

ISSUE OF THE COMPUTER SIMULATION OF THE FIBROUS FILTER MATERIALS

Zofia Podsiadła-Bulsa

Instytut Eksploatacji Pojazdów i Maszyn

Politechniki Radomskiej

ul. Chrobrego 45

26-600 Radom

e-mail: zpbulsa@tkdami.net

Abstract

The disordered structure of the filter materials used for engine fluids cleaning is very difficult for the mathematical description. The paper presents the results of the computer simulation these structures. The computer program used enables to simulate unlimited fibrous structures. It is possible to change the length of the fibers, their thickness and a percentage. The simulated structure is described by parameters like: number of pores, area, circumference and radius of the smallest, medium and maximum pore. The paper present simulation example of the fibrous structure and mathematical dependences between parameters describing the simulated structure.

ZAGADNIENIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ WŁÓKNISTYCH MATERIAŁÓW FILTRACYJNYCH

Streszczenie

Nieuporządkowana struktura materiałów filtracyjnych stosowanych do oczyszczania płynów eksploatacyjnych jest bardzo trudna do opisu matematycznego. W artykule przedstawiono rezultaty komputerowej symulacji takich struktur. Zastosowany program komputerowy pozwala symulować struktury zbudowane z włókien o dowolnie zadawanych parametrach: długości, grubości i ich udziału procentowego. Symulowana struktura jest charakteryzowana liczbę por, ich powierzchnię, obwód oraz promień najmniejszej, średniej i maksymalnej kapilary. Przedstawiono przykład symulacji włóknistej struktury filtracyjnej i matematyczne zależności opisujące tę strukturę.

1. Wstęp

Najczęściej współcześnie stosowanymi materiałami filtracyjnymi stosowanymi do budowy przegród filtracyjnych są materiały o strukturze nieuporządkowanej, które jak wykazują badania z jednej strony charakteryzują się największą skutecznością filtracji, z drugiej zaś opis matematyczny takiej struktury jest niezwykle trudny [1,3]. Tworzą ją bowiem włókna charakteryzujące się różnymi kształtami i parametrami (np. długości, grubości), ułożone w sposób zupełnie przypadkowy (losowy). To sprawia, że tego typu materiały charakteryzują się dużą niejednorodnością. Ta niejednorodność zależy między innymi od rodzaju włókien, sposobu ich układania i jest znaną właściwością materiałów nietkanych. W przeciwieństwie do struktur geometrycznie uporządkowanych umożliwia otrzymanie najbardziej optymalnej liczby drożnych kapilar determinujących efektywną wgłębną i powierzchniową filtrację płynów przy stosunkowo małych oporach przepływu.

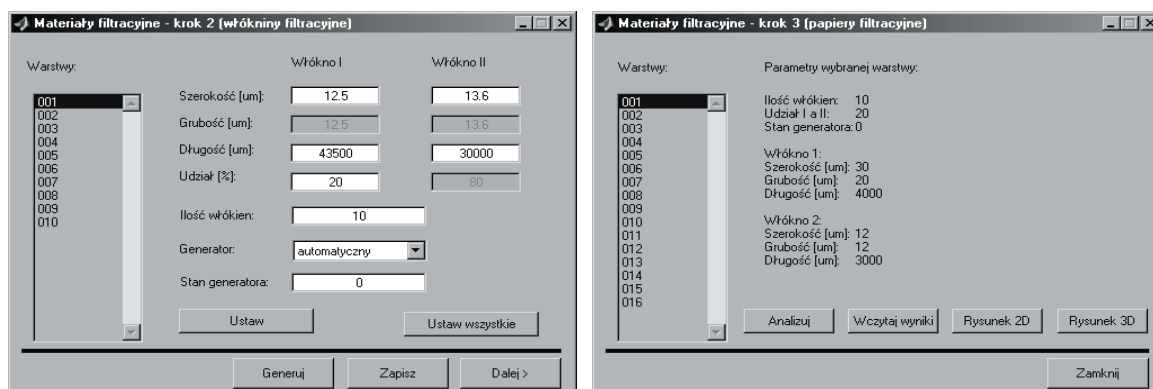
Ze względu na brak matematycznego opisu nieuporządkowanej struktury rzeczywistej nie znamy również współzależności występujących pomiędzy przepływowymi i filtracyjnymi charakterystykami, a ich strukturą porowatą.

W przybliżeniu tego problemu może pomóc symulacja komputerowa, która niestety musi być oparta na szeregu uproszczeniach w stosunku do struktury rzeczywistej.

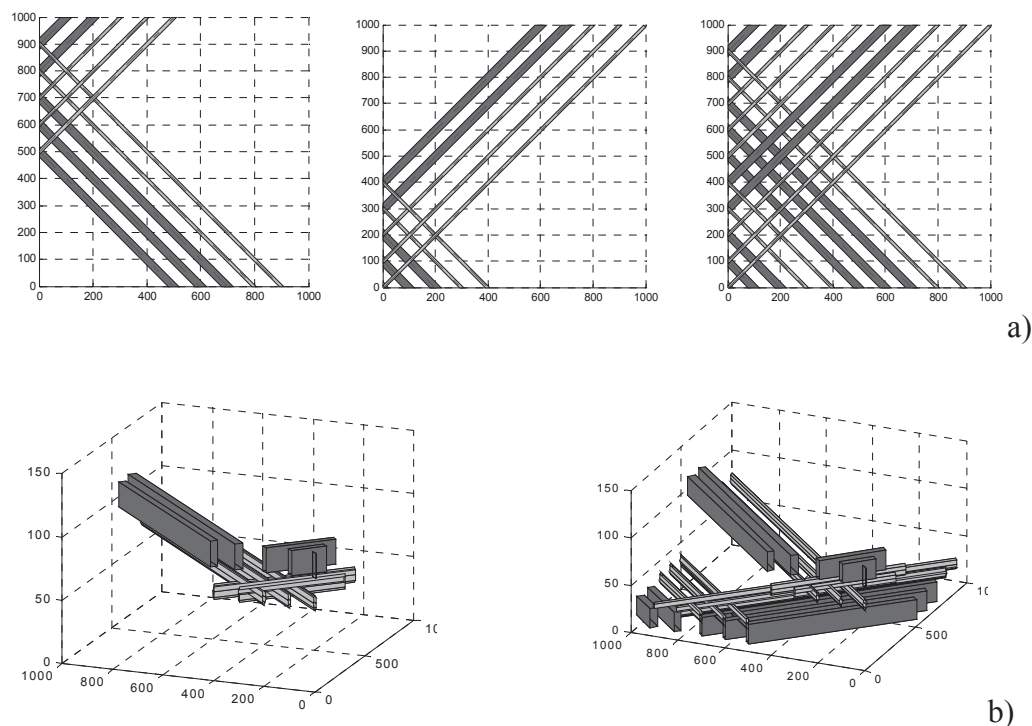
2. Symulacja komputerowa włóknistych materiałów filtracyjnych

Symulację nieuporządkowanej struktury włóknistej przeprowadzono przy pomocy opracowanego programu komputerowego współpracującego z programem Matlab [2].

Przyjęto, że grubość pojedynczej warstwy włókniny równa się sumie grubości dwóch skrzyżowanych włókien. Na rysunku 1 przedstawiono możliwości definiowania poszczególnych warstw włókniny utworzonych z włókien o dowolnej grubości, długości, ich udziale procentowym oraz ilości włókien w poszczególnych warstwach. Zaś etapy tworzenia pojedynczych warstw symulowanej struktury przedstawia rysunek 2.



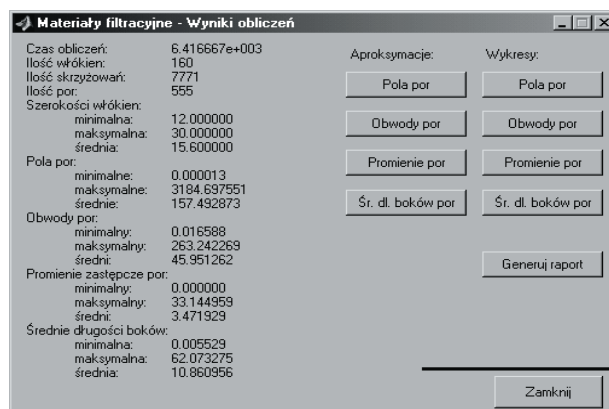
Rys. 1. Okna definiowania parametrów włókien poszczególnych warstw symulowanej włókniny
Fig. 1. Windows the parameters of the individual surfaces simulated structure



Rys. 2. Graficzny obraz generowania pojedynczych warstw struktury filtracyjnej, a) dwuwymiarowy, b) trójwymiarowy

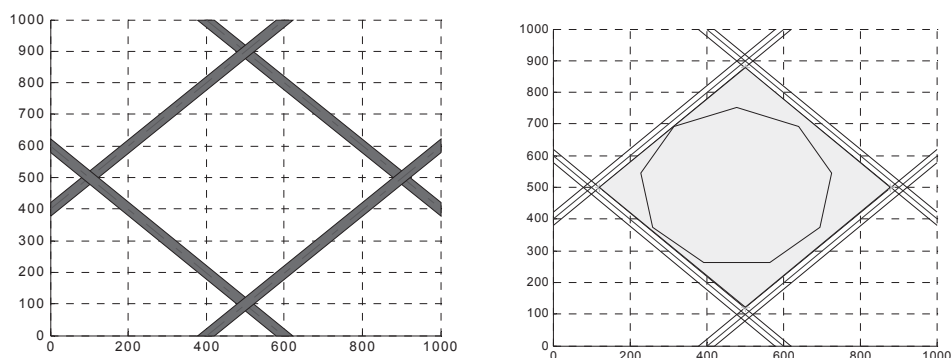
Fig. 2. Way of creating of the single surfaces simulated structure, a) Two-dimensional view, b) Three-dimensional view

Algorytm programu umożliwi analizę symulowanego materiału filtracyjnego polegającą na określeniu powierzchni por, obwodu por, ich promieni zastępczych, średniej długości boków. Rysunek 4 przedstawia okno obrazujące rezultaty analizowanej struktury filtracyjnej.



Rys. 3. Okno wyników obliczeń
Fig. 3. Window of the results

Przykłady analizy i sprawdzenia poprawności wyliczeń jednowarstwowych struktur zawierających pory w kształcie kwadratu, trójkąta i pięciokąta przedstawiono na rysunkach 4 i 5 zaś w raportach odnośne rezultaty obliczeń.



Rys. 4. Graficzny obraz zastępczej kapilary dla por o kształcie kwadratu [2]
Fig. 4. Way of creating of the equivalent capillary in the square pores [2]

Raport z symulacji struktury materiałów filtracyjnych.

Konfiguracja

```

Rozmiar warstwy [um]:          1000
Ilość warstw:                  1
Wybrane warstwy:              1
-----
WARSTWA:                       001
Ilość Włókien:                 4.000000
Włókno I
Szerokość [um]:                30.000000
Grubość [um]:                  20.000000
Długość [um]:                  4000.000000
Włókno II
Szerokość [um]:                12.000000
Grubość [um]:                  12.000000
Długość [um]:                  3000.000000
Udział procentowy włókien I a II: 100.000000
Stan generatora:                0.000000
-----

```

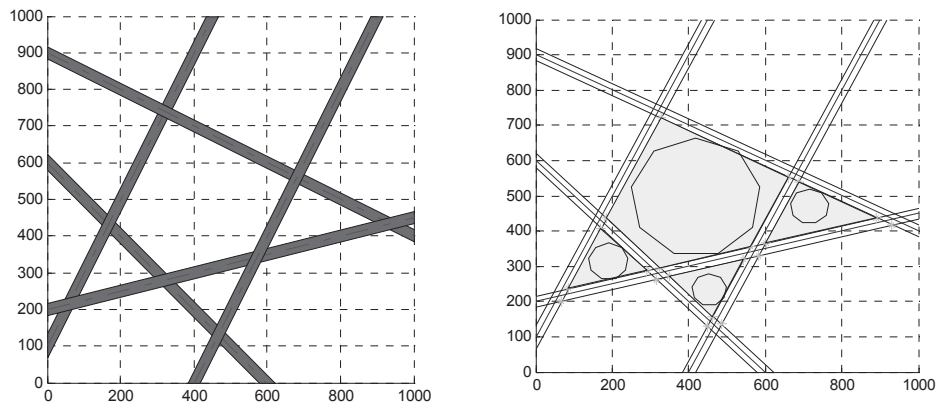
Wyniki obliczeń

```

Czas obliczeń [s]:             5.579000e+000
Ilość włókien:                 4
Ilość skrzyżowań:              4
Ilość por:                     1
Szerokości włókien [um]:
    minimalna:                  30.000000

```

maksymalna:	30.000000
średnia:	30.000000
Pola por [um ²]:	
minimalne:	286958.874503
maksymalne:	286958.874503
średnie:	286958.874503
Obwody por [um]:	
minimalny:	2142.741700
maksymalny:	2142.741700
średni:	2142.741700
Promienie zastępcze por [um]:	
minimalny:	252.524531
maksymalny:	252.524531
średni:	252.524531
Średnie długości boków [um]:	
minimalna:	535.685425
maksymalna:	535.685425
średnia:	535.685425



Rys. 5. Graficzny obraz por dla kapilar o kształtach trójkątów i pięciokątów [2]
 Fig. 5. Graphic view of the pores for triangles and pentagons shaped [2]

Raport z symulacji struktury materiałów filtracyjnych

Konfiguracja

Rozmiar warstwy [um]:	1000
Ilość warstw:	1
Wybrane warstwy:	1

WARSTWA:	001
Ilość Włókien:	5.000000
Włókno I	
Szerokość [um]:	30.000000
Grubość [um]:	20.000000
Długość [um]:	4000.000000
Włókno II	
Szerokość [um]:	12.000000
Grubość [um]:	12.000000
Długość [um]:	3000.000000
Udział procentowy włókien I a II:	100.000000
Stan generatora:	0.000000

Wyniki obliczeń

Czas obliczeń [s]:	2.593700e+001
Ilość włókien:	5
Ilość skrzyżowań:	8
Ilość por:	4
Szerokości włókien [um]:	
minimalna:	30.000000
maksymalna:	30.000000
średnia:	30.000000
Pola por [um ²]:	
minimalne:	13733.791816
maksymalne:	120833.302878

średnie:	43045.878661
Obwody por [um]:	
minimalny:	541.004262
maksymalny:	1351.735270
średni:	797.081762
Promienie zastępcze por [um]:	
minimalny:	46.501326
maksymalny:	170.118129
średni:	79.619858
Średnie długości boków [um]:	
minimalna:	180.334754
maksymalna:	270.347054
średnia:	220.636078

3. Przykład symulacji włókniny filtracyjnej

Przeprowadzono symulację komputerową włókniny filtracyjnej zbudowanej z 16 identycznych warstw, każdą zaś warstwę tworzy dziesięć losowo ułożonych włókien o różnych średnicach[2]. Poniżej przedstawiono przyjętą konfigurację dla symulowanej włókniny i powstały obraz struktury włóknistej.

Konfiguracja

Rozmiar warstwy [μm]: 1000

Ilość warstw: 16

Wybrane warstwy: 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Wszystkie warstwy identyczne w postaci:

Ilość włókien 10.000000

Włókno I

Średnica [μm]: 12.500000

Długość [μm]: 43500.000000

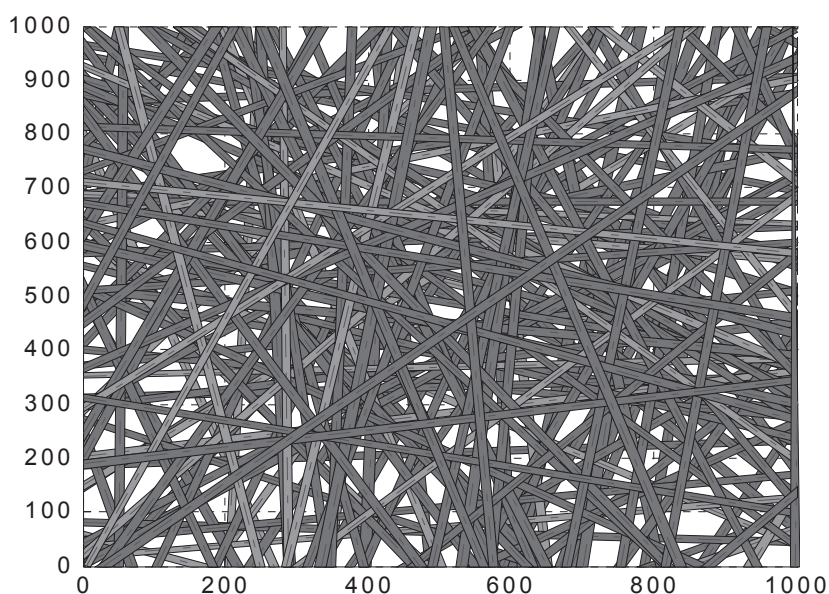
Włókno II

Średnica [μm]: 13.600000

Długość [μm]: 30000.000000

Udział procentowy włókien I do II: 20:80

Stan generatora 0.000000



Rys. 6. Obraz symulowanej struktury włóknistej [2]
Fig. 6. View of the fibrous structure computer simulation [2]

3.1. Analiza symulowanej włóknistej struktury filtracyjnej

Wyniki obliczeń parametrów charakteryzujących powstałą strukturę włóknistą przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Wartości parametrów charakteryzujących symulowaną strukturę
Table 1. Values of the parameters describing the simulated structure

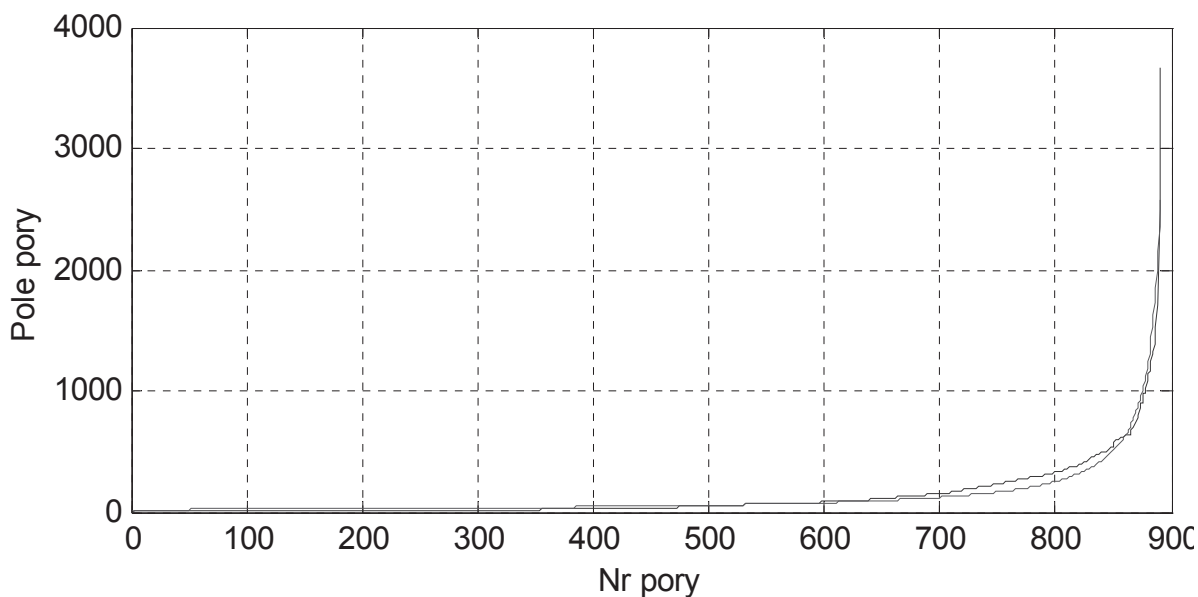
Nazwa parametru	Wartość parametru
Ilość włókien	160
Ilość skrzyżowań	7081
Ilość por	891
Szerokość włókien [μm]:	
minimalna	12.500000
maksymalna	13.600000
średnia	13.380000
Powierzchnia por [μm^2]:	
minimalna	0.000000
maksymalna	3673.691462
średnia	123.519209
Obwody por [μm]:	
minimalny	0.009377
maksymalny	235.768529
średni	40.438939
Promienie zastępcze por [μm]:	
minimalny	0.000000
maksymalny	27.318185
średni	3.105010
Średnie długości boków [μm]	
minimalna	0.003127
maksymalna	62.368460
średnia	9.701631

Ponadto określono zależności powierzchni por, wielkości ich obwodu, wielkości zastępczego promienia por oraz długości boków por od liczby powstałych przelotowych por międzywłókiennych (rys.7,8,9). Jako funkcję analityczną opisującą powyższe zależności przyjęto funkcję wymierną postaci:

$$f(x) = \frac{p_1x + p_2}{p_3x + p_4} \quad (1)$$

4. Wnioski

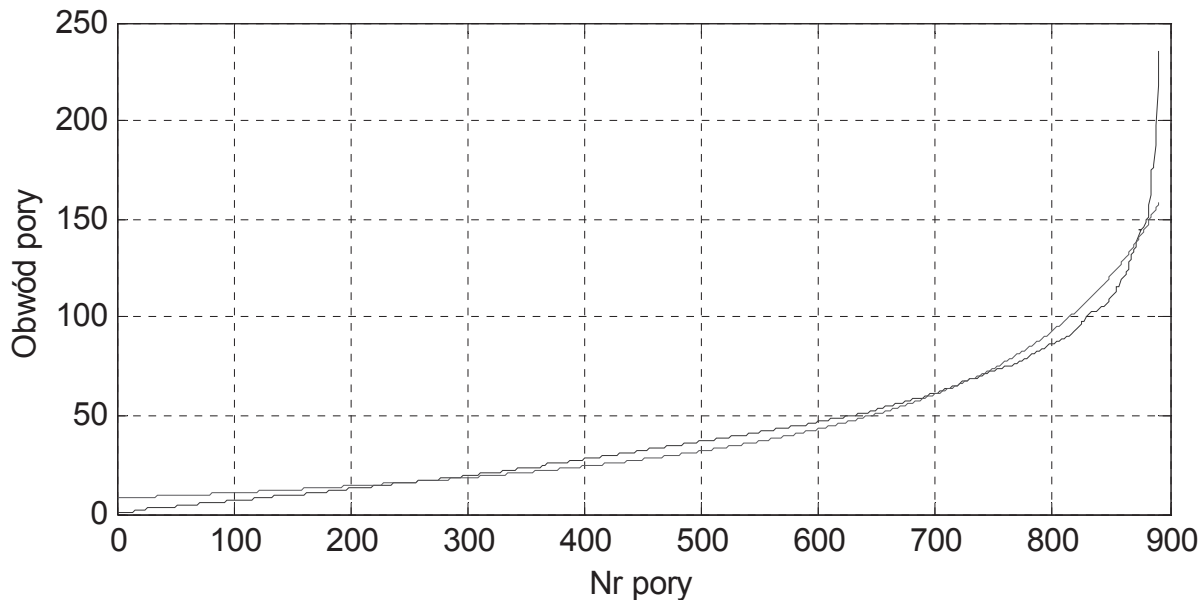
Przeprowadzone próby symulacji struktury włókniny filtracyjnej wskazują, że opracowany program komputerowy może być z powodzeniem stosowany do generowania struktur materiałów porowatych zbudowanych z włókien o dowolnie zadawanych parametrach. Dalsze prace w celu zbliżenia struktury symulowanej do rzeczywistej wymagają uwzględnienia porowatości materiału filtracyjnego oraz konieczna jest weryfikacja parametrów opisujących strukturę symulowaną z wielkością parametrów charakteryzujących podobne struktury rzeczywiste.



Rys. 7. Zależność powierzchni por od liczby por w symulowanej strukturze włókniny filtracyjnej
 Fig. 7. Dependences between the pores area and pores numbers of the simulated structure

Tabela 2. Wartości współczynników równania (1) dla krzywej przedstawionej na rys. 7
 Table. 2. Values of the coefficients of the equation (1) for curve in figure 7

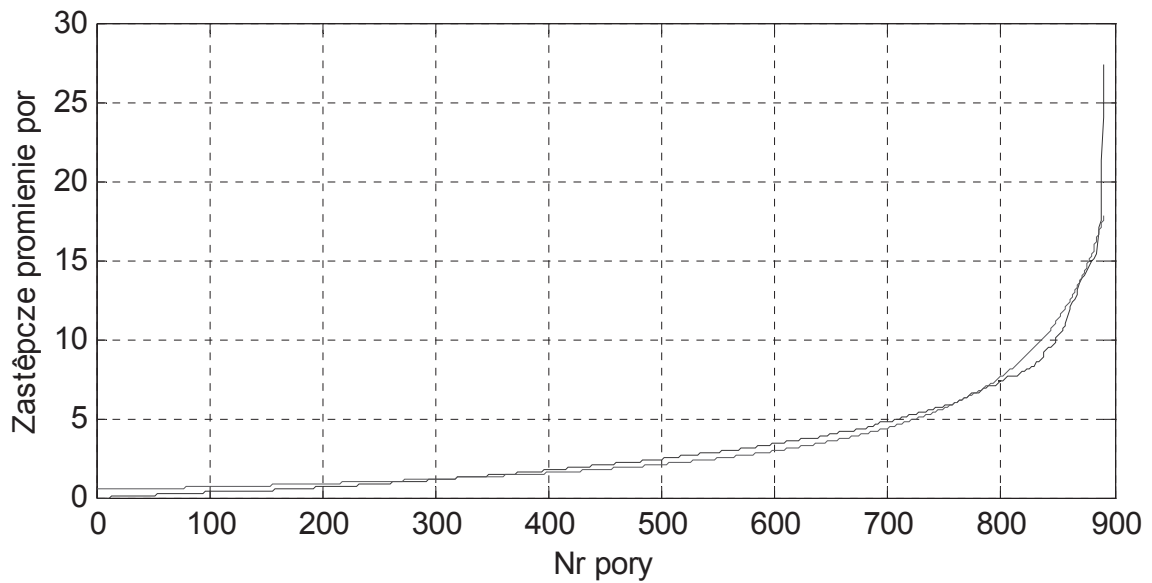
p_1	p_2	p_3	p_4
1.0e+003 * 0.0034	1.0e+003 * 5.2160	1.0e+003 * -0.0003	1.0e+003 * 0.2826



Rys. 8. Zależność wielkości obwodu por od liczby por w symulowanej strukturze włókniny filtracyjnych
 Fig. 8. Dependences between the pores circumference and pores numbers of the simulated structure

Tabela 3. Wartości współczynników równania (1) dla krzywej przedstawionej na rys. 8
 Table 3. Values of the coefficients of the equation (1) for curve in figure 8

p_1	p_2	p_3	p_4
0.1261	57.3614	-0.0069	7.2531



Rys. 9. Zależność wielkości zastępczego promienia por od liczby por w symulowanej strukturze włókniny filtracyjnej

Fig.9. Dependences between the pores equivalent radius and pores numbers

Tabela 4. Wartości współczynników równania (1) opisującego krzywą na rys. 9

Table 4. Values of the coefficients of the equation (1) for curve in figure 9

p_1	p_2	p_3	p_4
0.0146	6.5141	-0.0142	13.7844

Literatura

- [1] Brown R.C., *Air Filtration*, Pergamon Press 1993.
- [2] Podsiadła-Bulsa Z., Piłat A., Sprawozdanie z pracy n-b pt.: Zagadnienie budowy i symulacji struktur filtracyjnych, Politechnika Radomska, Radom 2002.
- [4] Szucs E., *Modelowanie matematyczne w fizyce i technice*, WNT, Warszawa, 1977.