

MODELOWANIE ZMIENNOŚCI PRZESTRZENNEJ SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO GLEB NA TERENACH PODLEGAJĄCYCH DEGRADACJI GÓRNICZEJ

Sławomir Klatka, Krzysztof Boroń

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Efektem geomechanicznej i hydrologicznej degradacji spowodowanej podziemną eksploatacją węgla kamiennego są przekształcenia powierzchni użytkowanych przyrodniczo oraz duża zmienność właściwości gleb. W pracy dokonano analizy zmienności przestrzennej składu granulometrycznego gleb w warstwie 0–25 cm na wybranym obszarze pogórnym przy wykorzystaniu metody krigingu. Wyznaczone semiwariogramy empiryczne wyrównano modelem sferycznym. Przeprowadzona analiza pozwoliła na wykreślenie map izolinii zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych w glebie, obrazujących zmienność przestrzenną jej składu granulometrycznego, które mogą stanowić podstawę do wyznaczenia granic obszarów najbardziej podatnych na hydrologiczną degradację gleb.

Słowa kluczowe: zmienność przestrzenna, właściwości gleby, degradacja gleby, kriging

WSTĘP

Podziemna eksploatacja węgla kamiennego powoduje przekształcenia powierzchni przyrodniczo użytkowanych. Jednym z elementów biotopu najbardziej podatnych na degradację są gleby [Boroń i Klatka 2000]. Wskutek eksploatacyjnej działalności kopalń następuje geomechaniczne osiadanie powierzchni, które prowadzi do podniesienia zwierciadła wód gruntowych, oraz hydrologiczna degradacja gleb (zawodnienia wodnogruntowe). Rozmiary szkód powstałych w użytkach rolnych i leśnych są jednak wyraźnie zróżnicowane przestrzennie, na co oprócz czynników antropopresyjnych wpływają także właściwości samej gleby, w tym jej skład granulometryczny jako decydujący parametr.

Adres do korespondencji – Corresponding author: dr inż. Sławomir Klatka, Katedra Rekultywacji Gleb i Ochrony Torfowisk, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24–28, 30-059 Kraków, e-mail: rmklatka@cyf-kr.edu.pl

Na terenach zdegradowanych przez przemysł wydobywczy skład granulometryczny gleb prawie zawsze cechuje się dużą zmiennością przestrzenną [Klatka 2001]. Dlatego zaistniała potrzeba opracowania metod interpolacyjnych – geostatystycznych, które dałyby lepsze oszacowanie tego parametru gleby dzięki wykorzystaniu rozpoznanego charakteru zmienności. Jedną z takich metod jest kriging. Zastosowanie procedur matematyczno-statystycznych oraz wyznaczenie i analiza funkcji semiwariancji tą metodą pozwala na estymację wartości zmiennej w każdym punkcie badanego obszaru oraz wykreślenie map izolinii badanej właściwości, przedstawiających jej zmienność przestrzenną [Marx i Thompson 1987]. Na podstawie takich map można m.in. wyznaczać obszary najbardziej podatne na degradację hydrologiczną. Przykładem terenu podlegającego wpływom podziemnej eksploatacji węgla kamiennego jest obszar górniczy Kopalni Węgla Kamiennego „Szczygłowice”.

Celem pracy była analiza zmienności przestrzennej składu granulometrycznego gleb w warstwie 0–25 cm na terenie podlegającym degradacji górniczej oraz wykreślenie map izolinii zawartości poszczególnych frakcji.

MATERIAŁ I METODY

Badania gleb w rejonie ulic Ligonia i Korfantego w Szczygłowicach prowadzono w oparciu o siatkę pomiarową o wymiarach 650 × 400 m. Do pomiarów geodezyjnych używano niwelatora samokompensującego NI25. W zastabilizowanych narożnikach kwadratów o boku 50 m pobrano materiał glebowy z głębokości 0–25 cm i oznaczono skład granulometryczny metodą areometryczną Casagrande’a w modyfikacji Prószyńskiego. Zbiorcze zestawienie uzyskanych wyników oraz szczegółowy opis lokalizacji punktów pomiarowych zamieszczono w innej pracy [Klatka 2001].

Do określenia zmienności przestrzennej składu granulometrycznego gleby wykorzystano metodę krigingu. Metoda ta pozwala na oszacowanie przedziałów ufności estymacji, określenie średniej wartości danego parametru w dowolnej części badanego obszaru oraz znalezienie lokalizacji dla nowych punktów pomiarowych, które w największym stopniu zawężyłyby przedziały ufności obliczanych rozkładów. Analizę prowadzi się dwuetapowo.

Na pierwszym etapie analizy geostatystycznej określa się przestrzenną korelację rozkładu w postaci semiwariogramów empirycznych. Na podstawie analizy postaci tych semiwariogramów dokonuje się jakościowego opisu prawidłowości występujących w zróżnicowaniu wartości badanego parametru. Przebieg semiwariogramu empirycznego wyznaczają punkty obliczone według równania [Oliver i Webster 1986]:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2m(h)} \cdot \sum_{i=1}^{m(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

gdzie:

- $\gamma(h)$ – wartość semiwariogramu dla dystansu h ,
- $m(h)$ – liczba obserwacji odległych o dystans h ,

$Z(x_i)$ – wartość obserwowana w punkcie x_i ,

$Z(x_i + h)$ – wartość obserwowana w punkcie odległym od punktu x_i o dystans h .

Wyznaczone punkty semiwariogramu empirycznego opisuje się za pomocą funkcji matematycznych, tworząc semiwariogram teoretyczny. Do jego opisu potrzebne są funkcje dodatnio określone i w punkcie zero przyjmujące wartość zero. Marx i Thompson [1987] wymieniają takie modele, jak sferyczny, wykładniczy, gaussowski, liniowy i logarytmiczny, najczęściej jednak stosuje się funkcje należące do klasy tzw. modeli bezpiecznych, tj. funkcje liniową i sferyczną. Otrzymany kształt semiwariogramu wskazuje na rodzaj korelacji przestrzennej badanej zmiennej. Istnieją dwa zasadnicze rodzaje semiwariogramów. Pierwszy rodzaj charakteryzuje się tym, że wraz ze wzrostem dystansu h wartość wariancji zwiększa się do pewnej wartości maksymalnej, przy której pozostaje stała wraz ze wzrostem odległości. Po początkowym wzroście wartość $\gamma(h)$ osiąga dla pewnego dystansu α wartość równą wariancji zmiennej. Odległość α , zwana zasięgiem semiwariogramu, określa limit korelacji przestrzennej. Zmienna Z mająca semiwariogram tego rodzaju jest nie tylko stacjonarna wewnątrznie, lecz sama ma stacjonarność drugiego rzędu. W drugim typie semiwariogramów wariancja $\gamma(h)$ jest funkcją rosnącą bez ograniczeń. W tym przypadku wariancja jest nieskończona. Jeżeli semiwariogram nie przechodzi przez początek układu współrzędnych, to wówczas występuje tzw. efekt samorodka (ang. *nugget effect*) oznaczany jako c_0 . Efekt ten może świadczyć o tym, że w przypadku pobrania do próbki samorodka, inne próbki – nawet bardzo bliskie – będą się różniły wartością badanej właściwości [Smith i in. 1994].

Na drugim etapie analizy geostatycznej dokonuje się interpolacji wartości pomiarowych z wykorzystaniem wyznaczonego semiwariogramu teoretycznego, uzyskując w efekcie mapy izolunii badanej właściwości.

WYNIKI

Gleby terenu górniczego KWK „Szczygłowice” należą do działu gleb autogenicznych, rzędu brunatnoziemnych, typu brunatnych właściwych w podtypie gleb brunatnych oglejonych i brunatnych właściwych [Klatka 2001]. Wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych na 126 próbach wskazują, że w składzie granulometrycznym tych gleb dominują różne podgrupy piasku (piasek gliniasty lekki, piasek słabogliniasty, piasek gliniasty mocny, piasek luźny), jedynie miejscami występuje glina. Są to gleby piaszczyste o dużej przepuszczalności i małej retencyjności wodnej.

Na podstawie wstępnej analizy danych w poszczególnych kolumnach siatki pomiarowej zaobserwowano liniową zależność między wartościami średnimi badanych właściwości z poszczególnych kolumn a ich wariancją, co sugeruje obecność trendu – istnienie zmienności systematycznej. Punkty semiwariogramów empirycznych obliczono według równania (1) przy użyciu technik numerycznych. W sumie określono 15 punktów semiwariancji, ponieważ następne wyznaczone punkty charakteryzowały się tym, że odległości między nimi wynosiły ok. 695 m i były większe niż odległość między początkiem układu współrzędnych a ostatnim z punktów pomiarowych. Wyznaczone semiwariogramy empiryczne miały nieregularny przebieg, w związku z czym dla

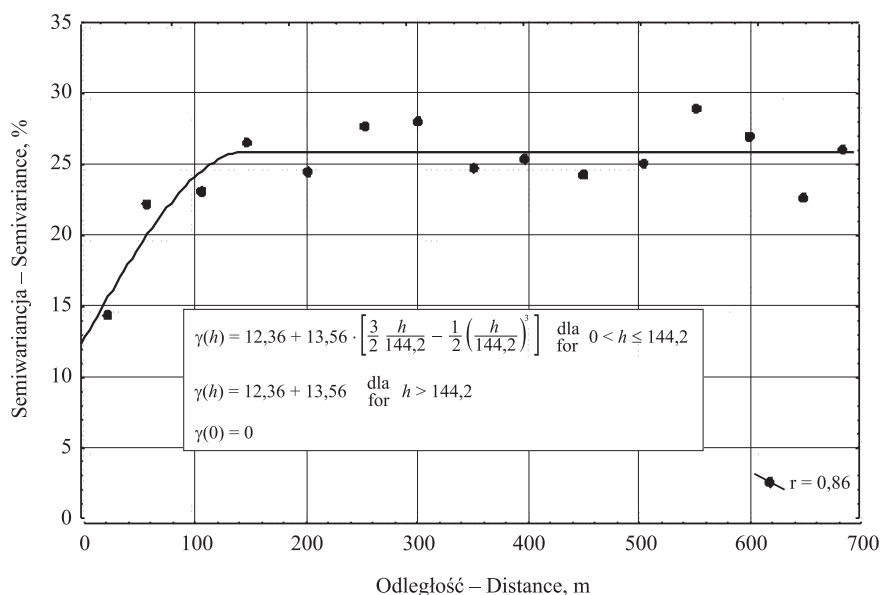
zawartości frakcji piasku (rys. 1) i zawartości części spławianych (rys. 2) wyrównano je modelem sferycznym. W tym przypadku zaobserwowano efekt samorodka, świadczący o tym, że istnieje zmienność badanej właściwości na odległości mniejszej niż odległość między punktami pomiarowymi (50 m). Wystąpienie tego efektu mogło również wynikać z małej dokładności zastosowanej metody pomiarowej. Wyznaczono również parametr C (efekt progowy) będący składową równania semiwariogramu teoretycznego.

W przypadku zawartości frakcji piasku oraz części spławialnych okazało się możliwe określenie zasięgu semiwariogramu i limitu korelacji przestrzennej. Dla zawartości frakcji piasku zasięg ten wyniósł 144,2 m, a dla zawartości części spławialnych – 138,6 m.

Semiwariogram dla zawartości frakcji pyłu przedstawiono na rysunku 3. Punkty semiwariancji empirycznej układały się w zasadzie wokół prostej równoległej do osi odległości. W związku z tym okazało się niemożliwe wyznaczenie dla tej właściwości korelacji przestrzennej, która występowałaby na odległości mniejszej niż odległość między punktami pomiarowymi (50 m).

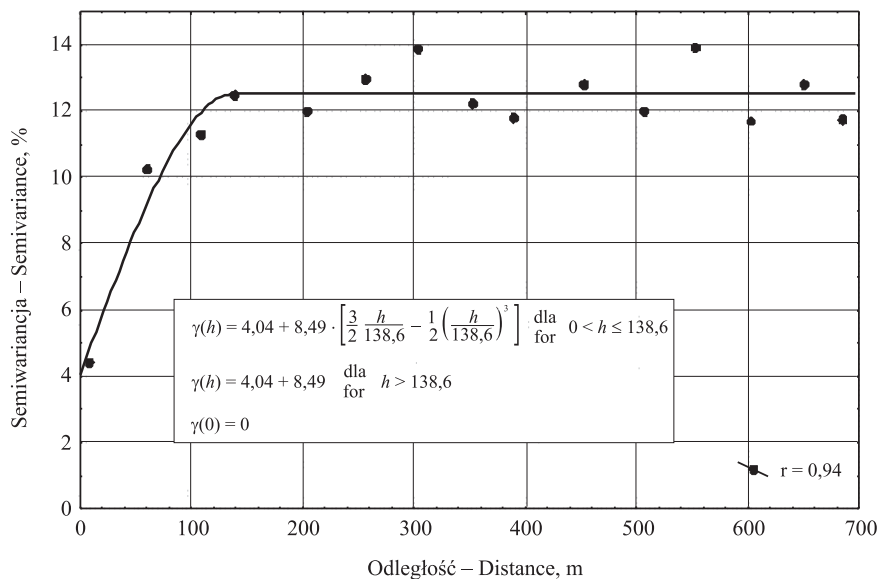
Wyznaczone parametry semiwariogramów teoretycznych zamieszczono w tabeli.

Wyznaczona przestrzenna zmienność zawartości frakcji piasku i zawartości części spławianych (rys. 1, 2) wskazuje, że do ich reprezentatywnego opisu sama ocena statystyczna jest niewystarczająca. Wynika to z niespełnienia podstawowego założenia staty-



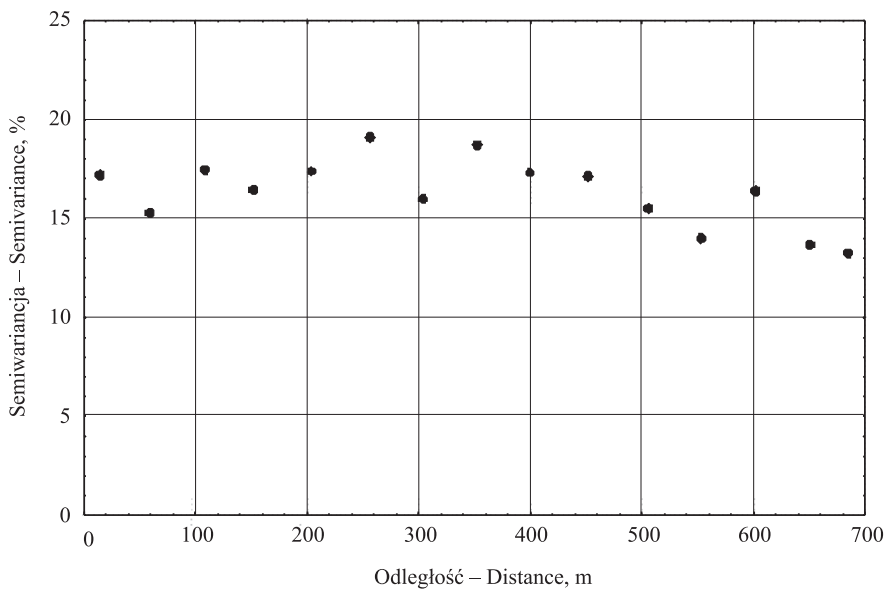
Rys. 1. Semiwariogram empiryczny (punkty) i teoretyczny (linia), wyznaczone dla zawartości frakcji piasku (1–0,1 mm)

Fig. 1. Semivariographs: empirical (points) and theoretical (line), determined for sand fraction (1–0.1 mm) content



Rys. 2. Semiwariogram empiryczny (punkty) i teoretyczny (linia), wyznaczone dla zawartości części sypialnych (< 0,02 mm)

Fig. 2. Semivariographs: empirical (points) and theoretical (line), determined for clay fraction (< 0.02 mm) content



Rys. 3. Semiwariogram empiryczny wyznaczony dla zawartości frakcji pyłu (0,1–0,02 mm)

Fig. 3. Empirical semivariograph determined for silt fraction (0.1–0.02 mm) content

Tabela. Parametry modeli dopasowanych do semiwariancji empirycznych
 Table. Parameters of models fitted to empirical semivariances

Właściwości gleby Soil properties	Model Model	Trend Trend T, %	Efekt samorodka Nugget effect c_0	Efekt progowy Threshold effect C	Zasięg Scope α , m	Współcz. korelacji Correlation coefficient R	Współcz. determinacji Determination coefficient R ²
Zawartość frakcji piasku 1–0,1 mm Sand fraction content	sferyczny spherical	19,2	12,36	13,56	144,2	0,86	0,74
Zawartość frakcji pyłu 0,1–0,02 mm Silt fraction content	–	28,1	–	–	–	–	–
Zawartość części spławialnych < 0,02 mm Clay fraction content	sferyczny spherical	24,7	4,04	8,49	138,6	0,94	0,88

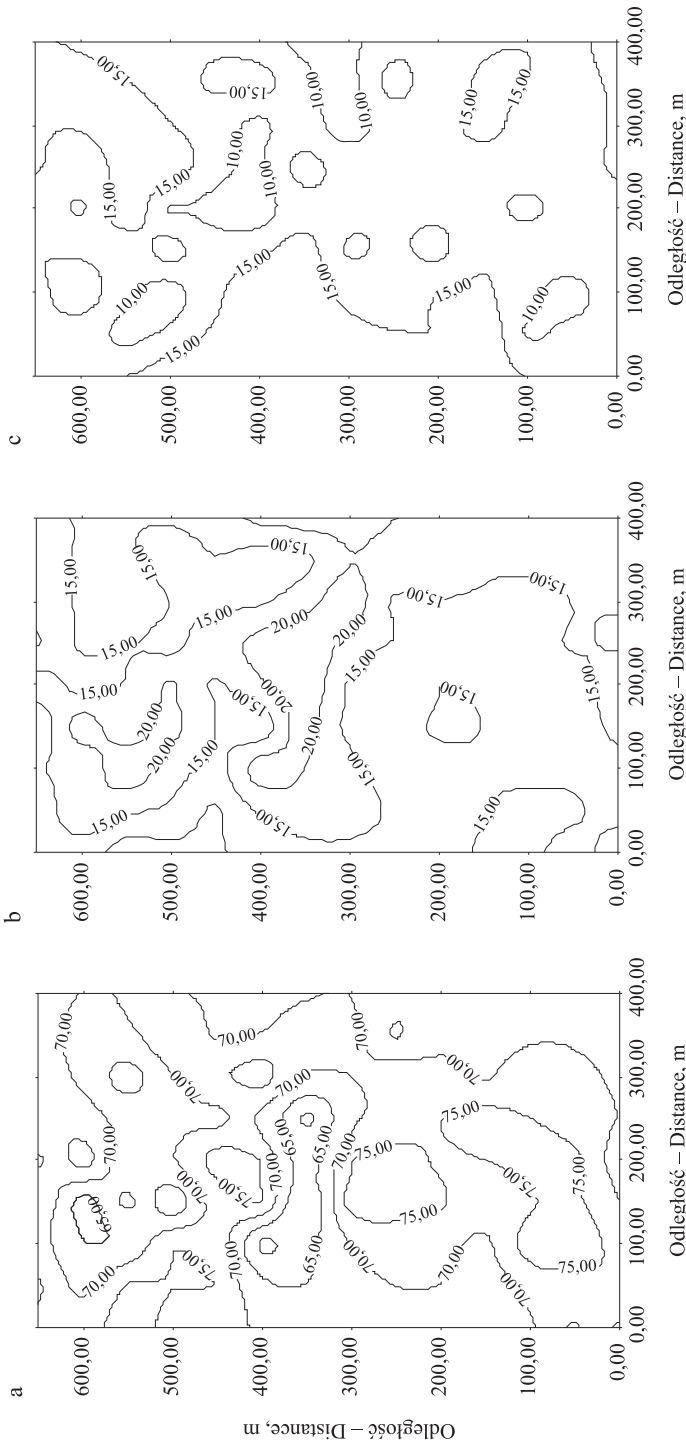
styki, tj. niezależności próbek pobranych do analizy. Klasyczne statystyki są miarodajne jedynie poza obszarem przestrzennej zależności, natomiast w jego obrębie mogą być obciążone dużym błędem.

Wykorzystując dopasowane wcześniej funkcje, dokonano interpolacji zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych, uzyskując w ten sposób mapy izolinii tych właściwości gleby. W przypadku zawartości frakcji piasku oraz zawartości części spławianych interpolację przeprowadzono w wykorzystaniem wyznaczonych funkcji sferycznych. W przypadku zawartości frakcji pylastej do interpolacji wykorzystano funkcję liniową. Izolinie zawartości poszczególnych frakcji granulometrycznych przedstawiono na rysunku 4. Ich przebieg wskazuje na silny związek badanych właściwości gleby z litologią skały macierzystej.

Wykonane analizy zmienności przestrzennej składu granulometrycznego gleb oraz wykreślone izolinie zawartości poszczególnych frakcji mogą stanowić podstawę do wyznaczenia granic obszarów najbardziej podatnych na degradację hydrologiczną gleb na badanym terenie.

WNIOSKI

1. Na terenie górniczym KWK „Szczygłowice” występują gleby o prawie jednorodnym składzie granulometrycznym. Przeważają piaski luźne i słabogliniaste o dużej przepuszczalności i małej retencyjności wodnej. Gleby o takim składzie granulometrycznym na obszarach podlegających wpływom górnictwa węgla kamiennego uważa się za podatne na degradację hydrologiczną.



Rys. 4. Mapy zmienności przestrzennej frakcji składu granulometrycznego gleby (izolinie zawartości frakcji, %): a – frakcja piasku, b – frakcja pyłu, c – część spławialna

Fig. 4. Maps of spatial variability of soil texture fractions (isolines of fraction content, %): a – sand fraction, b – silt fraction, c – clay fraction

2. Podczas obliczania w przyszłości podstawowych statystyk dla omawianego obszaru należy uwzględnić charakter zmienności przestrzennej zawartości badanych frakcji granulometrycznych (piasku, pyłu, części spławialnych). Izolinie zawartości poszczególnych frakcji wskazują na silny związek badanych właściwości z litologią skały macierzystej.
3. Wyniki analiz zmienności składu granulometrycznego wskazują, że metoda krigingu może być narzędziem przydatnym do określania zmienności przestrzennej innych właściwości gleb na terenach działalności górnictwa węgla kamiennego. Wiarygodność tej metody jest jednak w dużej mierze uwarunkowana formą semiwariogramu empirycznego i dopasowanym na jej podstawie semiwariogramem teoretycznym.

PIŚMIENNICTWO

- Boroń K., Klatka S., 2000. Obniżenie zdolności produkcyjnej gleb na obszarach eksploatacyjnych przemysłu wydobywczego na przykładzie KWK „Borynia” w Jastrzębiu Zdroju. Zesz. Nauk. AR Krak., Inż. Środ. 19, 78–86.
- Klatka S., 2001. Waloryzacja gleb zdegradowanych w wyniku działalności górnictwa na przykładzie Kopalni Węgla Kamiennego „Szczygłowice” w Knurowie. Praca doktorska. AR w Krakowie, Katedra Rekultywacji Gleb i Ochrony Torfowisk (maszynopis).
- Marx D.B., Thompson K.C., 1987. Practical aspects of agricultural kriging. Arkansas Agricultural Experiment Station Bulletin 903, 25–78.
- Oliver M., Webster R., 1986. Semi-variograms for modelling the spatial pattern of landform and soil properties. Earth Surf. Proc. Landforms 11, 45–60.
- Smith J.L., Halvorson J.J., Papendic R.I., 1994. Multiple variable indicator kriging: a procedure for integrating soil quality indicators. Soil Sci. Soc. Am. spec. publ. No. 35, 62–94.

MODELLING SPATIAL VARIABILITY OF SOIL TEXTURE IN AREAS SUBJECT TO MINING DEGRADATION

Abstract. The geomechanical and hydrological degradation due to the underground mining of hard coal causes deformations to lands used for nature-related purposes (agriculture, forestry, etc.) and a high variability of soil properties. The present study analysed the spatial variability of soil texture in the layer 0–25 cm in a chosen post-mining area by use of the kriging method. The empirical semivariograms obtained for sand and clay fractions were smoothed with a spherical model. The analyses performed made it possible to draw maps showing fraction content isolines, displaying the spatial variability of soil texture, which can provide a basis for delineating the areas most prone to the hydrological degradation of soils.

Key words: spatial variability, soil properties, soil degradation, kriging

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 8.10.2008