

WSTĘP

Rozwój zasobów technologicznych i możliwości obliczeniowych, technik teledetekcyjnych, systemów geoinformacyjnych i bazodanowych, technik analizy danych oraz metod geostatystycznych stymuluje rozwój nauk środowiskowych, w tym gleboznawstwa. Poza rozwojem gleboznawstwa czynniki te prowadzą również do zmian w podejściu do wiedzy o pedosferze, a także wzrostu znaczenia wiedzy ilościowej nad wiedzą jakościową (McBratney i in. 2000). Począwszy od lat 60. ubiegłego wieku tradycyjne gleboznawstwo w coraz większym stopniu posiłkuje się kryteriami ilościowymi (np. poziomy, cechy i kryteria diagnostyczne, parametryzacja charakterystyk glebowych, standardy ilościowe w kartografii gleboznawczej, a ostatnio modelowanie procesów pedogenetycznych). Wzrasta także znaczenie szeroko rozumianej pedometrii, tj. zastosowania metod matematycznych i statystycznych do ilościowego opisu oraz modelowania gleb w badaniach nad ich rozmieszczeniem i genezą (por. Heuvelink 2003), obejmującej charakterystyki ilościowe oraz jakościowe i stanowiącej wyraźne uzupełnienie tradycyjnie pojmowanego gleboznawstwa. Przy braku zmierzonej wartości określonej charakterystyki gleby (w odniesieniu do poziomu glebowego, całego profilu lub jednostki kartograficznej) jej wartość jest najczęściej estymowana lub przyjmowana przez analogię na podstawie wiedzy ogólnogleboznawczej. Jednakże, aby takie „uzupełnienia” brakujących danych dostarczały wiarygodnych wartości niezbędnych parametrów, należy wypracować reguły estymacji poprzez wskazanie optymalnych estymatorów, wyrażonych matematycznie lub graficznie zależności między estymowaną wielkością i estymatorem (estymatorami) z określeniem wielkości szacowanego błędu estymacji. Brak zweryfikowanych zasad estymacji nieznanych wartości charakterystyk glebowych znacząco ogranicza precyzję coraz częściej stosowanych modeli numerycznych, analiz na bazie GIS oraz interpretacji zgromadzonych zasobów bazodanowych (por. mapy European Soil Bureau 2004).

Właściwości hydrauliczne gleb można zmierzyć bezpośrednio w terenie lub w laboratorium (w próbkach objętościowych o nienaruszonej strukturze). Wysokie koszty oraz czasochłonność specjalistycznych analiz sprawiają, że badania te są wykonywane w ograniczonym zakresie i często brakuje odpowiednich danych pomiarowych. Dlatego od wielu lat rozwijane są metody pośredniego wyznaczania krzywych wodnej retencyjności gleb oraz współczynnika filtracji przy użyciu tzw. *funkcji pedotransferu (PTF; Bouma, van Lanen 1987)*. W metodach tych wykorzystywane są zależności między łatwo i rutynowo oznaczanymi właściwościami gleb (charakterystykami składu granulometrycznego, zawartością węgla organicznego, gęstością gleby) a cechami, do oznaczenia których wymagana jest specjalistyczna

aparatura pomiarowa (wilgotność gleby przy określonej wielkości potencjału matrycowego, współczynnik filtracji wody w glebie, opór mechaniczny itp.). W porównaniu z metodami bezpośrednimi zastosowanie pośrednich metod wyznaczania właściwości hydraulicznych gleb pozwala na znaczną redukcję kosztów związanych z uzyskaniem niezbędnych informacji przy niewielkim wzroście niedokładności (Minasny, McBratney 2002a).

Dotychczas opublikowano wiele *PTF* służących do wyznaczania parametrów krzywej wodnej retencyjności gleb (m.in.: Vereecken i in. 1989; Scheinost i in. 1997; Mayr, Jarvis 1999; Wösten i in. 1999; Schaap i in. 2001; Minasny i in. 1999; Minasny, McBratney 2001) oraz współczynnika filtracji (m.in.: Ahuja i in. 1984; Cosby i in. 1984; Saxton i in. 1986; Vereecken i in. 1989; Jabro 1992; Minasny, McBratney 2000, 2002b; Schaap i in. 2001). Przeprowadzono wiele analiz przydatności i dokładności opublikowanych *PTF* w różnych warunkach glebowych (dla krzywej wodnej retencyjności *KWR* – Imam i in. 1999; Cornelis i in. 2001; Ungaro, Calzolari 2001; dla K_s – Tietje i Hennings 1996; Minasny, McBratney 2000). Z analiz tych wynikają różne ograniczenia w stosowalności poszczególnych *PTF* oraz brak jednego uniwersalnego rozwiązania. Wykazano także konieczność weryfikacji *PTF* przed ich zastosowaniem w określonych warunkach glebowych oraz celowość opracowywania lokalnych rozwiązań *PTF*, które w określonych warunkach są dokładniejsze aniżeli *PTF* adaptowane z literatury.

Oznaczona lub estymowana krzywa wodnej retencyjności dostarcza informacji uwzględnianych w różnych dziedzinach nauki o środowisku (Rawls i in. 1991; Pachepsky, Rawls 1999; Zeiliguer i in. 2002), na przykład w:

- ocenie potencjalnych zdolności retencji wody dostępnej dla roślin – w modelach hydraulicznych służących do prognozowania zmian właściwości retencyjnych gleb w różnych systemach uprawy i użytkowania,
- hydrologii, gdzie ze współczynnikiem filtracji służy do rozdziału opadu na spływ powierzchniowy oraz wodę infiltrującą w głąb profilu, która może być wykorzystana przez rośliny w procesie ewapotranspiracji,
- agronomii, uwzględniana przy planowaniu zagospodarowania ziemi, szczególnie podczas projektowania nawodnień i stosowania środków chemicznych,
- meteorologii, kiedy dane o wilgotności wierzchniej warstwy gleby są niezbędne do bilansowania strumieni ciepła (energii),
- hydrologii zanieczyszczeń oraz geochemii, gdzie właściwości hydrauliczne gleb w strefie nienasyconej, w tym *KWR*, służą do wstępnego oszacowania transportu zanieczyszczeń.

Dla gleb z obszaru Polski nie opracowano kompleksowych metod estymacji krzywych wodnej retencyjności gleb oraz współczynnika filtracji w stanie nasyconym i nienasyconym, nie przeprowadzono też gruntownej analizy błędów estymacji tych charakterystyk przy użyciu publikowanych *PTF*. Analizy takie wykonano natomiast na niewielkich, lokalnych zbiorach danych. Zawadzki (1970) zaprezentował równanie do wyznaczania połowej pojemności wodnej na podstawie porowatości całkowitej. Przedstawił również zależność między wilgotnością trwałego więdnięcia i powierzchnią właściwą gleby (Zawadzki i in. 1971; Zawadzki, Michałowska

1974). Empiryczne formuły wyznaczania charakterystycznych wilgotności gleb na podstawie uziarnienia i zawartości materii organicznej zaprezentował Trzecki (1974). Walczak (1984), na podstawie zbioru 39 poziomów glebowych, opracował zależność do wyznaczania wilgotności gleb przy określonej wielkości potencjału matrycowego, uwzględniając średnią geometryczną wielkość ziaren, gęstość oraz powierzchnię właściwą gleby. Witkowska-Walczak i in. (2002) przedstawili model zbliżony do modelu Walczaka (1984), wprowadzając procentowy udział różnych wielkości wodotrwałych agregatów. Na dużym zbiorze średnio- oraz drobnoziarnistych mad i czarnych ziem ($n = 178$) Cieśliński i in. (1988) opracowali równania estymacji wilgotności gleb przy różnych wielkościach potencjału matrycowego (9,8; 31; 246 i 1550 kPa) na podstawie uziarnienia, zawartości próchnicy oraz gęstości gleby. Dla utworów torfowych i murszowych z Doliny Biebrzy Gnatowski (2001) zaprezentował ciągły parametryczny model estymacji właściwości hydraulicznych w formie zależności między parametrami równania van Genuchtena-Mualema a gęstością gleby i popielnością. Gnatowski i in. (2009) przedstawili klasowy model estymacji właściwości hydraulicznych różnych utworów torfowych. Podejmowane są także próby opracowania modelu estymacji *KWR* na podstawie ogólnopolskiego zbioru danych glebowych (Lamorski i in. 2008). Ocenę przydatności publikowanych *PTF* do estymacji właściwości retencyjnych gleb z obszaru Polski przedstawili Walczak i in. (2002b, 2004), oceniając dokładność punktowych modeli Gupty-Larsona oraz Rawlsa na małym zbiorze danych. Ocenę błędów estymacji polowej pojemności wodnej, wilgotności trwałego wędnięcia oraz wody dostępnej dla roślin w glebach Wielkopolski ($n = 167$) dla wielu publikowanych *PTF* zaprezentował Kaźmierowski (2007).

W zakresie estymacji współczynnika filtracji analizy na małych zbiorach danych przeprowadzili: Dobrzański, Witkowska-Walczak (1981), Kaszubkiewicz, Giedroń (1993), Kaszubkiewicz i in. (2001), Jadczyzyn, Niedźwiecki (2005) oraz Niedźwiecki i in. (2006). Na większych zbiorach danych ($n > 30$) analizy takie wykonali: Sławiński i in. (2004), Kaźmierowski i in. (2006) oraz Spychalski i in. (2004, 2007). Sławiński (2003) na dużym zbiorze danych ($n = 415$) opracował model estymacji przewodności hydraulicznej w stanie nasyconym i nienasyconym przy określonych wartościach potencjału wody glebowej. W modelu tym jednym z estymatorów jest wielkość powierzchni właściwej gleb (*SA*), co ogranicza szersze jego zastosowanie, bowiem charakterystyka ta nie jest powszechnie oznaczana w badaniach gleboznawczych, natomiast zgeneralizowana informacja o przestrzennym zróżnicowaniu powierzchni właściwej gleb Polski (Stawiński i in. 2000) nie spełnia kryteriów dokładności wymaganych przy estymacji właściwości hydraulicznych określonych poziomów glebowych.

Właściwości hydrauliczne gleb kształtują warunki przepływu i retencji wody oraz rozpuszczonych w niej związków we wszystkich ekosystemach lądowych. Na podstawie *KWR* możliwe jest wyznaczenie rezerwy retencji wody potencjalnie dostępnej dla roślin, wielkości istotnej przy planowaniu użytkowania gleb, stabilizacji wielkości plonów oraz przy projektowaniu nawodnień i stosowaniu środków chemicznych. W hydrogeologii zanieczyszczeń oraz geochemii właściwości hydrau-

liczne gleb służyć między innymi do oszacowania prędkości transportu zanieczyszczeń. W analizach tych niezbędna jest wiedza o przewodności hydraulicznej gleb w stanie nasyconym i nienasyconym, a charakterystyki te można oszacować na podstawie krzywej wodnej retencyjności gleby. Celem prezentowanych badań zatem było sformułowanie zależności umożliwiających pośrednie oszacowanie właściwości hydraulicznych gleb Niżu Polskiego – krzywej wodnej retencyjności (*KWR*), wody dostępnej dla roślin (*WDR*), współczynnika filtracji w glebie nasyconej wodą (*K_s*) oraz wszechstronna ocena dokładności estymacji tych charakterystyk z zastosowaniem wielu statystycznych miar dokładności i efektywności modelowania. Dokładność estymacji właściwości hydraulicznych gleb przy użyciu opracowanych zależności porównano z wynikami otrzymanymi z zastosowaniem modeli opisanych w literaturze; wszystkie modele przetestowano i porównano na niezależnych zbiorach danych, wskazując warunki brzegowe stosowalności*.

* Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005–2008 jako projekt badawczy P04G 09428.