

Marek Dohnalik, Jan Kaczmarczyk, Jadwiga Zalewska
Instytut Nafty i Gazu, Kraków

Metodyka ekstrakcji parametrów geometrycznych sieci porowej z obrazów micro-CT (program MAVI)

Wprowadzenie

Trójwymiarowa geometria i przewodność przestrzeni porowej determinuje zachowanie się właściwości transportowych mediów złożowych w skałach, co ma istotne znaczenie w geologii naftowej. W artykule tym zajęto się bezpośrednim pomiarem wielkości geometrycznych

sieci porowej na podstawie trójwymiarowych obrazów, otrzymanych metodą mikrotomografii rentgenowskiej. Analiza uzyskanych obrazów pozwoliła na ekstrakcję właściwości geometrycznych rozkładów ze zbiorów danych 3D.

Metodyka prowadzenia badań

Obrazy micro-CT materiałów porowatych są obrazami w skali szarości, zazwyczaj z widoczną populacją polimodalną, gdzie jeden mod odpowiada sygnałowi pochodzącemu od pustek, a drugi – sygnałowi z przestrzeni ziarnowej. Badanie ilościowe geometrii przestrzeni pustek wymaga wyróżniania fazy, który to proces jest znany w literaturze obrazowania jako segmentacja [3, 6].

Analiza przestrzeni porowej skał metodą micro-CT w Instytucie Nafty i Gazu prowadzona była przy wykorzystaniu programu MAVI, który został opracowany w Instytucie im. Fraunhofera w Niemczech. Program ten pozwala otrzymać dużą ilość parametrów określających strukturę analizowanych obrazów i służy dokładnej, matematycznej i tautologicznej analizie struktury porowej. Podstawowe założenia stosowane w programie MAVI dotyczą oznaczenia analizowanych kierunków i sąsiedztw.

Oznaczenie analizowanych kierunków

W celu dokonania analizy, oprogramowanie nakłada na przestrzenny obraz siatkę o dyskretnym rozkładzie punktów. W tablicy 1 znajduje się opis poszczególnych kierunków siatki i przestrzennego układu współrzędnych, w których obrazy są badane. W tablicy 2 zawarto definicje poszczególnych kierunków dla dwuwymiarowego układu współrzędnych.

Tablica 1. Określenie analizowanych kierunków 3D w programie MAVI [2]

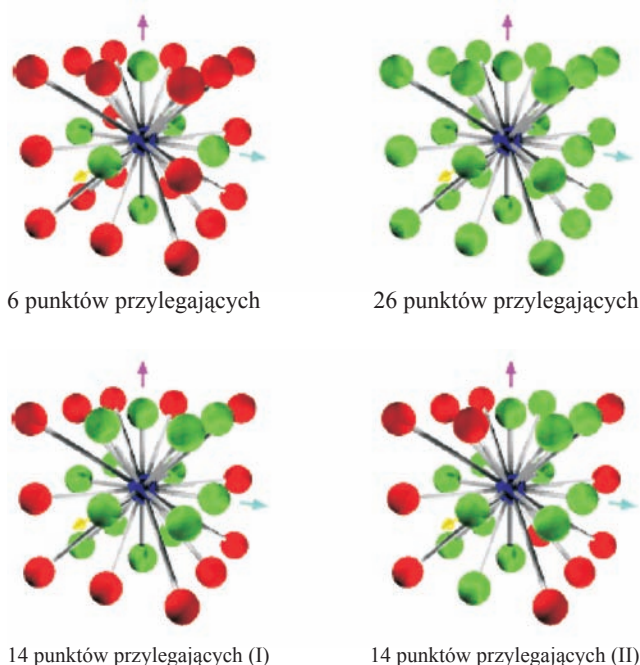
Równoległe do układu współrzędnych	Kierunek 00: [1; 0; 0] (równoległy do osi X)
	Kierunek 01: [0; 1; 0] (równoległy do osi Y)
	Kierunek 02: [0; 0; 1] (równoległy do osi Z)
Równoległe do przekątnych ścian	Kierunek 03: [0,707; 0,707; 0]
	Kierunek 04: [-0,707; 0,707; 0]
	Kierunek 05: [0,707; 0; 0,707]
	Kierunek 06: [-0,707; 0; 0,707]
	Kierunek 07: [0; 0,707; 0,707]
	Kierunek 08: [0; -0,707; 0,707]
Równoległe do przekątnych głównych siatki	Kierunek 09: [0,577; 0,577; 0,577]
	Kierunek 10: [-0,577; 0,577; 0,577]
	Kierunek 11: [0,577; -0,577; 0,577]
	Kierunek 12: [-0,577; -0,577; 0,577]

Tablica 2. Określenie analizowanych kierunków 2D w programie MAVI [2]

Równoległe do osi układu współrzędnych	Kierunek 1: [1,0] (równoległy do osi X)
	Kierunek 2: [0,1] (równoległy do osi Y)
Równoległe do przekątnych układu	Kierunek 3: [1,1]
	Kierunek 4: [-1,1]

Oznaczenie analizowanych sąsiedztw

Program MAVI stosuje dla przestrzeni cztery różne typy określania sąsiedztwa (przylegania) punktów, do określania połączeń punktów obrazu. Sąsiadujące ze sobą



Rys. 1. Typy sąsiedztw stosowane w programie MAVI [2]

pixele pierwszego planu należą do tego samego obiektu. Rysunek 1 pokazuje schemat czterech rodzajów systemu przylegania – zielone kule należą do sąsiedztwa niebieskiej, centralnej kuli, natomiast kule czerwone do tego sąsiedztwa nie należą.

W celu wybrania parametrów obliczeniowych przeanalizowano prosty, stworzony przez autorów tej pracy model 3D, o wymiarach 10(X) × 10(Y) × 4(Z) wokseli. Podstawowym określanym parametrem była porowatość, obliczana według formuły $Kp = V_p / (V_{sz} + V_p)$, gdzie V_p – objętość zajmowana przez pory, a V_{sz} – objętość zajmowana przez szkielet. Porowatość w przypadku stworzonego modelu wynosiła 19,5%.

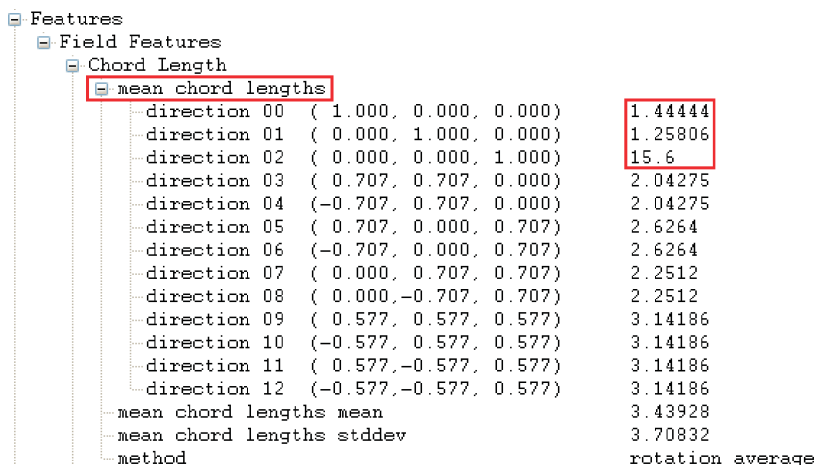
Chcąc uzyskać informację dotyczącą anizotropii rozkładu porów w przestrzeni próbki, analizie poddano wyniki długości średniej cięciwy – parametry *mean chord length*, będące częścią wyników pola (*field features*).

Analizując podstawowe kierunki 00, 01, 02 (rysunek 2) można stwierdzić, że w kierunkach 00 (X) i 01 (Y) średnia długość cięciw jest znacznie mniejsza niż dla kierunku 02 (Z), co świadczy o znacznie lepiej zbudowanej sieci połączeń w kierunku Z, składającej się z nieprzerwanych kanalików porowych. Natomiast wartość dla kierunku 00 jest większa niż dla kierunku 01, co spowodowane jest obecnością dodatkowych połączeń występujących w kierunku X. Podkreślić należy, że im większa wartość liczbową, tym lepiej rozbudowana jest struktura porowa w danym kierunku.

(*Mean chord lengths* – dosłownie: długości średniej cięciwy; (średnie wielkości cięciw porów mierzone w każdym z 13 kierunków); program podaje wartość, która równa jest długości średniej dla każdego z 13 kierunków).

Wydzielanie obiektów połączonych ze sobą

W celu ilościowej analizy poszczególnych obiektów obrazu przestrzennego możliwe jest wydzielenie z całej przestrzeni obrazu tych obiektów, które mają połączenie ze sobą, natomiast nie posiadają połączeń z innymi obiektami. Każdemu z wydzielonych obiektów można przypisać wartość liczbową – w celu późniejszej identyfikacji obiektu i jego cech. O tym, czy obiekty są połączone pomiędzy sobą decyduje rodzaj wybranego sąsiedztwa (rysunek 1). Na rysunku 3 znajduje się przykład opisujący metodę szukania połączeń dla obrazu dwuwymiarowego, według typu sąsiedztwa '4'. Ten rodzaj opisany jest następującym wzorem:



Rys. 2. Okno wynikowe opcji *field features*

$$N_4(p) = [(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)], [1]$$

gdzie:

p – jest pikselem, którego otoczenie jest badane,

x, y – współrzędne;

piksel q należy do sąsiedztwa piksela p , jeżeli należy do zbioru punktów $N_4(p)$.

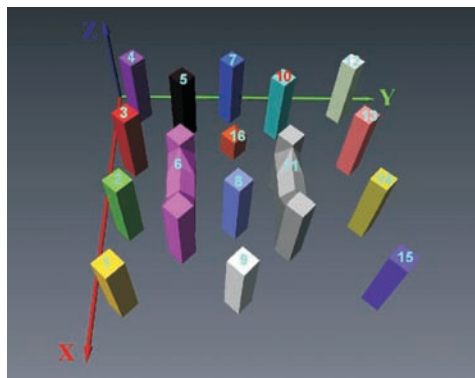
Analogiczna sytuacja zachodzi dla przestrzennego układu punktów, gdzie dla danego woksela program analizuje jego otoczenie. Jeżeli badany woksel należy do otoczenia spełniającego warunek połączenia dla danego typu sąsiedztwa, wtedy jest traktowany jako punkt mający połączenie z wokselem wyjściowym.

0	1	0	1	...	1	
					...	
1	—	1	—	1	0	1
						...
0	1	0	1	...	1	
0	1	—	1	0	1	
0	0	1	0	0		

Rys. 3. Schematyczny opis określania sąsiedztwa dla obrazu 2D [1]

W celu wydzielenia niepołączonych pomiędzy sobą obiektów zastosowano sąsiedztwo 26 punktów przylega-

jących. Wynikiem tego jest wydzielenie w analizowanym modelu 16 obiektów (rysunek 4), pomiędzy którymi połączenia nie występują. W analogiczny sposób w obrazach próbek skał można wydzielać niepołączone ze sobą podtypy porów. Dla tak wydzielonych obiektów można uzyskać przydatne parametry określające ich objętość i współczynnik kształtu oraz podać średnią wartość dla wszystkich analizowanych obiektów.



Rys. 4. Wydzielenie obiektów niepołączonych, wraz z numeracją nadaną przez program

Analizując podany przykład można stwierdzić, że przeważają obiekty o objętości czterech woksela (wartość średnia: 4,87 woksela) i – według tabeli referencyjnej [2] – najczęściej występujące obiekty są zbliżone kształtem do prostopadłościanu.

Tablica 3. Wyniki objętości oraz współczynnika kształtu

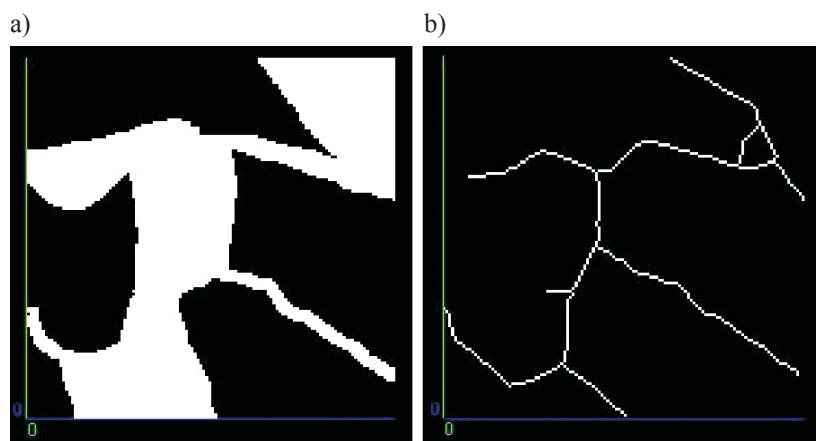
Nr obiektu	Objętość [woksel]	Współczynnik kształtu	Nr obiektu	Objętość [woksel]	Współczynnik kształtu
1	4	0,76	9	4	0,76
2	4	0,76	10	4	0,76
3	4	0,76	11	12	0,60
4	4	0,76	12	4	0,76
5	4	0,76	13	4	0,76
6	12	0,60	14	4	0,76
7	4	0,76	15	4	0,76
8	4	0,76	16	2	1

Objętość średnia: $4,87 \pm 2,83$, średni współczynnik kształtu: $0,75 \pm 0,086$.

Analiza szkieletu

Szkielet jest obrazem odwzorowującym charakterystykę geometryczną i topologiczną, ale zaniedbującym objętość elementów obrazu wyjściowego [2, 8]. Transformacja obrazu w szkielet, zwana także transformacją do osi środkowej (*medial axis transformation*), polega

na izotropowym wycinaniu („erozji”) białych woksela na całej powierzchni elementów obrazu. Punkty, w których następuje zetknięcie się płaszczyzn wycinania, zostają dołączone do obrazu szkieletu próbki. Wynik przykładowej transformacji zaprezentowano na rysunku 5.



Rys. 5. (a) Obraz binarny oraz (b) efekt jego transformacji do osi środkowej

Transformując obraz do szkieletu traci się informacje o objętości elementów obrazu, jednak na uzyskanym szkielecie łatwiej jest dokonać analizy topologicznej. W szkielecie obrazu można wyróżnić następujące elementy:

- zakończenia kanałków porowych – woksele umieszczone na końcu pojedynczej gałęzi,
- węzły – woksele stanowiące skrzyżowania dwóch gałęzi,
- gałęzie – każdy ciąg wokseli zakończony skrzyżowaniem lub węzłem,
- pętle – układ gałęzi tworzący figurę zamkniętą,

przy czym do przypisania rodzaju elementu wystarczy analiza ilości sąsiadów badanego wokseli (1 – dla zakończenia, 2 – dla gałęzi, > 2 – dla węzłów). Obowiązuje także zależność wynikająca z równania Eulera [8]:

$$\text{liczba pętli} = \text{liczba gałęzi} - \text{liczba zakończeń} - \text{liczba węzłów} + 1$$

zatem w celu pełnej analizy topologii obrazu wystarczy podać jedynie ilość trzech elementów topologicznych szkieletu obrazu. Można także wykonać transformację tła

obrazu do szkieletu. Taka operacja nazywana jest „skiz” [4] i może służyć wyznaczeniu granic pomiędzy elementami widocznymi na obrazie.

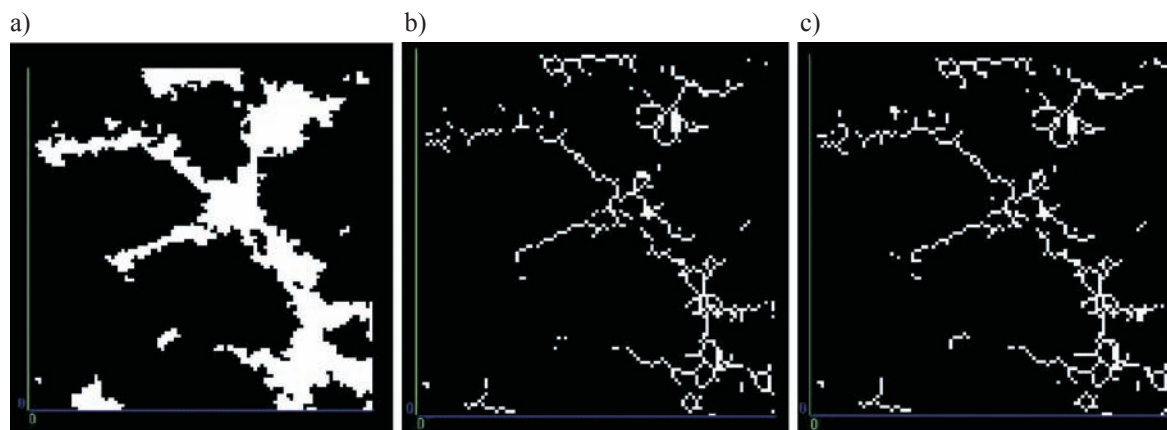
Przy tworzeniu szkieletu można zdefiniować następujące własności:

- wybór sąsiedztwa punktu, które będzie brane pod uwagę przy tworzeniu szkieletu (26; 6; 14-1; 14-2),
- typ szkieletu – szkielet może być zbudowany z łuków lub płaszczyzn,
- współczynnik rozgałęzienia – określa traktowanie punktów końcowych.

W przypadku wybrania opcji *medial axis* szkielet będzie zbudowany z łuków, które odwzorowywać będą osie środkowe elementów widocznych na obrazie. W przypadku osi *medial surface* na szkielecie zostaną pokazane przekroje środków obiektów widocznych na obrazie wyjściowym. Te dwa typy szkieletu pokazano na rysunku 6.

W celu ułatwienia analizy skonstruowanego szkieletu, program MAVI udostępnia także funkcję *Transformation/Skeleton Analyzer*. Program dokonuje analizy na podstawie algorytmu, szczegółowo opisanego w literaturze [5]. Najważniejsze punkty przytoczonego algorytmu to:

- podział obrazu na α -komponenty, gdzie α -komponent jest zbiorem punktów sąsiadujących ze sobą przy zadanym sąsiedztwie α ,
- w obrębie każdego punktu p , należącego do komponentu, wydzielenie grup punktów:
 - s-punkty – sąsiadują z p przy sąsiedztwie 6,
 - e-punkty – sąsiadują z p przy sąsiedztwie 18, ale nie 6,
 - v-punkty – sąsiadują z p przy sąsiedztwie 26, ale nie 18,



Rys. 6. (a) Obraz wyjściowy próbki, (b) szkielet utworzony w programie MAVI, przy wyborze sąsiedztwa 26, średniego współczynnika rozgałęzienia i transformacji *medial axis*, lub (c) *medial surface*

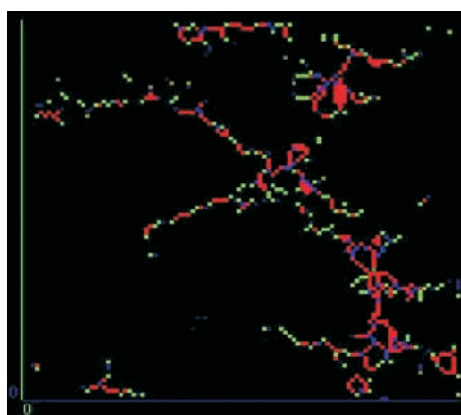
- obliczenie liczby tuneli i pustek w obrazie (na podstawie ilości s-punktów),
- podział punktów komponentów na klasy (przekładające się następnie na klasy programu MAVI); przez porównanie z zapisanymi w programie tabelami charakterystyk klas,
- przydział odpowiedniej klasy dla punktów, które mogą sprawiać trudności algorytmowi (np. połączenie płaszczyzny i łuku).

Po zastosowaniu funkcji analizy, na stworzonym szkielecie generowany jest obraz, na którym przy pomocy kodu kolorów zdefiniowanego w tabelicy 1 zaznaczone są poszczególne elementy topologiczne szkieletu [2]. Wynik przykładowej analizy szkieletu przedstawiono na rysunku 7.

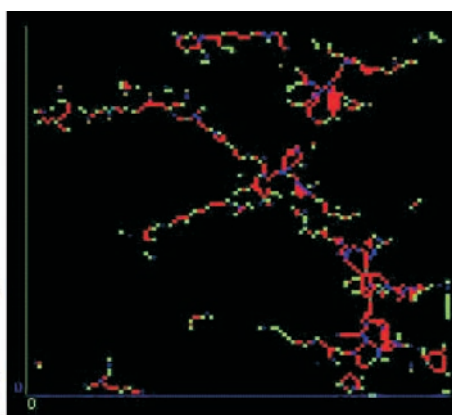
Tablica 4. Kod kolorów używany przez program MAVI przy wyświetleniu wyniku analizy szkieletu [2]

Klasa punktu	Opis	Kolor	Wartość zacierzenia
1	Punkt izolowany (I)	Ciemnozielony	1,5
2	Punkt wewnątrz łuku (C)	Granatowy	2,5
3	Końcowy punkt łuku (CE)	Oliwkowy	3,5
4	Punkt skrzyżowania łuków (CC)	Fioletowy	4,5
5	Punkt skrzyżowania płaszczyzny i łuku (SC)	Morski	5,5
6	Punkt wewnątrz płaszczyzny (S)	Czerwony	6,5
7	Punkt na krawędzi płaszczyzny (SE)	Zielony	7,5
8	Punkt skrzyżowania płaszczyzn (SS)	Niebieski	8,5

a)



b)



Rys. 7. Analiza szkieletu: (a) zaprezentowanego na rysunku 6b, (b) zaprezentowanego na rysunku 6c – kod kolorów: tablica 4

W celu analizy ilości poszczególnych wokseli można wygenerować histogram obrazu, przez opcję *Analysis/Image Statistics* – przykładowy wykres pokazano na rysunku 8.

W przypadku analizy obrazu mikrotomograficznego skał, funkcja transformacji obrazu do szkieletu pozwala

uzyskać informacje o przebiegu osi stanowiących środki przestrzeni porowych. Na szkielecie obrazu można także łatwo zidentyfikować połączenia porów oraz pory izolowane.

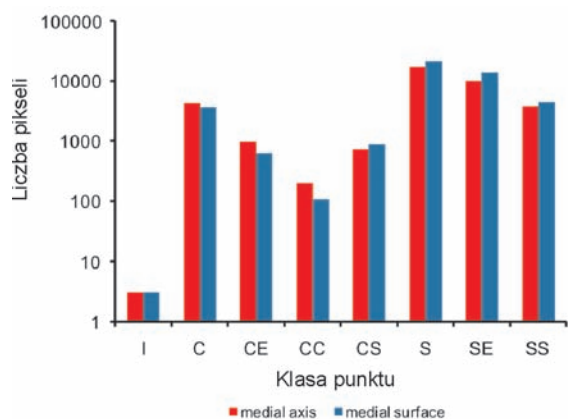
Mimo że – jak widać na rysunkach 6 i 7 – w przypadku analizy skomplikowanych układów porów nie ma większego znaczenia wybrany tryb tworzenia szkieletu (*medial axis* lub *medial surface*), bardziej poprawny wydaje się tryb osi środkowej. Tak skonstruowany szkielet sieci porowej można zinterpretować jako przybliżony tor przepływu cieczy przez porowate skały, w których wystąpiła kumulacja złóżowa.

Funkcja *Skeleton Analysis* pozwala także na uzyskanie informacji o budowie sieci porowej, w postaci podania liczby:

- zakończeń systemu porów – liczba wokseli będących zakończeniem łuku lub płaszczyzny,
- połączeń pomiędzy porami (gardzieli) – liczba wokseli stanowiących skrzyżowanie płaszczyzn, łuków lub łuku z płaszczyzną,
- porów zamkniętych (izolowanych) – liczba wokseli odpowiadających punktowi izolowanemu.

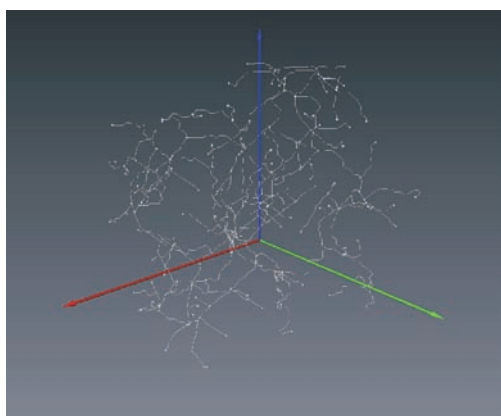
Podczas realizacji niniejszej pracy nie udało się opracować metodyki tworzenia szkieletu, który zachowywałby wszystkie występujące połączenia analizowanej struktury. Większość połączeń kanalików porowych o małych średnicach była przerywana, nie zachowując ważnych informacji dotyczących możliwego transportu płynów przez sieć porów. Dlatego do wstępnych obliczeń zastosowano moduł *CenterLineTree* programu AVIZO. Oparty jest on na algorytmie TEASAR (*tree-structure extraction algorithm for accurate*

and robust skeletons) [7]. Moduł ten generuje drzewo topologiczne analizowanej struktury. Od typowej transformacji obrazu na szkielet różni się on tym, iż nie generuje pętli. Bezpośrednim wynikiem pracy modułu *CenterLineTree* jest uzyskanie obrazu typu *SpatialGraph* (rysunek 9),

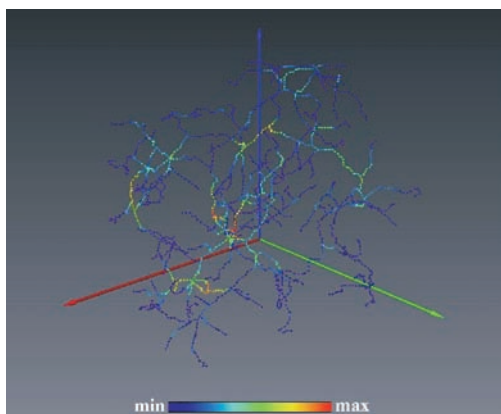


Rys. 8. Porównanie ilości pikseli należących do poszczególnych klas, powstałych przy użyciu różnych opcji tworzenia szkieletu

składającego się z punktów, węzłów oraz linii. Moduł ten zachowuje informacje o odległości każdego punktu drzewa topologicznego od krawędzi obiektu w obrazie źródłowym. Informacja ta może zostać wykorzystana do określenia lokalnej grubości struktury porowej, którą można przedstawić za pomocą skali kolorów (rysunek 10), gdzie zmiana koloru od fioletowego do pomarańczowego



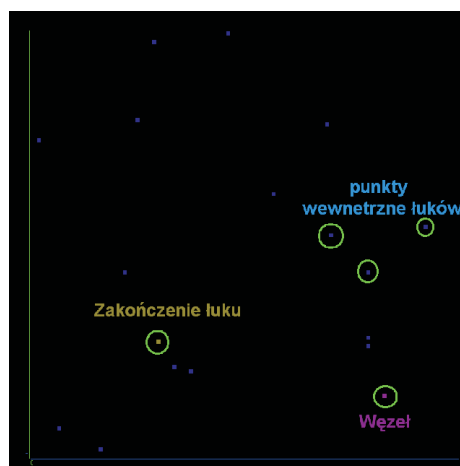
Rys. 9. Drzewo topologiczne struktury porów



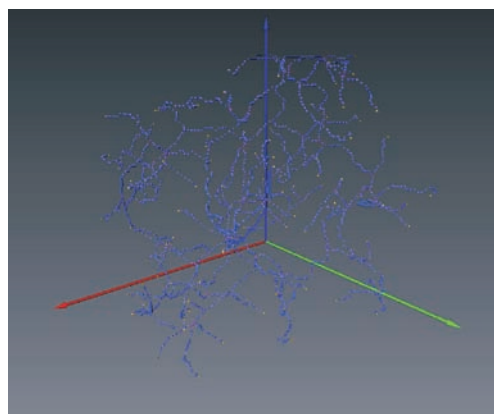
Rys. 10. Drzewo topologiczne struktury porów przedstawiające informację o grubości kanalików porowych

symbolizuje względny wzrost średnicy kanalików porowych w danym punkcie.

Po wczytaniu do programu MAVI wygenerowanego drzewa punktów można poddać go analizie (w module *Skeleton Analyzer*), w wyniku czego uzyskamy informację, które punkty należą do gałęzi (*kolor niebieski*), a które do węzłów (*kolor fioletowy*) lub zakończeń porów (*kolor oliwkowy*) (rysunek 11). Rysunek 11 przedstawia przekrój przez próbkę, z zaznaczonymi poszczególnymi punktami, których kolorystyka jest również opisana w tablicy 4.



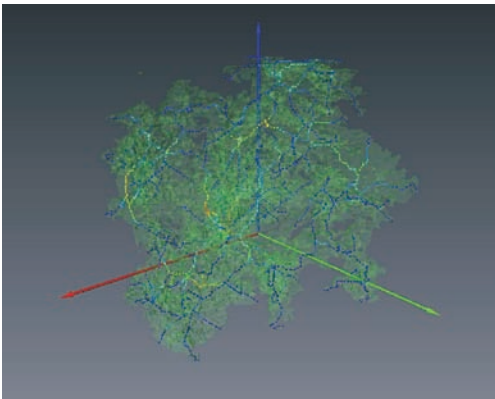
Rys. 11. Przekrój obrazu po analizie szkieletu



Rys. 12. Przestrzenna dystrybucja zakończeń, węzłów i kanalików

Po wczytaniu obrazu (przeanalizowanego za pomocą modułu *Skeleton Analyzer*) do programu AVIZO (rysunek 12) można wizualizować rozkład odcinków, węzłów i zakończeń, z zachowaniem wcześniej zdefiniowanych kolorów. Na rysunku 13 przedstawiono zmodyfikowany rysunek 10, na który naniesiono wygenerowany obraz struktury porów.

Kolejny rysunek (rysunek 14) jest analogiczny do rysunku 13, przedstawia bowiem w powiększeniu jego fragment, co pozwoliło wyeksponować ciekawe detale sieci porowej próbki. Widoczne na obrazie kule przedsta-



Rys. 13. Transparentna struktura porów naniesiona na rysunek 10

wiąją zakończenia (1) lub węzły (2) kanalików porowych, natomiast kolorowe gałęzie (łuki) odzwierciedlają grubość kanałów/porów, według skali pod rysunkiem. Wyraźnie widać, iż znajdujący się w górnej części obrazu szeroki por (3) odwzorowują czerwono-żółte linie (wysoka wartość średnicy w danym punkcie), natomiast wąskie gardziele (4) odwzorowane są kolorem białym (niska wartość średnicy w danym punkcie).

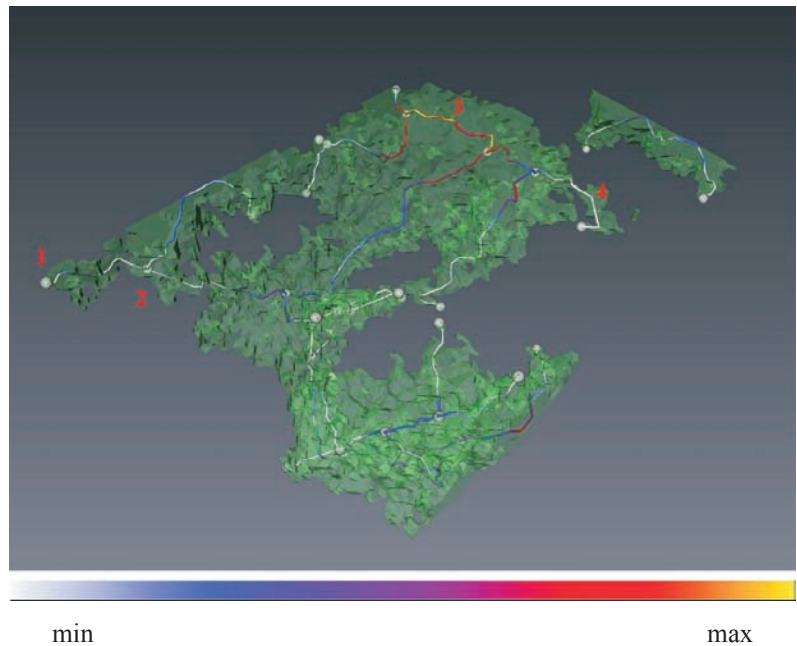
Po usunięciu z rysunku 12 wszystkich węzłów, możliwe jest przedstawienie rozkładu długości kanalików porowych występujących w analizowanej próbce, gdyż program widzi je jako niepołączone ze sobą obiekty. Bezpośrednim wynikiem dla każdej ze ścieżek jest ich objętość, natomiast w tym przypadku obiekty są figurami przestrzennymi o przekroju kwadratu o podstawie $1\mu^2$, dlatego wartość wyniku możemy traktować jako długości ścieżek. Na rysunku 15 prezentowany jest histogram długości kanalików porowych występujących w analizowanej próbce.

Dla analizowanej próbki otrzymano następujące dane:

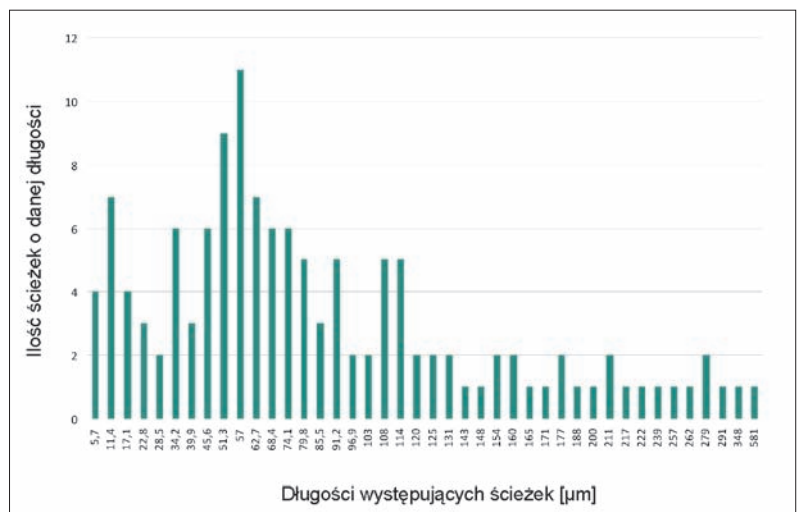
- liczba kanalików: 131,
- liczba zakończeń: 100,
- liczba węzłów: 66.

Sumaryczna długość kanalików wyniosła 2113 jednostek, co daje średnią długość kanalików na poziomie 16,1j, czyli przy wielkości woksela 5,8 μm rzeczywista długość wynosi 93,4 μm .

Dla tak uzyskanych danych możliwe jest także obliczenie średniej liczby koordynacyjnej (mówiącej ile kanalików łączy się w węzle), obliczanej według teoretycznego wzoru:



Rys. 14. Transparentna struktura porów naniesiona wraz z drzewem topologicznym, zawierającym informacje o grubości porów



Rys. 15. Histogram długości kanalików porowych w próbce

$$\bar{L}_K = \frac{2 \cdot L_K - L_Z}{L_W}$$

gdzie:

L_K – liczba kanalików,

L_Z – liczba zakończeń,

L_W – liczba węzłów.

Dla powyższych danych rzeczywistych wzór ten przybiera postać: $\bar{L}_K = \frac{2 \cdot 131 - 100}{66} = 2,45$, co daje średnią liczbę koordynacyjną 2,45.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodykę łączenia wysoko-rozdzielczej laboratoryjnej analizy mikrotomograficznej i skutecznego wydzielenia niektórych parametrów przestrzeni porowej, umożliwiającą opis rzeczywistej geometrii i topologii sieci porowej.

Na podstawie informacji o budowie przestrzeni porowej tworzone są modele sieci porowej, stosowane do obliczania

i przewidywania właściwości przepływu w ośrodku porowatym. Zdolność prognozowania takich modeli zależy od dokładności z jaką sieć odzwierciedla złożone właściwości geometryczne i topologiczne przestrzeni porowej. Mikrotomografia rentgenowska wydaje się być idealną metodą walidacji tych modeli i poprawienia ich zdolności prognozowania.

Artykuł nadesłano do Redakcji 24.11.2009 r. Przyjęto do druku 27.04.2010 r.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej Kostecki

Literatura

- [1] Fisher R., Perkins S., Walker A., Wolfart E.: *A to Z of Image Processing Concepts, pixel connectivity*. 2003, <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/glossary.htm>
- [2] MAVI 1.3.1 Online Documentation, Skeleton, Skeleton Analyzer.
- [3] Pal N.R., Pal S.K.: *A review of image segmentation techniques*. Pattern Recognition, 26, 1277–1299, 1993.
- [4] Russ J.: *The Image Processing Handbook*. Fifth Edition, Taylor & Francis Group, Skeletonization, 2007.
- [5] Sacha P., Chaudhuri B.: Computer Vision, Image Understanding, 63, 418, 1996.
- [6] Sahoo P.K., Soltani S., Wong A.K.C., Chen Y.C.: *A survey of thresholding techniques*. Computer Vision, Graphics, Image Process, 41, 233–260, 1998.
- [7] Sato M., Bitter I., Bender M.A., Kaufman A.E., Nakajima M.: *Tree-structure extraction algorithm for accurate and robust skeletons*. Computer Graphics and Applications, 2000. Proceedings. The Eighth Pacific Conference on Volume, Issue, Page(s): 281–449, 2000.
- [8] Yang X.: PhD Thesis *Three-Dimensional characterization of inherent and induced sand microstructure*. Georgia Institute of Technology, 2005.



Mgr inż. Marek DOHNALIK – absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej. Pracownik Zakładu Geofizyki Wiertniczej INiG w Krakowie. Specjalizuje się w badaniach skał metodą rentgenowskiej mikrotomografii komputerowej.



Mgr Jan KACZMARCZYK – absolwent Wydziału Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego na specjalności Kataliza i chemia powierzchni ciała stałego. Pracuje w Zakładzie Geofizyki Wiertniczej INiG. Zajmuje się badaniami metodą mikrotomografii rentgenowskiej, komputerowym przetwarzaniem i analizą obrazu oraz symulacjami numerycznymi.



Mgr inż. Jadwiga ZALEWSKA – geolog, absolwentka AGH. Kierownik Zakładu Geofizyki Wiertniczej Instytutu Nafty i Gazu. Realizuje prace badawcze w zakresie laboratoryjnych pomiarów parametrów rdzeni i płuczek wiertniczych pod kątem ilościowej interpretacji profilowań geofizycznych. Autorka 110 publikacji.