

## WPŁYW GEOMETRII PRÓBKII NA KRZYWĄ RETENCJI WODNEJ GLEBY – BADANIA MODELOWE

*H. Czachor*

Instytut Agrofizyki, PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
hczachor@demeter.ipan.lublin.pl

**Streszczenie.** Przedstawiono wyniki symulacji osuszania wirtualnego trójwymiarowego ośrodka granulowanego. Wynika z nich, że zależność wilgotność – potencjał macierzysty gleby powinna zależeć od geometrii próbki rozumianej jako stosunek objętości do tej części powierzchni zewnętrznej przez którą próbka kontaktuje się z otoczeniem.

**Słowa kluczowe:** wirtualny ośrodek granulowany, retencja wodna.

### WSTĘP

Krzywa retencji wodnej przedstawia związek między wilgotnością i potencjałem wody w glebie, a właściwie jego składową tzw. potencjałem macierzystym (ang. matric potential). Dla danej gleby, tzn. określonego składu granulometrycznego i chemicznego, krzywa retencji zależy przede wszystkim od jej gęstości objętościowej.

W uproszczeniu, z mikroskopowego punktu widzenia można przedstawić glebę mineralną jako zbiór sztywnych, stykających się ze sobą cząstek szkieletu glebowego (granul). Między nimi istnieje skomplikowany układ połączonych ze sobą kanalików (porów), poprzez który zachodzi wymiana masy (wody, soli, powietrza) w glebie i w których może być zatrzymywana (retencjonowana) woda kapilarna.

## WIRTUALNY OŚRODEK GRANULARNY

Z formalnego punktu widzenia strukturę ośrodka granularnego można uważać za wynik upakowania cząstek fazy stałej w przestrzeni trójwymiarowej. Rozkłady powstałych porów są pochodną składu granulometrycznego i porowatości ośrodka. Większość charakterystyk fizycznych ośrodka jak: krzywa retencji, współczynnik przewodnictwa wodnego, współczynnik przewodnictwa cieplnego czy właściwości mechaniczne zależą od tych dwóch czynników.

Pomiary tych charakterystyk są długotrwałe, a do ich wykonania niezbędna jest specjalistyczna aparatura. Zarówno więc ze względów praktycznych jak i poznawczych znalezienie metody, która na podstawie łatwo dostępnych danych, pozwoliłaby je przewidywać, a nie mierzyć, jest jednym z najbardziej interesujących problemów fizyki gleby [1, 4, 10, 13].

Ponieważ właściwości te są ściśle związane ze strukturą ośrodka, opracowano metodę jej rekonstrukcji przy pomocy symulacji upakowania cząstek. Dane wejściowe do obliczeń były następujące: skład granulometryczny i porowatość objętościowa badanej gleby. Przyjęto założenie o sferycznym kształcie cząstek. Symulacja upakowania pozwala generować zbiory ciasno upakowanych wirtualnych cząstek w trzech wymiarach, których liczba winna być na tyle duża aby powstała struktura mogła być uznana za reprezentatywna dla danego ośrodka [3]. Taką strukturę nazywano *wirtualnym ośrodkiem granularnym*. Ponieważ znane są wielkości i współrzędne wszystkich jego cząstek może być obiektem wszechstronnych badań.

Aby powstały w ten układ przestrzenny mógł symulować ośrodek rzeczywisty musi spełniać 3 warunki:

- Jego porowatość winna być równa porowatości ośrodka rzeczywistego.
- Liczba cząstek powinna być na tyle duża aby symulować ośrodek nieskończenie duży.
- Upakowanie cząstek musi mieć charakter nieuporządkowany.

Przeprowadzane symulacje dotyczące ośrodków o składzie piasku i piasku pylastego pozwoliły zweryfikować poprawność algorytmu obliczeniowego, a analiza powstałych wirtualnych struktur przestrzennych wykazała ich zgodność z powyższymi warunkami. Liczba cząstek niezbędnych do symulacji danego ośrodka związana jest z jego składem granulometrycznym – im większy zakres zmienności średnic cząstek, tym większa ich liczba jest potrzebna do utworzenia

reprezentatywnej struktury. Dla frakcji piasku liczba ta wynosiła ca 6 000, a dla piasku pylastego ca 30 000 [2].

### IDENTYFIKACJA I PARAMETRYZACJA PORÓW WIRTUALNEGO OŚRODKA GRANULARNEGO

Mimo iż w literaturze dotyczącej ośrodków porowatych, a więc i gleby, bardzo często operuje się terminami: rozkład czy dystrybuanta porów jak również mówi się o opróżnianiu lub napełnianiu], to jednak w zasadzie nie istnieje definicja pojedynczego poru. Jedną z nielicznych koncepcji poru zaproponował Letey [7], wg niego pojedynczy por „...jest częścią przestrzeni ograniczonej powierzchnią fazy stałej ośrodka oraz powierzchniami utworzonymi w miejscach gdzie promień hydrauliczny osiąga minimum...”.

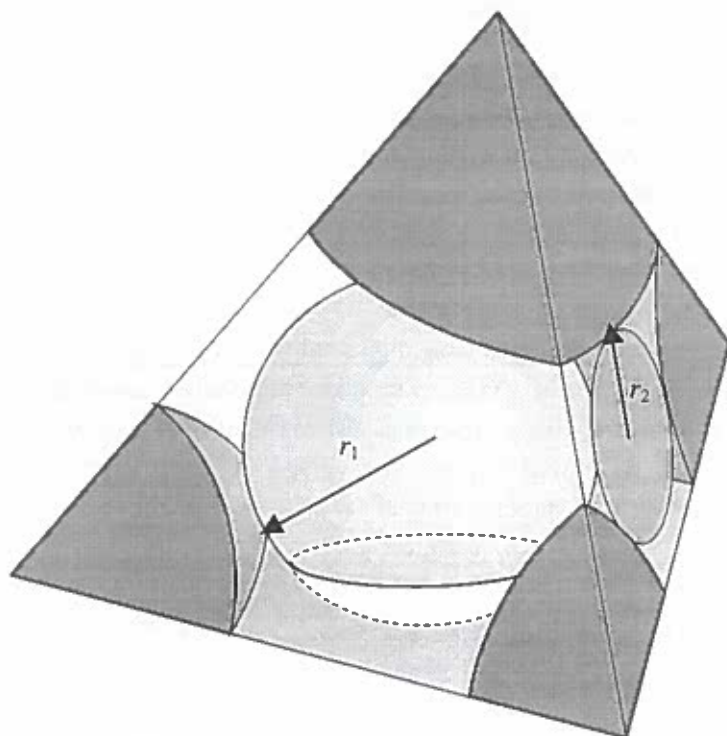
Utworzenie wirtualnego ośrodka granularnego stwarza nowe możliwości analizy i opisu jego porów. Przede wszystkim umożliwia uściślenie pojęcie poru. Przyjęta w niniejszej pracy koncepcja jest rozwinięciem propozycji Mansona [8] w odniesieniu do ośrodka polidispersyjnego. W tym ujęciu pojedynczy por ośrodka tworzony jest przez 4 cząstki fazy stałej. Założono, że między czterema cząstkami o numerach  $i, j, k, l$  istnieje pojedynczy por, jeśli można określić styczną do nich kulę (tzw. identyfikator poru o współrzędnych środka i promieniu wyliczonych na podstawie geometrii cząstek  $i, j, k, l$ ), która nie przecina powierzchni żadnej cząstki ośrodka. Jeśliby okazało się, że powierzchnia identyfikatora przecina np. powierzchnię cząstki  $m$  znaczyłoby to, że między rozpatrywaną czwórką por nie istnieje. Prawdopodobne jest, ale nie pewne, istnienie poru między jedną z czteroelementowych kombinacji cząstek  $i, j, k, l, m$ :  $i, j, k, m$  lub  $i, j, m, l$ , lub  $i, m, k, l$ , lub  $m, j, k, l$ .

Środki cząstek tworzących por można uważać za wierzchołki czworościanu. Wewnątrz czworościanu znajdują 4 segmenty sferyczne. Każdy z nich powstał z cząstki kulistej przez trzy, przecinające się w jej środku, płaszczyzny i trójkąty sferyczne będące częścią powierzchni kuli.

Pojedynczy por jest częścią objętości czworościanu zawartą między powierzchniami czterech trójkątów sferycznych i płaszczyznami jego ścian bocznych, tak jak przedstawiono na Rys. 1. Kula wewnątrz czworościanu jest identyfikatorem poru.

Por taki może być scharakteryzowany następującymi parametrami: objętością i 4 przewężeniami, których miarą mogą być promienie okręgów na ścianach

bocznych  $r_2$  oraz promieniem identyfikatora  $r_1$  (patrz Rys. 1). Na jednej ścianie czworościanu zaznaczono przewężenie w postaci elipsy. Pozostałe pominięto ze względu na czytelność rysunku. W ogólności wszystkie przewężenia poru są różne.



Rys. 1. Por trójwymiarowy ośrodka granularnego utworzony przez cztery cząstki.

Fig. 1. 3D pore of virtual grain medium created by 4 particles.

Ponieważ znane są położenia wszystkich cząstek ośrodka w przestrzeni oraz ich promienie geometryczne, wówczas stosując powyżej opisaną metodę tessellacji [11] w odniesieniu do wszystkich cząstek, można podzielić całą objętość ośrodka na zbiór czworościanów, z których każdy zawiera jeden por. Każde przewężenie łączy dwa pory i jest umowną granicą między nimi. Każdy por znajdujący się wewnątrz ośrodka ma bezpośredni kontakt z czterema sąsiadami. Dla poru znajdującego się w warstwie powierzchniowej ilość ich jest mniejsza (3, 2 lub 1) ponieważ niektóre z przewężeń łączą się z otoczeniem ośrodka.

Przedstawiona koncepcja uwzględnia dwie istotne cechy każdego granularnego ośrodka kapilarno-porowatego:

- histerezę zależności wilgotność – ciśnienie (potencjał),
- łączność wszystkich porów ośrodka.

Wspomniana histereza wynika z analizy mechanizmu opróżniania i napełniania pojedynczego poru. Opróżnienie poru winno odbywać się przy ciśnieniu zewnętrznym równym ciśnieniu kapilarnemu przewężenia  $r_2$ , a napełnianie – przy ciśnieniu określonym przez promień identyfikatora  $r_1$ . Z warunków geometrycznych wynika, że stosunek  $r_1/r_2$  jest zawsze większy od 1. W konsekwencji wartość bezwzględna ciśnienia przy którym por zostanie opróżniony jest większa od wartości decydującej o jego napełnianiu. Powyższe stwierdzenie jest słuszne w odniesieniu do wszystkich czterech przewężeń każdego poru. Histereza pojedynczego poru podczas opróżniania i napełniania świadczy o histerezie procesu osuszanie – nawilżanie całego ośrodka.

#### ANALIZA MECHANIZMU OPRÓŻNIANIA PORÓW WIRTUALNEGO OŚRODKA GRANULARNEGO

Utworzenie ośrodka wirtualnego i jego podział na dyskretne elementy przestrzenne, z których każdy zawiera jeden por o znanych parametrach, pozwala na wyliczanie wielkości makroskopowych charakteryzujących cały ośrodek na podstawie uśrednienia wielkości odnoszących się do poszczególnych porów. W tym ujęciu np. wilgotność jest określona przez stosunek sumy objętości wszystkich porów pełnych do objętości całego ośrodka.

Na ogół pomiar retencji gleby sprowadza się do określenia tzw. krzywej osuszania. Woda z próbki gleby, umieszczonej na płycie porowatej dąży do wyrównania z nią swego potencjału, którego wartość jest znana. Proces prowadzący do osiągnięcia stanu równowagi polega na opróżnianiu porów, których potencjał kapilarny jest równy/mniejszy od potencjału macierzystego płyty porowatej.

W dotychczasowych badaniach przyjmuje się, że każdy por ośrodka musi ulec osuszeniu o ile spełniony jest powyższy warunek [5]. W zasadzie metoda pomiarowa definiuje wielkość porów na podstawie przyjętego *a priori* założenia: jeśli przy wzroście ciśnienia płyty porowatej z  $P_1$  do  $P_2$  wilgotność zmalała o  $\Delta W$ , to woda usunięta z ośrodka znajdowała się w porach określonych przez promienie ekwiwalentne z zakresu od  $r_2$  do  $r_1$ , których wielkość wynika ze wzoru Laplace'a.

Na podstawie przedstawionego modelu porów wirtualnego ośrodka granularnego można wyobrazić sobie inny schemat opróżniania porów, a więc i osuszania ośrodka.

Jest oczywiste, że opróżnienie pojedynczego poru odbywa się poprzez zastąpienie fazy ciekłej przez fazę gazową. Aby było to możliwe rozpatrywany por, a właściwie przynajmniej jedno jego przewężenie, **musi** mieć kontakt z otoczeniem (atmosferą), gdy jest to warunek istnienia menisku. Kontakt ten może być bezpośredni, jeśli por znajduje się przy powierzchni próbki, lub pośredni (poprzez jeden lub szereg połączonych ze sobą porów, które wcześniej zostały opróżnione). Rozumowanie to może być powtórzone w odniesieniu do **każdego** poru. Z powyższego wynikają istotne ograniczenia dotyczące procesu osuszania ośrodka. Jeśli duży por, tzn. o stosunkowo dużych przewężeniach, otoczony jest wyłącznie przez drobne pory, to nie zostanie on opróżniony przy ciśnieniu zewnętrznym równym ciśnieniu kapilarnemu jednego spośród jego przewężeń, ponieważ meniski porów drobnych na to nie pozwolą. Potwierdzeniem takiego mechanizmu są wyniki pomiarów osuszania gleb, podczas których rejestrowano kinetykę wilgotności gleby na kilku poziomach próbki [12]. Podczas osuszania nasyconej próbki gleby szybkość zmian wilgotności w pobliżu płyty porowatej jest znacznie większa niż w warstwie powierzchniowej.

Zaakceptowanie takiego mechanizmu prowadzi do wniosku, że osuszenia dowolnego poru ośrodka zachodzi wtedy, gdy **jednocześnie** spełnione są dwa warunki:

1. Ciśnienie zewnętrzne musi być większe / równe ciśnieniu kapilarnemu przewężenia poru,
2. Por ten musi być aktywny.

W dotychczasowych badaniach zakładano, że spełnienie pierwszego z nich jest warunkiem koniecznym i dostatecznym opróżnienia dowolnego poru.

W tej pracy por napełniony, którego przynajmniej jedno przewężenie ma kontakt z atmosferą, będzie nazywany porowem aktywnym.

#### OSUSZANIE WIRTUALNEGO OŚRODKA GRANULARNEGO

W wyniku ciasnego upakowania cząstek powstał ośrodek granularny, który następnie został podzielony na zbiór czworościanów. Wewnątrz każdego z nich znajduje się jeden por, którego parametry geometryczne są znane.

W wyniku połączenia środków identyfikatorów sąsiadujących ze sobą porów można wyobrazić sobie powstanie trójwymiarowej sieci składająca się z węzłów (identyfikatorów) i wiązań (przewężeń). Liczba koordynacyjna tej sieci jest równa ilości przewężeń i wynosi 4. Proces osuszania takiego ośrodka można traktować jak perkolację fazy gazowej w nasyconym wodą ośrodku, tzn. stopniowej zmiany stanu porów wywołanej zmianą warunków zewnętrznych [9].

Założono, że ciśnienie kapilarne przewężenia  $P_k$  związane jest z promieniem geometrycznym  $r_2$  z Rys. 1 poprzez zależność Laplace'a [7]:

$$P_k = \frac{2 \cdot \sigma_w}{r_2} \quad (1)$$

gdzie:  $\sigma_w$  – napięcie powierzchniowe wody.

Każdemu porowi przyporządkowano objętość, ciśnienia kapilarne wszystkich przewężeń oraz numery porów sąsiednich. Znając wartości ciśnień kapilarnych wszystkich przewężeń można było określić wartości minimalną  $P_{\min}$  i maksymalną  $P_{\max}$ . Przy ciśnieniach mniejszych od  $P_{\min}$  ośrodek jest nasycony, a przy ciśnieniu  $P_{\max}$  – całkowicie osuszony. Przedział między tymi wartościami podzielono na  $j = 100$  podzakresów  $\Delta p$ . Wartości ciśnień  $P_j$  zmieniają się skokowo od  $P_{\min}$  do  $P_{\max}$  zgodnie z zależnością

$$P_j = P_{\min} + j \cdot \Delta p \quad (2)$$

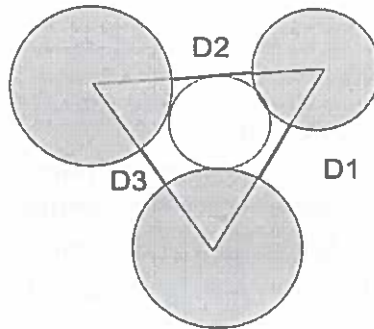
Wilgotność  $\theta(P_j)$  oceniano podstawie zależności

$$\theta(P_j) = \frac{\sum v_i}{V_i} \quad (3)$$

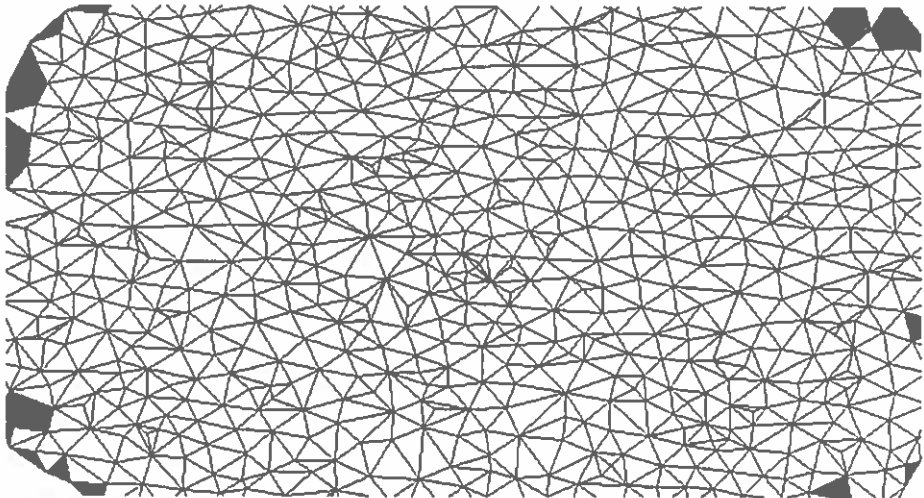
gdzie:  $v_i$  – objętość i-tego nie osuszonego pora,  $V_i$  – objętość całego ośrodka (pory + faza stała).

Badania przeprowadzono na trójwymiarowych ośrodkach wirtualnych. Ze względu jednak na możliwość graficznej prezentacji na Rys. 3, 4, 5 przedstawiono jego przykładowy dwuwymiarowy analog. Powstał on w wyniku wykonania dwóch operacji: przecięcia obiektu trójwymiarowego płaszczyzną, a następnie utworzenia na powstałej strukturze zbioru porów dwuwymiarowych. Wynikiem przecięcia struktury trójwymiarowej jest zbioru kół, między którymi istnieje system porów dwuwymiarowych. Powierzchnie przekroju można podzielić na zbiór

trójkątów stosując procedurę wpisywania okręgów między trójki cząstek (triangulacja). Jeśli okrąg styczny do trzech cząstek nie przecina obwodu żadnej cząstki układu, wówczas przyjmuje się, że między tymi cząstkami istnieje por dwuwymiarowy. Por ten jest częścią trójkąta powstałego z połączenia środków tworzących go cząstek (Rys. 2). Jego powierzchnia równa się polu trójkąta pomniejszoną o sumę powierzchni 3 wycinków cząstek. Parametrami poru są: powierzchnia, 3 przewężenia i promień okręgu stycznego (identyfikatora). Przewężeniami D1, D2, D3 nazwano odcinki między okręgami.



Rys. 2. Por dwuwymiarowy ośrodka granulowanego utworzony przez trzy cząstki.  
Fig. 2. 2D pore of virtual grain medium created by 3 particles.



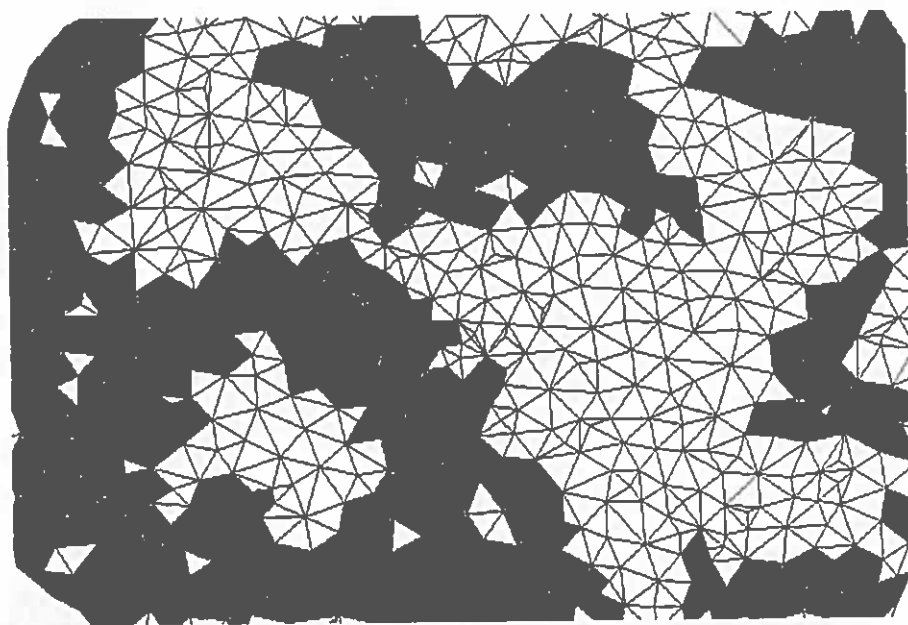
Rys. 3. Sieć porów dwuwymiarowego ośrodka o składzie granulometrycznym piasku drobnego w początkowym stadium procesu osuszania.  
Fig. 3. 2D pore network of fine sand at the beginning of drainage process.



Istnieje analogia między ośrodkiem trój- i dwuwymiarowym: kule zastąpiono kołami, okręgi – odcinkami, objętość – powierzchnią. Wykonanie triangulacji dla wszystkich cząstek przekroju pozwala zbudować sieci trójkątów spójnie wypełniających powierzchnię zajmowaną przez ośrodek, tak jak to przedstawia Rys. 3.

Każdy z widocznych na Rys. 3 trójkątów zawiera jeden por. Punkty styku boków trójkątów odpowiadają położeniom środków cząstek ośrodka (cząstki nie zostały zaznaczone ze względu na czytelność obrazu).

Badania symulacyjne dotyczyły procesu osuszania ośrodka porowatego. W fazie początkowej ośrodek jest nasycony, a więc wszystkie opory wypełnione są wodą (trójkąty białe na Rys. 3, 4, 5).



Rys. 4. Zaawansowany etap osuszania dwuwymiarowej sieci porów ośrodka granularnego (kolor czarny – powietrze, kolor biały – woda).

Fig. 4. Drainage of 2D pore network of fine sand just before the percolation threshold (air – black color, water – white color).

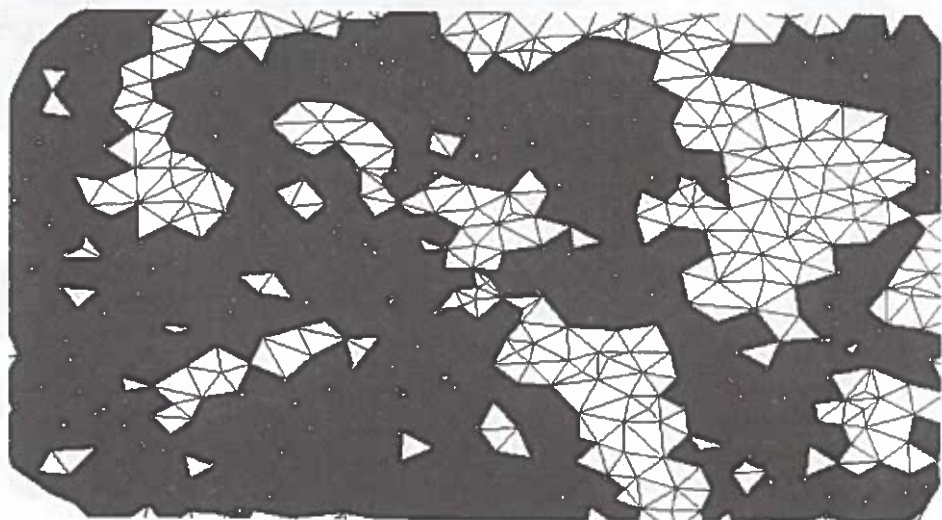
Oznacza to, że na początku osuszania pory aktywne mogą znajdować się jedynie na obwodzie ośrodka i od nich musi rozpocząć się jego osuszenie.

Da każdej wartości ciśnienia  $P_j$  procedura opróżnianie porów ośrodka może składać się z kilku etapów:

1. identyfikacja porów i przewężeń aktywnych,
2. opróżnienie porów których ciśnienia kapilarne przewężeń jest mniejsze od ciśnienia  $P_j$ ,
3. powstanie nowych przewężeń aktywnych,
4. powrót do punktów 1, 2, 3.

Działanie pętli ustaje gdy wykonanie jej kolejny raz nie powoduje żadnych zmian w układzie. Z fizycznego punktu widzenia oznacza to ciśnienie wszystkich przewężeń aktywnych w układzie nie jest mniejsze od ciśnienia zewnętrznego  $P_j$ .

Na Rys. 3 widoczny jest początkowy etap osuszania – kilkanaście porów aktywnych zostało opróżnionych (trójkąt czarny), ponieważ zostały spełnione oba wymienione wcześniej warunki. W początkowym etapie osuszania ośrodka liczba porów aktywnych szybko rośnie – opróżnienie jednego poru aktywnego powoduje na ogół powstanie dwóch nowych.



Rys. 5. Stan perkolacji porów ośrodka dwuwymiarowego przy ciśnieniu przebicia (w stosunku do Rys. 4).

Fig. 5. The 2D pore network just after reaching the percolation threshold (see Fig. 4).

Wzrost ciśnienia powoduje opróżnianie porów mających coraz mniejsze przewężenia, ale nie wyłącznie takich. Różnica między dotychczas stosowanym, a proponowanym mechanizmem osuszania ośrodka porowatego polega na tym, że w tym przypadku por, którego ciśnienia kapilarne przewężeń są mniejsze od ciśnienia zewnętrznego, może, ale nie musi zostać osuszony. Jeśli taki por otoczony

jest porami o małych przewężeniach, jego opróżnienie jest niemożliwe – uzależnione jest od wcześniejszego opróżnienia sąsiadujących z nim porów.

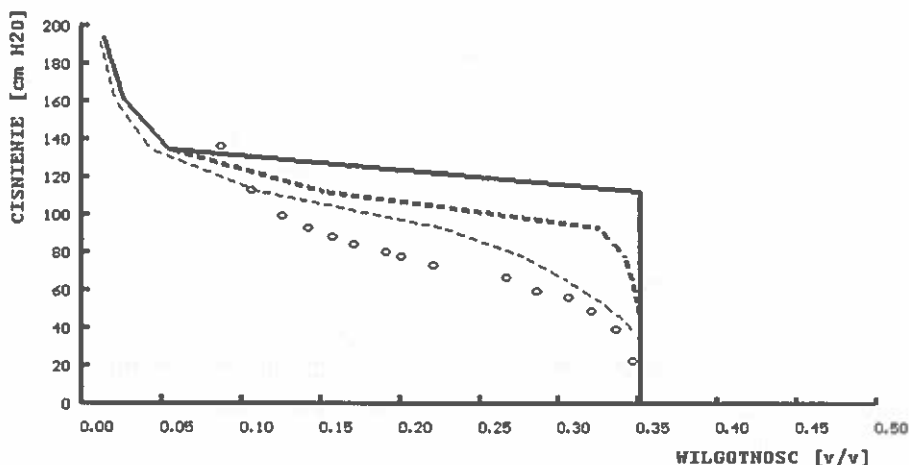
Rysunki 4 i 5 przedstawiają 2 stany osuszane go ośrodka odpowiadające dwóm bardzo mało różniącym się wartościom ciśnienia ( $\Delta p = 1\%$  całego zakresu zmienności). Widoczna jest znaczna różnica między nimi – stosunkowo dużo porów zostało osuszonych w wyniku niewielkiego wzrostu ciśnienia. Poza tym analizując Rys. 4, można zauważyć, że przeciwległe krańce ośrodka można połączyć linią przechodzącą przez pory suche [9]. Ciśnienie przy którym pojawia się „ścieżka” powietrzna między przeciwległymi powierzchniami granicznymi w wilgotnym ośrodku porowatym jest jego parametrem nazywanym ciśnieniem przebicia (ang. Air bubbling pressure). Jest on wyznaczany doświadczalnie i nie zależy od wielkości ośrodka.

Przykład przedstawiony powyżej dotyczył sytuacji w której wszystkie pory znajdujące się na powierzchni badanego ośrodka są porami aktywnymi.

Na ogół w trakcie laboratoryjnych pomiarów retencji wodnej gleba znajduje się w cylinderku Kopecky’ego o wymiarach: wysokość 4,7 cm, średnica 5,2 cm i objętości 100 cm<sup>3</sup>. W trakcie pomiarów nasycona próbka gleby umieszczona na płycie porowatej kontaktuje się z otoczeniem (atmosferą) tylko przez górną powierzchnię, która stanowi ca 18% jej powierzchni zewnętrznej (stosunek powierzchni podstawy do sumy powierzchni bocznej i obu podstaw walca). Należy więc przyjąć, że podczas rutynowych oznaczeń taki jest procent porów aktywnych „uczestniczy” w początkowym stadium osuszania próbki. Dla cylindra 2 razy wyższego procent ten wynosi 10,8%, a 2 razy niższego – 26,3%, co dowodzi że wielkość ta zależy od geometrii próbki gleby.

Wydaje się oczywiste przypuszczenie że większa ilość porów aktywnych na początku procesu, zwiększa prawdopodobieństwo opróżnienia jednego z nich, a tym samym wpływa na retencję wodną ośrodka. W celu weryfikacji tej hipotezy wykonano 3 symulacje osuszania trójwymiarowego jednego ośrodka wirtualnego przy różnej ilości początkowo aktywnych porów. Wyniki symulacji przedstawiono na Rys 6. Dotyczą one ośrodka składającego się z ok. 30.000 porów, przy czym ilość porów powierzchniowych wynosiła 3571. Trzy krzywe retencji wodnej odpowiadają różnej ilości początkowo aktywnych porów: linia przerywana cienka – 100%, przerywana gruba 9,3%, ciągła gruba – 0,083%. Punkty na wykresie odpowiadają wynikom pomiarów. Wyniki symulacji potwierdzają hipotezę roboczą – krzywa retencji zależy, szczególnie dla małych wartości ciśnienia, od

ilości początkowo aktywnych porów. Im mniejsza jest ich ilość tym wyższa wartość ciśnienia przy którym rozpoczyna się osuszanie (ang. capillary fringe) [14].



Rys. 6. Krzywe retencji piasku drobnego otrzymane na podstawie symulacji osuszania wirtualnego ośrodka trójwymiarowego przy różnej ilości porów początkowo aktywnych.

Fig. 6. Retention curves of fine sand from simulation of virtual 3D medium for different amount of initially active pores.

Przedstawiony model umożliwia jakościowe wyjaśnienie takiego przebiegu zależności. Mała liczba porów aktywnych zwiększa prawdopodobieństwo powstania konfiguracji przestrzennej przewężeń uniemożliwiającej wnikanie powietrza do układu. W konsekwencji osuszanie ośrodka przy danym ciśnieniu nie następuje.

#### WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań symulacyjnych osuszania wirtualnego ośrodka granularnego wynika, że krzywa retencji zależy od geometrii próbki gleby rozumianej jako stosunek powierzchni do objętości próbki.

#### PIŚMIENNICTWO

1. Arya L.M., Paris J.F.: A physicoempirical model to predict the soil moisture from particle size distribution and bulk density data. Soil Sci. Soc. Am. J., v.45, 1981.

2. **Czachor H.:** Geometria fazy stałej i przestrzeni porów w rolniczych ośrodkach granulanych na przykładzie gleby mineralnej *Acta Agrophysica* 7, Lublin 1997.
3. **Eggleston J.R., Peirce J.J.:** Dynamic programming analysis of pore space. *Europ. J. Soil Sci.* 46, 4, 1995.
4. **Gupta S.C., Larson W.E.:** Estimating soil water retention characteristics from particle – size distribution, organic matter percent and bulk density *Water Resour. Res.* 15, 1979.
5. **Hillel D.:** Introduction to soil physics. Academic press. 1982.
6. **Iwata S., Tabuchi T., Warkentin B.P.:** Soil Water Interactions, Mechanism and applications. Dekker, N-Y, Basel 1988.
7. **Latey J.:** The study of soil structure: Art. or Science. *Aust J. Soil Res.* 29. 1991.
8. **Manson G.:** A Model of the Pore Space in a Random Packing of Equal Spheres. *J. of Colloid and Interface Science.* Vol.35, No.2, 1971.
9. **Mason G., Mellor D.W.:** Analysis of the percolation properties of the real porous materials. *Studies in surface science and catalysis.* 62, 1991.
10. **Mualem Y.** A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water Resource Res.*, 12, 1976.
11. **Okabe A., Boots B., Sugihara K.:** Spatial tessellation. Concept and application of Voronoi diagrams. J.Wiley&Sons. Chichester N-Y, Brisbane, Singapore 1992.
12. **Sobczuk h., Plagge R., Walczak T.W., Roth H.Ch.:** *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 155, 1992.
13. **Sobczuk H.:** Opis stanu fizycznego gleby jako ośrodka nieuporządkowanego na przykładzie krzywych retencji wody. *Acta Agrophysica*, Lublin, 11, 1998.
14. **White N.F., Sunda D.K., Duke H.R., Corey A.T.:** Boundary effects in desaturation of porous media. *Soil Sci* 113. 1972.

## THE INFLUENCE OF SOIL SAMPLE GEOMETRY ON WATER RETENTION

*H. Czachor*

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin 27  
hczachor@demeter.ipan.lublin.pl

**Summary.** The virtual 3D virtual grain medium was created and then divided on to a set of individual pores by means of the 3D tessellation procedure. Volumes of all pores and capillary pressure of all necks have been calculated. Simulation of drainage shows that moisture retention curve of virtual medium depends on soil sample geometry. i.e. the ratio of volume and surface connected with the atmosphere.

**Key words:** virtual grain media, moisture retention curve.

