

JÓZEF KUBIK
AMBROŻY PODWORSKI

POROWATOŚĆ I POWIERZCHNIA WŁAŚCIWA DLA OŚRODKÓW O JEDNO- I DWUWYMIAROWEJ PRZEPUSZCZALNOŚCI

1. Wstęp

Wiele materiałów naturalnych i technicznych spośród rodziny ciał stałych charakteryzuje się tym, że posiada przepuszczalną strukturę porowatą. Są to ciała, które zawierają dużą liczbę porów (pustych przestrzeni) o bardzo różnorodnym kształcie, a ich charakterystyczne wymiary są małe w porównaniu z wymiarem charakterystycznym samego ciała.

Szeroką gamę przepuszczalnych materiałów porowatych tworzą m.in.:

- materiały pochodzenia naturalnego (skały, grunty, złoża węglowe, drewno,...)
- materiały biologiczne (tkanki kostne, tkanki miękkie organizmów żywych, błony półprzepuszczalne, płody rolne, ...)
- techniczne porowate materiały konstrukcyjne i budowlane (spieki metali, betony, materiały ceramiczne, włókniny i geowłókniny, filtry, szkła porowate, ...)

Specyficzną i fizycznie bardzo ważną cechą ciał porowatych jest przepuszczalność, to jest zdolność do wchłaniania cieczy i gazów oraz możliwość względnego transportu płynów przez takie materiały. Na ważną rolę przepuszczalności wskazują m.in. procesy filtracji w gruntach i ruchu wód gruntowych, procesy filtracji przemysłowej (przez filtry, włókniny), nasycania drewna i innych materiałów budowlanych (betonu, piaskowca, ceramiki, wapienia). Na duże znaczenie przepuszczalności wskazują także procesy wytłaczania kapilarnego ropy

ze złożeń roponośnych, procesy transportu w tkankach biologicznych (tkance płucnej, kości), a także procesy absorpcji dźwięku i hałasu przez porowate materiały.

We wszystkich wspomnianych przypadkach przebieg procesów silnie zależy od pewnych makroskopowych cech charakteryzujących strukturę (ilość i konfiguracja) porów. Do podstawowych cech zalicza się: porowatość, hydro-przepuszczalność i powierzchnię właściwą. Ponieważ struktura geometryczna rzeczywistych ośrodków porowatych jest bardzo złożona i trudna do teoretycznego opisu, powszechnie wprowadza się odpowiednie ich modele.

Tak więc pierwszorzędnym zadaniem jest formułowanie i analiza modeli geometrycznej konfiguracji porów najbardziej zbliżonych do rzeczywistego obrazu struktury materiałów przepuszczalnych; określenie ich makroskopowej charakterystyki na podstawie przyjętych mikrowymiarów (średnic porów, ziaren czy wzajemnych ich odległości).

Według Dutliena [4], dla materiałów o małych i średnich wartościach porowatości uzasadniony jest model kanalikowy, natomiast dla większych porowatości bardziej odpowiedni jest model cząsteczkowy (kulkowy).

Głównym celem niniejszej pracy jest modelowanie geometrycznej konfiguracji porów materiałów przepuszczalnych w oparciu o układy kanalikowe oraz określenie wielkości porowatości i powierzchni właściwej dla poszczególnych układów. W pracy skoncentrowano się na modelach o jedno- i dwuwymiarowej przepuszczalności, dla których przeanalizowano związki pomiędzy efektywną porowatością objętościową a parametrem powierzchni właściwej przy odpowiednim doborze mikrowymiarów kanalików oraz wzajemnym ich ułożeniu.

2. Geometryczne właściwości struktury porów. Zakres rozważań

Duża różnorodność składu chemicznego jak też pochodzenie porowatych materiałów przepuszczalnych sprawiają, że cechy fizykochemiczne ciał porowatych są wielce zróżnicowane. Istnieje jednak grupa cech wspólnych dla wszystkich ciał porowatych, którą tworzą wielkości charakteryzujące strukturę porów. Do podstawowych należą: porowatość, powierzchnia właściwa, krętość, przepuszczalność (patrz np. [1, 2, 4, 6, 7]). Te właśnie cechy rzutują praktycznie na wszystkie makroskopowe (średnie) własności fizyczne ciał porowatych, a także silnie wpływają na przebieg zjawisk transportu masy, pędu i energii w takich materiałach. Poniżej podamy podstawowe definicje i określenia charakteryzujące strukturę porów.

Podstawowe definicje i określenia

Przestrzeń utworzona przez pory w ciele porowatym nosi nazwę **przestrzeni porowej**, zaś przestrzeń zajęta przez fazę stałą nazywana jest **szkieletem** (lub matrycą).

Znaczna część występujących w ciele przepuszczalnym porów tworzy strukturę wzajemnie przenikających się i drożnych kapilar. Objętość porów połączonych nazywa się objętością efektywną (lub aktywną) porów. Pory nieprzelotowe (ślepe) i zamknięte (izolowane) w większości materiałów porowatych zajmują objętość nie przekraczającą kilku procent objętości całkowitej porów. Jedynie w takich materiałach porowatych jak szkło piankowe, piankowe tworzywa sztuczne, niektóre spieki ceramiczno-metalowe i materiały węglpochodne [3, 5] większą część przestrzeni porowej zajmują pory zamknięte.

Pierwszą z podstawowych cech geometrycznych struktury ośrodków porowatych jest porowatość.

Porowatość

Jest to stosunek objętości porów V_c^p zawartych w próbce materiału porowatego (w całym materiale) do całkowitej objętości V_c próbki (całkowitej objętości materiału). Jest to porowatość objętościowa całkowita.

Z punktu widzenia nasycania i hydrodynamiki przepływów przez ośrodki porowate główną rolę odgrywa porowatość objętościowa efektywna f_v określona przez pojemność wzajemnie przenikających się porów (porów czynnych) v^p w całkowitej objętości v_c próbki (ośrodka), czyli

$$f_v = \frac{V_c^p}{V_c} \quad 0 \leq f_v \leq 1 \quad (2.1)$$

Różnica pomiędzy porowatością całkowitą i efektywną określa tzw. porowatość zamkniętą.

Inną podstawową cechą geometryczną struktury porów jest powierzchnia właściwa.

Wewnętrzna powierzchnia właściwa Σ jest określona przez stosunek pola wewnętrznej powierzchni S_w porów zawartych w próbce do całkowitej objętości V_c próbki, czyli

$$\Sigma = \frac{S_w}{V_c} \quad (2.2)$$

Używana jest także inna definicja powierzchni właściwej jako iloraz pola wewnętrznej powierzchni S_w porów próbki do jej masy M . Powierzchnia właściwa jest ważną cechą prze-

puszczalnych ciał porowatych i jest powszechnie stosowana do oceny takich ciał porowatych, jak np. skały roponośne, sorbenty, katalizatory, przegrody filtracyjne, wymiennicze jonowe, izolacje cieplne itp., to jest tam gdzie charakter rozwinięcia powierzchni porów w istotny sposób decyduje o przebiegu zjawisk porowych.

Przepuszczalność (hydrodynamiczna) jest to parametr określający zdolność materiału porowatego do przepuszczania, pod wpływem gradientu ciśnienia, cieczy i gazów przez przestrzeń porową. Jeżeli L jest długością warstwy, a ΔP oznacza różnicę ciśnień przed i za warstwą, to prędkość filtracyjna (tj. stosunek objętościowego wydatku cieczy do pola powierzchni przekroju próbki) q cieczy (nieściśliwej) przepływającej przez warstwę porowatą określona jest prawem Darcy [2, 7]

$$q = -\frac{k}{\eta} \frac{\Delta P}{L}$$

gdzie k jest współczynnikiem przepuszczalności (przepuszczalność właściwa) a η jest lepkością dynamiczną płynu. Warto zaznaczyć, że przepuszczalność gazów i powietrza jest jednym z kryteriów oceny właściwości izolacyjnych i zdolności przepuszczania płynów w przypadku materiałów budowlanych, izolacji cieplnych, sorbentów i katalizatorów [1, 3].

Krętość jest odzwierciedleniem faktu, że tor cząstki cieczy w jej mikroprzepływie przez pory różni się od toru, jaki wynika z makroskopowych warunków przepływu. W modelowaniu zagadnień ustalonego przepływu płynu przez ośrodek porowaty jako miarę krętości porów wprowadza się tzw. współczynnik krętości definiowany jak następuje

$$T = \frac{L_e}{L}$$

gdzie L_e jest rzeczywistą długością drogi cząstek płynu przepływającego przez próbkę materiału porowatego o długości L .

W ramach niniejszej pracy, biorąc pod uwagę kanalikowe modele ciał porowatych, przeanalizujemy dwa podstawowe parametry struktury porów tj. porowatość objętościową efektywną i powierzchnię właściwą w funkcji zadanych mikrowymiarów porów. Rozważa się różne konfiguracje porów (ułożenie w siatce kwadratowej i prostokątnej) dla modeli o jedno- i dwuwymiarowej przepuszczalności. Kanaliki tworzące strukturę porów przyjęto w postaci kanałów o przekroju kołowym oraz kanałów o przekroju kwadratowym.

Pomimo użytych do analizy bardzo prostych (regularnych) konfiguracji struktury porów w pracy uzyskano interesujące wyniki wiążące parametr porowatości i parametr powierzchni wewnętrznej dla odpowiednich konfiguracji i pozwalające sformułować bardziej ogólne wnioski.

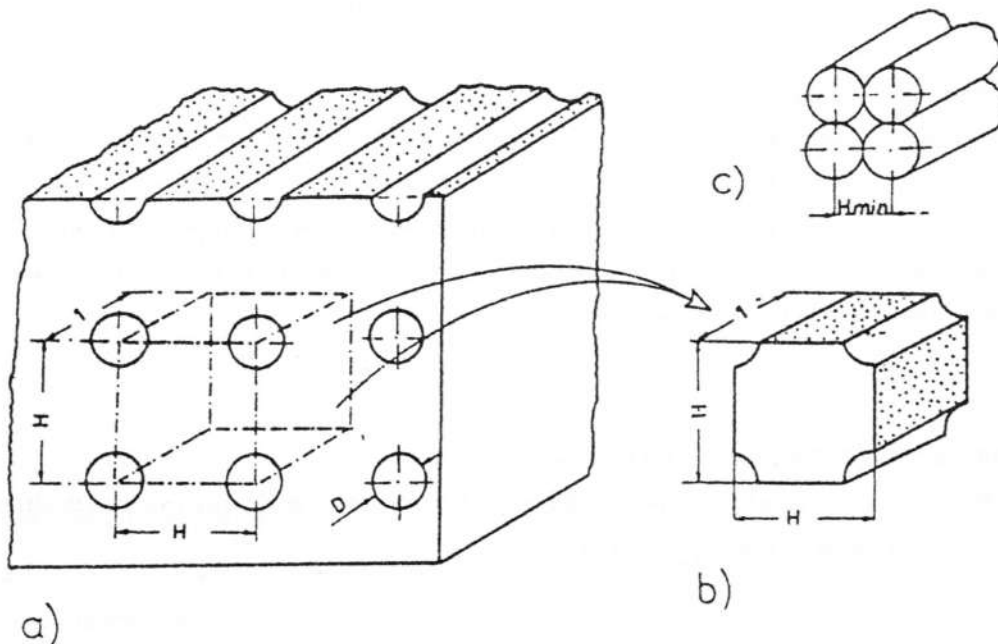
3. Porowatość i powierzchnia właściwa dla modeli o jednokierunkowej przepuszczalności

3.1. Kapilary w siatce kwadratowej i prostokątnej

a) kapilary w siatce kwadratowej

Układ kapilar rozmieszczonych w siatce kwadratowej przedstawiono na rys. 1. Kapilary o średnicy D umieszczone są w węzłach siatki kwadratowej, której podziałka jest równa H . Bezwymiarowym parametrem charakteryzującym strukturę porów jest iloraz

$$a = \frac{H}{D}$$



Rys. 1. Układ kapilar w siatce kwadratowej

Dla tak przyjętej konfiguracji porów powtarzalnym elementem ośrodka może być próbka o podstawie $H \times H$ i wysokości 1 (rys. 1.b.). Wówczas objętościowa porowatość efektywna jest

$$f_v = \frac{\Pi}{4 \cdot a^2}, \quad a = \frac{H}{D} \quad (3.1)$$

natomiast powierzchnia właściwa określona jest jak następuje:

$$\Sigma = \frac{\Pi}{a^2 D} \quad (3.2)$$

Na podstawie (3.1) i (3.2) otrzymujemy związek pomiędzy porowatością i wewnętrzną powierzchnią właściwą

$$\Sigma = \frac{4}{D} f_v \quad (3.3)$$

Jest widoczne, że w rozważanym przypadku istnieje minimalny rozstaw kapilar (otwory styczne, patrz rys. 1.c), a tym samym minimalna wartość parametru a , tj.:

$$H_{\min} = D, \quad a_{\min} = 1$$

i wówczas dla danej średnicy kapilary oba parametry, f_v i Σ , przyjmują wartości maksymalne, tj.:

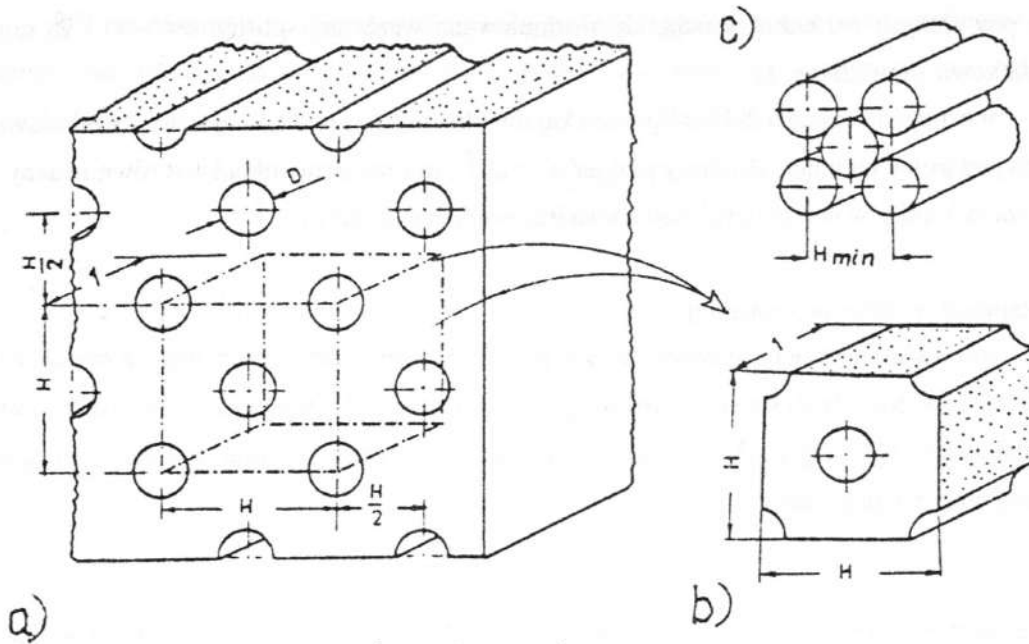
$$f_{v_{a_{\min}}} = \frac{\Pi}{4} = f_v^*, \quad \Sigma_{a_{\min}} = \frac{\Pi}{D} = \Sigma^* \quad (3.4)$$

Spostrzeżenia:

- 1) na podstawie związków (3.1) i (3.2) stwierdzamy, że gdy rozstaw kapilar rośnie ($a \uparrow$, $H \uparrow$), to zarówno porowatość jak też powierzchnia właściwa maleje;
- 2) porowatość f_v nie zależy bezpośrednio od średnicy pojedynczej kapilary, a zależy od stosunku średnicy kapilary i podziałki ułożenia w siatce, natomiast powierzchnia właściwa jest jawnie zależna od średnicy kapilary.

b) kapilary w podwójnej siatce kwadratowej

Na rys. 2. przedstawiono układ kapilar rozmieszczonych w podwójnej siatce kwadratowej. Podziałka każdej z siatek jest równa H .



Rys. 2. Układ kapilar w podwójnej siatce kwadratowej

Dla każdej konfiguracji porów, podobnie jak w poprzednim przypadku, reprezentatywnym i powtarzalnym elementem ośrodka jest próbka o podstawie $H \times H$ i wysokości 1 (rys. 2.b). Wówczas porowatość i powierzchnia właściwa są odpowiednio:

$$f_v = \frac{\Pi}{2 \cdot a^2} \quad (3.5)$$

$$\Sigma = \frac{2 \cdot \Pi}{a^2 D} \quad (3.6)$$

Łatwo zauważyć, że otrzymane tutaj wyniki dla porowatości i powierzchni właściwej są odpowiednio podwojonymi wynikami dla siatki pojedynczej jako rezultat superpozycji dwóch pojedynczych siatek o tym samym kierunku przepuszczalności.

Związek pomiędzy porowatością i powierzchnią wewnętrzną przyjmuje identyczną postać jak związek (3.3) tj.

$$\Sigma = \frac{4}{D} \cdot f_v \quad (3.7)$$

przy czym w rozważanym przypadku minimalny rozstaw kapilar i minimalna wartość parametru a są (patrz rys. 2.c):

$$H_{\min} = D\sqrt{2}, \quad a_{\min} = \sqrt{2}$$

Do powyższych rozważań stosują się sformułowane wcześniej spostrzeżenia 1) i 2) oraz dodatkowo zauważamy, że

spostrzeżenie: jeżeli dla konfiguracji kapilar ułożonych w podwójnej siatce kwadratowej bezwymiarowy parametr struktury przyjąć $a' = a\sqrt{2}$, to rozważany układ jest równoważny z układem kapilar w pojedynczej siatce kwadratowej z parametrem a .

c) kapilary w siatce prostokątnej

Rozważmy jednokierunkowy ośrodek przepuszczalny, w którym kapilary o średnicy D ułożone są w podwójnej siatce prostokątnej pokazanej na rys. 3. Odpowiednie podziałki siatki określają dwa wymiary H i L . Stąd też strukturę porów w tym przypadku charakteryzują dwa bezwymiarowe parametry:

$$a = \frac{H}{D}, \quad b = \frac{L}{D}$$

Reprezentatywnym i powtarzalnym elementem ośrodka może być próbka o podstawie $H \times L$ i wysokości L (rys. 3.b)

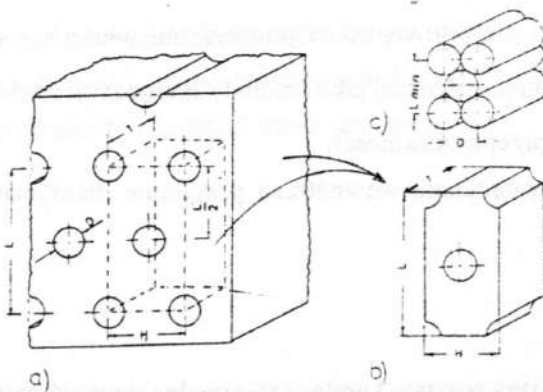
Porowatość i powierzchnia właściwa dla takiej konfiguracji porów wynosi odpowiednio:

$$f_v = \frac{\Pi}{2ab} \quad (3.8)$$

$$\Sigma = \frac{2 \cdot \Pi}{ab \cdot D} \quad (3.9)$$

Natomiast związek między tymi parametrami przyjmuje postać analogiczną do (3.3) i (3.7), tj.:

$$\Sigma = \frac{4}{D} \cdot f_v \quad (3.10)$$



Rys. 3. Układ kapilar w podwójnej siatce prostokątnej

Dla rozważanej siatki prostokątnej maksymalne (szczelne) upakowanie kapilar, a tym samym największą wartość porowatości i powierzchni właściwej otrzymamy, gdy (patrz rys. 3. a):

$$a = a_{\min} = 1, \quad b = b^* = \frac{L^*}{D} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

wówczas

$$f_v \Big|_{\substack{a \\ b}}^{\substack{a_{\min} \\ b^*}} = f_v^* = \frac{\Pi}{\sqrt{3}} \quad \Sigma \Big|_{\substack{a \\ b}}^{\substack{a_{\min} \\ b^*}} = \Sigma^* = \frac{4}{\sqrt{3}} \frac{\Pi}{D}$$

Jeżeli parametry bezwymiarowe a i b będą sobie równe, to otrzymujemy konfigurację porów wypełniających podwójną siatkę kwadratową (przypadek b) i otrzymane wyniki redukują się do wyników odpowiednich dla przypadku b.

3.2. Kanaliki o przekroju kwadratowym w pojedynczej i podwójnej siatce kwadratowej

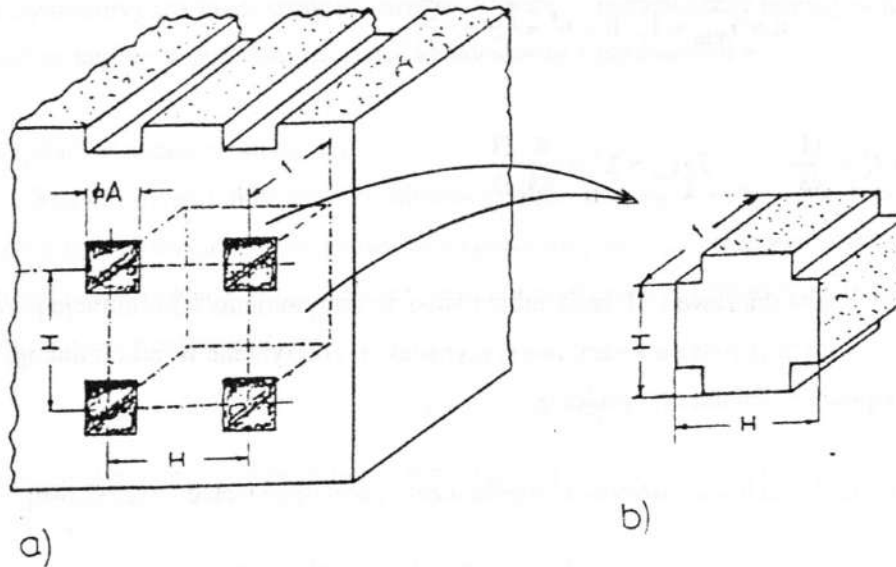
Podobnie jak dla kapilar, przeanalizujemy porowatość i powierzchnię właściwą dla porów utworzonych z kanalików o przekroju kwadratowym (długość boku kwadratu jest A) i ułożonych w węzłach pojedynczej i podwójnej siatki kwadratowej.

a) kanały kwadratowe w siatce pojedynczej

Konfiguracja porów utworzona z kanalików o przekroju kwadratowym (długość boku kwadratu jest A) wypełniających węzły siatki kwadratowej o podziałce H pokazana jest na rys. 4. Bezwymiarowym parametrem charakteryzującym strukturę porów jest iloraz

$$a = \frac{H}{A}$$

Próbka o podstawie $H \times H$ i wysokości 1 (patrz rys. 4.b) jest reprezentatywnym i powtarzalnym elementem ośrodka.



Rys. 4. Układ kapilar w siatce kwadratowej o podziałce H

Porowatość i powierzchnia właściwa określone są odpowiednio zależnościami:

$$f_v = \frac{1}{a^2} \quad (3.12)$$

$$\Sigma = \frac{4}{a^2 A} \quad (3.13)$$

przy czym realizacja fizyczna ośrodka wymaga, aby $a > 1$. Przypadek gdy $a = 1$ jest przypadkiem szczególnym, gdyż o objętości ośrodka decyduje wyłącznie przestrzeń porowa. Interfaza zapewniająca wewnętrzną strukturę ośrodka jest ciałem z zerową miarą objętości. Wówczas mamy

$$f_v = 1, \quad \Sigma = \frac{4}{A} = \frac{4}{H} \quad (3.14)$$

Związek wiążący porowatość i powierzchnię właściwą ma postać identyczną jak dla kapilar, tj.:

$$\Sigma = \frac{4}{A} \cdot f_v \quad (3.15)$$

Należy podkreślić, że do otrzymanych wyników stosują się spostrzeżenia 1) i 2) z punktu 3.1. pracy.

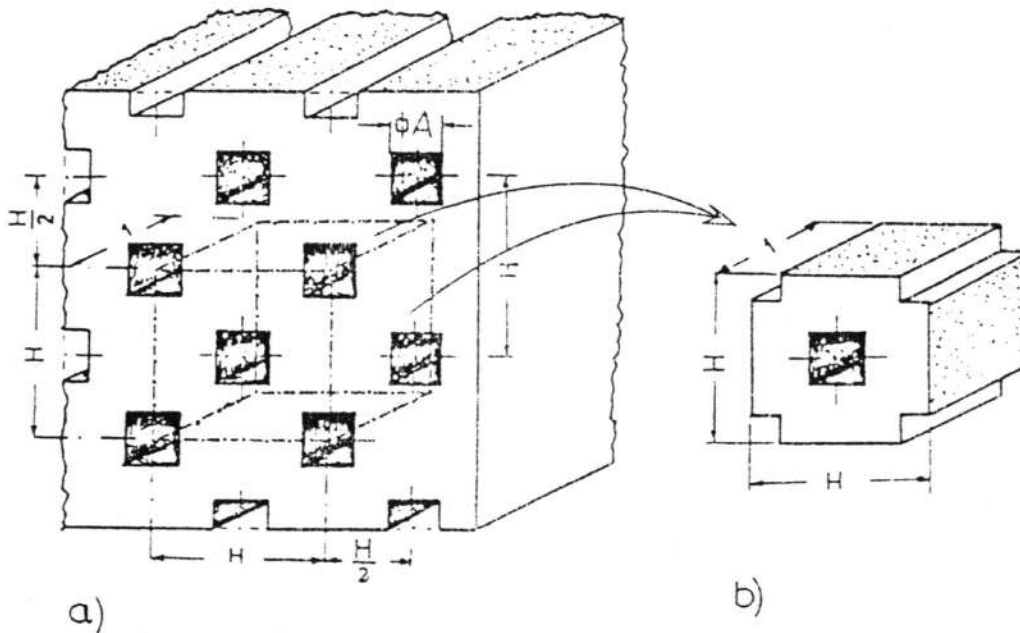
b) kanały kwadratowe w siatce podwójnej

Konfiguracja porów utworzona z kanałów o przekroju kwadratowym wypełniających węzły podwójnej siatki kwadratowej pokazana jest na rys. 5. Siatka scharakteryzowana jest podziałką H , natomiast strukturę porów charakteryzuje parametr $a=H/A$. Dla takiej konfiguracji kanałów otrzymamy:

$$f_v = \frac{2}{a^2} \quad (3.16)$$

$$\Sigma = \frac{8}{a^2 \cdot A} \quad (3.17)$$

Przy czym $a > 2$.



Rys. 5. Układ kapilar w podwójnej siatce kwadratowej

Porowatość i powierzchnia właściwa związane są analogicznym do (3.15) związkiem

$$\Sigma = \frac{4}{A} \cdot f_v \quad (3.18)$$

Jest widoczne, że zarówno porowatość f_v jak również powierzchnia właściwa Σ są odpowiednio podwojonymi wielkościami pojedynczej siatki kwadratowej. Tak więc słuszne jest następujące spostrzeżenie:

jeżeli dla konfiguracji kanalików ułożonych w siatce podwójnej przyjąć parametr $a' = a\sqrt{2}$, to rozważany układ jest równoważny z układem kanalików ułożonych w siatce pojedynczej z parametrem a .

4. Porowatość i powierzchnia właściwa dla modeli o dwukierunkowej przepuszczalności

W rozdziale tym rozważymy modele ośrodka porowatego o dwukierunkowej przepuszczalności, którego pory tworzą kanaliki o przekroju kołowym i kwadratowym ułożone w siatkach kwadratowych. Wyróżnimy dwie grupy modeli: 1) modele z kanalikami nieprzenikającymi się oraz 2) modele z wzajemnie przenikającymi się kanalikami. Następnie obliczymy porowatość i powierzchnię właściwą w obu przypadkach oraz wzajemne relacje pomiędzy nimi.

4.1. Układy nieprzenikających się kanalików

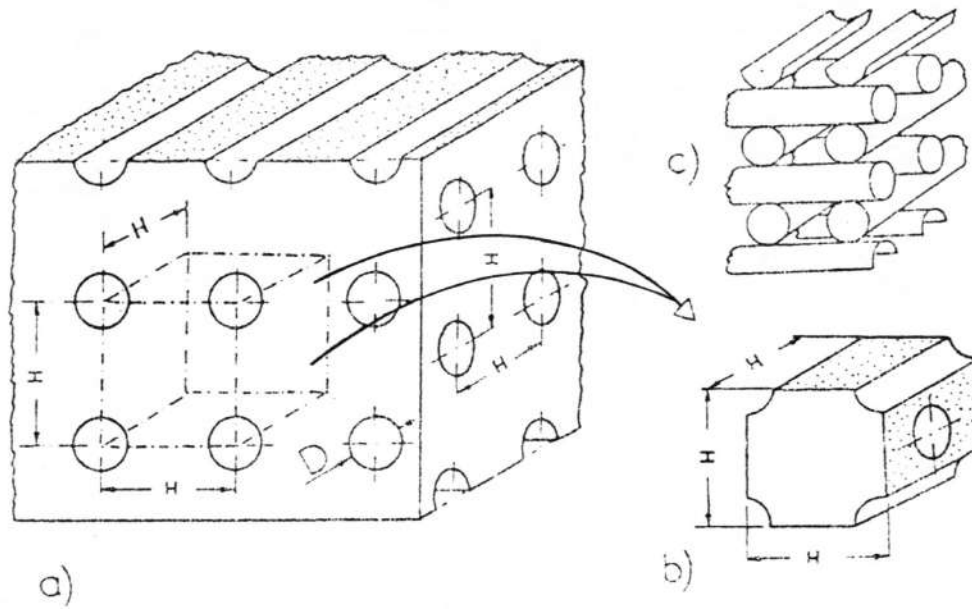
Rys. 6. i 7. przedstawiają modele ośrodka porowatego o dwukierunkowej przepuszczalności, którego pory tworzą odpowiednio nieprzenikające się kapilary i kanaliki o przekroju kwadratowym. Wypełniają one węzły siatki kwadratowej o podziałce H i skierowane są we wzajemnie prostopadłych kierunkach.

Parametrem bezwymiarowym charakteryzującym strukturę porów jest iloraz

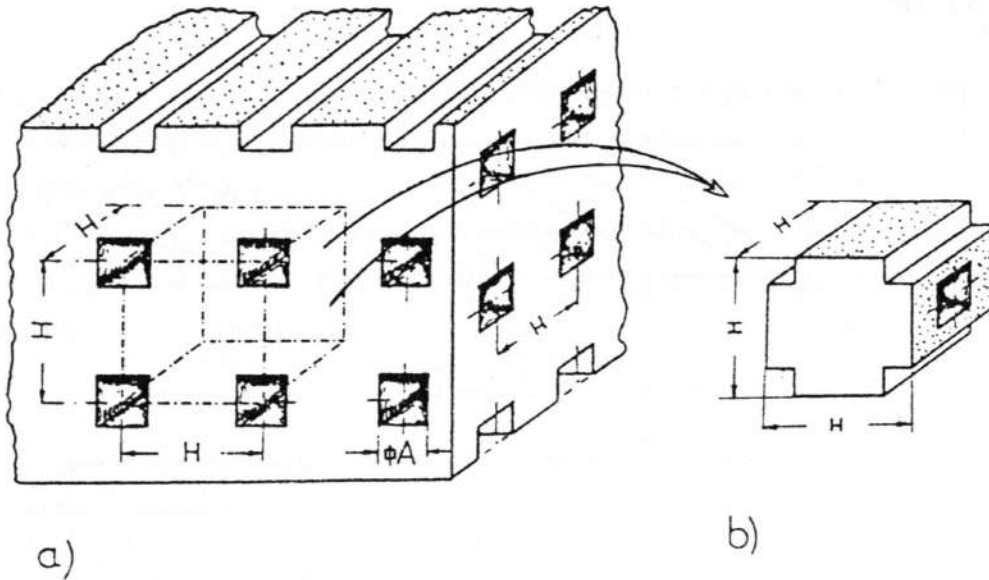
$$a = \frac{H}{D} = \frac{H}{A} \quad (4.1)$$

gdzie D i A są odpowiednio średnicą kapilar i długością boku kwadratu przekroju kanalika.

Reprezentatywnym i powtarzalnym elementem ośrodka jest próbka o wymiarach $H \times H \times H$ (rys. 6.b, 7.b).



Rys. 6. Model ośrodka porowatego o dwukierunkowej przepuszczalności z kanałkami w siatce kwadratowej



Rys. 7. Model ośrodka porowatego o dwukierunkowej przepuszczalności z kanałkami o przekroju kwadratowym w siatce kwadratowej

Wówczas porowatość f_v i powierzchnia właściwa Σ są określone następującymi związkami:

– dla układu kapilar

$$f_v = \frac{\Pi}{2 \cdot a^2} \quad (4.2)$$

$$\Sigma = \frac{2 \cdot \Pi}{a^2 \cdot D} \quad (4.3)$$

– dla układu kwadratowych kanałków

$$f_v = \frac{2}{a^2} \quad (4.4)$$

$$\Sigma = \frac{8}{a^2 \cdot A} \quad (4.5)$$

Ponieważ z warunku o nieprzenikalności się kapilar lub kwadratowych kanałków otrzymujemy

$$a \geq 2, \quad a_{\min} = 2$$

przeto maksymalne porowatości i wartości powierzchni właściwej dla rozważanych konfigu-

racji porów są następujące:

– dla układu kapilar

$$f_{v_{l_{\min}}} = f_v^* = \frac{\Pi}{8}, \quad \Sigma_{l_{\min}} = \Sigma^* = \frac{\Pi}{2D} \quad (4.6)$$

– dla układu kwadratowych kanalików

$$f_{v_{l_{\min}}} = f_v^* = \frac{1}{2}, \quad \Sigma_{l_{\min}} = \Sigma^* = \frac{2}{A} \quad (4.7)$$

na podstawie zależności (4.2) - (4.5) stwierdzamy, że związek wiążący porowatość i powierzchnię właściwą ma następującą postać:

– dla układu kapilar

$$\Sigma = \frac{4}{D} \cdot f_v \quad (4.8)$$

– dla układu kwadratowych kanalików

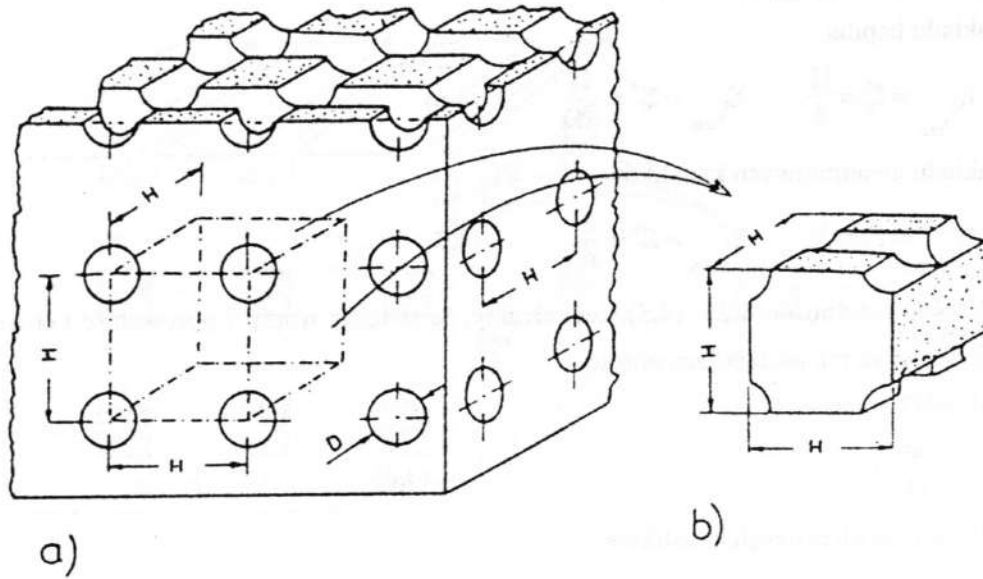
$$\Sigma = \frac{4}{A} \cdot f_v \quad (4.9)$$

Z porównania wzorów (3.3), (3.15), (4.3) i (4.5) zauważamy, że zarówno dla modeli o jednokierunkowej przepuszczalności jak też o dwukierunkowej przepuszczalności z nieprzenikającymi się kapilarami (kanalikami), porowatość i parametr powierzchni właściwej związane są identyczną zależnością. Wynik taki nie jest zaskakujący, gdyż rozważany model dwukierunkowy jest superpozycją odpowiednich dwóch modeli jednokierunkowych wzajemnie ortogonalnych.

4.2. Dwukierunkowe układy przenikających się kanalików

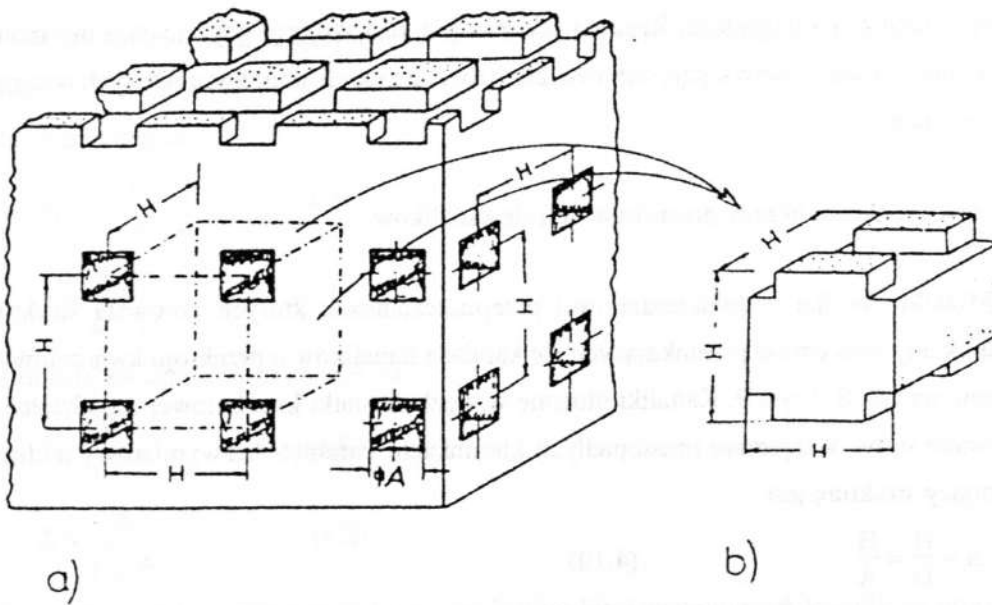
Modele ośrodka o dwukierunkowej przepuszczalności, których porowatą strukturę tworzą układy wzajemnie przenikających się kapilar i kanalików o przekroju kwadratowym pokazano na rys. 8. i rys. 9. Kanaliki ułożone w węzłach siatki kwadratowej o podziałce H skierowane są we wzajemnie prostopadłych kierunkach. Parametr bezwymiarowy a charakteryzujący strukturę jest

$$a = \frac{H}{D} = \frac{H}{A} \quad (4.10)$$



Rys. 8. Model ośrodka o dwukierunkowej przepuszczalności z przecinającymi się kapilarami

Reprezentatywnym elementem ośrodka jest próbka o wymiarach $H \times H \times H$ (rys. 8b i 9b).



Rys. 9. Model ośrodka o dwukierunkowej przepuszczalności z przecinającymi się kanałikami o przekroju kwadratowym

Porowatość i powierzchnię właściwą dla przyjętych modeli określają związki:

– dla układu przenikających się kapilar, $a \geq 1$,

$$f_v = \frac{3\Pi a - 4}{6 \cdot a^3} \quad (4.11)$$

$$\Sigma = \frac{2(\Pi \cdot a - 2)}{a^3 \cdot D} \quad (4.12)$$

– dla układu przenikających się kanalików kwadratowych

$$f_v = \frac{2 \cdot a - 1}{a^3} \quad (4.13)$$

$$\Sigma = \frac{2(4 \cdot a - 3)}{a^3 \cdot A} \quad (4.14)$$

gdzie $a > 1$. Dla $a = 1$, w drugim przypadku, objętość porów jest równa objętości próbki, natomiast interfaza zapewniająca wewnętrzną strukturę ośrodka jest ciałem z miarą objętości równą zero. Wówczas

$$f_v = 1, \quad \Sigma = \frac{2}{A} = \frac{2}{H}$$

z analizy wzorów odpowiednio (4.11) i (4.12) oraz (4.13) i (4.14) wynikają związki pomiędzy porowatością i powierzchnią właściwą jak następuje:

– dla układu kapilar

$$\Sigma = \frac{1}{D} \left(6 \cdot f_v - \frac{\Pi}{a^2} \right) \quad (4.15)$$

– dla przenikających się kanalików

$$\Sigma = \frac{1}{A} \left(f_v + \frac{6a - 5}{a^3} \right) \quad (4.16)$$

5. Przykłady i wyniki liczbowe

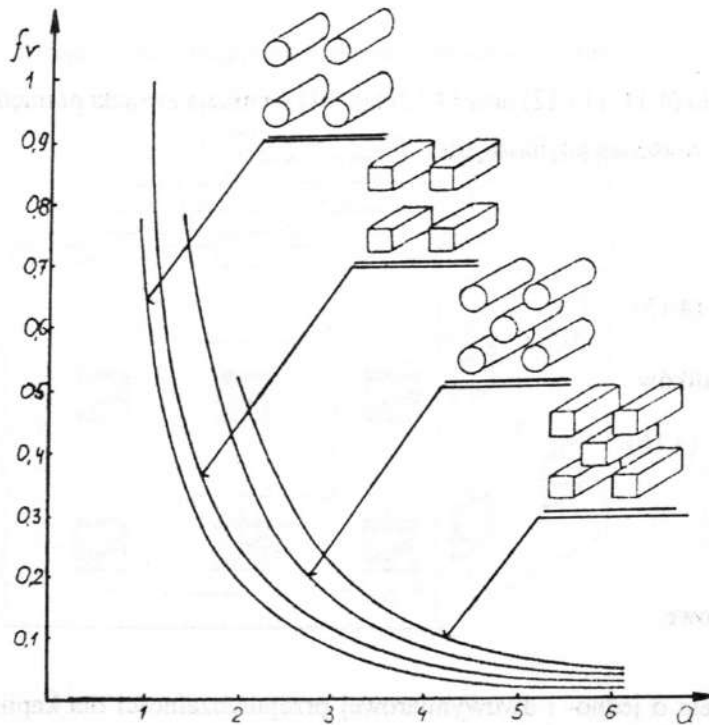
Przeanalizowano modele o jedno- i dwuwymiarowej przepuszczalności dla kapilar i kanalików o wymiarze charakterystycznym D i A w zakresie 0,1-4mm oraz przy zmianie parametru struktury a w granicach 1-6.

Wykresy na rys. 10-12 przedstawiają przebieg zmian efektywnej porowatości objętościowej dla poszczególnych konfiguracji kapilar i kanalików w funkcji bezwymiarowego

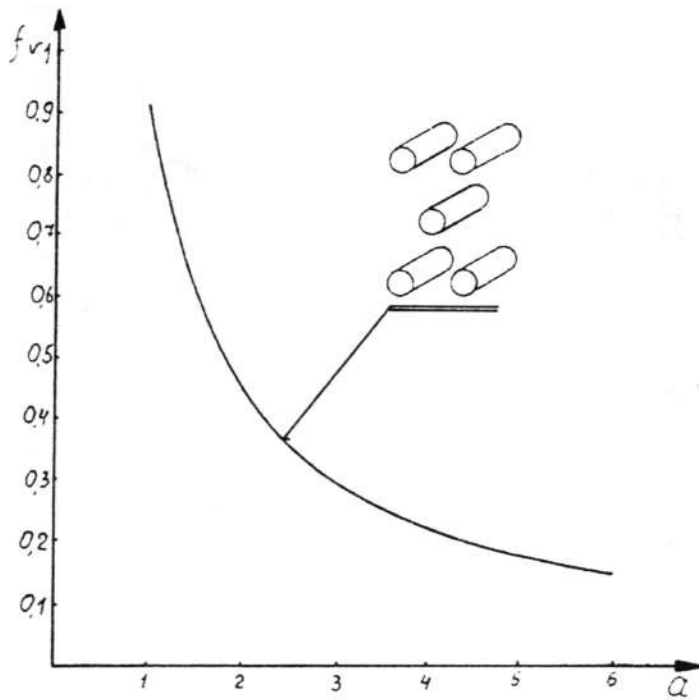
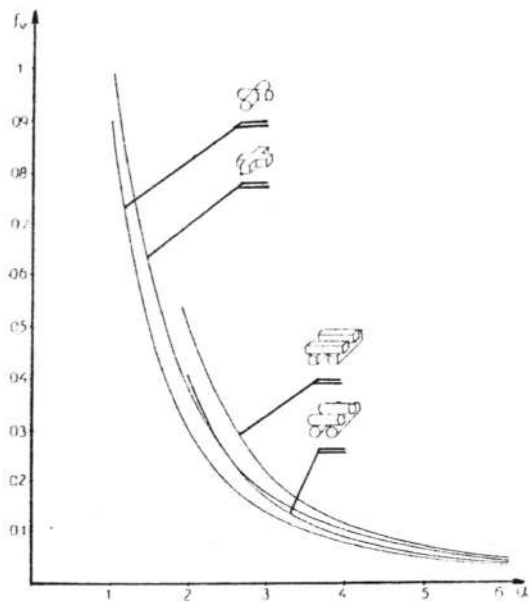
parametru a . Jest widoczne, że wartość porowatości raptownie spada wraz z niewielkim wzrostem parametru a , tj. wraz ze względным wzrostem podziałki siatki w stosunku do wymiaru indywidualnego kanalika.

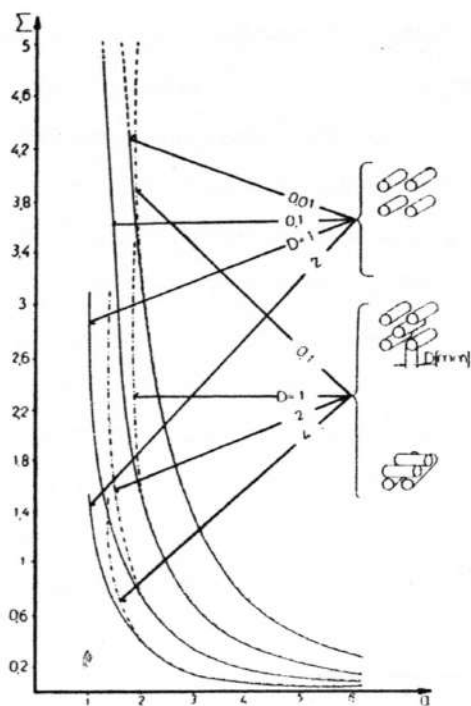
Przebieg zmian powierzchni właściwej dla poszczególnych konfiguracji kapilar i kanalików w funkcji parametru a przedstawiają wykresy na rys. 13-16. Łatwo zauważyć, że wartość powierzchni właściwej jest większa dla małych wartości parametru a i silnie wzrasta wraz ze zmniejszaniem się charakterystycznego wymiaru kanalików.

Jakościowy obraz zależności pomiędzy efektywną porowatością objętościową i powierzchnią właściwą dla poszczególnych konfiguracji kapilar i kanalików i dla różnych wymiarów charakterystycznych D i A przedstawiają wykresy pokazane na rys. 17-19. Jest widoczne, że materiały przepuszczalne, nawet o bardzo małej porowatości objętościowej, lecz posiadające małe średnice kapilar czy kanalików, charakteryzują się dużymi wartościami powierzchni właściwej.

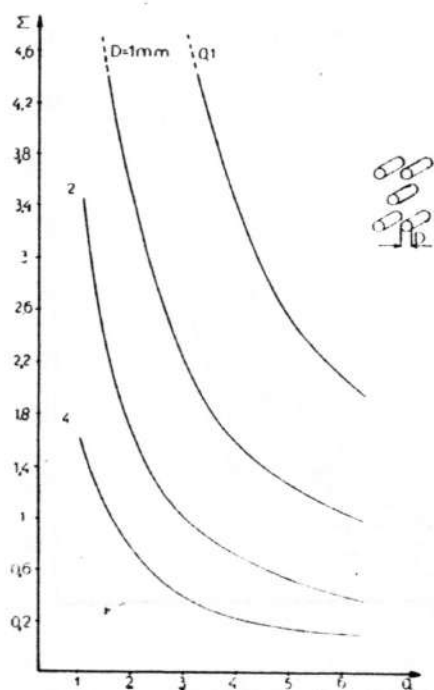


Rys. 10. Efektywna porowatość objętościowa dla różnych układów i przekrojów kanalików w funkcji parametru a .

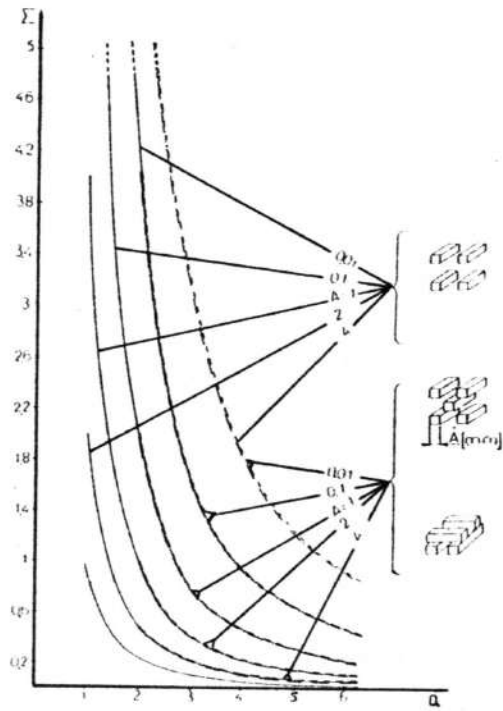
Rys. 11. Porowość w funkcji parametru a Rys. 12. Porowość funkcji parametru a dla układów o dwukierunkowej przepuszczalności



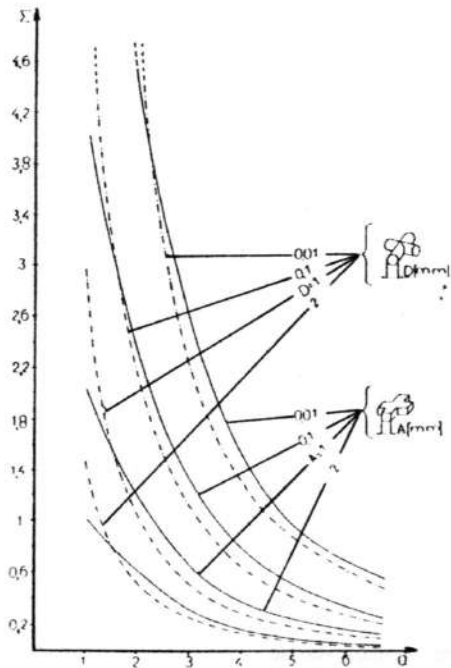
Rys. 13. Zależność powierzchni właściwej od parametru a dla układów kapilar



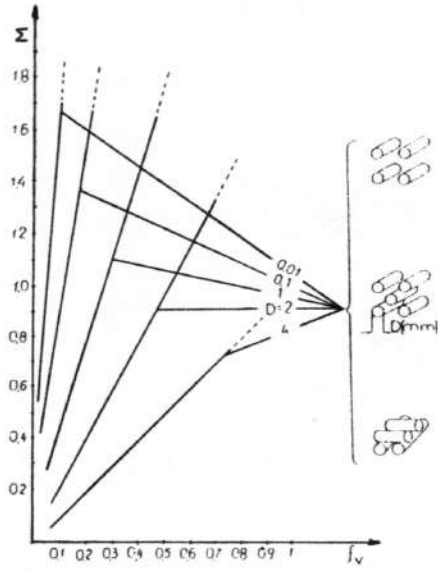
Rys. 14. Powierzchnia właściwa w funkcji parametru a



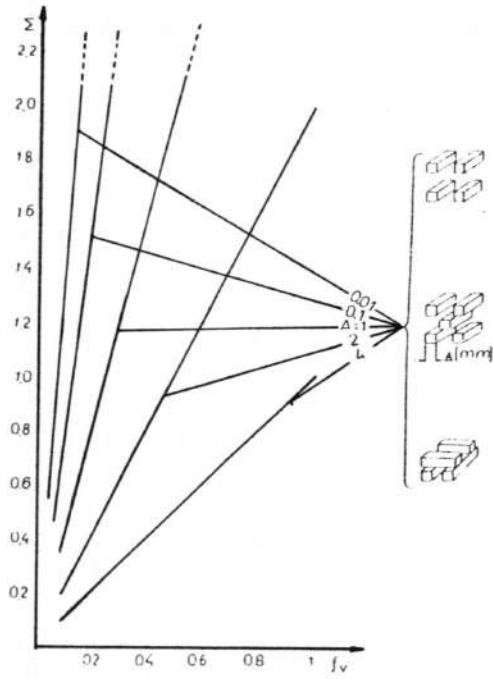
Rys. 15. Powierzchnia właściwa w funkcji parametru a



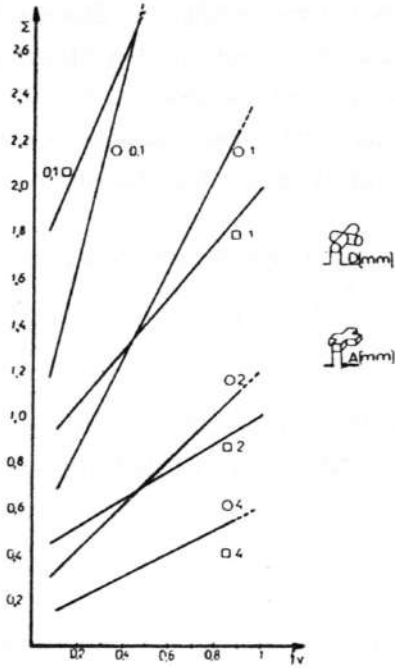
Rys. 16. Powierzchnia właściwa w funkcji parametru a dla modeli o dwukierunkowej przepuszczalności



Rys. 17. Porowatość a powierzchnia właściwa dla różnych układów kapilar



Rys. 18. Porowatość a powierzchnia właściwa dla kanałków nieprzecinających się



Rys. 19. Porowość a powierzchnia właściwa dla układów kanałków przecinających się

LITERATURA

- [1] Aksielrud G.A., Altszuler M.A., Ruch masy w ciałach porowatych. WNT Warszawa 1987
- [2] Bear J., Dynamics of fluids in porous media, Am. Elsevier Publ. Comp., 1972
- [3] Bielów C.B., Porowate metale w budowie maszyn, Maszynostrojenije. Moskwa 1976
- [4] Dullien F.A.L., Porous Media, Fluid Transport and Pore Structure. Academic Press 1979
- [5] Greg C., Sing K., Adsorpcja, powierzchnia właściwa, porowatość. Mir, Moskwa 1970
- [6] Porowate spieki żelaza. Otrzymywanie, własności, zastosowanie. Pod red. J.Kubika Prace IPPT PAN, 42, 1986
- [7] Scheidegger A.E., The Physics of Flow through Porous Media, Uniw. Toronto Press 1957

RELATIONS BETWEEN POROSITY AND SPECIFIC SURFACE FOR POROUS MATERIALS WITH ONE – AND TWO – DIMENSIONAL PERMEABILITY**Summary**

In the paper the modelling of porous materials with channel – like pore structure creating one – and two – dimensional permeable medium is presented. For the material with one – and two – dimensional permeability volume porosity and specific surface is defined and the relations between effective porosity and the specific surface for a given micro-dimensions of channels are established.