholes (DR) and the ploughed layer (PL) on the Milno field.

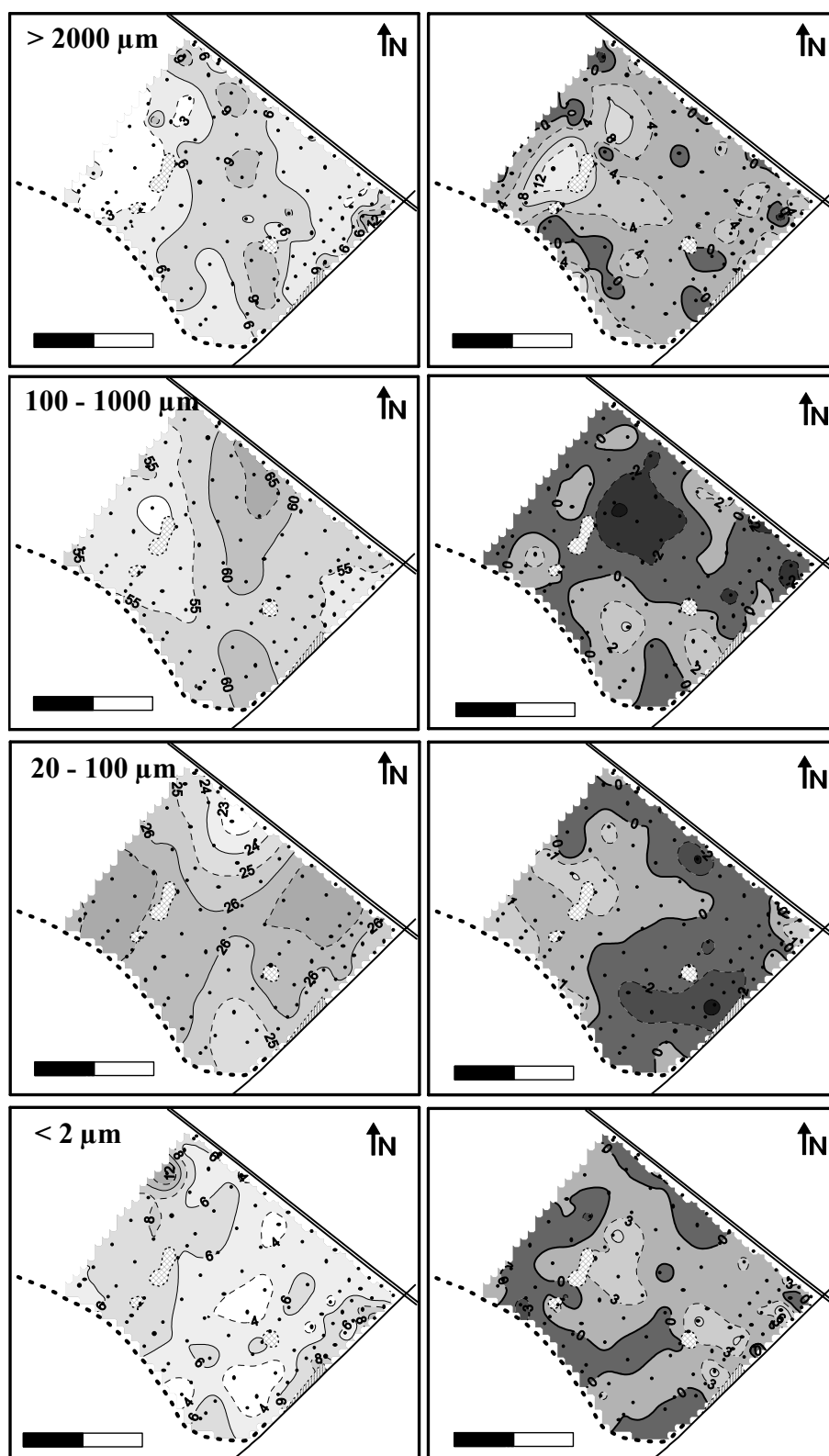
Tab. 2. Parametry modeli liniowych dopasowanych do semiwariancji empirycznych.

Table 2. Parameters of linear models fitted to empirical semi-variances.

| Frakcje Fraction [μm] | Nugget (C_0) | Skala Scale (C) [% ²] | Sill ($C_0 + C$) | Zasięg Range (A_0 or $3 A_0$) [m] |
|--|-----------------------------------|--|-----------------------|--|
| | Wiercenia Borehole samples | | | |
| > 2000 | 19,18 | 0,00 | 19,18 | < 50 |
| 1000 ÷ 2000 | 14,89 | 0,00 | 14,89 | < 50 |
| 100 ÷ 1000 | 18,40 | 34,57 | 52,97 | 445 |
| 50 ÷ 100 | 7,57 | 7,42 | 14,99 | 452 |
| 20 ÷ 50 | 4,03 | 6,52 | 10,55 | 432 |
| 6 ÷ 20 | 3,73 | 1,72 | 5,45 | 444 |
| 2 ÷ 6 | 1,23 | 1,36 | 2,59 | 405 |
| < 2 | 13,27 | 0,00 | 13,27 | < 50 |
| Warstwa orna Ploughed-layer samples | | | | |
| > 2000 | 11,83 | 0,00 | 11,83 | < 50 |
| 1000 ÷ 2000 | 9,76 | 0,00 | 9,76 | < 50 |
| 100 ÷ 1000 | 9,86 | 28,21 | 38,07 | 431 |
| 50 ÷ 100 | 4,75 | 0,00 | 4,75 | < 50 |
| 20 ÷ 50 | 2,95 | 3,51 | 6,46 | 494 |
| 6 ÷ 20 | 2,59 | 2,47 | 5,06 | 399 |
| 2 ÷ 6 | 1,18 | 2,32 | 3,50 | 374 |
| < 2 | 2,00 | 4,46 | 6,46 | 868 |

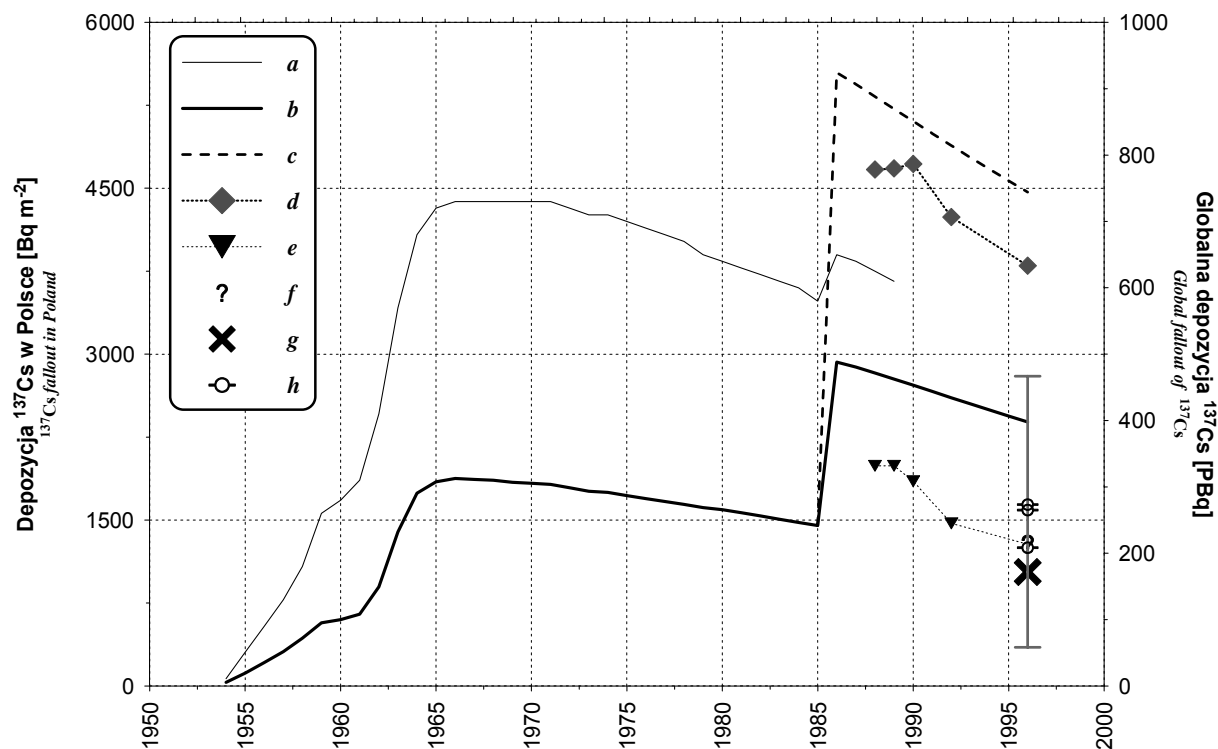
We wszystkich frakcjach oprócz 2-6 μm w próbkach z warstwy ornej zarówno wariancja nuggetowa jak i sill są niższe niż w próbkach z wierceń. Mimo, że klasyczne testy statystyczne nie wykazały istotnych różnic między zawartością większości frakcji w próbkach z wierceń i warstwy ornej, analiza geostatystyczna pokazuje że w ujęciu przestrzennym taka różnica istnieje. Zaznacza się tutaj wyraźnie homogenizacja teksturalna warstwy ornej – mniejsza wariancja nuggetowa i niższe wartości semiwariancji dla tych samych odległości opróbowania. Najistotniejsza jednak z punktu widzenia badań wpływu erozji eolicznej na gleby jest zmienność przestrzenna frakcji 50 – 100 μm (*very fine sand*, Soil Survey Staff 1975, fig. 2). Jest to w przypadku gleb o składzie granulometrycznym piasków gliniastych i glin piaszczystych frakcja najbardziej podatna na wywiewanie (Fullen 1985, Stach 1994). Można przypuszczać, że brak autokorelacji przestrzennej jest efektem ostatniego epizodu erozyjnego wywołanego albo silnymi zmiennymi wiatrami, albo pracami polowymi. Podobnie jest być może z iłem koloidalnym, stanowiącym lepiszcze łatwo wywiewanych mikroagregatów.

Na podstawie oszacowanych modeli semiwariancji wykonano mapy badanych parametrów teksturalnych (interpolacja metodą krigingu). Początkowo skoncentrowano się na analizie zmienności przestrzennej poszczególnych frakcji w warstwie ornej, oraz różnic siatek interpolacyjnych z warstwy ornej i wierceń (ryc. 3).



Ryc. 3. Rozkład przestrzenny udziału (w %) wybranych frakcji w warstwie ornej (lewa kolumna), i różnice między zawartością tej frakcji (w %) w wierceniach i warstwie ornej (prawa kolumna).

Fig. 3. Spatial variability in the proportions (in %) of selected fractions in samples from the ploughed layer (left column), and differences between those proportions in samples from boreholes and from the ploughed layer (right column).



Ryc. X. Skumulowana depozycja ^{137}Cs w Polsce i aktywność w glebach oraz aktywność w próbkach z badanego pola i profilach wzorcowych (Stach 1996, zmienione i uzupełnione).

Objaśnienia: a – skumulowana depozycja ^{137}Cs na półkuli północnej (Playford i in. 1999), b – skumulowana depozycja ^{137}Cs obliczona na podstawie pomiarów opadu radioaktywnego, c - skumulowana depozycja ^{137}Cs ze skorygowaną wartością opadu radioaktywnego w 1986 roku, d - średnia aktywność cezu-137 w Polsce w 10 cm warstwie gleby (Grabowski i in. 1997, Jagielak i in. 1996), e – średnia aktywność cezu-137 w województwie poznańskim w 10 cm warstwie gleby (Grabowski i in. 1997, Jagielak i in. 1996), f – oszacowana aktywność cezu-137 w woj. poznańskim w 10 cm warstwie gleby w 1996 roku, g – średnia aktywność i zakres zmienności aktywności cezu-137 w próbkach gleby z badanego pola, h – aktywność cezu-137 w próbkach z profili wzorcowych pobranych w parku w Wierzenicy.

Literatura

- Chappell, A., 1996: Modelling the spatial variation in the redistribution of soil: digital terrain models and ^{137}Cs in southwest Niger. *Geomorphology*, 17, 249-261.
- De Jong, E., Kachanoski, R.G., 1988: The importance of erosion in the carbon balance of prairie soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 68, 111-119.
- De Jong, E., Villar, H., Bettany, J.R., 1982: Preliminary investigations on the use ^{137}Cs to estimate erosion in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 62, 673-683.
- Fullen, M.A., 1985: Wind erosion of arable soils in East Shropshire (England) during spring 1983. *Catena*, 12, 111-120.
- Gamma Design Software, 1998: GS+ version 3.10.0 beta. Geostatistics for the environmentak Sciences, professional edition. P.O. Box 201, Plainwell, Michigan 49080, USA.
- Golden Software, Inc., 1995: Surfer for Windows. Version 6 User's Guide. 809 14th Street, Golden, Colorado 80401-1866, USA.
- Grabowski, D., et all. 1997: Skazenia promieniotwórcze środowiska i żywności w Polsce w 1996 roku (sum.: Radioactive Contamination of Environment and Food in Poland in 1996). Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Ochrony Środowiska, Warszawa, 36 pp.
- Jagielak, J., Bierancka, M., Grabowski, D., Henschke, J., 1986: Zmiany sytuacji radiologicznej środowiska Polski w okresie 10 lat po awarii w Czarnobylu (in polish). Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Biblioteka Ochrony Środowiska, Warszawa, 100 pp.

- Jönsson, P., 1994: Influence of shelter on soil sorting by wind erosion – a case study. *Catena* 22, 35-47.
- Kostrzewski, A., Stach, A., Szpikowski, J., 1994: Transport i opad eoliczny jako wskaźnik erozji gleb (Pojezierze Drawskie, Równina Wrzesińska). (sum.: Eolic transport and deposit as an index of soil erosion (The Drawsko Lake District, Wrzesnia Plains). *Roczniki 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.
- Marcinek, J., 1992: Parametryzacja środowiska glebowego w aspekcie gospodarki wodnej gleb. (sum.: Parametric values of the soil environment relevant for soil water balance). *Problemy Agrofizyki*, 67, 20-52.
- Mietelski, J.W., 1989: PIMP – konwersacyjny program analiz widm promieniowania gamma z detektora germanowego na komputerze klasy IBM PC. Raport IFJ No 1435/S, Kraków.
- Miller, D.R., Rosenberg, N.J., Bagley, W.T., 1975: Wind reduction by a highly permeable tree shelter-belt. *Agricultural Meteorology*, 14, 321-333.
- Niedźwiedz, T., Paszyński, J., Czekerda, D., 1993: Wiatry (winds). [w:] *Atlas of the Republic of Poland*, Surveyor General of Poland, sheet 31.6.
- Oliver, M., 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.
- Oliver, M.A., Webster, R., 1986: Semi-variograms for modelling the spatial pattern of landform and soil properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11, 491-504.
- Pannatier, Y., 1993: MS-Windows programs for exploratory variography and variogram modelling in 2D. [w:] Capasso V., Girone G. & Posa D. (eds.), *Statistics of Spatial Processes: Theory and Applications*, Bari, Italy, sep. 27-30 1993, 165-170.
- Playford, K., Lewis, G.N., Carpenter, R.C., 1990: Radioactive fallout in air and rain. Results to the end of 1989. UK Atomic Energy Authority, Environment & Energy, Harwell Laboratory, AEA-EE-0227.
- Podsiadłowski, S., 1994a: Próba oceny natężenia erozji eolicznej oparta na analizie zawartości próchnicy warstwy uprawnej gleby (sum.: An attempt to evaluate intensity of wind erosion process on basis of analysis of humus content in arable soil layer). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 260, 87-94.
- Podsiadłowski, S., 1994b: Pomiar erozji eolicznej za pomocą deflametru na Nizinie Wielkopolsko-Kujawskiej (sum.: The method of measuring wind erosion with deflametr on the Wielkopolska-Kujawy Lowland). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 260, 77-85.
- Podsiadłowski, S., 1994c: Wpływ energii jednostkowej uprawy na strukturę agregatową i erozję pulweryzacyjną gleby lekkiej (sum.: Influence of unitary tillage energy on the aggregate structure and the pulverization erosion of light soils). *Roczniki AR w Poznaniu* 266, *Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, 211-218.
- Podsiadłowski, S., 1995: Rola uprawy mechanicznej w stymulacji procesu erozji eolicznej gleb lekkich (sum.: Influence of mechanical tillage on initiation of wind erosion on light soils). *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, *Rozprawy Naukowe*, 264, 1-47.
- Podsiadłowski, S., 1998: Problem erozji eolicznej w Wielkopolsce (sum.: Wind erosion problem in the Wielkopolska region). *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*, 4B, 11-29.
- Podsiadłowski, S., Walkowiak, R., 1994: Adaptacja Wind Erosion Prediction System (USDA-ARS) do warunków polskich (sum.: Adaptation of Wind Erosion Prediction System (USDA-ARS) to Polish conditions). *Roczniki AR w Poznaniu* 266, *Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, 219-226.
- Richter, G., 1989: On the soil erosion problem in the temperate humid area of Central Europe. *Geojournal*, 4, 279-287.
- Ritchie, J.C., McHenry, J.R., 1973: Determination of fallout ¹³⁷Cs and naturally occurring gamma-ray emitters in sediments. *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 24, 575-578.
- Soil Survey Staff, 1975: *Soil Taxonomy*. USDA, Washington, 1-754.
- Stach, A., 1991: Charakterystyka sedymentologiczna współczesnych pokryw eolicznych (Borkowo, Równina Wrzesińska). *Sprawozdania PTPN*, 108, 77-81.
- Stach, A., 1995: Procesy i osady eoliczne na polach środkowej Wielkopolski (sum.: Aeolian processes and deposits on the fields of central Wielkopolska). *Studia z Geografii Fizycznej*, *Poznańskie Towarzystwo Przyjaciół Nauk*, *Sprawozdania Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego nr 109 za lata 1991-1994*, cz. 1, 145-153.

- Stach, A., 1996: Możliwości i ograniczenia zastosowania cezu-137 do badań erozji gleb na obszarze Polski (in polish). [w:] Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją, Ogólnopolskie Sympozjum Naukowe, Puławy, 11-13 wrzesień 1996, Prace naukowe cz. 2, 203-226, IUNG, AR w Lublinie, UMCS,
- Stach, A., Podsiadłowski, S., 1998: The effect of wind erosion on spatial variability of cultivated soils in the Wielkopolska region (Poland). [w:] AgEng Oslo 98, International conference on agricultural engineering, Oslo, 24 – 27 August 1998, Part 2, 998-998.
- Statsoft Polska Sp. z.o.o., 1997: Statistica PL dla Windows. 30-110 Kraków, ul. Kraszewskiego 36.
- Sutherland, R.A., 1991: Caesium-137 and sediment budgeting within a partially closed drainage basin. *Z. Geomorph. N.F.*, 35 (1), 47-63.
- Sutherland, R.A., 1994: Spatial variability of ¹³⁷Cs and the influence of sampling on estimates of sediment redistribution. *Catena*, 21, 57–71.
- Sutherland, R.A., de Jong, E., 1990: Estimation of sediment redistribution within agricultural fields using caesium-137, Crystal Springs, Saskatchewan, Canada. *Applied Geography*, 10, 205-221.
- Sutherland, R.A., de Jong, E., 1990: Quantification of soil redistribution in cultivated fields using caesium-137, Outlook, Saskatchewan. *Catena Supplement* 17, 177-193.
- Sutherland, R.A., Kowalchuk, T., de Jong, E., 1991: Cesium-137 estimates of sediment redistribution by wind. *Soil Science*, 151 (5), 387-396.
- Švehlik, R., 1998: Eoliczny transport cząstek glebowych. [w:]
- Walkowiak, R., Podsiadłowski, S., 1994: Estymacja erozji eolicznej metodą pomiaru transportu eolicznego. (sum.: Estimation of wind erosion intensity by a method of a wind transport measurement). *Roczniki AR w Poznaniu* 266, *Melioracje i Inżynieria Środowiska* 14, 243-246.
- Woś, A., 1986: Makroklimat województwa poznańskiego (sum.: Macroclimate of Poznań Province). *Badania Fizjograficzne nad Polską Zachodnią*, 36A, 217-239.
- Woś, A., 1994: Klimat Niziny Wielkopolskiej (sum.: The climate of the Wielkopolska Lowland). *Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań*, 1-192.