

Stanisław Gruszczyński*

Ocena i prognozowanie stanu gleb na potrzeby planów i programów

1. Wprowadzenie

W najbliższej przyszłości należałoby oczekiwać pojawienia się większej liczby opracowań prognostycznych związanych z przygotowaniem strategii, planów i programów, wymienionych w prawie ochrony środowiska jako dokumenty wymagające sporządzenia ocen oddziaływania na środowisko, w tym ocen zagrożeń i przekształceń gleb.

Prognozowanie przekształceń gleb wymaga odpowiedniego dostosowania treści dokumentacji kartograficznej, która powinna zapewniać [22]:

- opis i charakterystykę gleb;
- wszechstronną klasyfikację gleb, zgodnie z obowiązującymi standardami;
- ustalenie granic jednostek glebowych;
- predykcję zachowania się gleb pod wpływem różnego typu przekształceń.

Jednakże możliwości wiarygodnej oceny stanu gleb oraz prognozowania ich zmian są uwarunkowane przez dostępne źródła danych oraz metodyczne przesłanki i metody prognozowania.

Tradycyjnym problemem metodycznym ocen oddziaływania na środowisko (OOS) jest agregacja. Problem ten pojawia się na dwu poziomach oceny: na poziomie wyboru komponentów środowiska podlegających ocenie, kiedy musimy zastosować jakąś regułę integracji oszacowań skutków przekształceń poszczególnych komponentów prowadzącej do łącznej oceny oddziaływania, oraz na poziomie pojedynczego komponentu, kiedy pożądana jest informacja dotycząca przewidywanego skutku jego przekształcenia, podczas gdy stan komponentu opisywany jest wieloma różnymi parametrami pozostającymi we wzajemnych zależnościach, wymagającymi tym samym jakiejś formy integracji.

* Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Gleby mogą podlegać wielu różnym wpływom, obserwowanym jako modyfikacja wielu parametrów. Istnieje problem pełnej oceny skutków tych przekształceń.

2. Specyfika OOS planów i programów

Przepisy unijne oraz regulacje krajowe wskazują, że strategiczne OOS są sporządzane dla planów i programów opracowywanych przez administrację centralną, regionalną i lokalną. W szczególności są to plany i programy dotyczące: rolnictwa, leśnictwa, rybołówstwa, energetyki, przemysłu, transportu, gospodarki odpadami, gospodarki wodnej, telekomunikacji, turystyki oraz gospodarki przestrzennej i zagospodarowania terenu, które wyznaczają ramy dla przyszłych indywidualnych pozwoleń dopuszczających realizację konkretnych przedsięwzięć objętych obowiązkiem opracowania raportów oceny oddziaływania na środowisko. Można zatem przyjąć, że strategiczne OOS powinny stworzyć zintegrowany obraz przewidywanych skutków określonych planów branżowych w skali co najmniej lokalnej. Być może słabą stroną tego rozwiązania jest rozpatrywanie każdej z branż z osobna, jest to jednak w tej chwili problem z zakresu strategii planowania.

Nie ulega wątpliwości, że poważana część planowanych w uregulowaniu działań w mniejszym lub większym zakresie wpłynie na stan powierzchni ziemi, w tym dla gleb. Jednakże, poza wielkimi inwestycjami przemysłowymi, oddziaływanie prawdopodobnych rozwiązań technicznych może być tu rozważane na bardzo wysokim poziomie uogólnienia. Oddziaływania mogą być zdefiniowane wskaźnikowo lub przez analogię. Zadania związane z oceną stanu aktualnego i przewidywaniem zmian w stanie powierzchni ziemi należy rozpatrywać na tle informacyjnej zawartości źródeł, rozumianych jako powszechnie dostępna dokumentacja kartograficzno-glebowa, oraz głównych mechanizmów przekształceń i atrybutów gleb, istotnych z punktu widzenia oceny ich odporności na poszczególne wpływy.

3. Źródła danych

W poszukiwaniu źródeł informacji o zróżnicowaniu pokrywy glebowej uwaga musi się kierować na istniejącą dokumentację kartograficzno-glebową i siedliskową. Na pierwszy rzut oka sytuacja w tej dziedzinie w Polsce wygląda dość dobrze: dokumentacja w skalach szczegółowych obejmuje wszystkie tereny rolne i lasy prywatne (mapy klasyfikacji bonitacyjnej, mapy glebowo-rolnicze), podobnie jest w wypadku lasów państwowych, które dysponują szczegółowymi mapami glebowo-siedliskowymi w skali 1:5000. Dostępne są także opracowania w mniejszych skalach: 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000. W większości są to opracowania

w wersjach analogowych, wersje cyfrowe dopiero się upowszechniają, uzgadniany jest także ich standard. Odpowiednia dyrektywa unijna dotycząca infrastruktury danych przestrzennych (IDP) zaleca włączanie do gromadzonych danych cyfrowych informacji dotyczących gleb, w tym: „gleb i podglebia charakteryzowanych poprzez głębokość, teksturę, strukturę i zawartość cząstek organicznych, kamienistość, w miarę potrzeby średni spadek”. Zaleca się ponadto integrację danych dotyczących wszystkich rodzajów użytkowania (obecnie oddzielna dokumentacja dotyczy terenów rolnych i obszarów lasów państwowych), a także przeprowadzenie klasyfikacji bonitacyjnej na terenach leśnych należących do państwa.

Niezależnie od formy dokumentacji, obecnie mamy do czynienia z „płaskim” obrazem gleb, oderwanym od morfologii terenu. W dokumentacji sporządzanej w formie cyfrowej nie będzie istotnego problemu z usunięciem tego mankamentu, dzięki dołączeniu obrazu warstw zawierających informacje wysokościowe. Obowiązujące instrukcje dotyczące opracowania mapy zasadniczej (której treść obejmuje także informacje wysokościowe) dopuszczają jej formę cyfrową. W opracowaniach wykonywanych w mniejszych skalach przydatnym źródłem danych wysokościowych mogą być udostępnione bezpłatnie przez NASA materiały, na przykład z tak zwanej Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), z lutego 2000 roku. W ramach tej misji prom „Endavour” wykonał radarowe zobrazowania Ziemi w równoleżnikowym pasie od 56 stopnia szerokości południowej do 60 stopnia szerokości północnej [3, 18]. Materiały te są udostępnione w postaci skompresowanych zbiorów cyfrowych. Ich rozdzielczość i precyzja wydają się odpowiednie do studiów morfologiczno-glebowych w skalach regionalnych, a więc są z pewnością użyteczne w przypadkach planów i programów OOS.

Przy okazji integracji danych z różnych źródeł ujawnia się problem związany z konwencją homogeniczności konturów glebowych. Przy opracowywaniu map tematycznych, w tym map zawierających treść przyrodniczą, zawsze pojawia się problem zachowania równowagi między maksymalną szczegółowością a możliwościami interpretacyjnymi treści. Zbyt zgeneralizowana treść (na przykład za nadto powierzchowna, nieprecyzyjna klasyfikacja) zaciera zróżnicowanie przestrzenne, podczas gdy podział zbyt szczegółowy prowadzi do zmniejszenia czytelności obrazu bez możliwości efektywnego wykorzystania silnie rozdrobnionych informacji, na przykład bez możliwości istotnego zróżnicowania zaleceń gospodarczych dla różnoimiennych płątów terenu. Podstawowe informacje o zróżnicowaniu budowy profilu gleb są zawarte na różnego rodzaju mapach (rozkład uziarnienia, poziomy diagnostyczne), jednakże istnieją także cechy, których rozkład w pionie nie jest możliwy do zobrazowania w klasycznej dokumentacji analogowej (rozkład obciążenia gleb zanieczyszczeniami, rozkład głębokości zwierciadła wody gruntowej w czasie). Nie należy także oczekiwać zasadniczego uzupełnienia treści map glebowych w wyniku dodatkowych badań terenowych na obszarze całego kraju.

Ocena wpływu działalności gospodarczej na stan gleb wykracza poza listę standardowych zadań stawianych istniejącej dokumentacji kartograficzno-glebowej, związanych głównie z działalnością gospodarczą w rolnictwie i leśnictwie [19]. Zadania sozotechniczne często wymagają informacji znacznie wykraczających poza treść dokumentacji, wymuszają integrację danych pochodzących z różnych źródeł, niekiedy stwarzają potrzebę budowy modeli powiązań między cechami gleb, morfologii oraz chemizmem a skalami waloryzacyjnymi. Można dokonać konfrontacji potrzeb informacyjnych, wynikających z prognozowania lub charakteryzowania przekształceń gleb, z rzeczywistą treścią powszechnie dostępnej dokumentacji.

4. Zawartość informacyjna źródeł

W opracowaniach teoretycznych dotyczących klasyfikacji (systematyki) gleb podkreśla się, że jednym z jej celów jest przekształcenie złożonego, ciągłego obrazu zróżnicowania gleb na prostszy, dyskretny, zbudowany z pewnej liczby ustalonych, dyskretnych jednostek o określonych cechach, charakteryzujących się ograniczoną zmiennością wobec obiektu będącego wzorcem. Jest to konieczność spowodowana niejednorodnościami w rozkładzie parametrów gleb, utrudniającymi posługiwanie się stosunkowo małymi zbiorami danych źródłowych oraz algorytmami interpolacji. Transformacja ciągłego zróżnicowania na dyskretny obraz prezentowany przez mapę wiąże się z akceptacją niehomogeniczności konturów glebowych, charakteryzujących się wewnętrzną zmiennością w zakresie wszystkich parametrów. Zakłada się, że zmienność ta jest znacznie mniejsza od różnic pomiędzy parametrami konturu a konturami stanowiącymi otoczenie. W polskiej praktyce nie wiąże się raczej bezpośrednio atrybutów cech glebowych z jednostkami systematyki lub bonitacji gleb. W niektórych krajach w użyciu są algorytmy klasyfikacji operujące dość wąsko zdefiniowanymi parametrami ilościowymi lub jakościowymi (barwa poziomów diagnostycznych, odczyn, przewodność elektryczna wyciągów wodnych, zawartość węglanów, substancji organicznej itp.). W Polsce, podobnie jak w większości krajów, preferowana jest ostra (dwuwartościowa) klasyfikacja gleb, w przeciwieństwie do klasyfikacji rozmytej, posługującej się wartościami funkcji przynależności do poszczególnych jednostek glebowych. W praktyce tradycyjna dokumentacja kartograficzno-glebowa pozbawiona jest prawie całkowicie informacji ilościowych, poza zawartymi w opisach wzorców gleb, na przykład dotyczącymi minimalnej miąższości poziomu próchnicznego. Jest to obciążenie związane z głównym celem konstruowania map glebowych, którym jest (obok zadań fiskalnych) wspomaganie gospodarstwa rolnego i leśnego. Obecnie podkreśla się, że cele dokumentowania gleb należy uzupełnić o ochronę i kształtowanie środowiska.

Zakres informacji znajdujący się w powszechnie dostępnej dokumentacji kartograficzno-glebowej jest stosunkowo ograniczony. Są to:

- pozycja systematyczna (typ gleby) zgodnie z klasyfikacją z okresu opracowywania zasad kartowania,
- uziarnienie – w formie przynależności do grupy mechanicznej,
- kompleks rolniczej przydatności gleby,
- klasa bonitacyjna.

Bardziej wszechstronne dane można uzyskać z interpretacji treści mapy klasyfikacyjnej. Na terenach administracji lasów państwowych, gdzie obowiązuje mapa glebowo-siedliskowa, dodatkowo dostępna jest informacja dotycząca typu siedliskowego lasu, stopnia jego degradacji oraz stopnia (głębokości) wody gruntowej.

Unijne wymogi dotyczące zawartości powszechnie dostępnej dokumentacji kartograficznej nie wykraczają istotnie poza zawartość istniejących zasobów geodezyjnych.

5. Potrzeby informacji morfologiczno-glebowej w zagadnieniach OOS

Głównym zadaniem procesu OOS jest wskazanie, scharakteryzowanie i oszacowanie wpływu działalności, planu lub programu na środowisko. Problem polega na integracji różnorodnych wpływów, wskaźników i parametrów, dzięki której uzyskuje się spójne, jednoznaczne kryterium decyzyjne. Integrację różnorodnych kryteriów ocen poszczególnych komponentów środowiska uzyskuje się dzięki zastosowaniu specjalistycznych metod oceny.

Rozważając ocenę stanu aktualnego i prognozę stanu gleb, należy odnieść się do potencjalnych zagrożeń, którym podlegają gleby oraz generowanym przez gleby. Ich lista jest stosunkowo urozmaicona i, niestety, wszechstronnie uwarunkowana. W pewnym sensie najbardziej pierwotnym zagrożeniem bezpośrednim jest przeznaczenie gleb do użytkowania odmiennego od obecnego: na przykład przekształcanie roli lub lasu w teren budowlany, przemysłowy lub komunikacyjny. Taki rodzaj zagrożenia jest łatwy do przewidzenia, a jego koszty można oszacować.

W odróżnieniu od zagrożeń bezpośrednich bardziej złożone są mechanizmy powstawania skutków pośrednich. Można je podzielić na przekształcenia [24]:

- geomechaniczne,
- hydrologiczno-glebowe,
- mające naturę chemiczną.

Przekształcenia geomechaniczne polegają na modyfikacji morfologii terenu. Ich przyczyną jest eksploatacja górnicza oraz różnego rodzaju prace budowlane.

Przekształcenia geomechaniczne łączą się często z powstawaniem terenów bezglebowych, w wyniku zdejmowania warstwy glebowej lub budowy nasypów.

Przekształcenia hydrologiczno-glebowe, podobnie jak geomechaniczne, mają także poważniejsze znaczenie w terenach eksploatacji górniczej złóż, przez co ich zasięg przestrzenny jest dość ograniczony. Obejmują różnokierunkowe zakłócenia istniejącej gospodarki gleb: od procesów osuszenia po zjawisko zawodnienia.

Przekształcenia chemiczne są powszechniejsze i wiążą się z emisją zanieczyszczeń oraz składowaniem odpadów. Przekształcenia gleb mogą być przyczyną dalszych zmian środowiskowych: zanieczyszczenia plonów, zaburzeń w możliwości użytkowania, przekształcenia siedlisk.

Rozważając potencjalne potrzeby wiarygodnej informacji na temat pokrywy glebowej w zagadnieniach OOS, należy podkreślić oczywisty na pierwszy rzut oka aspekt zróżnicowania podatności gleb na poszczególne rodzaje wpływów – obserwowalne skutki zanieczyszczenia gleb (w sensie zagrożenia dla plonów i ich konsumentów) są wielostronnie uwarunkowane: uziarnieniem gleb, zawartością substancji organicznej, rodzajem tworzywa mineralnego (ogólnie: charakterystyką pojemności sorpcyjnej), odczynem, stopniem zbuforowania gleb, czynnikami oksydacyjno-redukcyjnymi itp. Oznacza to, że reakcja plonów na zanieczyszczenie gleb przy zróżnicowanych dawkach substancji zanieczyszczających nie musi mieć charakteru liniowego. Podobnie zresztą jest z przekształceniami hydrologiczno-glebowymi, których występowanie podlega szczególnym uwarunkowaniom. Ten fakt bywa niezrozumiały dla specjalistów z innych dziedzin, oczekujących funkcyjnej zależności między intensywnością wpływu a skutkiem przekształcenia. Konsekwencją konstatacji tych uwarunkowań jest waga przywiązywana do aktualnego obrazu zróżnicowania gleb oraz obrazu niekorzystnych oddziaływań. Odrębnym zagadnieniem jest przełożenie informacji o stanie aktualnym i przewidywanych wpływach na prawdopodobny obraz warunków po wystąpieniu przekształceń.

5.1. Potrzeby informacyjne: przekształcenia geomechaniczne

W grupie geomechanicznych przekształceń gleb można wydzielić następstwa robót ziemnych (górnictwych lub budowlanych) oraz deformacje powierzchni terenu spowodowane podziemną eksploatacją górniczą. Roboty ziemne powodujące powstawanie obszarów bezglebowych podlegają projektowaniu i w jakimś zakresie można sterować właściwościami materiałów ziemnych tworzących powierzchnię obiektu. Oczywistym wymogiem jest zapewnienie dostatecznej przydatności rekultywacyjnej gruntów powierzchniowych oraz uformowanie terenu spełniające warunki przyszłego zagospodarowania. Odrębnym zagadnieniem, wchodzącym w zakres zainteresowania czynników odpowiadających za rekultywację jest problem optymalizacji decyzji dotyczących morfologii i litologii obiektów przeznaczonych do rekultywacji.

Poeksploatacyjne deformacje powierzchni terenu dotyczą generalnie powierzchni nienaruszonej robotami ziemnymi, zaś ich skutki należy rozważać w kontekście zakłóceń w możliwościach dalszego użytkowania. Abstrahujemy w tej chwili od problemu przekształceń hydrologiczno-glebowych, które mogą się ujawniać jako skutki deformacji, na razie rozpatrujemy następstwa przekształceń morfologii jako jednego z kryteriów oceny walorów gleb. Należy niestety stwierdzić, że tradycyjna kartografia glebowa preferuje płaski obraz terenu, oderwany od czynników morfologicznych. Oczywiście w treści dokumentacji kartograficzno-glebowej (DKG) wpływ rzeźby terenu na walory gruntów czy siedlisk odzwierciedla się w postaci modyfikacji pozycji klasyfikacyjnej w stosunku do pozycji wynikającej z właściwości profilu glebowego: na przykład obniżenia klasy bonitacyjnej, uwypuklenia wadliwości przez wskazanie odpowiedniego kompleksu przydatności rolniczej. Należy jednak stwierdzić, że przynajmniej obecnie trudno byłoby wskazać potencjalne zagrożenia wzrostu podatności na erozję wyłącznie na podstawie DKG. Mankament takiego podejścia do gleb wskazują międzynarodowe organizacje gleboznawcze: jedna z takich agend jest promotorem projektu SOTER (ang. *Soil Terrain Database*) integrującego formy powierzchni terenu z morfologią gleb w postaci tak zwanych jednostek SOTER (ang. *SOTER units*). Ze względu na małą skalę opracowania (1:1 000 000) jego użyteczność w naszych warunkach jest w najlepszym razie ograniczona do studiów na szczeblu krajowym, lecz połączenie informacji glebowych z dotyczącymi morfologii terenu poszerza znacznie możliwości interpretacyjne dokumentacji, w tym zastosowanie zaawansowanych metod eksploracji danych (ang. *data mining*). W ogólności te metody, analizujące zależności występujące między danymi, mogą dostarczyć użytecznych modeli umożliwiających oszacowanie skutków (w tym skutków bonitacyjnych) deformacji powierzchni terenu, zmianę sposobu użytkowania lub rodzaju materiału gruntowego.

5.2. Potrzeby informacyjne: przekształcenia hydrologiczno-glebowe

Problem prognozowania przekształceń hydrologiczno-glebowych przyszłej działalności górniczej. Inne przypadki zaburzeń stosunków powietrzno-wodnych gleb mają zasięg lokalny i są sporadyczne (poza celowymi działaniami z zakresu melioracji wodnych gleb). Istotne jest spostrzeżenie, że znajomość kierunków przekształceń (zawodnienie czy osuszenie) w dużej mierze wystarcza, przy dostępie do informacji zawartych w dokumentacji kartograficzno-glebowej, do ustalenia rejonów i stopnia zagrożenia gleb.

Problematyka szacowania i prognozowania przekształceń hydrologiczno-glebowych jest od wielu lat przedmiotem zainteresowania górnictwa, które jako jedno z pierwszych zostało zobowiązane do naprawy szkód przemysłowych, w tym szkód w użytkach rolnych i leśnych spowodowanych jego działalnością [13, 15, 25].

W odniesieniu do tego rodzaju przekształceń można wskazać dwa potencjalne cele prognozowania: pierwszy to predykcja zmiany fizycznych warunków hydrologiczno-glebowych oraz składowych bilansu wodnego gleb (położenia zwierciadła wody gruntowej, rozmiar napływu wglębnego lub powierzchniowego, podsiąku kapilarnego z poziomu zwierciadła wody gruntowej), drugi – zmiany sposobu użytkowania gruntów lub przesunięcie użytku na skali szeregu bonitacyjnego. Interesujące są oba potencjalne cele prognozy, w tym także powiązania między nimi, aczkolwiek w ostatecznym rachunku praktycznie znaczącym elementem jest wycena strat związanych z zachodzącymi przekształceniami, czyli cel drugi. Pomijamy tu skutki polegające na zmianach warunków wegetacji w ekosystemach podlegających ochronie, prowadzące do zakłóceń w możliwościach utrzymywania cennych ekologicznie stanowisk.

Praktyczne możliwości prognozowania ilościowego są tu dość ograniczone, sprowadzają się one do metod eksperckich, prostych modeli wskaźnikowych bazujących na domniemanych relacjach ilościowych między cechami powietrzno-wodnymi a klasyfikacją gleb, oraz metod opisowych. Głównym problemem modelowania jest fragmentaryczność informacji hydrologiczno-glebowych oraz rozmycie relacji zachodzących między klasyfikacją a cechami gleb. W tych okolicznościach pomocne bywają metody klasyfikacji bazujące na sztucznej inteligencji (AI), które umożliwiają budowę bazy reguł klasyfikacji na podstawie zbiorów uczących. Zaletą metod klasyfikacji opartych na AI jest uwzględnianie zależności nieliniowych w transformacji wektorów wejściowych w skalę klasyfikacji. Dużego nakładu pracy wymaga przy tym budowa niezbędnej bazy danych. Jej struktura i zawartość zależą oczywiście od rozmiaru zadania, stopnia jego złożoności oraz analizowanego mechanizmu zaburzeń hydrologicznych [9, 10, 12, 13]. Oprócz cech charakteryzujących profil glebowy ważne dla poprawy prognozowania są parametry konfiguracji terenu, położenia wody gruntowej, ekspozycji itp. Ujemnymi stronami metod klasyfikacji opartych na AI jest ograniczona możliwość lingwistycznego formułowania reguł klasyfikacji („czarna skrzynka”), aczkolwiek uzyskiwane są już obiecujące rezultaty w dziedzinie identyfikacji reguł odwzorowania z analizy struktury klasyfikatorów [5, 6], oraz konieczność budowy modeli metodą prób i błędów (brak algorytmów deterministycznych określania parametrów optymalizacji, pewne nadzieje można tu wiązać z algorytmami konstruktywistycznymi). Ponieważ dla zadań klasyfikacji gleb właściwe są rozmyte relacje zachodzące między ich cechami, zatem procedury adaptacyjne wydają się dobrym sposobem ich rozwiązywania. W szczególności mogą one być użyteczne w prognozowaniu położenia rejonów, które w wyniku podejmowanych działań znajdą się w zasięgu prawdopodobnych, intensywniejszych przekształceń, mogących wywoływać kosztowne skutki. Taka informacja byłaby przydatna w planowaniu sieci monitoringu gleb, z odpowiednim wyprzedzeniem i w odpowiednim zasięgu.

5.3. Potrzeby informacyjne: przekształcenia natury chemicznej

Przekształcenia gleb mające naturę chemiczną mają względnie największy zasięg, ponieważ po części są związane z przyrodniczym użytkowaniem gleb w ogóle. Do obserwowanych skutków tego rodzaju należy stopniowe zakwaszenie gleb związane z ich odwapnianiem bez odpowiedniego nawożenia, ubytek substancji organicznej związany z uprawą, zwiększanie zasobów azotu i innych związków w wyniku nawożenia. Bezwzględnie w negatywnym obrazie przekształceń gleb dominują jednak czynniki innego pochodzenia: alkalizacja, obciążenia pierwiastkami normalnie występującymi w glebach w ilościach śladowych lub w formach obojętnych dla upraw, obciążenie składnikami w ogóle niewystępującymi w glebach w sposób naturalny (ropopochodne, składniki organiczne). Obecnie stosowanym kryterium oceny stopnia zanieczyszczenia gleb są wprowadzone standardy glebowe [23]. W odróżnieniu od nieformalnego unormowania zaproponowanego przez IUNG, standardy ustalają granice akceptowanego poziomu zanieczyszczeń w oderwaniu od właściwości fizycznych i chemicznych gleb. Pojawiają się pytania dotyczące ich interpretacji, jednak autentycznym problemem jest prognozowanie takich przekształceń. Wielka mnogość źródeł zagrożeń, zróżnicowanie intensywności wpływów, różnorodne uwarunkowania związane z wymywaniem i akumulacją zanieczyszczeń bardzo utrudniają konstrukcję uniwersalnego modelu prognostycznego. W tych okolicznościach wydają się sensowne dwa kierunki poszukiwań: ocena przestrzennego zróżnicowania cech decydujących o stopniu wrażliwości (ang. *vulnerability*) gleb na różne zanieczyszczenia: odczynu, zbuforowania, pojemności sorpcyjnej, wysycenia kompleksu glebowego kationami zasadowymi, potencjału oksydacyjno-redukcyjnego, zawartości węgla organicznego, zdolności filtracyjnych itp. Cechy te są wskaźnikami stopnia odporności na przekształcenia natury chemicznej. Drugi kierunek poszukiwań wiąże się z tworzeniem bazy danych wzorców przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń, w celu wykorzystania analogii jako procedury przybliżonego prognozowania.

6. Wykorzystanie systemów informacji przestrzennej i metod adaptacyjnych w opisie i prognozowaniu stanu gleb

Szczególne potrzeby ocen środowiskowych skutków realizowanych planów i programów mogą być skutecznie zaspokajane dzięki wykorzystaniu cyfrowych instrumentów analizy, jako narzędzi użytecznych w przetwarzaniu informacji na dużym terenie. Koniecznym warunkiem wykorzystania tego rodzaju technik jest digitalizacja istniejących materiałów kartograficzno-glebowych. Przy tej okazji nieuchronne jest rozdzielenie treści map na poszczególne warstwy tematyczne, obejmujące typologię, elementy użytkowania, klasyfikacji i zróżnicowania litologicznego

profilu glebowego (uziarnienia). Baza danych przestrzennych może i powinna być uzupełniona o elementy morfologii terenu (wyniesienie, nachylenie, wystawa, położenie form morfologicznych itp.) oraz składniki hydrografii i, w miarę możliwości, hydrogeologii (położenie zwierciadła wody gruntowej, jego wahania itp.). Integracja i przetwarzanie tego rodzaju informacji może być użyteczne w problematyce prognozowania skutków przekształceń.

6.1. Wsparcie prognozy przekształceń hydrologiczno-glebowych

Zadanie prognozy skutków przekształceń hydrologiczno-glebowych w skrajnym przypadku może być sprowadzone do odpowiedzi na pytanie: jakie, w świetle istniejących powiązań między cechami gleb a ich klasyfikacją (np. [14]), będą skutki klasyfikacyjne zmian niektórych cech glebowych? Odpowiedź na nie wymaga oczywiście znajomości tych powiązań, które niestety nie są ilościowo zdefiniowane oraz mają charakter rozmyty [1, 8, 16, 17, 21, 29, 30].

Naturalnym zatem sposobem rozsądnego postępowania byłoby:

- zgromadzenie dostatecznie obszernej, reprezentatywnej dla danego regionu bazy danych, będącej źródłem informacji o powiązaniach między cechami gleb, morfologią terenu, czynnikami hydrologicznymi a klasyfikacją;
- zastosowanie odpowiednich metod w celu ustalenia powiązań ilościowych i jakościowych oraz budowa modelu klasyfikacji;
- prognoza elementarnych przekształceń warunków glebowych (morfologia terenu, położenie zwierciadła wody lub inne elementy mające znaczenie w modelu zależności);
- prognoza nowej klasyfikacji dla zmienionej morfologii.

Sformułowane zadanie może być rozwiązywane przy użyciu algorytmów klasyfikacyjnych, w szczególności tak zwanych sztucznych sieci neuronowych (SSN) [26, 31]. Procedura wymaga digitalizacji materiałów źródłowych oraz utworzenia bazy danych dotyczących zróżnicowania przestrzennego gleb i morfologii terenu [9–12]. Przeprowadzone badania wskazują, że postępując zgodnie z opisanym algorytmem można, zależnie od liczebności źródłowej bazy danych, oszacować klasyfikację gleb poprawnie w 85÷97%.

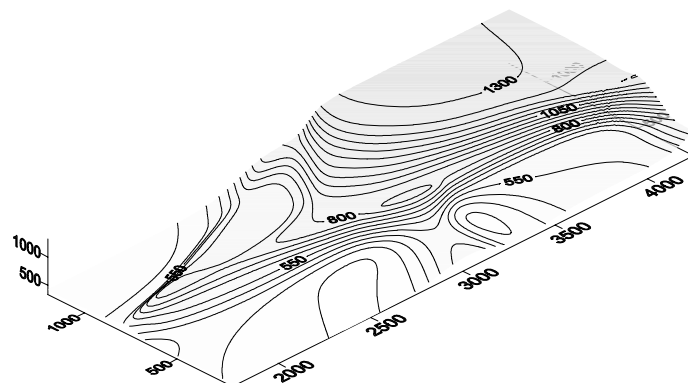
W podejściu tym można się dopatrywać także mankamentów, których usunięcie powinno stanowić cel badań w najbliższym czasie. Najważniejszym z nich jest przypuszczalnie problem cech kontekstowo-zależnych. Informacjami wejściowymi modelu są głównie parametry lokalne, podczas gdy można wskazać sytuacje, w których stosunki powietrzno-wodne powinny być rozważane w odniesieniu do większego terenu, ponieważ zależą one, na przykład, od położenia terenu w obrębie doliny rzecznej czy też innego zagłębienia. Istnieje zatem problem elastycznego mechanizmu wyboru zasięgu zmiennych wejściowych wchodzących do modelu.

6.2. Ocena rozkładu przestrzennego zawartości metali ciężkich w glebach

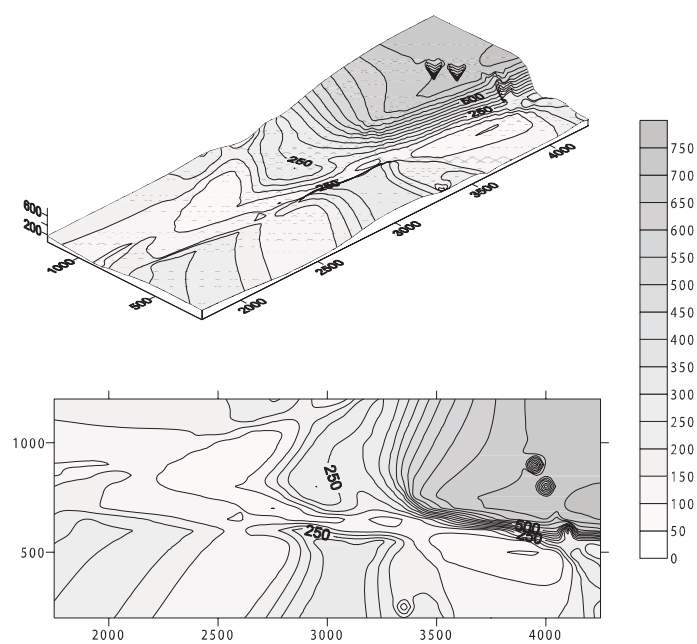
Niektóre obserwacje sygnalizują większą, niż się na ogół zakłada, zmienność przestrzenną zawartości zanieczyszczeń w glebach, zwłaszcza w rejonach silnie obciążonych emisją [20, 27]. Stwarza to dość poważny problem w opracowywaniu map rozkładu zanieczyszczeń, ponieważ zmienność krótkodystansowa stawia pod znakiem zapytania efektywność metod interpolacji. Odrębnym zagadnieniem, w przypadku konstruowania map z dyskretną treścią, jest wyznaczenie granic między konturami istotnie różniącymi się pod względem stopnia zanieczyszczenia. Duża zmienność lokalna oznacza, że pobrana próba jest reprezentatywna dla otoczenia o bardzo małym promieniu. Jednakże znaczne zagęszczenie prób nie jest, po przekroczeniu pewnej granicy, dobrym rozwiązaniem z uwagi na koszty obserwacji, a także wątpliwą możliwość oddania rzeczywistej zmienności. Jak się wydaje, dobrym rozwiązaniem może być w tych okolicznościach posłużenie się dwoma parametrami opisującymi zanieczyszczenie gleb: oczekiwaną wartością stężenia (reprezentacją lokalnej wartości tendencji centralnej) oraz miarą rozproszenia tego stężenia w pewnym promieniu, na przykład oszacowaniem odchylenia standardowego. Możliwe jest tutaj zastosowanie statystycznych modeli powiązań między położeniem punktu a charakterystyką koncentracji zanieczyszczenia, jednakże znaczącym utrudnieniem są: komplikacje związane z doborem formy zależności (postaci analitycznej) między współrzędnymi a zanieczyszczeniem oraz lokalizacja wariacji, to znaczy znalezienie jej powiązania z położeniem punktu obserwacji. Obok modeli statystycznych uzasadnione może być wykorzystanie algorytmu hybrydowego nazywanego siecią MDN (ang. *Mixture Density Network*) [2, 4, 7, 28]. Jego implementacja zawarta jest, obok innych modeli adaptacyjnych, w pakiecie NETLAB, udostępnianym bezpłatnie jako zbiór makroinstrukcji zaprojektowany do wykorzystania w środowisku MATLAB. Sieci MDN mogą w szczególności służyć do modelowania zależności nieliniowych, w których rozkład reszt odchyłeń od regresji jest asymetryczny lub wielomodalny, a w ogólności zależny od zmiennych wejściowych.

Rysunek 1 przedstawia oszacowanie wartości oczekiwanej koncentracji chromu w warstwie glebowej 0÷30 cm, w rejonie charakteryzującym się bardzo silnym skażeniem związkami tego pierwiastka. Rysunek 2 obrazuje oszacowanie lokalnej wartości odchylenia standardowego zawartości chromu w tym samym rejonie.

Rysunek 3 prezentuje pseudotrójwymiarowy obraz zróżnicowania współczynnika zmienności, informującego o zakresie zmienności cechy w obszarze opracowania. Jego znajomość umożliwia bezpośrednio oszacowanie gęstości opróbowania terenu, zapewniające uzyskanie wymaganej dokładności.



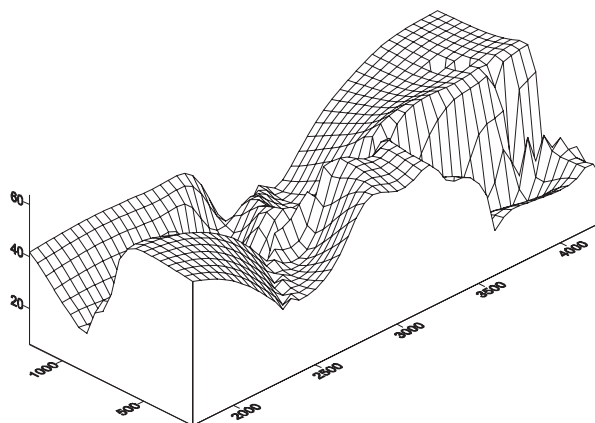
Rys. 1. Pseudotrójwymiarowa wizualizacja trendu rozkładu Cr w glebach wyznaczonego przy użyciu sieci MDN



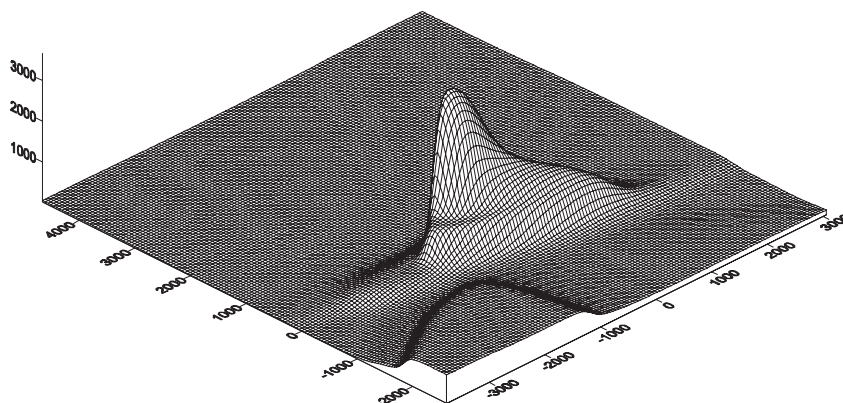
Rys. 2. Wizualizacja oszacowania wartości warunkowego odchylenia standardowego uzyskana przy użyciu sieci MDN

Przydatne mogą też być informacje dotyczące oceny położenia granicy między terenem odpowiadającym wymaganiom standardów oraz obszarami niespełniającymi tego warunku. Ze względu na krótkodystansową zmienność przestrzenną uzasadnione może być wykorzystanie modelu regresyjnego dostarczonego przez sieć MDN.

Rysunek 4 ilustruje oszacowanie, na podstawie 1030 punktów opróbowania, średniej koncentracji chromu w glebach wokół zakładu przemysłowego. Znaczna zmienność przestrzenna utrudnia dokładne wyznaczenie granic terenu wypełniającego standard. Pomocne jest zatem oszacowanie lokalnego odchylenia standardowego (rys. 5).

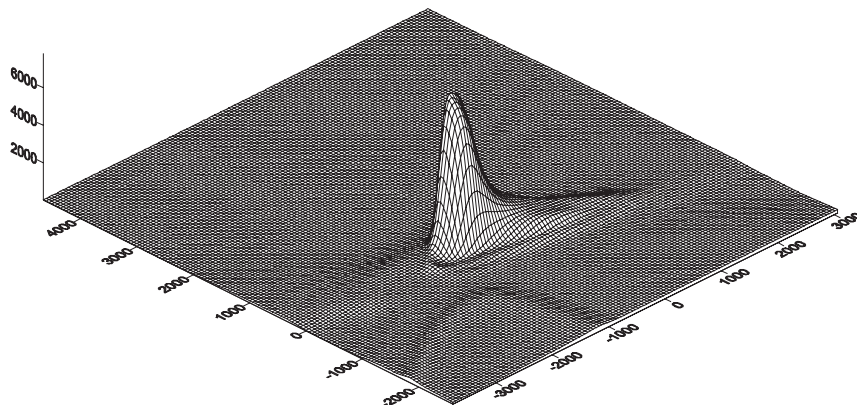


Rys. 3. Pseudotrójwymiarowa wizualizacja współczynnika zmienności v [%], oszacowania zawartości Cr w glebach

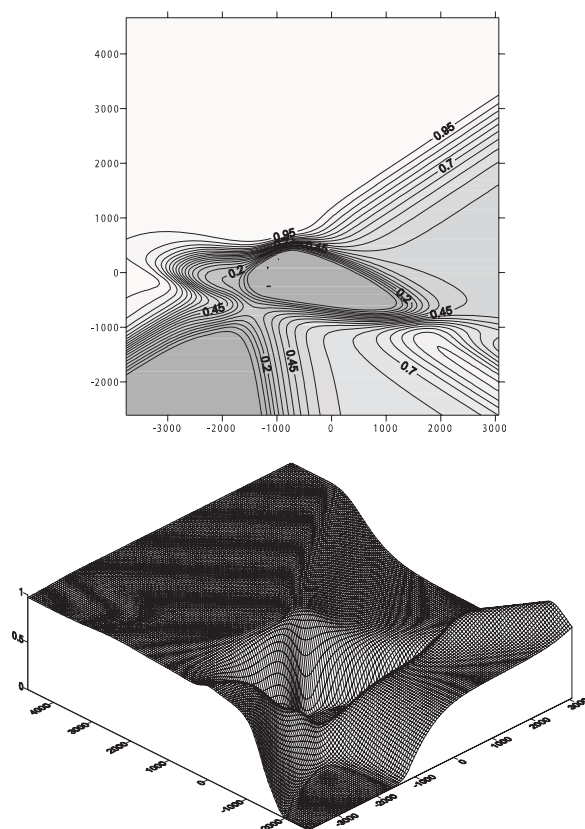


Rys. 4. Wartości oczekiwane zawartości Cr w warstwie 0÷30 cm gleb oszacowane za pomocą modelu MDN

Rysunek 5 prezentuje oszacowanie lokalnego odchylenia standardowego, obliczonego na podstawie uzyskanego modelu. Model umożliwia też oszacowanie lokalnego rozkładu, co pozwala z kolei na bardziej zaawansowaną analizę zróżnicowania przestrzennego, w tym ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia standardu w otoczeniu zakładu.



Rys. 5. Oszacowanie lokalnego odchylenia standardowego od wartości średnich modelu MDN zawartości Cr w warstwie 0÷30 cm w glebach



Rys. 6. Oszacowanie, na podstawie modelu MDN, prawdopodobieństwa koncentracji Cr w warstwie 0÷30 cm w glebach, poniżej górnej wartości dopuszczalnego poziomu stężenia

Rysunek 6 przedstawia uzyskane z modelu MDN oszacowanie prawdopodobieństw normatywnego poziomu zawartości Cr w 30-centymetrowej warstwie gleb.

7. Podsumowanie

Wykorzystanie tradycyjnej dokumentacji kartograficzno-glebowej i siedliskowej do zadań związanych z oceną skutków przedsięwzięć, planów i programów wymaga odpowiedniej jej adaptacji, w celu wydobycia informacji przydatnych w prognozowaniu. Bardzo pomocne może być uzupełnienie, dość ograniczonych merytorycznie, informacji zawartych w treściach map o elementy morfologii terenu, hydrografii itp. Operacji tej można dokonać, wykorzystując pakiety informacji przestrzennej, które dodatkowo pozwalają na realizację analiz ilościowych, niedostępnych w tradycyjnej technice prognozowania. Możliwe jest identyfikowanie współzależności między elementami morfologii, hydrologii i hydrografii a cechami i walarami gleb.

Wartość informacyjna tradycyjnej dokumentacji nie wystarcza najczęściej do poprawnego określenia stopnia zagrożeń przekształceniami natury chemicznej. Trudne do identyfikacji są takie cechy, jak: kwasowość, stopień zbuforowania, potencjał oksydacyjno-redukcyjny, struktura kompleksu sorpcyjnego i inne elementy istotne z punktu widzenia potencjalnego zagrożenia. Być może użyteczna byłaby eksploracja danych nagromadzonych w różnych instytucjach zajmujących się monitoringiem i badaniami gleb, w celu określenia relacji między treścią dokumentacji kartograficzno-glebowej a niektórymi ilościowymi wskaźnikami potencjalnych zagrożeń gleb, których znajomość jest niezbędna we współczesnym prognozowaniu skutków przekształceń.

Znaczna zmienność przestrzenna koncentracji zanieczyszczeń wymaga doskonalszych narzędzi analizy przestrzennego rozkładu zanieczyszczeń niż zaawansowane nawet metody interpolacji. W szczególności jest to istotne przy ocenie zagrożeń w rejonach o wysokiej koncentracji zanieczyszczeń w glebach, co ma bezpośredni związek z ustaleniem granic terenów różniących się standardem czystości.

Literatura

- [1] Baja S., Chapman D.M., Dragovich D.: *A conceptual model for defining and assessing land management units using a fuzzy modeling approach in gis environment*. Environmental Management, 29(5), April 2002, 647–661
- [2] Bishop C.M.: *Mixture density networks*. Raport instytutowy NCRG/94/004, 1994. Dostępne na: citeseer.ist.psu.edu/bishop94mixture.html

- [3] Bowman M.H.: *Mapping freely available high resolution global elevation and vector data in grass*. GRASS-News, June 2005, 3, 7–10
- [4] Cornford D., Nabney I.T., Bishop C.M.: *Neural network based wind vector retrieval from satellite scatterometer data*. Neural Computing and Application, 8, 1999, 206–217
- [5] Duch W., Diercksen G.H.F.: *Feature space mapping as a universal adaptive system*. Computer Physics Communications, 87(16), 1994, 341–371
- [6] Duch W., Setiono R., Żurada J.M.: *Computational intelligence methods for rule-based data understanding*. Proceedings of the IEEE, 92(5), May 2004, 771–805
- [7] Goldberg P.W., Williams C.K.I., Bishop C.M.: *Regression with input-dependent noise: A gaussian process treatment*. [w:] Jordan M.I., Kearns M.J., Solla S.A. (red.), Advances in Neural Information Processing Systems, vol. 10, The MIT Press 1998. Dostępne na: citeseer.ist.psu.edu/article/goldberg98regression.html
- [8] Groenemans R., Ranst E.V., Kerre E.: *Fuzzy relational calculus in land evaluation*. Geoderma, 77, February 1997, 283–298
- [9] Gruszczyński S.: *Ocena zagrożenia gleb w rejonach górniczych za pomocą sztucznych sieci neuronowych*. Geoinformatica Polonica, 1 (1), 1999, 45–62
- [10] Gruszczyński S.: *Symulacja skutków przekształceń gleb na terenach górniczych za pomocą klasyfikatorów neuronowych*. Kraków, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH 2000
- [11] Gruszczyński S.: *Szkody górnicze na terenach użytkowanych przyrodniczo – niektóre problemy dokumentowania, prognozy i oceny*. Prace Naukowe GIG, 2002, 167–172
- [12] Gruszczyński S.: *Raport merytoryczny z realizacji projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych 9 T 12E 016 18 pt. „Prognozowanie przyrodniczych skutków odtworzenia układu hydrologiczno-glebowego w otoczeniu likwidowanych zakładów górniczych”*, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, luty 2003
- [13] Gruszczyński S., Żuławski C.: *Dokumentowanie szkód wywołanych osuszeniem gleb*. Zeszyty Naukowe AGH, Sozologia i Sozotechnika, 37, 1993
- [14] Kowalkowski A., Borzyszkowski J.: *Badania nad związkami między morfologią powierzchni ziemi a strukturą pokrywy glebowej*. Roczniki Gleboznawcze, XXVIII (3–4), 1977, 3–18
- [15] Krajewski R., Skawina T., Żuławski C.: *Hydrogeologiczno-glebowa metoda szacowania szkód w użytkach rolnych, wywołanych osuszającą działalnością górniczą*. Ochrona Terenów Górniczych, 9, 1969

- [16] Łachwa A.: *Rozmyty świat zbiorów, liczb, relacji, faktów, reguł i decyzji*. [w:] Problemy Współczesnej Nauki. Teoria i Zastosowania. Informatyka, Kraków, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT 2001
- [17] McBratney B., Odeh I.O.: *Application of fuzzy sets in soli science: fuzzy logic, fuzzy measurments and fuzzy decisions*. Geoderma, 77, February 1997, 85–113
- [18] Neteler M.: *SRTM and Vmap0 data in OGR and GRASS*. GRASS-News, 3, 2–6, June 2005
- [19] Nortcliff S.: *Standarisation of soil quality attributes*. Agriculture, Ecosystems and Environment, 88, 2002, 161–168
- [20] Nowicka E., Opryszek Z.: *Ocena metod opróbowania gruntów w celu określenia obciążenia gleb metalami ciężkimi*. Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza, czerwiec 2000 (praca magisterska)
- [21] Oberguggenberger M., Fellin W.: *Probabilistics in GeoTechnics: Technical and Economic Risk Estimation*. Rozdział 1: From probability to fuzzy sets: the struggle for meaning in geotechnical risk assessment, 29–38. [w:] Pöttler R., Klapperich H., Schweiger H.F. (red.), Essen, United Engineering Foundation, Verlag Glückauf GmbH 2002
- [22] Rossiter D.G.: *Methodology for soil resource inventories*. 2nd revised version. Raport instytutowy, Internmational Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences (ITC). Lecture Notes & Reference, Ensched, the Netherlands, March 2000
- [23] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 września 2002 r. w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi. Dz.U. nr 165, poz. 1359, 2002
- [24] Skawina T.: *Ochrona gleb*. Zeszyty Naukowe AGH, Sozologia i Sozotechnika, 1, 197, 187–108
- [25] Skawina T., Trafas M., Żuławski C.: *Klasyfikacja stosunków wodnych gleb dla potrzeb oceny i prognozowania szkód górniczych*. Puławy, Wydawnictwa PTG 1972
- [26] Tadeusiewicz R.: *Sieci neuronowe*. [w:] Problemy Współczesnej Nauki i Techniki. Informatyka, Warszawa, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM 1993
- [27] Trafas M.: *Technologia prowadzenia badań i kartograficznego opracowania wyników dotyczących skażenia gleb w rejonach przemysłowych*. Raport końcowy z realizacji projektu badawczego KBN 8 T 12E 007 20, Kraków, Akademia Górniczo-Hutnicza 2004
- [28] Weigend A., Nix D.: *Predictions with confidence intervals (local error bars)*. 1994. Dostępne na: citeseer.ist.psu.edu/weigend94predictions.html
- [29] Zadeh L.A.: *Fuzzy sets*. Information and Control, 8 (3), June 1965, 338–353

-
- [30] Zhu A.-X., Hudson B., Burt J., Lubich K., Simonson D.: *Soil mapping using GIS, expert knowledge, and fuzzy logic*. Soil Science Society of America Journal, 65 (1), September – October 2001, 1463–1472
- [31] Żurada J., Barski M., Jędruch W.: *Sztuczne sieci neuronowe*. Warszawa, Wydawnictwo Naukowe PWN 1996