

PRZEPIŁYWY ROZTWORU W KONTAKCIE MATERIAŁU POROWATEGO I WŁÓKNISTEGO

Jan KUBIK, Hanna HUDZIAK
Politechnika Opolska, Opole, Polska

1. Wprowadzenie

Przypadek kontaktu materiału porowatego i włóknistego występuje dosyć często w zagadnieniach konserwacji zabytków. Szczególnie mamy do czynienia z nimi w procesach konserwacji i osuszania polichromii i tynków. Polichromie są materiałem kapilarno-porowatym natomiast używane do ich osuszenia okłady z ligniny materiałem włóknistym. Już z samej konfiguracji geometrycznej elementów tych materiałów wynikają różnice w ich własnościach. Różne są także własności powierzchniowe obu materiałów, co decyduje o kierunku przepływu w kontakcie.

2. Podciąganie roztworów w materiałach

Omówimy najpierw podciąganie kapilarne w obu materiałach. Z elementarnych rozważań wynika, iż przez to samo pole poprzeczne próbki materiału $P = d^2 = 4r^2$ w wyniku podciągania kapilarnego przepływają różne strumienie cieczy w materiale porowatym i włóknistym, co dawno znalazło praktyczne zastosowanie przy osuszaniu zawilgoconej powierzchni materiałem włóknistym. W celu uproszczenia analizy przyjmijmy identyczne przekroje brutto elementów materiału porowatego i włóknistego, a napięcie powierzchniowe cieczy znajdującej się w ich kapilarach jest takie same. Różne są jedynie przekroje poprzeczne kapilar, przy czym średnice kapilar materiału porowatego i włókien okładziny założono jako równe sobie. W kolejnym kroku analizy kontaktu przyjęte zostaną z kolei dowolne średnice kapilar i właściwości stykających się ze sobą materiałów.

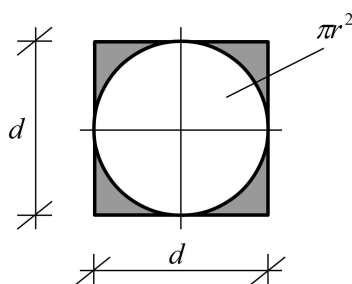
Materiał porowaty

W pierwszej kolejności wyznaczmy zakres przepływów kapilarnych w materiale porowatym, w którym występują kapilary o promieniu r
Warunki równowagi słupa podciągającej się cieczy prowadzą do równania

$$2\pi r \sigma \cos \alpha - \pi r^2 h_0 \rho g = 0. \quad (1)$$

Z równania tego można wyznaczyć wysokość h_0 statycznego nasycenia kapilary:

$$h_0 = \frac{2\sigma\cos\alpha}{\rho gr}, \quad p_b = \frac{2\pi r\sigma\cos\alpha}{\pi r^2} = \frac{2\sigma\cos\alpha}{r} \quad (2)$$



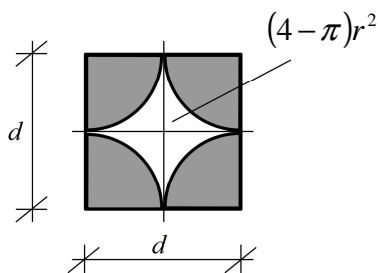
Rys. 1. Elementarna komórka materiału porowatego.
Fig. 1. Elementary cell of porous material.

Materiał włóknisty

Podobne jak poprzednio rozważania przeprowadzimy w stosunku do materiału włóknistego, w których włókna mają identyczne średnice jak kapilary. Równanie równowagi przy podciąganiu cieczy wokół włókien przyjmie postać:

$$2\pi r\sigma\cos\alpha - (4 - \pi)r^2\rho gh = 0 \quad (3)$$

$$h = \frac{2\sigma\cos\alpha}{\rho gr} \frac{\pi}{4 - \pi}, \quad p = \frac{2\sigma\cos\alpha}{r} \frac{\pi}{4 - \pi}. \quad (4)$$



Rys. 2. Elementarna komórka materiału włóknistego.
Fig. 2. Elementary cell of fibrous material.

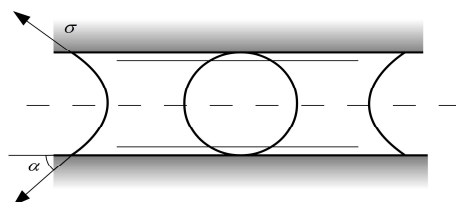
Porównując elementarne komórki w obu typach materiału stwierdzamy, iż przy tej samej powierzchni bocznej kapilary powierzchnia przekroju włóknistego jest $2\pi r\sigma\cos\alpha - (4 - \pi)r^2\rho gh = 0$ razy mniejsza. Oznacza to większe ciśnienia (zasysanie) w sieci włókien niż w sąsiednich kapilarach. Wynika stąd podstawowy mechanizm osuszania powierzchniowego materiału porowatego przez materiał włóknisty. Dodatkowy efekt

wiązania wilgoci w materiale włóknistym występuje w narożach, tj. miejscach styku sąsiednich włókien.

3. Ciśnienia w stykających się warstwach materiału

Podane poprzednio wzory określające ciśnienia w obu typach materiałów pozwalają podjąć zadanie ogólne, kiedy styka się materiał włóknisty z porowatym o różnych charakterystykach geometrycznych i własnościach powierzchni. Wykorzystujemy tu fakt, iż przepływ w kontakcie obu materiałów wywołuje różnica ciśnień.

Przeanalizujmy teraz bardzo ogólny przypadek, kiedy z gęsto upakowanym materiałem włóknistym styka się materiał porowaty o różnych promieniach i innych charakterystykach geometrycznych.



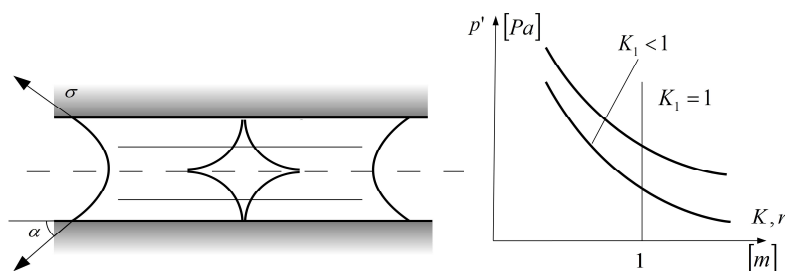
Rys.3. Przepływy ciecży w kapilarze cylindrycznej.
Fig. 3. Liquid flow in the cylindrical capillary.

Ciśnienie w elementarnej komórce włóknistej określa klasyczny wzór

$$p = \frac{2\pi r \sigma \cos\alpha}{(4 - \pi)r^2} = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r} \frac{\pi}{4 - \pi}. \quad (5)$$

Natomiast w cylindrycznej kapilarze o zmodyfikowanych wymiarach relacja ta przyjmie formę

$$p' = \frac{2\pi(k_1 r)(k_2 \sigma)k_3 \cos\alpha}{\pi(K_1 r)^2} = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r} \frac{k_1 k_3}{K_1^2}. \quad (6)$$



Rys.4. Przepływy ciecży w kapilarze materiału włóknistego.
Fig. 4. Liquid flow in the capillary of fibrous material.

We wzorze (6) współczynniki k_1 , k_2 i k_3 oznaczają odpowiednio stosunki promieni, napięć powierzchniowych i kątów zwilżenia stykających się materiałów. W ten sposób uzyskamy możliwość porównania przepływów w dowolnej kombinacji porów i średnic włókien stykających się materiałów. O przepływie decyduje różnica ciśnień, która w ogólności wynosi:

$$\Delta p = p' - p = \frac{2\sigma \cos\alpha}{r} \left(\frac{k_1 k_2 k_3}{K_1^2} - \frac{\pi}{4 - \pi} \right). \quad (7)$$

Natomiast gradient ciśnienia obliczamy przyjmując, że oddziaływanie warstwy kontaktowej w głąb kapilary dotyczy arbitralnie ok. $3 \div 5$ średnic kapilar.

Stąd strumień masy wnikający do materiału włóknistego wynosi:

$$j = -k \frac{\Delta p}{h}, \quad h = \pm(6 \div 10) \sigma. \quad (8)$$

Z podanego wzoru uzyskamy możliwość oszacowania skuteczności procesu osuszania powierzchni zabytkowych polichromii.

Literatura

- [1] Klemm P., red.: Budownictwo Ogólne T II, Arkady, Warszawa 2005.
 [2] Kubik J., Przepływy wilgoci w materiałach budowlanych, OW PO Opole 2000.

SOLUTION FLOWS IN THE CONTACT BETWEEN POROUS MATERIAL AND FIBROUS MATERIAL

Summary

The paper presents the comparison of the geometrical properties of porous material and fibrous material with the same fiber diameters and the radius of capillaries. The comparison shows that the geometrical configuration of the fibrous material compared to the porous material induce the effect of suction of the liquid at the contact of these two materials.