

## COMPARATIVE ANALYSIS OF COMPUTER SIMULATED AND REAL STRUCTURES OF UNWOVEN MATERIALS FILTRATING PROPERTIES

Zofia Podsiadła-Bulsa

Technical University  
Chrobrego Street 45, 26-600 Radom, Poland  
tel.: +48 48 3617655, fax: +48 3617644  
e-mail: zofia.bulsa@pr.radom.pl

### Abstract

The unwoven filtrating materials are usually used for design of engine filters. Their disordered structure is very difficult for mathematical description, therefore the computer simulation and modelling methods are used for approximation. The article presents assumptions of computer simulation of these materials and the results of their numerical analysis. The computer program enables to simulate the structures designed of the unlimited fibrous number. It is possible to change the length and thickness of the fibres as well as the number of layers forming the structure. The size of pores can be also defined in the simulated structure. For the comparison of the simulated and real filtrating material lit was used an unwoven synthetic material made with melt blown method on the polypropylene base. The medium thickness of fibres and the number of the layers was the same in the real material and in the simulated structure. The size of pores was determined using Barus Bechhold method in the real material. The great differences between the values of the size of pores in the simulated and real structure were caused mainly by simplifications applied for modelling of the disordered structure. Trial comparison of the results of computer simulation with the real structure of a fibrous filtration material shows on the essential differences in the dimensions of interfibre clearances existing in these structures.

**Keywords:** transport, engines filter, filter materials, computer simulation

## ANALIZA PORÓWNAWCZA WŁAŚCIWOŚCI FILTRACYJNYCH KOMPUTEROWO SYMULOWANYCH I RZECZYWISTYCH STRUKTUR MATERIAŁÓW WŁÓKNISTYCH

### Streszczenie

Do budowy filtrów silnikowych obecnie powszechnie są stosowane włókniste materiały filtracyjne. Ich nieuporządkowana struktura jest trudna do opisu matematycznego, dlatego dla jej przybliżenia są stosowane metody modelowania i komputerowej symulacji. W artykule zaprezentowano założenia symulacji komputerowej tych materiałów oraz ich numeryczną analizę. Zastosowany program komputerowy pozwala projektować struktury złożone z dowolnej liczby włókien. Możliwym jest także zadawanie parametrów włókien takich jak długość i grubość oraz liczby warstw tworzących strukturę. Dla porównania struktury symulowanej z rzeczywistym materiałem filtracyjnym zastosowano włókninę syntetyczną wytworzoną metodą melt blown na bazie polipropylenu. Średnia grubość włókien oraz liczba warstw w materiale rzeczywistymi w strukturze symulowanej były takie same. Średnicę por w materiale rzeczywistym oznaczono za pomocą metody Barusa Bechholda. Duże różnice pomiędzy wartościami rozmiarów por w symulowanej i rzeczywistej strukturze zdaniem autora spowodowane są przede wszystkim uproszczeniami zastosowanymi w modelu struktury nieuporządkowanej. Próba porównania rezultatów symulacji komputerowej z rzeczywistą strukturą włóknistego materiału filtracyjnego wskazuje na istotne różnice wielkości prześwitów międzywłókiennych powstających w tych strukturach.

**Słowa kluczowe:** transport, filtry silnikowe, materiały filtracyjne, symulacja komputerowa

## 1. Wstęp

Na przegrody filtracyjne filtrów samochodowych są obecnie głównie stosowane włókniste materiały filtracyjne o budowie nieuporządkowanej. Charakteryzują się one bardzo dobrą skutecznością oczyszczania płynów, ale zarówno opis matematyczny ich struktury jak i predykcja właściwości filtracyjnych są niezwykle trudne[3]. Tworzące bowiem strukturę tych materiałów włókna o różnych parametrach grubości i długości są układane (niezależnie od techniki wytwarzania materiału) w sposób przypadkowy-losowy, powodujący dużą niejednorodność materiały. Mimo to, jak wykazują badania [6] tego typu materiały w przeciwieństwie do geometrycznie uporządkowanych umożliwiają powstanie największej liczby kapilar przelotowych, determinujących powierzchnię i wgłębną filtrację płynów przy małych oporach przepływu.

Dla przybliżenia opisu takiej nieuporządkowanej struktury przeprowadzono jej symulację komputerową i analizę numeryczną oraz podjęto próbę porównania wielkości powstających prześwitów międzywłókiennych z wielkością kapilar przelotowych w materiale rzeczywistym o budowie podobnej do komputerowo wygenerowanej struktury materiału filtracyjnego.

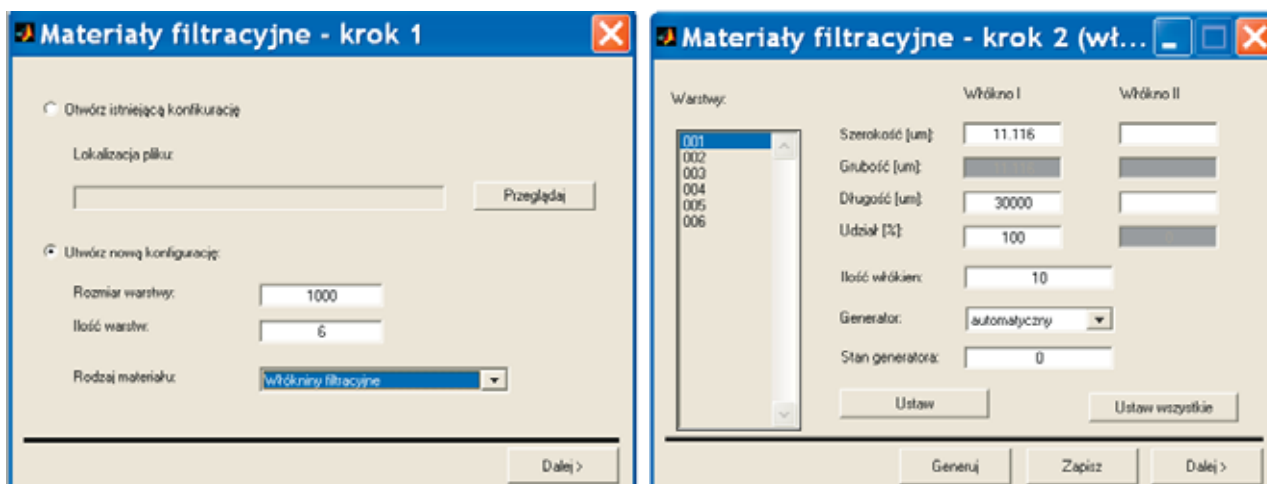
## 2. Symulacja komputerowa struktury nieuporządkowanej

Symulację nieuporządkowanej struktury włóknistej przeprowadzono za pomocą programu komputerowego pracującego w środowisku Matlab [5, 6].

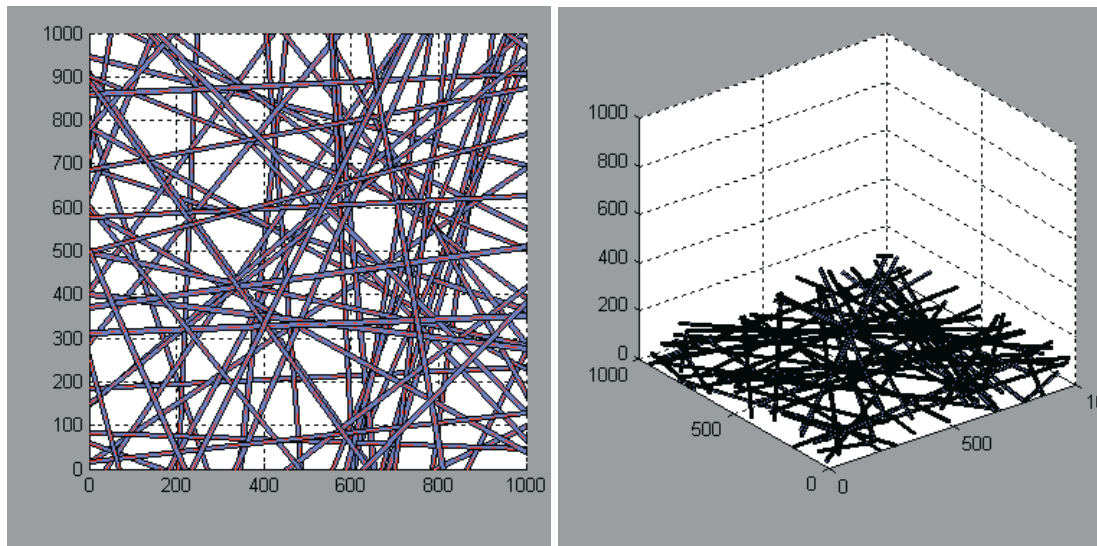
Przyjęto, że struktura ta jest złożona z sześciu warstw, a każda warstwa jest utworzona z dziesięciu włókien o jednakowej grubości równej 11,116  $\mu\text{m}$  i długości 30000  $\mu\text{m}$  (Rys. 1) przedstawionych w postaci prostych krzyżujących się. (Rys. 2). Grubość warstwy stanowi suma grubości dwóch przecinających się ze sobą włókien.

Tak wygenerowaną komputerowo strukturę poddano analizie numerycznej. Przy czym dla porównania wielkości średnicy pory w strukturze wirtualnej z rzeczywistą przeprowadzono analizę warstw wierzchnich, bowiem oznaczana wielkość kapilary metodą Barusa Bechholda [2] w materiale rzeczywistym daje obraz wielkości pory na powierzchni materiału.

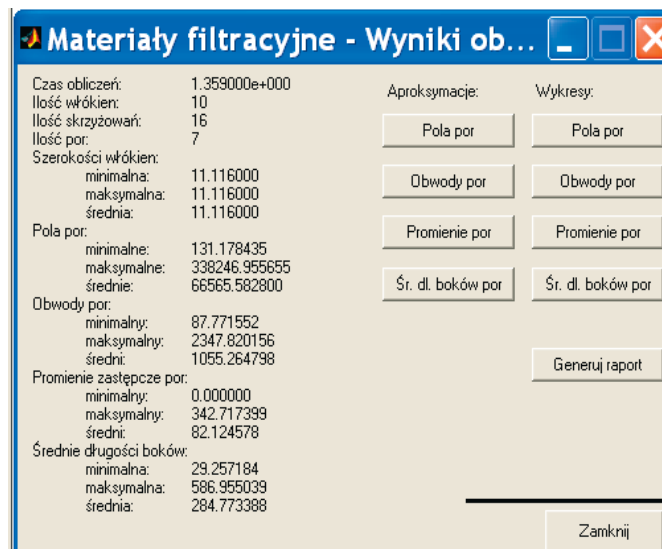
Rezultaty analizy numerycznej wygenerowanej komputerowo struktury przedstawiono w przykładowych raportach nr 1 i 2 i na Rys. 3.



Rys. 1. Okna definiowania parametrów struktury symulowanej  
Fig. 1. Parameters window of the structure computer simulation



Rys. 2. Obraz struktury symulowanej  
Fig. 2. View of the structure computer simulation



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

Raport 1 analizy numerycznej pierwszej warstwy symulowanej struktury nieuporządkowanej

Konfiguracja

Rozmiar warstwy [um]: 1000

Ilość warstw: 6

Wybrane warstwy: 1

WARSTWA: 001

Ilość Włókien: 10.000000

Włókno I

średnica [um]: 11.116000

Długość [um]: 30000.000000

Włókno II  
średnica [um]:  
Długość [um]:  
Udział procentowy włókien I a II: 100.000000  
Stan generatora: 0.000000

---

Wyniki obliczeń

Czas obliczeń [s]: 1,625000e + 000  
Ilość włókien: 10  
Ilość skrzyżowań: 16  
Ilość por: 7

Szerokości włókien [um]:  
minimalna: 11,116000  
maksymalna: 11,116000  
średnia: 11.116000

Pola por [um<sup>2</sup>]:  
minimalne: 131,178435  
maksymalne: 338246,955655  
średnie: 66565,582800

Obwody por [um]:  
minimalny: 87,771552  
maksymalny: 2347,820156  
średni: 1055.264798

Promienie zastępcze por [um]:  
minimalny: 0,000000  
maksymalny: 342,717399  
średni: 82.124578

Średnie długości boków [um]:  
minimalna: 29,257184  
maksymalna: 586,955039  
średnia: 284,773388

Raport 2 analizy numerycznej szóstej warstwy symulowanej struktury nieuporządkowanej

---

Konfiguracja

Rozmiar warstwy [um]: 1000  
Ilość warstw: 6  
Wybrane warstwy: 6

---

WARSTWA: 006

Ilość Włókien: 10.000000  
Włókno I  
średnica [um]: 11,116000  
Długość [um]: 30000,000000

Włókno II

średnica [um]:

Długość [um]:

Udział procentowy włókien I a II: 100,000000

Stan generatora: 0,000000

-----  
Wyniki obliczeń

Czas obliczeń [s]: 6,172000e + 000

Ilość włókien: 10

Ilość skrzyżowań: 22

Ilość por: 14

Szerokości włókien [um]:

minimalna: 11,116000

maksymalna: 11,116000

średnia: 11.116000

Pola por [um<sup>2</sup>]:

minimalne: 649,167137

maksymalne: 130234,310538

średnie: 24180,789029

Obwody por [um]:

minimalny: 149,166230

maksymalny: 1430,833722

średni: 605.774189

Promienie zastępcze por [um]:

minimalny: 0,000000

maksymalny: 161,391637

średni: 44.729449

Średnie długości boków [um]:

minimalna: 49,722077

maksymalna: 245,966982

średnia: 153,721174

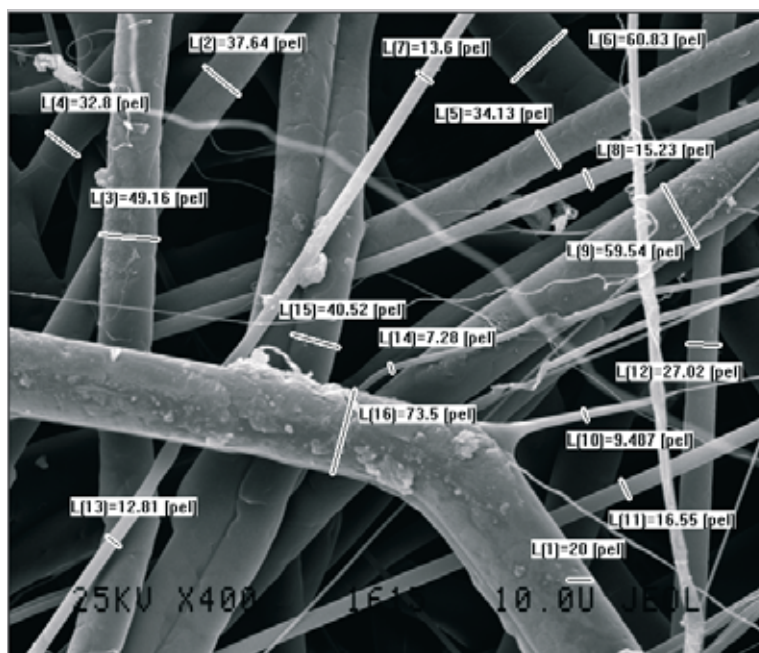
W podobny sposób przeprowadzono symulację struktury utworzonej z włókien o grubości 5,1 μm i składającej się z sześciu warstw oraz struktury zbudowanej z włókien o grubości 23,18 μm i zbudowanej z trzech warstw. Rezultaty obliczeń średnich kapilar przelotowych zawiera Tab. 1.

### 3. Próba weryfikacji struktury symulacyjnej

Próbie weryfikacji wygenerowanej komputerowo struktury materiału filtracyjnego o budowie nieuporządkowanej przeprowadzono poprzez porównanie wielkości średnich kapilar utworzonych w strukturze wygenerowanej komputerowo z wartością tego parametru w rzeczywistym, materiale filtracyjnym.

Obiekt badań stanowiła włóknina syntetyczna uformowana techniką pneumotermiczną [4,7,8 ] na bazie polipropylenu Borealis typ Borflow HL 504 FB, utworzona z sześciu i trzech warstw zbudowanych z włókien o średnich grubościach: 5,1, 11,116 i 23,18 μm. Przykład struktury rzeczywistej włóknistego materiału filtracyjnej przedstawia Rys. 4.

W materiale tym oznaczono metodą Barusa Bechholda [2] wielkości średnich kapilar. Otrzymane rezultaty oznaczeń wielkości por w badanym materiale rzeczywistym porównano z wartościami kapilar utworzonych w strukturze wygenerowanej komputerowo (Tab. 1).



Rys. 4. Obraz rzeczywistej struktury materiału włóknistego

Fig. 4. View of the real fibrous structure

Tab. 1. Porównanie wielkości kapilar w strukturze wygenerowanej komputerowo w rzeczywistym materiale filtracyjnym

Tab. 1. Comparison of the pores size of the computer simulated structure with the real filtrating material

Lp.	Rodzaj materiału	Grubość włókien µm	Ilość warstw	Wielkość średniej średnicy kapilary µm	
				Warstwa pierwsza	Warstwa ostatnia
1.	Struktura generowana komputerowa	5,1	6	66,6	47,4
		11,116	6	82,1	44,7
		23,18	3	25,9	51,8
2.	Włóknina pneumatyczna	5,1	6	71,1	67,2
		11,116	6	52,6	47,2
		23,18	3	58,4	63,9

## 5. Podsumowanie

Zastosowany do symulacji nieuporządkowanych struktur włóknistych program komputerowy daje szerokie możliwości generowania w sposób dowolny takich struktur. Umożliwia bowiem zadawanie parametrów włókien tworzących te struktury takich jak: grubość, długość, skład procentowy poszczególnych rodzajów włókien, a także pozwala kształtować struktury złożone z dowolnej liczby warstw.

Próba porównania rezultatów symulacji komputerowej z rzeczywistą strukturą włóknistego materiału filtracyjnego wskazuje na istotne różnice wielkości prześwitów międzywłókiennych powstających w tych strukturach. Spowodowane jest to przede wszystkim dużymi uproszczeniami

modelowej struktury. Przyjęto bowiem, że włókna są prostymi o zadawanej jednakowej grubości i długości układającymi się losowo w poszczególnych warstwach, podczas gdy strukturę rzeczywistą tworzą włókna kręte zazwyczaj niemonowymiarowe o różnych długościach.

Należy także stwierdzić, że jest niezwykle trudne przeprowadzenie eksperymentu weryfikacyjnego wytwarzania włóknistego materiału filtracyjnego w sposób kontrolowany.

Niemniej zdaniem autora praca powinna być kontynuowana. Istnieje bowiem możliwość udoskonalenia symulacyjnego programu komputerowego tak by generowane struktury były jeszcze bliższe rzeczywistym. Służyć temu może między innymi dodatkowe wprowadzenie (oprócz istniejących) parametrów porowatości ( $\epsilon$ ) i krętości włókien równej  $1/\epsilon$  [1] jako zadawanych wartości wejściowych do symulacji.

Praca realizowana w ramach projektu badawczego zamawianego PW-004/ITE/08/2006

## **Literatura**

- [1] Abbasi, M. H., Abramson, I. S., Evans, I. N., *Monte Carlo Simulation in the Knudsen and Ordinary Diffusion Regimes*, AIChE Journal, 29, 4, 1983.
- [2] Bulsa, St., *Zastosowanie metody pęcherzykowej do wyznaczania dokładność i materiałów porowatych*, Czasopismo Techniczne, Politechnika Krakowska, 8, 1971.
- [3] Brown, R., *The pore size distribution of model filters produced by random fragmentation described in terms of Weibull distribution*, Chemical Science, 1993.
- [4] Mansfield, R. G., *A look of polymers and end products with melt blown and spunbonded nonwovens*, V Tandec Conference, University of Tennessee, Knoxville, USA 1995.
- [5] Podsiadła-Bulsa, Z., *Zagadnienie symulacji komputerowej włóknistych materiałów filtracyjnych*, Journal of Kones, Warsaw 2005.
- [6] Podsiadła-Bulsa, Z., *Włókniste materiały filtracyjne. Analiza i symulacja struktur nieuporządkowanych*, Archiwum Motoryzacji, 4, 2007.
- [7] Smorada, R., *Spunbonded and Melt Blown Nonwovens*, The Basics Nonwovens Industry, 10 48, 1996.
- [8] Wcisło, P., Nowicka, Cz., *Zastosowanie polimerów termoplastycznych w technice pneumatycznej*, Przegląd Włókienniczy, 2,9, 2000.

