

ALGORYTM BINARYZACJI OBRAZÓW TOMOGRAFICZNYCH GLEBY ZAGREGOWANEJ*

A. Guc, H. Czachor, A. Król

Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego, Polska Akademia Nauk
ul. Doświadczalna 4, P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27

E-mail: aguc@demeter.ipan.lublin.pl, hczachor@demeter.ipan.lublin.pl, akrol@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Stosowanie analizy obrazu do badań struktury wymaga określenia metody odróżnienia punktów obrazu należących lub nie do obiektów. Przedstawiono algorytm binaryzacji obrazów tomograficznych gleby zagregowanej, który skonstruowano w oparciu o warunek równości porowatości struktury obliczonej z tomogramu przed i po segmentacji. Podano sposób na wyznaczenie porowatości struktury z obrazu tomogramu. Wymaga on znajomości współczynnika Hounsfielda materiału, z którego zbudowane są agregaty glebowe. Założono, że jest on równy wartości odpowiadającej położeniu maksimum histogramu współczynników Hounsfielda, znajdującemu się w obszarze dużych jego wartości. Przyjęto jednakowe wartości współczynnika tego dla gleby nieodkształconej i poddanej procesowi ściskania (odkształcenie względne 13 %).

S ł o w a k l u c z o w e: tomografia komputerowa, analiza obrazu, histogram, binaryzacja, porowatość, por

WSTĘP

Analiza obrazu jest metodą pozwalającą na wykorzystanie danych uzyskanych z badań tomograficznych dotyczących m.in. badania struktury gleb. Systemy analizy obrazu pozwalają uzyskać informację o wartościach rozmaitych parametrów opisujących obiekty i strukturę pod warunkiem, że obraz przedstawiony jest w postaci binarnej tzn. punkty obrazu mogą przyjmować dwie wartości, z których jedna oznacza, że punkt należy do obiektu (zwykle wartość 1, którą najczęściej przedstawia się kolorem białym) a druga, że nie należy (zwykle wartość 0, którą najczęściej przedstawia się kolorem czarnym). Dane otrzymywane z tomografu nie spełniają tego warunku i dlatego konieczne jest opracowanie procedury segmentacji (binaryzacji), za pomocą której dokonuje się identyfikacji punktów należących do agregatów i do porów. Przegląd różnych metod binaryzacji można znaleźć w monografiach Pratta [2], Russ'a [3] i Serra'y [4].

*Praca finansowana przez Komitet Badań Naukowych, Nr. 5P 06F 003 10.

Celem pracy jest opracowanie algorytmu binaryzacji obrazów z tomografu komputerowego uwzględniającego związek pomiędzy współczynnikiem Hounsfielda a gęstością ośrodka i porowatością. Podanie tego algorytmu pozwala w sposób nieniszcząco badać strukturę gleby przy wykorzystaniu metody analizy obrazu.

PODSTAWY TEORETYCZNE

Przy konstruowaniu algorytmu przyjęto założenie, że porowatość obliczona na podstawie obrazu przekroju struktury po binaryzacji (P_B) powinna być równa rzeczywistej porowatości analizowanej warstwy (P_R)

$$P_B = P_R \quad (1)$$

Porowatość P_B określa następujący wzór:

$$P_B = N_P/N = 1 - N_A/N \quad (2)$$

gdzie: N_P , N_A - liczba pikseli należących do porów i agregatów w obrazie zbinaryzowanym; N - całkowita liczba pikseli obrazu.

Porowatość P_R w ogólności nie jest znana. Metodami eksperymentalnymi można wyznaczyć porowatość całej próbki, lecz bardzo trudno jest uzyskać tą wielkość w odniesieniu do warstwy znajdującej się w jej wnętrzu. Jednym z podejść jest przybliżanie wartości P_R poprzez porowatość wyznaczoną na podstawie obrazu przekroju struktury przed binaryzacją (P_G) wg równania:

$$P_G = 1 - V_A/V \quad (3)$$

gdzie: V_A - objętość agregatów w badanej warstwie; V - całkowita objętość warstwy.

Objętości zawarte w równaniu (3) wyrażają się następująco:

$$V = N V_V \quad (4)$$

gdzie: V_V - objętość woksela:

$$V_A = \Sigma V_C \quad (5)$$

gdzie: V_C - objętość części woksela wypełniona przez agregat; a sumowanie następuje po wszystkich woksela warstwy.

Współczynnik Hounsfielda (H_R) woksela częściowo wypełnionego jednorodnym materiałem o współczynniku Hounsfielda H_M przy założeniu, że w przestrzeni niezapełnionej znajduje się ośrodek o współczynniku H_P , (zwykle powietrze, dla którego współczynnik Hounsfielda wynosi -1000) dany jest zależnością:

$$H_R = (H_M - H_P) (V_C / V_V) + H_P \quad (6)$$

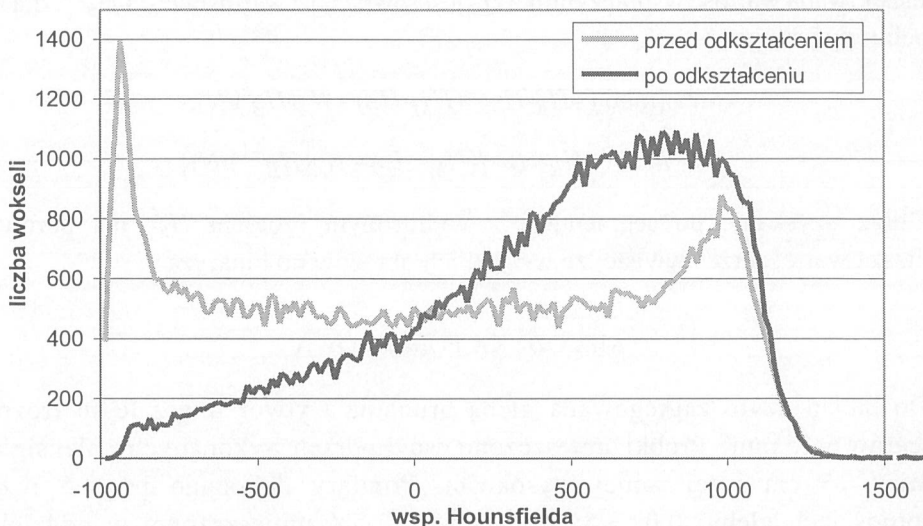
gdzie: V_C - objętość części woksela wypełniona materiałem o współczynniku H_M .

Biorąc to pod uwagę otrzymujemy:

$$P_G = 1 - \langle H_R - H_P \rangle / (H_M - H_P) \quad (7)$$

gdzie: $\langle H_R - H_P \rangle$ - oznacza wartość średnią różnic wsp. Hounsfielda wszystkich wokseli

Agregaty są zbudowane z materiału o współczynniku H_M , który zwykle nie jest znany i zależy od czynników zewnętrznych np. wilgotność gleby. Można go wyznaczyć przy założeniu, że agregaty są jednorodne pod względem budowy wewnętrznej. Histogramy współczynnika Hounsfielda takich tomogramów posiadają dwa maksima lokalne, pierwsze w okolicy wartości H_P , odpowiadające wokselsom w znacznym stopniu wypełnionym przez por (H_{POR}), oraz drugie dla wartości bliskich H_M , odpowiadające wokselsom całkowicie wypełnionym przez agregat (H_{AGR}) (Rys. 1). Wartości bezwzględne różnic $H_{POR} - H_P$ i $H_{AGR} - H_M$ zależą od składu agregatowego i są tym większe im więcej jest agregatów i porów o rozmiarach zbliżonych do rozmiaru woksela. Istnienie tych maksimów zostało potwierdzone zarówno w danych uzyskanych metodą symulacyjną wg algorytmu podanego przez Guca, jak i we wstępnych badaniach doświadczalnych [1], przy czym w histogramach z tomogramów występuje pewna liczba wokseli (mniej niż 8%) ze współczynnikami Hounsfielda większym niż H_{AGR} (z czego tylko 12,5% ma wartość H większą niż $1,04 H_{AGR}$). Efekt ten wynika z istnienia drobnych wtrąceń do obszaru agregatu materiału o odmiennym składzie chemicznym lub innych proporcjach poszczególnych składników. Wobec tego można przyjąć, że H_M jest równe H_{AGR} .



Rys. 1. Histogramy współczynnika Hounsfielda tomogramów dla próbki przed i po odkształceniu.

Fig. 1. Two histograms of Hounsfield's coefficients of tomograms for soil sample before and after deformation.

Zastosowanie opisanej procedury do próbek poddanych procesowi ściskania nie zawsze jest możliwe. Wynika to ze zmiany charakteru histogramu. Wzrost odkształcenia objętościowego próbki spowodował zanik wyraźnego lokalnego minimum rozdzielającego maksima histogramu. W związku z tym metoda identyfikacji H_M opracowana dla próbek nieodkształconych nie może być zastosowana. Zmiana ta jest skutkiem przemieszczania się agregatów do przestrzeni porowych, co powoduje zmniejszenie odległości międzyagregatowych i zwiększenie stopnia wypełnienia objętości wokseli przez agregaty, a tym samym przyrost liczby wokseli zajętych w dużej części przez agregaty.

Współczynnik Hounsfielda H_M dla próbek przed i po odkształceniu jest równy, jeśli wielkość całkowitego odkształcenia próbki i wywołane w trakcie deformacji naprężenia nie są tak duże, aby spowodować zmianę porowatości wewnątrzagregatowej.

Algorytm binaryzacyjny jest następujący:

1. identyfikacja cylindra, w którym znajduje się próbka;
2. usunięcie obszarów: zajmowanego przez cylinder oraz leżącego na zewnątrz niego;
3. obliczenie ilorazu $\langle H_R - H_P \rangle / (H_M - H_P)$ dla obrazu przed binaryzacją;
4. ustalenie $H_B^1 = H_M$;
5. segmentacja z progiem o wartości współczynnika Hounsfielda H_B^i (dla $i=1,2, \dots, j$);
6. obliczenie ilorazu $N_A(H_B^i)/N$ dla obrazu po binaryzacji;
7. powtarzanie czynności z pkt 5-6 dla stopniowo zmniejszających się wartości H_B^i do spełnienia w j -tym kroku warunku

$$\langle H_R - H_P \rangle / (H_M - H_P) < N_A(H_B^j) / N$$

8. poszukiwana wartość współczynnika H_B jest równa tej z wartości H_B^j i H_B^{j-1} , dla której spełniony jest wzór:

$$\begin{aligned} & \min \{ \text{mod} (\langle H_R - H_P \rangle / (H_M - H_P) - N_A(H_B^j) / N), \\ & \text{mod} (\langle H_R - H_P \rangle / (H_M - H_P) - N_A(H_B^{j-1}) / N) \} \end{aligned} \quad (8)$$

Obraz uzyskany, po segmentacji z wyliczonym progiem H_B^i , ma porowatość najbliższą wartości rzeczywistej ze wszystkich obrazów po binaryzacji.

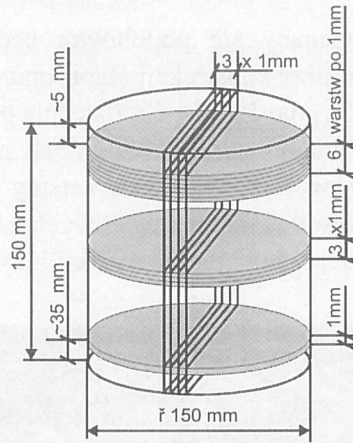
METODYKA POMIAROWA

Do badań użyto zagregowaną glebę brunatną wytworzoną z lessu (rozmiary agregatów 6-15 mm). Próbki umieszczono w cylindrach wykonanych z pleksiglasu o średnicy 15 cm i tej samej wysokości. Pomiary dokonano przy 5 różnych wilgotnościach gleby: 0,0; 3,5; 7,5; 14,5 i 17,5% umieszczonej w oddzielnych cylindrach. Algorytm sprawdzono na rzeczywistych tomogramach uzyskanych przy pomocy tomografu firmy General Electric. Dla każdej próbki wykonano 10 tomogramów prostopadle do osi cylindra (6 w odległości 5-10 mm od strony tłoka, 3

w połowie wysokości cylindra i 1 w odległości 35 mm od dna cylindra) oraz 3 tomogramy równoległe do osi próbki w środkowej jej części oddalone od siebie o 1 mm (Rys. 2).

Następnie glebę w cylindrach poddano zagęszczeniu za pomocą tłoka, aż do uzyskania odkształcenia względnego równego 13%, po czym wykonano drugą serię tomogramów wg tej samej procedury jak dla próbek nieodkształconych.

Analiza obrazu prowadzona była za pomocą systemu analizy obrazu Aphelion v.2.3.

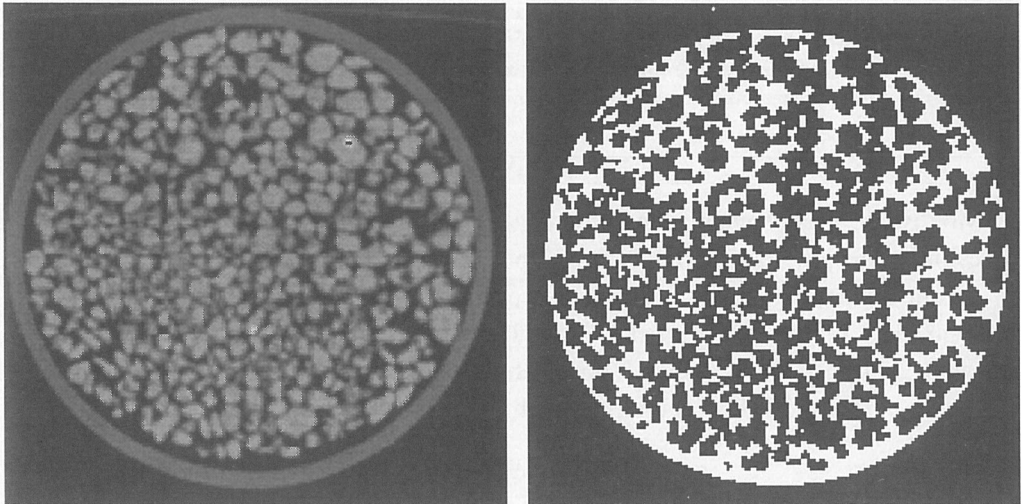


Rys. 2. Schemat położenia warstw w cylindrze, dla których wykonano tomogramy.

Fig. 2. Positions of scanned layers in cylindrical soil sample.

WYNIKI

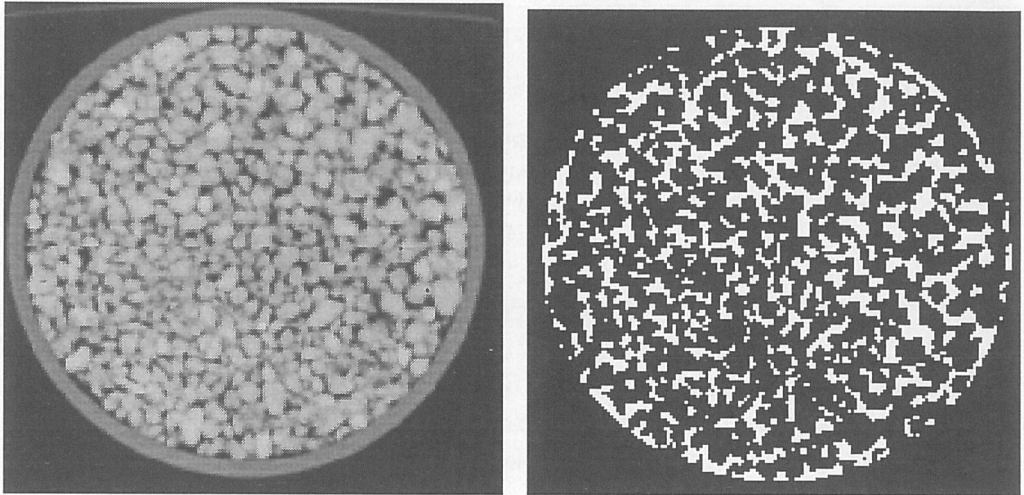
Rysunek 3 przedstawia tomogram i obraz zbinaryzowany uzyskany za pomocą przedstawionego algorytmu. Porównanie ich pozwala zauważyć dużą dokładność odwzorowania agregatów i porów. Rysunek 4 przedstawia obrazy próbek po deformacji,



Rys. 3. Obraz oryginalny (lewy) i zbinaryzowany (prawy) tomogramu wykonanego w kierunku prostopadłym do osi cylindra dla próbki przed odkształceniem (wilgotność gleby 0%).

Fig. 3. Original (left) and binarized (right) images of tomograms for cylindrical soil sample before deformation (scanning direction parallel axis, 0% moisture).

charakteryzujący się podobnymi cechami. Wynik ten wskazuje na poprawność, przyjętego przy konstrukcji algorytmu dla takich próbek założenia o nie zmienianiu się wartości H_M na skutek odkształcenia próbek gleby w zakresie do 0 do 13% wysokości próbki. Zmiany wilgotności próbek nie wpływały na skuteczność procedury, która zgodnie z intuicją wykrywała zmiany w wartości H_M powodowane wypełnianiem się wodą porów wewnątrzagregatowych. Uzyskane w wyniku realizacji algorytmu wartości porowatości przed i po binaryzacji były sobie równe z dokładnością 1%.



Rys. 4. Obraz oryginalny (lewy) i zbinaryzowany (prawy) tomogramu wykonanego w kierunku prostopadłym do osi cylindra dla próbki po odkształceniu (wilgotność gleby 0%).

Fig. 4. Original (left) and binarized (right) images of tomograms for cylindrical soil sample after deformation (scanning direction perpendicular to axis, 0% moisture).

WNIOSKI

Możliwość zastosowania metody analizy obrazu do badań struktury wymaga wcześniejszego uzyskania pozytywnej odpowiedzi na pytanie o istnienie poprawnego algorytmu binaryzacji obrazu. Opisana procedura segmentacji daje poprawne wyniki zarówno dla tomogramów próbek poddanych jak i nie poddanych deformacji, o czym świadczy bardzo dobra zgodność porowatości międzyagregatowej wyznaczonych na podstawie obrazów źródłowych i binarnych.

PIŚMIENNICTWO

1. **Guc A., Czachor H., Król A.:** Zastosowanie tomografii komputerowej i metody analizy obrazu do badania struktury gleby zagregowanej, *Acta Agrophysica*, 24, 43-48, 1999.
2. **Pratt W.K.:** *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, 1991.
3. **Russ J.C.:** *The image processing handbook*, CRC PRESS, 1995.
4. **Serra J.:** *Image Analysis and Mathematical Morphology*, Academic Press, 1982.

BINARISATION ALGORITHM TOMOGRAPHIC IMAGES OF AGGREGATE SOIL
STRUCTURE

A. Guc, H. Czachor, A. Król

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences
Doświadczalna 4, P.O. Box 201, 20-290 Lublin 27

SUMMARY

When applying image analysis to structure studies we need to choose a concrete method of segmentation of image points pertinent or not to given objects. This study presents the algorithm of tomographic images of aggregated soil to be binarised, created on the basis of the condition of equal structure porosity calculated on the tomogram before and after the segmentation. Moreover, the study provides a method for calculating the structure porosity by means of tomogram generated image. To apply it we need to know the Hounsfield coefficient characterising selected soil aggregates. This coefficient is assumed to amount to the maximum of the set of Hounsfield coefficient values which correspond to locations of local maximums of Hounsfield coefficient histogram. We have assumed the same values of the Hounsfield coefficient for original and compressed soil (relative compression – 13%).

K e y w o r d s: computer tomography, image analysis, histogram, binarisation, porosity, soil pore