

WPLYW GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ NA WSPÓŁCZYNNIK FILTRACJI GLEB W ZLEWNI JEZIORA STRYKOWSKIEGO

Marcin Hahnel, Marek Spychalski

Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. Na podstawie analizy 69 prób gleby o strukturze nienaruszonej, pobranych z 18 poziomów genetycznych z 4 profili glebowych, badano wpływ gęstości objętościowej na współczynnik filtracji gleb. Stwierdzono istnienie odmiennych zależności między tymi właściwościami dla utworów gliniastych i piaszczystych. Określono odpowiednie równania regresji i przedstawiono ich charakterystyki statystyczne. Wartości współczynnika filtracji pochodzące z bezpośrednich pomiarów porównano z wartościami współczynnika filtracji obliczonymi za pomocą modelu Rosetta. Model ten dostarczył zadowalających wyników jedynie w przypadku utworów gliniastych. Badania potwierdziły celowość poszukiwania lokalnych współzależności między podstawowymi, łatwo mierzalnymi parametrami gleby a jej parametrami hydraulicznymi.

Słowa kluczowe: współczynnik filtracji, gęstość objętościowa gleby suchej

WSTĘP

Jednym z najważniejszych parametrów hydraulicznych gleby jest jej współczynnik filtracji. Parametr ten ma duże znaczenie w modelowaniu przepływów wody w glebie, projektowaniu zabiegów odwadniających i nawadniających w rolnictwie oraz w wielu zagadnieniach związanych z kształtowaniem i inżynierią środowiska.

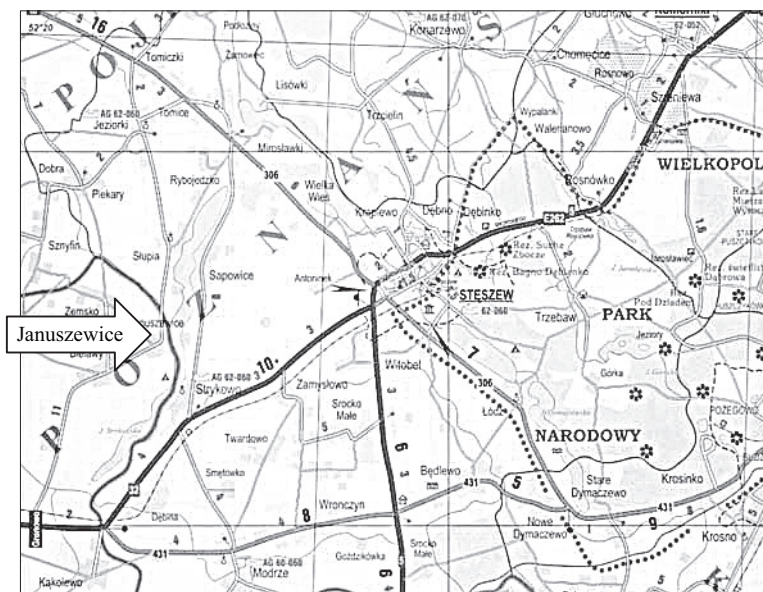
Ze względu na dużą pracochłonność i czasochłonność, a także wysokie koszty bez-pośrednich metod pomiaru współczynnika filtracji (zarówno laboratoryjnych, jak i terenowych) coraz większego znaczenia nabierają metody pośredniego szacowania wartości tego współczynnika. Wiadomo, że wiąże się ona bezpośrednio z porowatością całkowitą i rozkładem porów w glebie [Gerke i van Genuchten 1993, Schaap i in. 1998], a pośrednio z uziarnieniem i gęstością objętościową gleby. W ostatnich latach pojawiło się wiele prac dotyczących związku między porowatością drenażową, rozumianą jako

suma makro- i mezoporów glebowych, a współczynnikiem filtracji wody w glebie [Ahuja i in. 1989, Minasny i McBratney 2000, Spychalski i in. 2004]. Równolegle rozwijają się poszukiwania zależności między gęstością objętościową gleby suchej a współczynnikiem filtracji gleby [Schaap 2000, Spychalski i Hahnel 2005].

Niniejsza praca miała na celu określenie związku między gęstością objętościową wybranych utworów glebowych w zlewni jeziora Strykowskiego a ich współczynnikami filtracji.

MATERIAŁ I METODY

Badania wykonano na terenie obiektu położonego we wsi Januszewice (gmina Granowo, powiat grodziski, woj. wielkopolskie), w zlewni Jeziora Strykowskiego, w odległości ok. 32 km na południowy zachód od Poznania (rys. 1). Teren badań znajduje się w południowej części Pojezierza Poznańskiego, na płaskiej wysoczyźnie morenowej, w obrębie osadów moreny dennej fazy leszczyńskiej zlodowacenia bałtyckiego, w bezpośrednim sąsiedztwie subglacialnej ryny Jeziora Strykowskiego [Kondracki 1978, Starkel 1980].



Rys. 1. Lokalizacja obiektu badań

Fig. 1. Location of research area

Strukturę pokrywy glebowej scharakteryzowano na podstawie analizy archiwalnych materiałów kartograficznych, interpretacji zdjęć lotniczych oraz kilkudziesięciu wierceń rozpoznawczych. Z poszczególnych poziomów genetycznych badanych gleb pobrano próby objętościowe do oznaczenia współczynnika filtracji oraz gęstości objętościowej gleby suchej. Badaniem objęto 69 prób o strukturze nienaruszonej, pobranych z 18 poziomów genetycznych z 4 profili glebowych. Ponadto pobrano próby o naruszonej strukturze do oznaczenia uziarnienia gleb i ich wybranych właściwości fizycznych.

Współczynnik filtracji oznaczono metodą stałego spadku [Klute i Dirksen 1986], w czterech powtórzeniach dla każdej próby. Gęstość objętościową oznaczono w cylindrach o objętości 100 cm³ (cztery powtórzenia), a gęstość stałej fazy gleby – metodą piknometryczną (cztery powtórzenia). Na podstawie zmierzonych gęstości wyliczono porowatość całkowitą gleby. Uziarnienie gleb oznaczono za pomocą analizy sitowej i areometrycznej według normy PN-R-04032:1998.

Wartość współczynnika determinacji (R^2) badanych współzależności określono ze wzoru [Lin i in. 1999]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \mu_o)^2 - \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \mu_p)^2}$$

gdzie:

- O_i – wartości zmierzone,
- P_i – wartości przewidywane,
- μ_o – średnia wartość zmierzona,
- μ_p – średnia wartość przewidywana,
- n – liczba danych.

Geometryczny średni błąd ($GMER$) stosunku wartości przewidywanych (P_i) do zmierzonych (O_i) wyliczono ze wzoru [Tietje i Hennings 1996]:

$$GMER = \exp \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \left(\frac{P_i}{O_i} \right) \right)$$

Do obliczenia odchylenia standardowego ($GSDER$) stosunku wartości przewidywanych do zmierzonych wykorzystano wzór [Tietje i Hennings 1996]:

$$GSDER = \exp \left[\left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left[\ln \left(\frac{P_i}{O_i} \right) - \ln(GMER) \right]^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Do ustalenia optymalnej liczby parametrów w modelu zastosowano kryterium AIC opisane wzorem [Akaike 1973]:

$$AIC = n \ln \left(\sum_{i=1}^n (\ln O_i - \ln P_i)^2 \right) + 2n_p$$

gdzie:

- n – liczba danych,
- n_p – liczba parametrów.

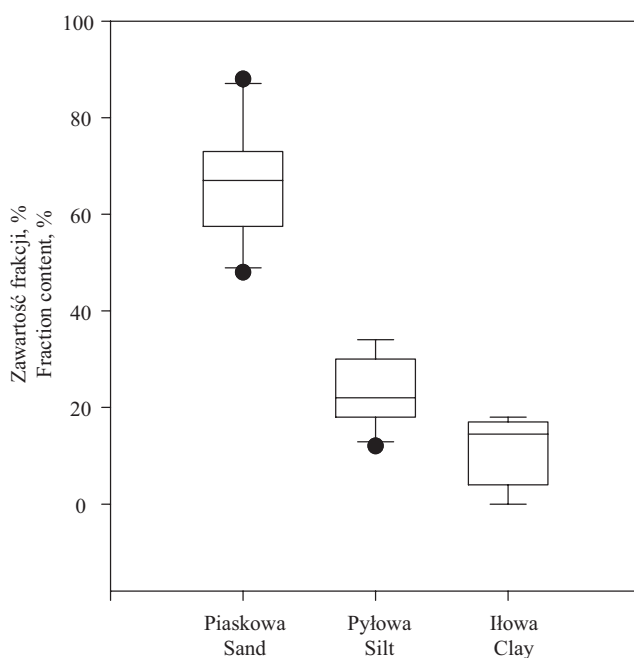
Błąd standardowy modelu ($RMSR$) wyliczono według wzoru [Titje i Tapekenhinrichs 1993]:

$$RMSR = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}$$

WYNIKI

Na badanym terenie dominują gleby płowe zaciekowe wytworzone z glin zwałowych zlodowacenia bałtyckiego o uziarnieniu gliny piaszczystej. Są one silnie spiaszczone w przypowierzchniowych warstwach próchnicznych oraz lokalnie w poziomach eluwialnych, w których mają uziarnienie od piasków do piasków gliniastych. Podobnym uziarnieniem cechują się czarne ziemie zbrunatniałe, występujące w obniżeniach terenu wraz z glebami płowymi, a powstałe z glin piaszczystych.

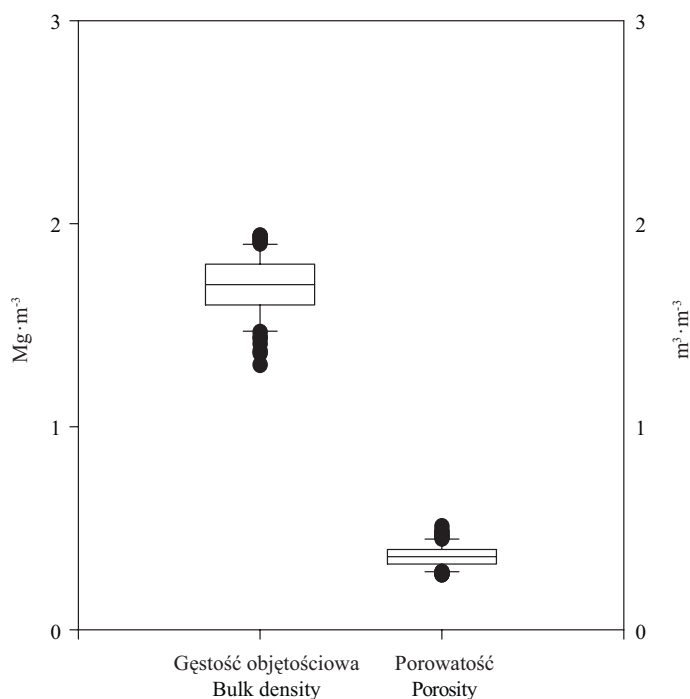
W pobliżu basenu jeziora Strykowskiego występują gleby murszaste o uziarnieniu piasków (rys. 2). Można przypuszczać, że genetycznie gleby te są związane z dolinowymi osadami fluwioglacjalnymi rynny jeziornej, co tłumaczyłoby ich odmienny charakter. Potwierdzają to również badania właściwości fizycznych.



Rys. 2. Charakterystyka uziarnienia gleb
Fig. 2. Textural characterisation of soils

Gęstość objętościowa gleby suchej była bardzo silnie zróżnicowana – kształtowała się w zakresie od 1,30 do 1,94 $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ (rys. 3). Parametr ten przyjmował najwyższe wartości w zalegającej stosunkowo płytko (0,38 m) warstwie gliny piaszczystej. Wskazuje to na występowanie efektu „podeszwy płuźnej”. Gleby murszaste charakteryzowały się najbardziej wyrównanymi wartościami gęstości objętościowej, wynoszącymi od 1,46 do 1,65 $\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$.

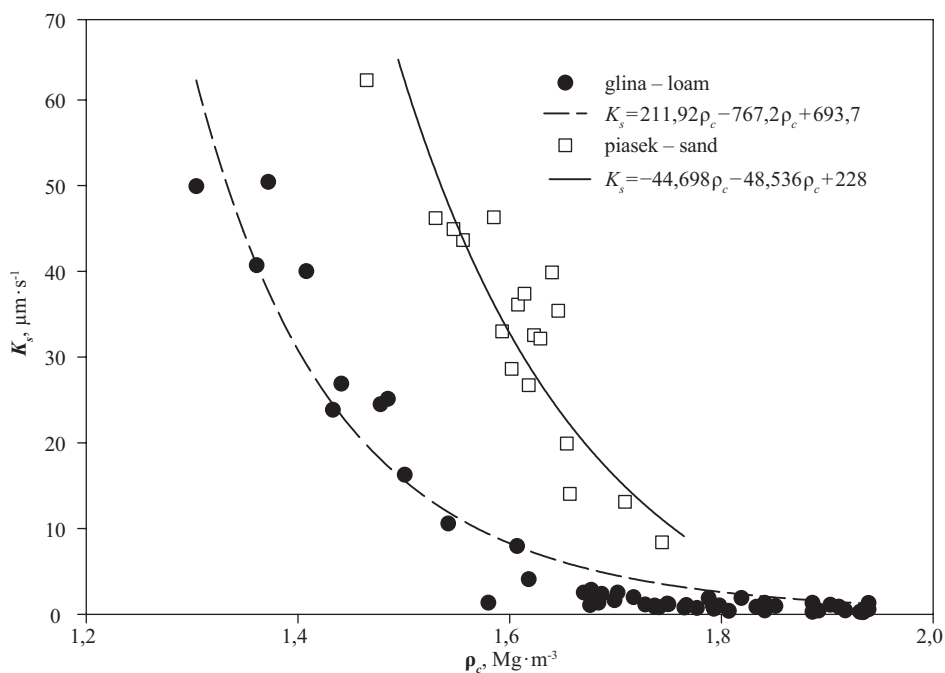
Z dużym zróżnicowaniem gęstości objętościowej gleby suchej wiązało się również znaczne zróżnicowanie porowatości całkowitej gleb, która mieściła się w przedziale od 0,27 do 0,51 $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.



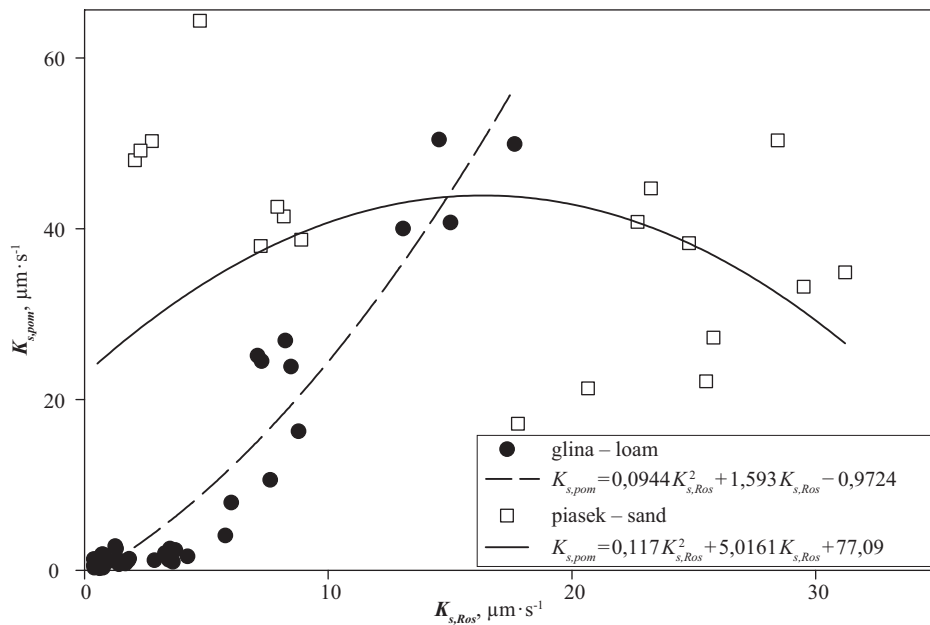
Rys. 3. Charakterystyka gęstości objętościowej i porowatości całkowitej gleb
 Fig. 3. Bulk density and total porosity of soils

Analiza wpływu gęstości objętościowej na wartość współczynnika filtracji gleb wykazała, że w obrębie badanego zbioru danych wyraźnie zarysowują się dwa podzbiory odpowiadające utworom gliniastym i utworom piaszczystym (rys. 4). Wyniki analizy statystycznej dla obu podzbiorów były zadowalające (tab.). Na szczególną uwagę zasługują bardzo wysokie współczynniki determinacji (R^2) i niskie wartości błędu oszacowania ($RMSR$).

Wyniki bezpośrednich pomiarów współczynnika filtracji porównano z wynikami obliczeń wykonanych z zastosowaniem modelu Rosetta [Schaap 2000]. W obliczeniach wykorzystano wariant z danymi: uziarnieniem i gęstością objętościową gleby suchej. Porównanie (rys. 5, tab.) wykazało, że model Rosetta dostarczył satysfakcjonujących wyników w przypadku utworów gliniastych (wysoki współczynnik determinacji, niewielkie niedoszacowanie i niewielka miara błędu). W przypadku utworów piaszczystych natomiast uzyskano bardzo niski współczynnik determinacji, wskazujący na bardzo słabą korelację między wartościami zmierzonymi a oszacowanymi na podstawie modelu (rys. 5, tab.). Może to wynikać z dużego zróżnicowania badanego podzbioru prób piaszczystych, do którego włączono zarówno wierzchnie poziomy gleb płowych o uziarnieniu od piasków do piasków gliniastych, jak i piaski dolinowe gleb murszastych położone w obszarze subglacialnej rynny jeziornej.



Rys. 4. Zależność między współczynnikiem filtracji (K_s) a gęstością objętościową gleby suchej (ρ_c)
 Fig. 4. Relationship between saturated hydraulic conductivity (K_s) and bulk density of soil (ρ_c)



Rys. 5. Zależność między wartościami współczynnika filtracji uzyskanymi z bezpośrednich pomiarów ($K_{s,pom}$) a wartościami oszacowanymi za pomocą modelu Rosetta ($K_{s,Ros}$)
 Fig. 5. Relationship between saturated hydraulic conductivity measured ($K_{s,pom}$) and estimated using Rosetta model ($K_{s,Ros}$)

Tabela. Równania regresji badanych zależności i ich charakterystyka statystyczna
 Table. Regression equations describing relationships under study and their statistical characterisation

Grupa granulometryczna Textural class	Równanie regresji Regression equation	R^2	$GMER$	$\pm GSDER$	AIC	$RMSR \ln \mu m \cdot s^{-1}$
Gliny Loams	$K_s = 211,92\rho_c^2 - 767,2\rho_c + 693,7$	0,955	1,646	$\pm 5,135$	256,344	1,695
Piaski Sands	$K_s = -44,698\rho_c^2 - 48,536\rho_c + 228$	0,826	1,018	$\pm 1,234$	-2,979	0,205
Gliny Loams	$K_{s,pom} = 0,117K_{s,Ros}^2 + 5,0161K_{s,Ros} + 77,09$	0,921	0,870	$\pm 8,244$	271,454	2,093
Piaski Sands	$K_{s,pom} = 0,0944K_{s,Ros}^2 + 1,593K_{s,Ros} - 0,9724$	0,440	0,536	$\pm 2,564$	57,708	1,108

R^2 – współczynnik determinacji – coefficient of determination, $GMER$ – średni błąd geometryczny – geometric mean of error ratio, $GSDER$ – geometryczne odchylenie standardowe – geometric standard deviation of error ratio, AIC – kryterium informacyjne Akaie – Akaike information criterion, $RMSR$ – błąd standardowy modelu – root mean squared residuals, K_s – współczynnik filtracji gleby – saturated hydraulic conductivity of soil, ρ_c – gęstość objętościowa gleby – bulk density of soil, $K_{s,pom}$ – K_s zmierzony – K_s measured, $K_{s,Ros}$ – K_s obliczony za pomocą modelu Rosetta – K_s calculated from Rosetta model

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wpisują się w nurt studiów nad możliwościami szacowania wartości współczynnika filtracji gleb na podstawie wyników oznaczania standartowych i łatwo mierzalnych parametrów gleby, takich jak uziarnienie i gęstość objętościowa. Zagadnieniem tym zajmowali się m.in. Jabro [1992], Rawls i inni [1992], Espino i inni [1996] oraz Schaap [1999]. Wyniki wielu badań [Forrest i in. 1985, Ahuja i in. 1989, Franzmeier 1991, Bristow i in. 1999, Minasny i McBratney 2002] wskazują, że stosunkowo dużą dokładność oszacowania zapewniają formuły oparte na związku między porowatością drenażową a współczynnikiem filtracji. Mankamentem tego rodzaju rozwiązań jest jednak konieczność określenia porowatości drenażowej, co wymaga pracochłonnego i kosztownego oznaczenia krzywej wodnej retencyjności gleby. Dlatego poszukuje się modeli opisanych równaniami, do rozwiązania których wystarcza znajomość uziarnienia i gęstości objętościowej gleby. Jak stwierdzili Kaźmierowski i inni (praca w druku), spośród dotychczas wykorzystywanych modeli najdokładniejszych wyników dostarcza model Rosetta [Schaap 2000], dlatego użyto go w niniejszej pracy. Porównanie wyników oszacowania współczynnika filtracji za pomocą programu Rosetta z wynikami bezpośrednich pomiarów dowodzi przydatności tego modelu do szacowania wartości współczynnika filtracji w zbiorach genetycznie jednorodnych. W odniesieniu do badanego zbioru oznacza to możliwość zastosowania programu do wszystkich glin zwałowych o uziarnieniu glin piaszczystych.

Ponieważ wykonane badania były oparte na stosunkowo niewielkim zbiorze danych, prezentowane wyniki mają charakter lokalny. Aby na ich podstawie można było wysnuć szersze wnioski, należałoby je zweryfikować poprzez prowadzenie dalszych badań.

WNIOSKI

1. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają celowość poszukiwania lokalnych współzależności między współczynnikiem filtracji a uziarnieniem i gęstością gleby suchej. Zależność ta ma inny charakter w przypadku utworów piaszczystych, a inny – gliniastych.

2. Model Rosetta może być z powodzeniem używany do szacowania wartości współczynnika filtracji gleby w zbiorach genetycznie jednorodnych. W odniesieniu do badanego zbioru oznacza to możliwość jego zastosowania do wszystkich glin zwałowych fazy leszczyńskiej zlodowacenia bałtyckiego o uziarnieniu glin piaszczystych.

PIŚMIENNICTWO

- Ahuja L.R., Cassel D.K., Bruce R.R., Barnes B.B., 1989. Evaluation of spatial distribution of hydraulic conductivity using effective porosity data. *Soil Sci.* 148, 6, 404–411.
- Akaike H., 1973. Information theory and an extension of maximum likelihood principle. 2nd International Symposium on Information Theory, Akademia Kiado, Budapest, 267–281.
- Bristow K.L., Smettem K.R.J., Ross P.J., Ford E.J., Roth C., Verburg, K., 1999. Obtaining hydraulic properties for soil water balance models: Some pedotransfer functions for tropical Australia. *Proceedings of the International Workshop on Characterization and Measurement of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media*, University of California, Riverside, CA, 1103–1120.
- Espino A., Mallants D., Vanclooster M., Feyen J., 1995. Cautionary notes on the use of pedotransfer function for estimating soil hydraulic properties. *Agric. Water Manag.* 29, 235–253.
- Forrest J.A., Beatty J., Hignett C.T., Pickering J.H., Williams R.G.P., 1985. A survey of the physical properties of wheatland soils in eastern Australia. CSIRO Australia Division of Soils, Division Report 78.
- Franzmeier D.P., 1991. Estimation of hydraulic conductivity from effective porosity data for some Indian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 1801–1803.
- Gerke H.H., van Genuchten M.Th., 1993. A dual porosity model for simulating the preferential movement of water and solutes in structured porous media. *Water Res. Res.* 21, 990–996.
- Jabro J.D., 1992. Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution and bulk density data. *Trans. ASAE* 35 (2), 557–560.
- Każmierowski C., Spychalski M., Kaczmarek Z., (w druku). Accuracy of the indirect methods of hydraulic conductivity estimation in selected Wielkopolska soils.
- Klute A., Dirksen C., 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. [W:] *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. Red. A. Klute. Agron. Monogr. 9, ASA and SSSA, Madison, WI.
- Kondracki J., 1978. *Geografia fizyczna Polski*. PWN Warszawa.
- Lin H.S., McInnes K.J., Wilding L.P., Hallmark C.T., 1999. Effects of soil morphology on hydraulic properties. II. Hydraulic pedotransfer functions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 955–961.
- Minasny B., McBratney A.B., 2000. Evaluation and development of hydraulic conductivity pedotransfer functions for Australian soil. *Aust. J. Soil Res.* 38, 905–926.
- Minasny B., McBratney A.B., 2002. Uncertainty analysis for pedotransfer functions. *Eur. J. Soil Sci.* 53, 417–429.
- PN-R-04032:1998 *Gleba i utwory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego*
- Rawls W.J., Ahuja L.R., Brankensiek D.L., 1992. Estimating soil hydraulic properties from soils data. *Proceedings of the International Workshop on Indirect Methods for Estimating the*

- Hydraulic Properties of Unsaturated Soils, University of California, Riverside, CA, 329–340.
- Schaap M.G., 1999. Rosetta. Version 1.1. U.S. Salinity Laboratory ARS-USDA, Riverside, CA, www.ussl.ars.usda.gov/models/rosetta/rosetta.htm
- Schaap M.G., 2000. Rosetta. Version 1.2. U.S. Salinity Laboratory ARS-USDA, Riverside, CA, www.ussl.ars.usda.gov/models/rosetta/rosetta.htm
- Schaap M.G., Leij, F.J., van Genuchten M.Th., 1998. Neural network analysis for hierarchical prediction of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 847–855.
- Spychalski M., Hahnel M., 2005. Wpływ stanu zagęszczenia piasku drobnego ze złoża Wielowieś Klasztorna na wartość współczynnika filtracji. *Rocz. AR Pozn., Melior. Inż. Środ.* 26, 409–418.
- Spychalski M., Kaźmierowski C., Kaczmarek Z., 2004. Możliwości pośredniego oszacowania współczynnika filtracji wody w glebie. *Streszczenia referatów PTG UAM, Poznań*, 48–56.
- Starkel L., 1980. Przeglądowa mapa geomorfologiczna Polski w skali 1 : 500 000. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN Warszawa.
- Tietje O., Hennings V., 1996. Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes. *Geoderma* 69, 71–84.
- Tietje O., Tapekenhinrichs M., 1993. Evaluation of pedo-transfer function. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57, 1088–1095.

EFFECT OF BULK DENSITY ON SATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF SOILS IN STRYKOWSKIE LAKE CATCHMENT

Abstract. An analysis of 69 undisturbed samples, taken from 18 genetic horizons of 4 soil profiles, was made to study the effect of the bulk density of soil on its saturated hydraulic conductivity. The relation between the two parameters for sandy soils was found to differ for that for loamy soils. Regression equations describing both relationships were worked out and characterised statistically. The measured values of saturated hydraulic conductivity were compared with the values computed using the Rosetta model. The model provided satisfactory results only for loamy soils. The studies confirmed the need for further research on local relationships between the basic, easily measured parameters of soil and its hydraulic parameters.

Key words: saturated hydraulic conductivity, bulk density of soil

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 14.03.2007