

POROWATOŚĆ MIESZANIN GLEBY LESSOPODOBNEJ Z PREPARATEM KERATYNO-KORO-MOCZNIKOWYM

Zofia Sokołowska, Mieczysław Hajnos, Patrycja Boguta

Institut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: zosia@maja.ipan.lublin.pl

Streszczenie. W pracy wyznaczono całkowitą objętość porów oraz wymiar fraktalny mieszanin gleby lessopodobnej i preparatu keratyno-koro-mocznikowego (KKM). Pomiary porowatości prowadzono na porozymetrze rtęciowym. Z danych porozymetrycznych obliczono powierzchniowy wymiar fraktalny metodą Neimarka. Zróżnicowanie w ilości rtęci wtłoczonej do badanych próbek mieszanin gleba+preparat KKM było wyraźnie widoczne i zawierało się w przedziale od 92,5 do 146,8 mm³ · g⁻¹. Nie stwierdzono proporcjonalnej zależności pomiędzy zawartością preparatu KKM w mieszaninie, a objętością rtęci wtłoczonej do próbek. Na krzywych rozkładu porów w funkcji ich promienia dla większości mieszanin gleba+KKM oraz dla kompostu KKM występował jeden pik, co świadczy o jednorodnej strukturze (występowaniu porów o podobnych rozmiarach). Wymiar fraktalny (D_{Hg}) mieszanin gleby lessopodobnej z KKM był w przedziale od 2,539 do 2,669. Wymiar fraktalny mieszanin wzrastał wraz z wielkością dawki KKM w glebie. Wymiary fraktalne wskazywały na niejednorodność geometryczną badanych mieszanin.

Słowa kluczowe: gleba lessopodobna, preparat keratyno-koro-mocznikowy (KKM), objętość porów, rozkład objętości porów w funkcji ich promienia, wymiar fraktalny

WSTĘP

Strukturę gleby można rozważać jako kształty, rozmiary i wzajemne ułożenie elementarnych cząstek glebowych i agregatów, bądź też w terminach porowatości i rozkładu objętości porów w zależności od ich rozmiarów. Porowatość ogólna jest ważną charakterystyką fizyczną gleby (Konstankiewicz 1985, Marshall i Holmes 1988). Pory glebowe, ich objętości i rozmiary warunkują wiele istotnych zjawisk zachodzących w glebie np. stosunki powietrzno-wodne gleb, rozwój korzeni roślin itd. (Hillel 1998). Porowatość gleby zależy od wielu czynników, między innymi, od właściwości składników mineralnych i organicznych gleb, wilgotności i temperatury, szaty roślinnej oraz działalności człowieka (Korsumskaya i in. 1995, Hajnos i in. 1998, Hajnos i in. 1999, Józefaciuk i Sokołowska 2003, Sokołowska i in. 2007).

Teorie fraktalne są ostatnio zalecane jako analityczne narzędzie do kompleksowego opisu struktur obiektów porowatych (Mandelbrot 1982, Rouquerol i in. 1994, Bavaye i in. 1998). W przypadku np. gleby wymiar fraktalny może być pojedynczą wartością, która reprezentowałaby dany rozkład porów lub, bardziej ogólnie, strukturę gleby. W przypadku stwierdzenia fraktalności, geometria fraktalna oferuje możliwość ilościowego opisu heterogeniczności struktury gleby. Zgodnie z matematyczną definicją (Mandelbrot 1982, Bavaye i in. 1998) wymiar fraktalny danego obiektu charakteryzuje formalny, ułamkowy wymiar przestrzeni, do której należy dany obiekt. Dla przykładu, jeśli dany obiekt ma wymiar fraktalny 1,45, to wtedy cyfra 1 oznacza, że obiekt jest linią łamaną na płaszczyźnie, a liczba 0,45 określa "wypełnienie" płaszczyzny przez tę linię. Wymiar fraktalny $D = 2$ opisuje obiekty dwuwymiarowe, a $D = 3$ obiekty trójwymiarowe.

Preparaty (w postaci granulatów) koro-mocznikowe, keratyno-mocznikowe i keratyno-koro-mocznikowe są przetworzonymi odpadami przemysłowymi (kora drzew, skleroproteidy) i wykorzystywane jako środki nawozowe. Właściwości preparatów są ściśle związane z przebiegiem procesu technologicznego ich wytwarzania (Wolski i Gliński 1989). W trakcie eksploatacji nawozy takie ulegają różnym przemianom chemicznym i biologicznym, w tym również procesom rozpuszczania i wymywania z nich różnych związków (Wegner i in. 1993, Wiater i Dębicki 1994, Żurawska 2001, Sokołowska i in. 2002).

W pracy badano porowatość oraz wymiar fraktalny mieszanin gleby lessowatej (utworu pyłowego lessowatego) i preparatu keratyno-koro-mocznikowego (KKM).

MATERIAŁY I METODYKA

Do przygotowania mieszanin użyto gleby lessowatej (Lublin-Felin), pobranej z głębokości 5-25cm oraz preparatu keratyno-koro-mocznikowego (KKM). Badania prowadzono w warunkach laboratoryjnych. Wszystkie pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. Podstawowa charakterystyka gleby była następująca: zawartość frakcji 1-0,1 mm = 12%, 0,1-0,02 mm = 47%, 0,02-0,002 mm = 24%, <0,002 mm = 17%, $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 7,66$, $\text{pH}(\text{KCl}) = 6,38$, $C_{\text{org}} = 0,4\%$). Analizę zawartości frakcji wykonano metoda Casagrande'a w modyfikacji Pruszyńskiego, zawartość węgla organicznego metodą Tiurina, a odczyn metodą potencjometryczną (wg PTG). Preparat keratyno-koro-mocznikowy (KKM) jest preparatem handlowym, produkowanym przez PPH HIMAL w Łodzi. Preparat KKM ma postać brunatnych, dość twardych granulek, wolno rozpuszczających się w wodzie i przybierających, po kilku godzinach moczenia, postać galaretowatej masy. Preparat zawiera około 23,6% zmodyfikowanego białka keratynowego, 35,4% mocznika, 31,5% zmodyfikowanej kory, 9,5% wody; 0,054% fosforu, 0,207%

potasu, 0,178% wapnia oraz 0,011% magnezu. Średni ciężar nasypowy granulatu KKM wynosi $380 \text{ g} \cdot \text{dcm}^{-3}$, a pH wodnej zawiesiny to 7,1 (Wolski i Gliński 1989, Wolski i in. 1997).

Próbki do badań przygotowano dodając preparat KKM w dawkach 5, 10, 20, i 50% wagowych do powietrznie suchej, przesianej przez sito o średnicy oczek 1mm gleby. Mieszanki przygotowano zgodnie z definicją stężenia procentowego. Badano także naturalną glebę brunatną oraz preparat KKM.

Pomiary porozymetryczne przeprowadzono na próbkach o masie około 0,1g, suszonych wstępnie w temperaturze 105°C . Badania prowadzono na porozymetrze rtęciowym firmy Carlo Erba Model 2000. Próbki umieszczane były w dylatometrach i wstępnie odgazowane do 1,3 kPa, a następnie zalewane rtęcią. Dokładność rejestracji ciśnienia włączanej rtęci wynosiła 0,01MPa. Dane doświadczalne przetwarzano i opracowano wykorzystując oprogramowanie aparatu Milestone 100. Napięcie powierzchniowe rtęci wynosiło $480 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$, a kąt zwilżania $141,3^{\circ}$. Dla tego typu porozymetru zakres stosowanego ciśnienia wynosi od 0 do 2 MPa i mierzone są tylko pory w zakresie rozmiarów od około 0,004 do około 10 μm .

Dla szerokiej klasy fraktali geometrycznych, zależność pomiędzy wielkościami geometrycznymi (np. długością, polem czy objętością) a rozdzielczością opisana jest równaniem potęgowym: $A \propto B^D$, gdzie A jest to dana wielkość geometryczna, a B jest rozdzielczością, tj. wielkością jednostki przyjętej do pomiaru A. Wartość wykładnika D odzwierciedla nieregularności danej wielkości A (Mandelbrot 1982, Bavaye i in. 1998). W metodzie Neimarka (1990b,c, 1992) wyznaczania wymiaru fraktalnego z danych porozymetrycznych rolę skali (miaraki) (Mandelbrot 1982) o zmiennym promieniu spełnia średni promień krzywizny menisku na granicy faz rtęć-próbka, gdy rtęć jest do próbki włączana pod ciśnieniem p . Z równania Washburna (Washburn 1921) wyznacza się średni promień krzywizny menisku (r), który jest zależny od ciśnienia. Dla powierzchni fraktalnej ($S(r)$) mamy:

$$S(r) = \infty r^{-2D_s} \quad (1)$$

Pole powierzchni granicy faz ($S(r)$) wyznacza się na podstawie pomiaru objętości włączonej rtęci z równania Rootare-Prenzlowa (Rootare i Prenzlów 1967):

$$S(r) = C \int_0^V p dV, \text{ gdzie } C \text{ jest stałą.} \quad (2)$$

Z powyższego równania, zwanego równaniem Neimarka (1990a,b,c), wylicza się wymiar fraktalny D_s powierzchni:

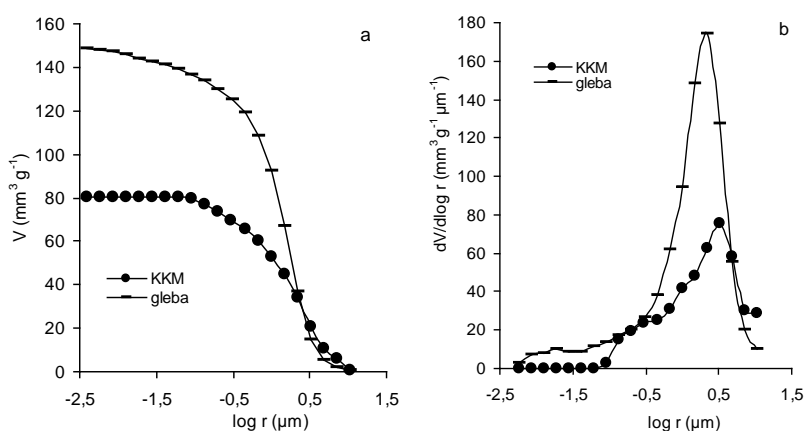
$$D_s = 2 + \frac{\int_0^V p dV}{d \ln p} \quad (3)$$

gdzie D_s jest wymiarem fraktalnym powierzchni, p jest ciśnieniem rtęci w poro-
zymetrze, V_n objętością porów zajmowaną przez rtęć przy ciśnieniu p .

WYNIKI I DYSKUSJA

Na rysunkach 1-7 przedstawiono otrzymane na podstawie danych porozyme-
trycznych wyniki porowatości gleby, preparatu KKM oraz mieszanin gleby
z dodatkiem różnych dawek preparatu KKM.

Rysunki 1 i 2 przedstawiają krzywe zależności całkowitej objętości porów
(V) w funkcji wielkości ich promienia (r) (tzw. krzywe kumulatywne). Na rysun-
ku 1a przedstawiono krzywe kumulatywne dla gleby i preparatu KKM. Całkowita
objętość porów (V) badanej gleby brunatnej jest zdecydowanie większa w porów-
naniu do całkowitej objętości porów preparatu KKM i wynosi $148,7 \text{ mm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ dla
gleby lessowatej oraz $80,3 \text{ mm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ dla preparatu KKM.

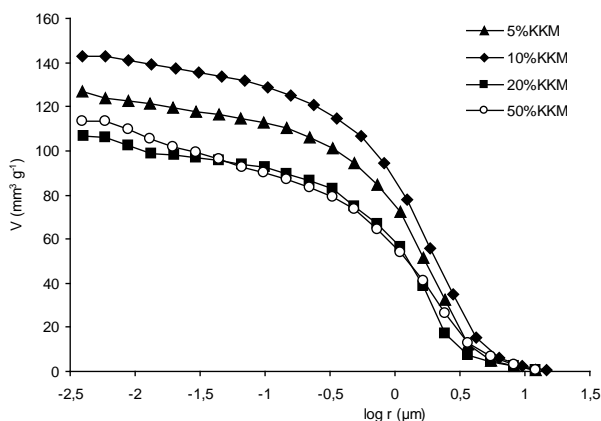


Rys. 1. Krzywe kumulatywne (a) oraz krzywe rozkładu porów w funkcji ich promienia (b) dla gleby lessowatej oraz preparatu keratyno-koro-mocznikowego (KKM)

Fig. 1. Cumulative curves (a) and pore size distribution curves (b) for loess-like soil and for keratin-bark-urea compost (KKM)

Krzywe kumulatywne dla mieszanin gleby z preparatem KKM zamieszczono na rysunku 2. Jak wynika z porównania rysunków 1a i 2 wszystkie krzywe zawie-

rały się pomiędzy krzywymi dla wyjściowych składników mieszanki, tj. dla preparatu KKM i gleby, a kształt krzywych kumulatywnych mieszanki był podobny do kształtu krzywej kumulatywnej dla badanej gleby lessowatej (rys. 1a).

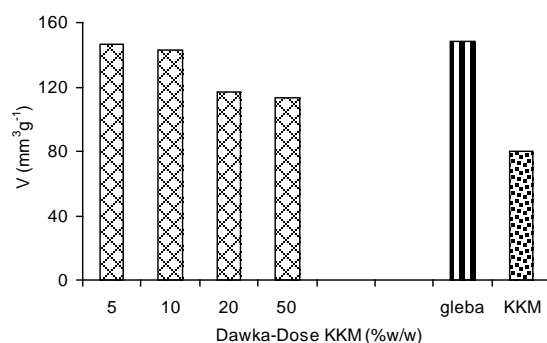


Rys. 2. Krzywe kumulatywne objętości porów (V) dla gleby lessowatej z dodatkiem preparatu keratyno-koro-mocznikowego (KKM)

Fig. 2. Cumulative curves of pore volume (V) for loess-like soil with keratin-bark-urea compost (KKM)

Zróznicowanie w ilości rtęci wtłoczonej do badanych próbek mieszanki gleba+preparat KKM było wyraźnie widoczne i zawierało się w przedziale od 113 do 146,8 mm^3g^{-1} . Całkowita objętość porów (V) mieszanki gleby lessowatej z dodatkiem 5 i 10% preparatu KKM była najwyższa i podobna do całkowitej objętości porów gleby lessowatej (148,7 mm^3g^{-1}). Dla próbek zawierających dawkę preparatu KKM powyżej 10% stwierdzono obniżenie całkowitej objętości porów (V) w porównaniu do objętości porów w glebie. Obniżenie całkowitej porowatości mieszanki z wyższą dawką KKM może być wynikiem częściowego „zapychania” porów w glebie przez preparat KKM.

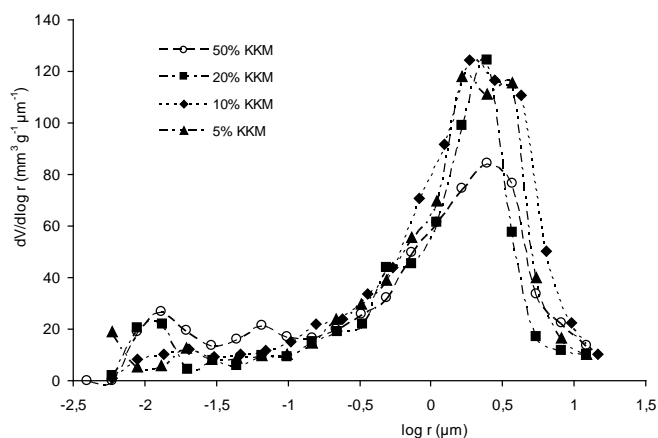
Jak wynika z rysunku 3 większa zawartość preparatu KKM w mieszaninie powodowała obniżenie jej całkowitej objętości porów. Nie stwierdzono proporcjonalnej zależności pomiędzy zawartością preparatu KKM w mieszaninie a objętością porów. Należy zaznaczyć, że oba składniki tworzące mieszaninę różniły się znacznie całkowitą objętością porów. Także badania nad wpływem dodatku sorbenta poliamidowego do gleby piaszczystej i gliniastej (Hajnos i in. 1994) oraz dodatku różnych ilości kwasów humusowych do kaolinu (Hajnos 1998) wykazały brak proporcjonalnej zależności pomiędzy wielkością dawki dodanych składników a całkowitą objętością porów gleby oraz kaolinu.



Rys. 3. Zależność pomiędzy całkowitą objętością porów (V) mieszanin a wielkością dawki wprowadzonego do gleby lessowatej preparatu KKM

Fig. 3. Relationship between total pore volume (V) of mixtures vs. KKM dose

Przedstawienie porowatości ciał stałych w postaci całkowitej objętości porów (V) nie informuje o rodzaju i wielkości porów (Rouquerol i in. 1994). Przedstawienie otrzymanych wyników w postaci zależności $dV_n/d \log r$, gdzie V_n jest udziałem porów o danym rozmiarze w całkowitej objętości V , a r jest równoważnym promieniem porów jest bardziej obrazowe i pozwala na porównanie obiektów znacznie różniących się (Kozak 1994, Nimmo 2004). Na rys. 4 przedstawiono krzywe rozkładu porów w funkcji ich promienia dla badanych mieszanin gleby z preparatem KKM.



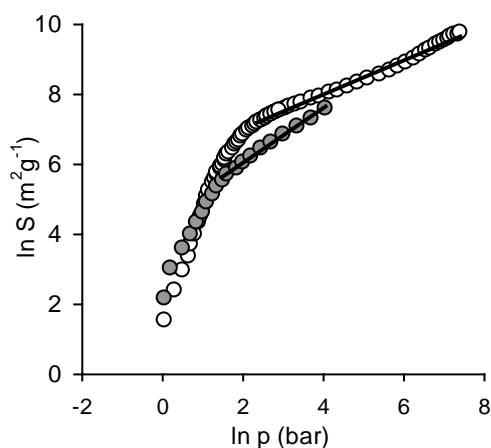
Rys. 4. Krzywe rozkładu objętości porów w różnych przedziałach wielkości ich promieni dla mieszanin gleby lessowatej z dodatkiem preparatu keratyno-koro-mocznikowego (KKM)

Fig. 4. Pore size distribution curves for the mixtures of the loess-like soil with keratin-bark-urea compost (KKM)

Dla badanej gleby lessowatej, preparatu KKM oraz mieszanin gleba + KKM rozkłady objętości porów w funkcji ich promieni były zróżnicowane w obrębie porów większych, tj. porów o promieniach od około 0,32 do około 10 μm (rys. 1b i rys. 4). Krzywe rozkładu objętości porów w funkcji ich promieni charakteryzowały się występowaniem pików z wyraźnym rozmyciem w przedziale porów małych („ogon pików”). Rozmycie to było wyraźne zwłaszcza dla mieszanin gleba+KKM (rys. 4).

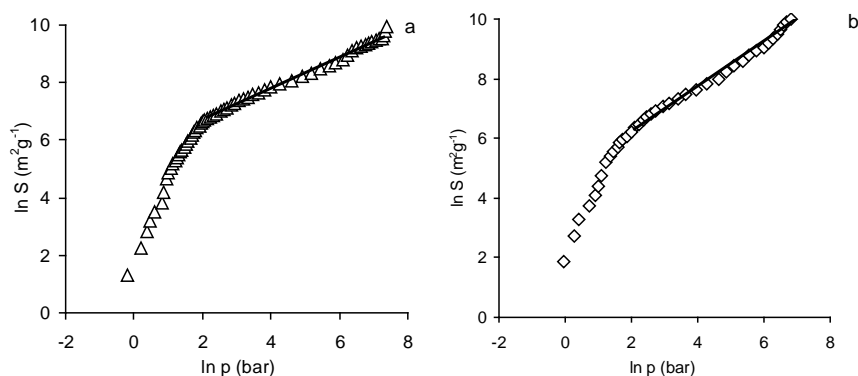
Dla mieszanin gleby z dodatkiem 5, 10 i 20% KKM (rys. 4) na krzywych rozkładu objętości porów w funkcji ich promieni pojawiły się piki z dwoma maksimumami, co świadczy o nałożeniu się dwóch różnych pików, pochodzących od porów o różnych rozmiarach. Dla pozostałych mieszanin (rys. 4), gleby lessowatej oraz kompostu KKM (rys. 1b) krzywe charakteryzowały się występowaniem jednego pików, co świadczy o jednorodnej strukturze – występowaniu porów o zbliżonych rozmiarach. Maksimum pików dla gleby i preparatu KKM występowało, odpowiednio, przy promieniu porów 2,51 i 3,31 μm . Maksimum pików dla mieszanin występowało w przedziale porów większych.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono przykładowe krzywe ln-ln dla gleby lessowatej i preparatu KKM (rys. 5) oraz mieszaniny gleby z 5 i 50 dodatkiem preparatu KKM (rys. 6a i b). Linie proste na wykresach wyznaczają zakres fraktalności badanego materiału. W tym zakresie współczynnik nachylenia prostej jest związany z wymiarem fraktalnym badanych materiałów.



Rys. 5. Krzywe ln-ln dla gleby lessowatej (białe kółka) i preparatu KKM (szare kółka). S - pole powierzchni porów.

Fig. 5. Ln-ln curves for loess-like soil (white circle) and KKM compost (grey circle). S – pore surface area

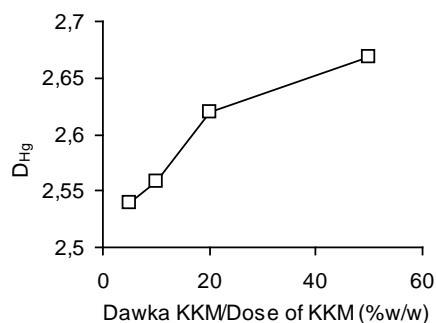


Rys. 6. Przykładowe krzywe ln-ln dla mieszanin gleby z 5% (a) oraz 50% (b) dawką preparatu KKM. S – patrz rysunek 5

Fig. 6. Example of the ln-ln curve for the mixture of soil with 5% (a) and 50% (b) dose of KKM compost. S – see Figure 5

Obliczony z danych porozymetrycznych wymiar fraktalny powierzchni porów (D_{Hg}) wynosił dla gleby lessowatej 2,50, a dla preparatu KKM 2,791. Wymiary fraktalne dla gleb mineralnych są generalnie niższe niż dla materiałów organicznych pochodzenia roślinnego (Sokołowska i Boguta 2010, Hajnos i in. 2003, Szatanik-Kloc 2010).

Wymiar fraktalny (D_{Hg}) mieszanin gleby z KKM był w przedziale od 2,539 do 2,691. Wyznaczone wymiary fraktalne badanych mieszanin wskazywały na ich niejednorodność. Powierzchniowy wymiar fraktalny (D_{Hg}) mieszanin wzrastał wraz z wielkością dawki KKM w glebie (rys. 7), co świadczy o wzroście niejednorodności geometrycznej mieszanin. Nieregularności geometryczne i szorstkość powierzchni mają zasadniczy wpływ na powierzchniowy wymiar fraktalny, który powinien być zawarty w przedziale wartości pomiędzy 2 i 3. Dolna, graniczna wartość 2 oznacza, że mamy do czynienia z idealnie gładką powierzchnią, zaś górna, graniczna wartość 3 wskazuje, że mamy do czynienia z maksymalnie rozwiniętą "powierzchnią" ciała stałego, wypełniającą całą objętość.



Rys. 7. Zależność pomiędzy powierzchniowym wymiarem fraktalnym (D_{Hg}) a zawartością preparatu KKM w glebie

Fig. 7. Relationship between surface fractal dimension (D_{Hg}) and dose of KKM compost in soil

Rola i współdziałanie związków organicznych (w różnej zawartości i różnego pochodzenia) w generowaniu niejednorodności powierzchniowej sorbentów mineralnych i organicznych nie jest jednoznaczny. Liniowa zależność pomiędzy zawartością związków organicznych a wymiarem fraktalnym (geometryczną niejednorodnością powierzchni) jest raczej wyjątkiem niż regułą. Generalnie, liniową zależność pomiędzy zawartością związków organicznych znaleziono dla próbek otrzymanych sztucznie, przez zmieszanie składników o naturalnie niskiej zawartości związków organicznych z materiałem bogatym w te związki. W pozostałych przypadkach zależności wymiar fraktalny vs. zawartość związków organicznych są bardziej złożone (Sokołowska i Sokołowski 1999, Sokołowska i in. 2009).

Oczywiście właściwości mieszanin typu materiał glebowy+modyfikator zależą będą zarówno od właściwości obu składników, jak i od wielkości ich udziałów w mieszaninie (Martyn 1992, Gliński i in. 1994, Hajnos i in. 1994, Bowanko i Hajnos 2001, Słowińska-Jurkiewicz i Jaroszuk 2001, Hajnos i Bowanko 2002, Sokołowska i in. 2002, Sokołowska i in. 2009, Żurawska 2001). Dotyczy to także badanych mieszanin gleba lessowata + KKM.

WNIOSKI

1. Całkowita objętość porów mieszanin gleba lessowata + preparat KKM zawierała się w przedziale od 92,5 do 146,8 mm³·g⁻¹. Nie stwierdzono proporcjonalnej zależności pomiędzy zawartością preparatu KKM a całkowitą objętością porów w mieszaninie.

2. Dla gleby lessowatej, preparatu KKM oraz ich mieszanin rozkłady objętości porów w funkcji ich promieni były zróżnicowane w obrębie porów większych (od około 0,32 do około 10 μm).

3. Dla większości mieszanin gleba + KKM oraz dla kompostu KKM na krzywych rozkładu objętości porów w funkcji ich promieni występował jeden pik, co świadczy o jednorodnej strukturze, tzn. występowaniu porów o podobnych rozmiarach.

4. Powierzchniowy wymiar fraktalny (D_{Hg}) wynosił dla gleby lessowatej 2,5, a dla preparatu KKM 2,791. Wymiary fraktalne mieszanin gleba + KKM były w przedziale od 2,539 do 2,691 i wskazywały na niejednorodność powierzchniową badanych mieszanin. Wymiar fraktalny mieszanin wzrastał wraz z wielkością dawki KKM, co świadczy o wzroście niejednorodności geometrycznej powierzchni mieszanin.

PIŚMIENNICTWO

- Anderson A.N., McBratney A.B., Crawford J.W., 1998. Applications of Fractals to Soil Science. Advances in Agronomy, 63, 2-76. (Ed. D. L. Sparks, Academic Press)
- Bavaye P., Parlange J.Y., Stewart B. A. (Ed.), 1998. Fractals in Soil Science. CRC Press.

- Bowanko G., Hajnos M., 2001. Zmiana właściwości fizykochemicznych modelowych urbanoziemów w wyniku dodania do nich substancji organicznej, *Acta Agrophysica*, 53, 47-55.
- Gliński J., Hajnos M., Sokołowska Z., Wolski T., 1994. Wybrane chemiczne, fizykochemiczne i fizyczne właściwości sorbenta poliamidowego pod kątem jego zastosowania w rolnictwie. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 407, 7-13.
- Hajnos M., 1998. Influence of humic acid on the structural properties of kaolin – mercury porosimetry studies. *Int. Agrophys.*, 12, 185-192.
- Hajnos M., Bowanko G., 2002. Characteristics of soil-peat-rubble mixtures by mercury intrusion porosimetry. *Int. Agrophysics*, 16, 177-181.
- Hajnos M., Józefaciuk G., Sokołowska Z., Greifenhagen A., Wessolek G., 2003. Water storage, surface, and structural properties of sandy forest humus horizons. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 166, 625-634.
- Hajnos M., Sokołowska Z., Dąbek-Szeniawska M., Kuś J., 1998. Influence of cultivation system on porosity of pseudopodzolic soil. *Polish J. Soil Sci.*, 31, 31-39.
- Hajnos M., Sokołowska Z., Józefaciuk G., Hoffmann Ch., Renger M., 1999. Effect of leaching DOC on pore characteristic of a sandy soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 162, 19-25.
- Hajnos M., Sokołowska Z., Stawiński J., 1994. Wpływ sorbenta poliamidowego na opór penetracji i porowatość gleb. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 407, 21-24.
- Hillel D., 1998. *Environmental Soil Physics*. Academic Press.
- Józefaciuk G., Sokołowska Z., 2003. The effect of removal of organic matter, iron oxides and aluminum oxides on the micropore characteristics of the soil clay fraction. *Polish J. Soil Sci.*, 36 (2), 111-119.
- Konstankiewicz K., 1985. Porowatość gleby: definicje i metody oznaczania. *Problemy Agrofizyki* 47.
- Korsumskaya L.P., Sokołowska Z., Hajnos M., Józefaciuk G., 1995. Seasonal variation of some structure indicators. *Int. Agrophysics* 9, 37-40.
- Kozak E., 1994. Aspekty metodyczne wyznaczania rozkładu rozmiarów porów i wymiaru fraktalnego materiałów glebowych. Praca doktorska. Instytut Agrofizyki PAN, Lublin.
- Mandelbrot B., 1982. *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman, San Francisco
- Marshall T.J., Holmes J.W., 1988. *Soil Physics*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Martyn W., 1992. *Studia nad rozkładem materiału organicznego i wpływem tego procesu na wybrane właściwości fizyczne podłoża szklarniowych*. Seria Wydawnicza – Rozprawy Naukowe, 146, Wyd. Akademii Rolniczej, Lublin.
- Neimark A.V., 1990a. Determination of the surface fractal dimensionality from the results of an adsorption experiment. *Russ. J. Chem.*, 64, 1397-1403.
- Neimark A.V., 1990b. Thermodynamic method for calculating surface fractal dimension. *JETP Lett.*, 51, 535-538.
- Neimark A.V., 1990c. Calculating surface fractal dimensions of adsorbents. *Adsorption Sci. Technol.*, 7, 210-219.
- Neimark A.V., 1992. A new approach to determination of the surface fractal dimension of porous solids. *Physica A* 191, 258-262.
- Nimmo J.R., 2004. Porosity and pore size distribution. In: *Encyclopedie of Soil in the Environment*. Ed. Hillel D., London, Elsevier, v.3, p.295-303.
- Rootare H.M., Prenzlow C.F., 1967. Surface areas from mercury porosimeter measurements. *J. Phys. Chem.*, 71, 2733-2736.
- Rouquerol J., Avnir D., Fairbridge C.W., Everett D.H., Haynes J.H., Pemicone N., Ramsay J.D.F., Sing K.S.W., Unger K.K., 1994. Recommendations for the characterization of porous solids (Technical Report). *Pure&Appl. Chem.* 66: 1739-1758.
- Słowińska-Jurkiewicz A., Jaroszuk M., 2001. Hydrofizyczna charakterystyka superabsorbentu „Hidro-plus”. *Acta Agrophysica*, 93-100.
- Sokołowska Z., 2002. Wymiar fraktalny utworów murszowych. *Acta Agrophysica*, 68, 193-204.
- Sokołowska Z., Boguta P., 2010. Fractal dimension of organic soil and carbon materials. W: *Physical, Chemical and Bioplogical Processes in Soils*. Pod redakcją L.W. Szajdaka i A.K. Karabanov'a. Wyd. Prodnuk i Autorzy. Poznań 2010, 433-448.

- Sokołowska Z., Hrebela N., Hajnos M., 2007. Porosity of leached forest-meadow chernozem pollutes with lead and calcium. *Acta Agrophysica*, 10 (2), 455-464.
- Sokołowska Z., Sokołowski S., 1999. Influence of humic acid on surface fractal dimension of kaolin: analysis of mercury porosimetry and water vapour adsorption data. *Geoderma*, 88, 233-249.
- Sokołowska Z., Sokołowski S., Warchulska P., 2009. Trends in soil fractal parameters caused by accumulation of soil organic matter as resulting from the analysis of water vapor adsorption isotherms. *Ecological Complexity*, 6, 254-262.
- Sokołowska Z., Żurawska E., Hajnos M., Wolski T.: Wpływ substratu keratyno-koro-mocznikowego na zwilżalność gleby brunatnej wytworzonej z lessu. *Acta Agrophysica*, 70, 305-315, 2002.
- Szatanik-Kloc A., 2010. Zmiany właściwości powierzchniowych korzeni wybranych roślin jednoliściennych i dwuliściennych determinowane fitotoksycznością glinu i miedzi. *Acta Agrophysica. Rozprawy i Monografie* 1, 1-122.
- Washburn E.W., 1921. The dynamic of capillary flow. *Phys. Rev.* 273-283.
- Wegner K., Gonet S.S., Wolski T., 1993. Właściwości materii organicznej kompostów keratyno-koro-mocznikowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 411, 249-258.
- Wiater J., Dębicki R., 1994. Następce oddziaływanie różnych materiałów organicznych na glebę i roślinę. Cz. 1. Wybrane elementy żyzności gleby. *Zesz. Probl. Postęp. Nauk Roln.*, 407, 57-64.
- Wolski T., Gliński J., 1989. Organiczne odpady przemysłowe i ich przetwarzanie na użyteczne rolniczo preparaty. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 370, 12-20.
- Wolski T., Gliński J., Orlikowski L.B., 1997. Zmodyfikowane struktury ligninowo-celulozowe i keratynowe oraz możliwości ich zastosowania w nawożeniu i ochronie roślin. *Post. Nauk Roln.*, 1, 107-116.
- Żurawska E., 2001. Wpływ substratu nawozowego węglowo-keratyno-korowego z mocznikiem syntetycznym na wybrane właściwości fizykochemiczne gleby. Praca magisterska, Instytut Agrofizyki PAN, Lublin.

POROSITY OF MIXTURES OF A LOESS-LIKE SOIL WITH KERATIN-BARK-UREA COMPOST

Zofia Sokołowska, Mieczysław Hajnos, Patrycja Boguta

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, Lublin, Poland
e-mail: zosia@maja.ipan.lublin.pl

Abstract. The porosity of mixtures made from a loess-like soil and keratin-bark-urea (KKM) compost was investigated. The keratin-urea-bark compost was added to the soil in doses ranging from 5, 10, 20, 50 to 94 weight percent. The porosity of the mixtures were measured using a Carlo Erba Model 2000 mercury porosimeter. Fractal dimension from mercury intrusion data was calculated by the Neimark method. The total pore volume of the mixtures ranged from 92.5 to 146.8 mm³ g⁻¹. The total amount of mercury intruded into the pores of a mixtures did not change proportionally with the KKM dose. The pore size distributions for the mixture of the brown soil + KKM and for KKM alone exhibit a single peak, a rather narrow peak of different height, which may suggest uniform structure of the samples. Surface fractal dimension of the mixture samples was in the range from 2.539 to 2.669. The above values point to geometric non-uniformity of those samples.

Keywords: loess-like soil, keratin-bark-urea compost (KKM), pore volume, pore size distributions (PSD), fractal dimension