

**MAGDALENA TOKARSKA**

**Katedra Automatykacji Procesów Włókienniczych  
Politechniki Łódzkiej**

## **BADANIA I ANALIZA PRZEPUSZCZALNOŚCI UDAROWEJ TKANIN\***

Recenzenci: **prof. dr hab. inż. Tadeusz Skubis,**  
**prof. zw. dr hab. inż. Janusz Szosland**

*W pracy analizowano cechę płaskich wyrobów włókienniczych – tkanin, jaką jest ich przepuszczalność udarowa powietrza. Badania tej cechy dokonano na specjalnie wykonanym stanowisku pomiarowym. Za pomocą przemieszczającego się w cylindrze tłoka wymusza się udarowy przepływ powietrza przez próbkę tkaniny. Jednocześnie rejestruje się spadek ciśnienia na próbce, strzałkę ugięcia wyrobu, przemieszczenie tłoka i prąd elektromagnesu powodujący ruch tłoka. Opracowana została miara liczbowa udarowej przepuszczalności powietrza płaskich wyrobów włókienniczych w postaci zmodernizowanego wskaźnika IP (ang. impact permeability) pozwalająca na szeregowanie wyrobów włókienniczych pod względem ich właściwości przepływowych. W pracy dokonano również oceny niedokładności wyznaczenia wskaźnika IP.*

### **1. WPROWADZENIE**

Wyroby włókiennicze spełniają wiele ról w życiu codziennym. Służą na przykład jako odzież zachowując walory higieniczne związane między innymi z

---

\*Opracowanie jest streszczeniem rozprawy doktorskiej autorki. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Krzysztof Gniotek.

przepływem gazów od ciała do otoczenia i dopływu świeżego powietrza do ciała. Wyroby włókiennicze to także powłoki czy maski ochronne, których użytkowanie wiąże się z koniecznością odprowadzania na zewnątrz dwutlenku węgla. Ponadto wyroby włókiennicze mogą również chronić przed utratą ciepła.

Wymienione funkcje, jakie muszą spełniać płaskie wyroby włókiennicze związane są z przedostawaniem się powietrza przez ich skomplikowaną strukturę.

W zależności od wielkości średnic kanałów występujących w wyrobie włókienniczym przepływ powietrza może mieć charakter laminarny (uwarstwiony) bądź turbulentny (burzliwy) [1], [2]. Przejście ruchu laminarnego w turbulentny zachodzi przy stałej wartości granicznej liczby Reynoldsa. Małe zakresy liczby Reynoldsa są właściwe dla przepływów laminarnych. Po przekroczeniu pewnej krytycznej wartości Reynoldsa mówi się o przepływach turbulentnych. Dla płaskich wyrobów włókienniczych przyjmuje się:  $Re < 2200$  – przepływ laminarny;  $Re > 2200$  – przepływ turbulentny. W rzeczywistości struktura wyrobów włókienniczych jest dość skomplikowana. Kanały między przędzami i włóknami mają zmienną powierzchnię przekroju poprzecznego. Ich oś nie ma kształtu linii prostej, a rozmiary wzdłużne są rzędu rozmiarów poprzecznych. Dlatego też przepływ płynu czy powietrza przez płaskie wyroby włókiennicze odbywa się częściowo laminarnie, a częściowo turbulentnie. Płaski wyrób włókienniczy można zastąpić modelem ciała, będącego cienką porowatą przegrodą, której średnice otworów są mniejsze lub równe grubości przegrody. Dla tego modelu, przy małych prędkościach przepływu powietrza, charakter zależności spadku ciśnienia i prędkości przepływu czynnika jest liniowy; nieliniowy staje się przy dużych prędkościach przepływu tego czynnika. Zatem dla grubych i gęstych tkanin otrzymuje się zależność liniową. Praca ciśnienia zostaje zużyta na pokonanie sił lepkości powstałych na skutek tarcia cząstek powietrza o włókna wyrobu. Dla cienkich i bardzo przewiewnych tkanin otrzymuje się zależność krzywoliniową. Praca ciśnienia zostaje również zużyta na pokonanie sił bezwładności, powstałych wskutek odrywania warstwy przysiciennej od tylnej powierzchni porów.

### Statyczna przepuszczalność powietrza

Statyczna przepuszczalność powietrza płaskich wyrobów włókienniczych wyraża się ilością powietrza  $V$ , przechodzącego przez jednostkę powierzchni  $A$ , tego wyrobu w ciągu określonego czasu  $t$ , i przy ustalonej różnicy ciśnienia powietrza  $\Delta p$ , znajdującego się z obu stron próbki [3].

Zatem mamy:

$$P = \frac{V}{A \cdot t} \quad | \quad \Delta p = const. \quad (1)$$

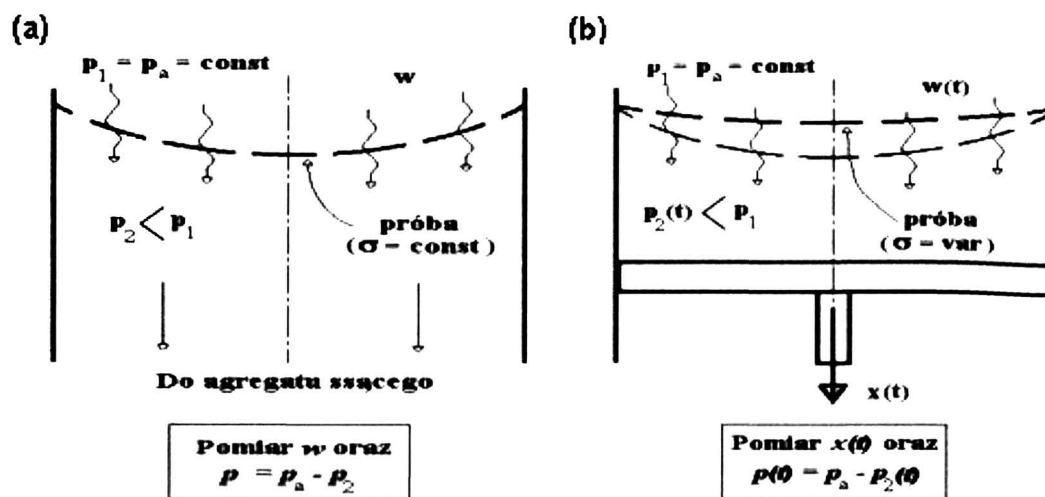
Metodę wyznaczania przepuszczalności powietrza płaskich wyrobów włókienniczych zawiera norma [4]. Do wyznaczenia przepuszczalności stosuje się

próbki o powierzchni pomiarowej w kształcie koła. Zakłada się ponadto, zgodnie z postulatem Sommera [5], że podczas ustalonych przepływów powietrza powierzchnia pomiarowa płaskiego wyrobu włókienniczego przyjmuje postać wycinka czaszy kuli. Promienie krzywizny w tak odkształconej próbce największą wartość przyjmują w strefie szczytowej próbki, później w miarę zbliżania się do miejsca zamocowania – maleją. Zatem można przyjąć założenie, iż maksymalne naprężenia i odkształcenia przędzy występują w punkcie kulminacyjnym próbki wyrobu włókienniczego [6]. W tak opisanym modelu zjawiska można przyjąć, że struktura wyrobu znajduje się w stanie ustalonym. Zatem pory, którymi płynie powietrze osiągnęły określone wymiary geometryczne i już ich nie zmieniają. W szczególności nie zwiększa się sumaryczne pole wolnych przestrzeni w wyrobie włókienniczym, a opory przepływu są stałe.

### **Dynamiczna przepuszczalność powietrza**

Przeprowadzenie badań płaskich wyrobów włókienniczych tylko w warunkach stycznych jest niewystarczające, gdyż zachowanie się wyrobu włókienniczego w trakcie takich badań odbiega znacznie od warunków jego użytkowania. Za przykład wyrobów włókienniczych używanych w sytuacji nieustalonych przepływów powietrza mogą posłużyć: czasza spadochronu, powłoka balonowa, żagle, samochodowa poduszka powietrzna, maski do ochrony górnych dróg oddechowych, a także filtry czy materiały przeznaczone do wytłumiania hałasów i absorpcji dźwięku. Zachowanie wymienionych wyrobów w warunkach dynamicznych powoduje, iż wszystkie wielkości są istotnie zmienne w czasie; dotyczy to zarówno parametrów przepływu powietrza jak i struktury włóknistej wykazującej przecież wszystkie cechy reologiczne. W sytuacji gwałtownego wzrostu wartości różnicy ciśnień i strumienia objętości powietrza powierzchnia wyrobu włókienniczego może nie zdążyć się odkształcić i wymiary porów mogą być znacząco inne niż przy takich samych wartościach ustalonych. W takim przypadku opory przepływu będą zmniejszać się w wyniku stopniowego wzrostu sumarycznego pola wolnych przestrzeni w wyrobie włókienniczym spowodowanego naprężeniami  $\sigma$  pochodzącymi od dynamicznego ciśnienia strugi. W przypadku krótkotrwałych udarów opory te mogą nie osiągnąć wartości ze stanu ustalonego. Należy także oczekiwać opóźnienia w narastaniu strumienia objętości powietrza w funkcji czasu w stosunku do skokowej zmiany wartości różnicy ciśnień. Zatem wyroby tekstylne wymagają oceny ich cech przy zmiennych warunkach ich użytkowania.

W niniejszej pracy doktorskiej pod pojęciem przepuszczalności dynamicznej rozumie się cechę płaskiego wyrobu włókienniczego opisującą różnice w zachowaniu się powierzchni pomiarowej wyrobu podczas ustalonych i nieustalonych skrośnych przepływów powietrza. Po wstępnej analizie zjawiska przyjęto sposób badania analogiczny do oceny tradycyjnej przepuszczalności powietrza, tj. wymuszenie przepływu do wnętrza układu pneumatycznego przy kołowym utwierdzeniu próbki (rysunek 1). Badania w warunkach dynamicznych są pomyślane jako rozwinięcie tradycyjnych badań statycznych [7].



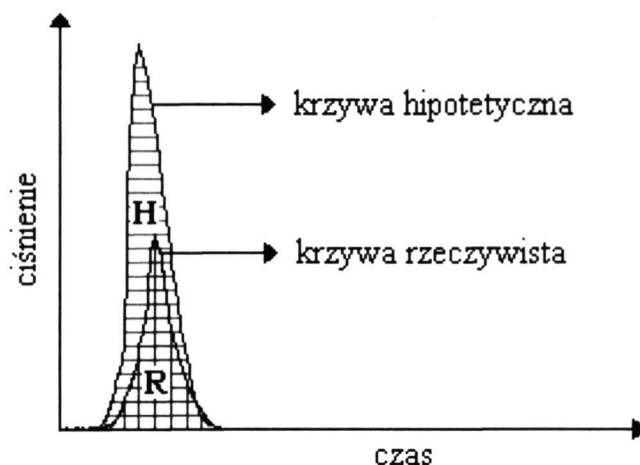
Rys. 1. Pomiary przepuszczalności powietrza płaskich wyrobów włókienniczych w warunkach statycznych (a) i w warunkach dynamicznych (b)

K. Gniotek [8] wprowadził miarę przepuszczalności dynamicznej w postaci wskaźnika. Wskaźnik przepuszczalności dynamicznej (ang. dynamic permeability) dla próbki wyrobu włókienniczego dany jest wzorem:

$$DP = \frac{|H - R|}{H} \quad (2)$$

w której:  $H$  – pole powierzchni pod krzywą hipotetyczną;  $R$  – pole powierzchni pod krzywą rzeczywistą (rysunek 2).

Wartość wskaźnika przepuszczalności dynamicznej wyznacza się na podstawie znajomości rzeczywistego, zmierzonego impulsu ciśnienia  $p(t)$  i hipotetycznego impulsu  $p'(t)$ , to jest takiego, który wystąpiłby na tkaninie, gdyby w warunkach nieustalonych przepływów powietrza jej odkształcenia były takie same jak podczas przepływów ustalonych; odkształcenia nadałyby za zmianami wartości ciśnienia powietrza.



Rys. 2. Przykładowe dynamiczne charakterystyki przepływowe dla próbki wyrobu włókienniczego

Oceny hipotetycznego impulsu ciśnienia dokonuje opierając się na pomiarach spadku ciśnienia na materialnych modelach odniesienia, wykonanych w postaci płytek metalowych z wywierconymi otworami [7]. Są to modele nieodkształcalne.

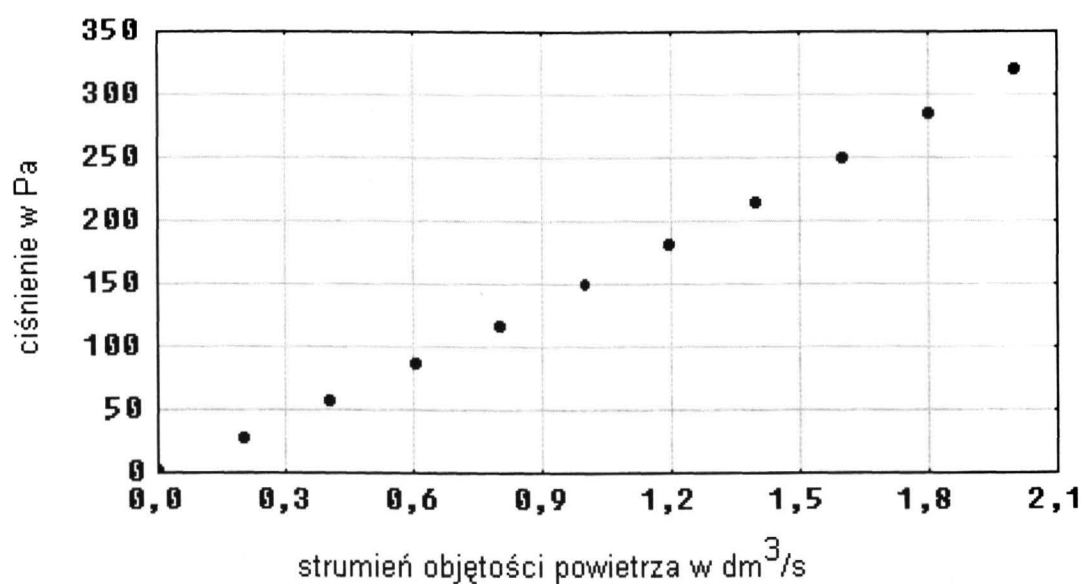
### **Udarowa przepuszczalność powietrza**

Jednym z sygnałów wejściowych służących do oceny właściwości dynamicznych obiektów jest impuls Diraca. Impuls ten może być traktowany jako granica niesymetrycznego impulsu prostokątnego o polu powierzchni równej jeden przy jego podstawie dążącej do zera [9]. Bardziej rzeczywistym sygnałem wejściowym jest wymuszenie w postaci funkcji skoku jednostkowego lub wymuszenie skokowe o dowolnej wartości [10]. Jako sygnału testującego, w badaniach dynamicznych płaskich wyrobów włókienniczych, zastosowano w pracy skokową zmianę objętości przestrzeni występującej pod próbką wymuszając w ten sposób nieustalony przepływ powietrza przez przegrodę. Skokowa zmiana objętości następuje w wyniku gwałtownego ruchu tłoka w cylindrze. Ruch tłoka jest techniczną realizacją skoku jednostkowego, jednego z wielu możliwych oddziaływań dynamicznych, powodującego impulsowe narastanie ciśnienia na badanej próbce wyrobu włókienniczego. Ze względu na udarowy charakter ruchu tłoka wprowadzono pojęcie udarowej przepuszczalności powietrza. Przepuszczalność udarowa służy do określenia różnic w zachowaniu się tkanin podczas ustalonych i nieustalonych przepływów powietrza. Podczas każdego skrośnego przepływu powietrza przez wyrób występuje efekt oddziaływania strugi powietrza na elementy tworzące powierzchnię pomiarową. Uwzględniając właściwości bezwładnościowe i reologiczne włókien i przędz należy oczekiwać, że wykonanie badania przed osiągnięciem stanu ustalonego dadzą inne wyniki niż w stanie ustalonym. Badania przepuszczalności udarowej płaskich wyrobów włókienniczych są badaniami porównawczymi.

## **2. METODYKA WYZNACZANIA UDAROWEJ PRZEPUSZCZALNOŚCI POWIETRZA**

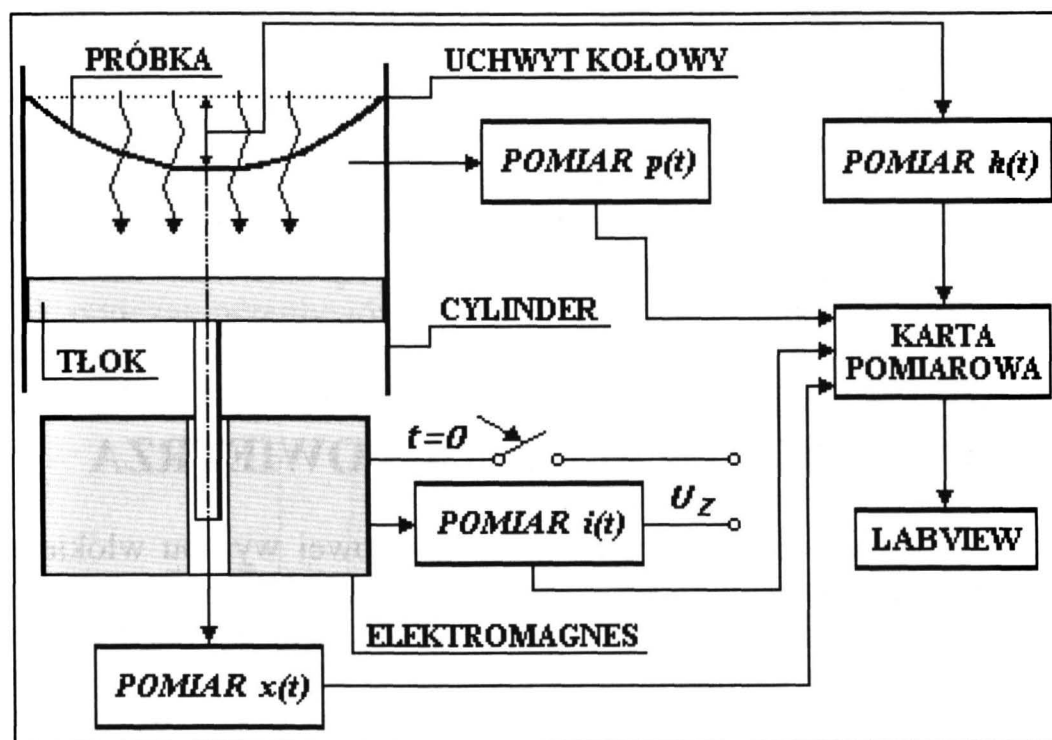
W celu wyznaczenia przepuszczalności udarowej wyrobu włókienniczego za punkt odniesienia przyjmuje się warunki statyczne. Następuje wówczas ustalony przepływ powietrza przez porowatą przegrodę, jaką jest tkanina; rozmiary i kształty porów wyrobu włókienniczego nie ulegają zmianom. W warunkach statycznych znajduje się charakterystykę opisującą zależność różnicy ciśnienia, jaka powstaje po obu stronach badanego wyrobu włókienniczego od strumienia objętości przepływającego powietrza,  $p_s(w)$  [11]. Dla tkaniny jest to charakterystyka liniowa.

Na rysunku 3 przedstawiono przykładowe charakterystyki uzyskane dla tkaniny ubraniowej elanobawełnianej oznaczonej symbolem *M20*.



Rys. 3. Charakterystyka statyczna tkaniny

Następnie wyrób włókienniczy poddaje się badaniom w warunkach dynamicznych na specjalnie skonstruowanym stanowisku pomiarowym [12], którego schemat przedstawia rysunek 4.

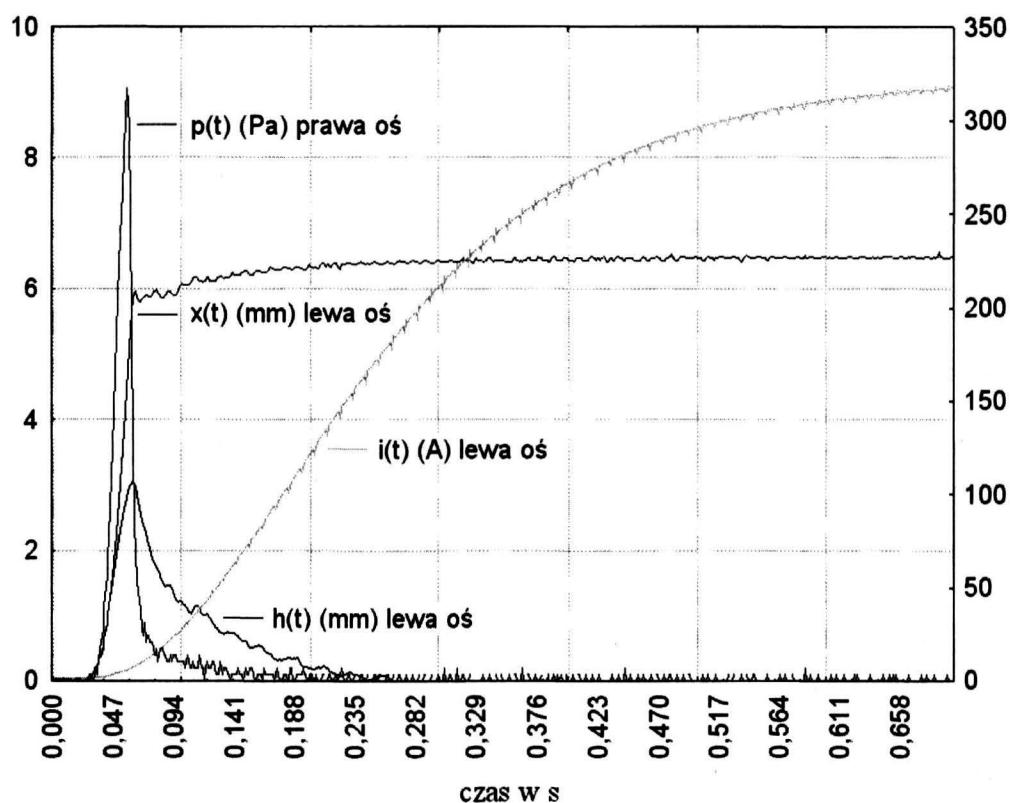


Rys. 4. Schemat stanowiska pomiarowego

Próbkę tkaniny mocuje się na szczycie cylindra w kołowym uchwycie. W cylindrze, w kierunku z góry na dół, porusza się szczelny tłok. Ruch tłoka

powoduje przepływ powietrza przez porowatą przegrodę. Ustala się takie położenie tłoka w cylindrze, aby na skutek jego przemieszczenia, na badanej próbce wyrobu włókienniczego, uzyskać takie samo ciśnienie maksymalne, jakie uzyskano w warunkach statycznych. Przemieszczenie tłoka jest techniczną realizacją skoku jednostkowego. Wynikiem badań jest rzeczywisty impuls ciśnienia  $p(t)$  (zależność różnicy ciśnienia od czasu). Ponadto w warunkach dynamicznych mierzy się przemieszczenie tłoka w cylindrze  $x(t)$ , strzałkę ugięcia próbki wyrobu włókienniczego  $h(t)$ , prąd elektromagnesu  $i(t)$ . Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe charakterystyki uzyskane dla tkaniny M20.

Na podstawie przeprowadzonych badań porównawczych przewiduje się hipotetyczny spadek ciśnienia  $p'(t)$  na tkaninie idealnej, w wyniku dedukcji przy założeniu, że właściwości wyrobu pozostaną takie same niezależnie od warunków użytkowania. Za idealną uznaje się tkaninę wykonaną z nici idealnie sprężystych i nieważkich. Zakłada się też brak tarcia między nitkami. Pory takiego wyrobu, po ustąpieniu przepływu powietrza, wracają do swojego pierwotnego kształtu.



Rys. 5. Przykładowe charakterystyki dynamiczne tkaniny

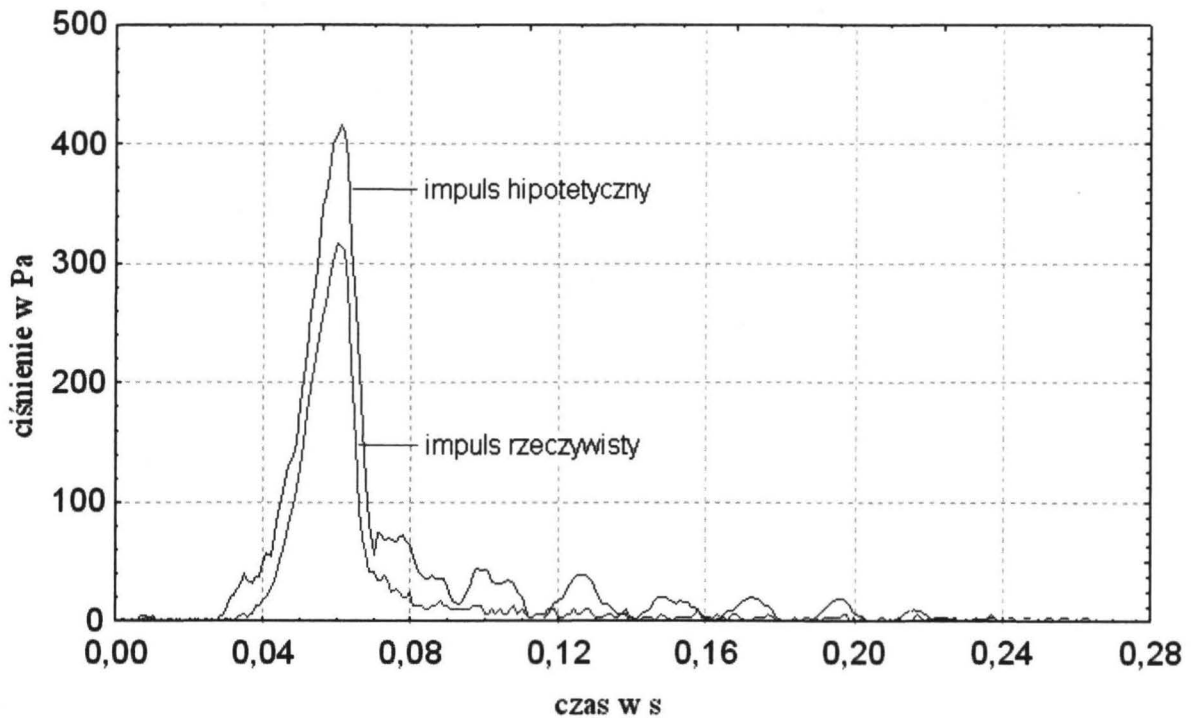
Analizując zmiany parametrów geometrycznych przestrzeni, jaka znajduje się między zamocowaną próbą a poruszającym się, szczelnym tłokiem, hipotetyczny spadek ciśnienia  $p'(t)$  na tkaninie idealnej określono zależnością półempiryczną [13]:

$$p'(t) = a[\pi r^2 \frac{dx(t)}{dt} - \frac{\pi}{2}[r^2 + h^2(t)] \frac{dh(t)}{dt}] \quad (3)$$

gdzie:  $a$  – współczynnik kierunkowy charakterystyki statycznej  $p_s(w)$ .

Zależność (3) bazuje na wynikach pomiarów przemieszczenia tłka  $x(t)$  oraz strzałki ugięcia próbki wyrobu włókienniczego  $h(t)$ . Uzyskane charakterystyki czasowe aproksymuje się za pomocą sieci neuronowych [14]. Wielkości aproksymowane podstawia się do wzoru (3) znajdując impuls ciśnienia  $p'(t)$ .

Na rysunku 6 przedstawiono rzeczywisty i hipotetyczny impuls ciśnienia uzyskany dla tkaniny M20.



Rys. 6. Rzeczywisty i hipotetyczny impuls ciśnienia na tkaninie

### Wskaźnik udarowej przepuszczalności powietrza tkanin

Znając rzeczywisty i hipotetyczny, wzór (3) impuls ciśnienia można ocenić różnice w zachowaniu się rzeczywistej tkaniny w stosunku do tkaniny idealnej podczas ustalonych i nieustalonych przepływów powietrza. Określono nowy, syntetyczny wskaźnik IP następującym wzorem:

$$IP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\max_{t \geq 0} p_i(t)}{\max_{t \geq 0} p_i(t) + \max_{t \geq 0} p'_i(t)} - 0,5 \quad (4)$$



gdzie:  $p_i$  – rzeczywisty impuls ciśnienia,  
 $p_i'$  – hipotetyczny impuls ciśnienia,  
 $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  – liczba powtórzeń pomiarów.

Wskaźnik  $IP$  daje możliwość szybkiego porównania różnic, jakie wystąpiły podczas badań statycznych i dynamicznych próbki wyrobu. Wskaźnik przyjmuje wartości z przedziału od  $-0,5$  do  $0,5$  i pozwala na bezwzględne oszacowanie przepuszczalności udarowej tkanin.

Wartości ujemne wskaźnika  $IP$  świadczą o tym, iż maksymalne rzeczywiste ciśnienie dynamiczne jest mniejsze od maksymalnego hipotetycznego ciśnienia dynamicznego – ciśnienia odniesienia. Opisana wyżej relacja maksymalnego ciśnienia dynamicznego hipotetycznego i rzeczywistego oznacza, iż kształty i wymiary kanałów międzynytkowych będą powodowały zmniejszenie oporów przepływu powietrza na tkaninie w warunkach przepływów nieustalonych w porównaniu z warunkami ustalonymi.

Wartość dodatnia wskaźnika  $IP$  oznacza, że maksymalne rzeczywiste ciśnienie dynamiczne jest większe od maksymalnego hipotetycznego ciśnienia dynamicznego. W takim przypadku kształty i wymiary kanałów międzynytkowych spowodują wzrost oporów przepływu powietrza na wyrobie włókienniczym w warunkach przepływów nieustalonych w porównaniu z warunkami ustalonymi.

Zerowe wartości wskaźnika wskazują, iż różnica ciśnień, jaka wystąpiła po obu stronach próbki wyrobu włókienniczego jest taka sama niezależnie od warunków badań. Wówczas struktura tkaniny, kształty i wymiary jej porów, nie powinny ulec zmianom podczas badań w warunkach dynamicznych w porównaniu z badaniami w warunkach statycznych.

Wskaźnik  $IP$  dany wzorem (4) szereguje płaskie wyroby włókiennicze pod względem ich właściwości przepływowych.

### **Niedokładność wyznaczenia wskaźnika przepuszczalności udarowej**

Do oceny niedokładności wyznaczenia przepuszczalności udarowej tkanin,  $IP$  wykorzystano teorię niepewności [15]. W pierwszej kolejności dokonano analizy niedokładności wyznaczenia hipotetycznego ciśnienia maksymalnego uzyskanego na tkaninie. Następnie określono niedokładność wyznaczenia wskaźnika  $IP$  przyjmując za jej miarę niepewność rozszerzoną. Szczegółowe analizy znajdują się w opracowaniu [16].

## **3. BADANIA PRZEPUSZCZALNOŚCI UDAROWEJ TKANIN**

Materiał badawczy, który posłużył do oceny udarowej przepuszczalności powietrza, stanowią tkaniny. Tkaniny dobrano w taki sposób, aby różniły się od siebie parametrami strukturalnymi. W tabeli 1 podano te parametry strukturalne,

które w sposób istotny wpływają na wartość wskaźnika przepuszczalności udarowej tkanin. Istotność została stwierdzona na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej [16].

Z uwagi na fakt, iż wyroby włókiennicze należą do obiektów niesterownych [17] badania prowadzono w oparciu o plan stałoukładowy [18]. W planie tym współrzędne punktów pomiarowych w przestrzeni wielkości wejściowych wynikają z cech zestawu obiektów, którymi dysponuje eksperymentator. Nie jest tu spełnione żadne kryterium optymalności ponieważ penetracja przestrzeni wejść nie jest uzasadniona żadnym kryterium matematycznym. Tym nie mniej plan daje możliwość analizy zarówno niedokładności pomiarów jak istotności wpływu wielkości wejściowych i adekwatności związku aproksymującego wyniki pomiarów.

Tabela 1

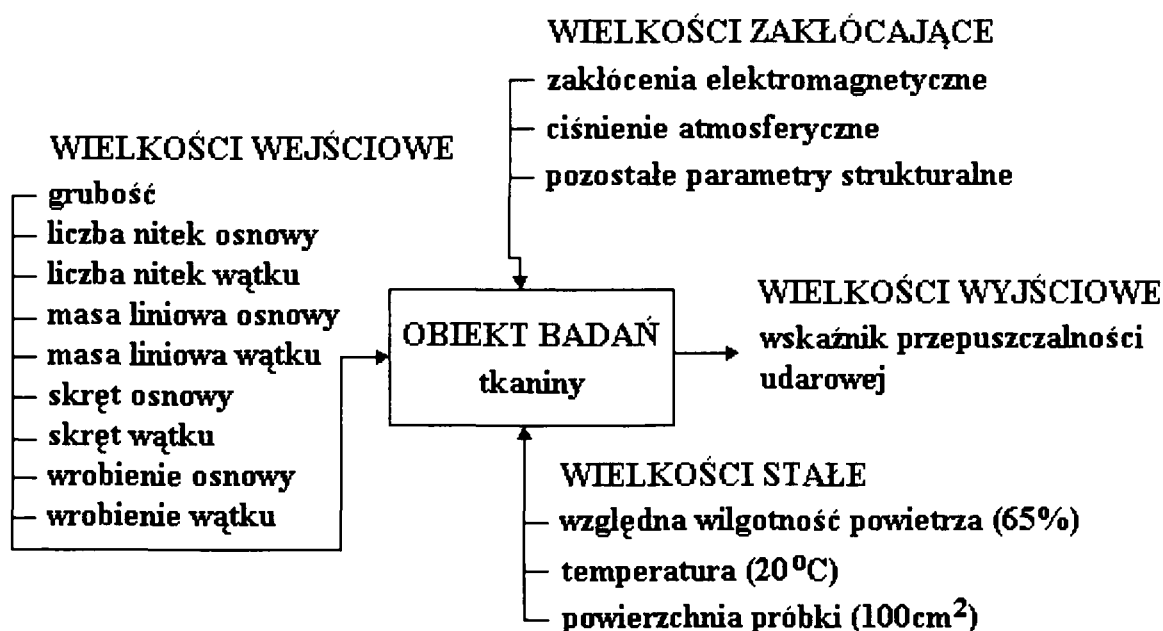
## Parametry strukturalne tkanin

Ozn. tkaniny	Grubość	Liczba nitok osnowy	Liczba nitok wątku	Masa liowa osnowy	Masa liowa wątku	Skręt osnowy	Skręt wątku	Wrobienie osnowy	Wrobienie wątku
	Gr	Lo	Lw	Mlo	Mlw	So	Sw	Wo	Ww
	mm	szt./cm	szt./cm	tex	tex	skr./m	skr./m	%	%
M1	0,72	35	19	43	54,3	153	131	6,7	6,7
M2	0,62	22	33	26,4	40,9	214	167	11,6	11,6
M3	0,36	38	35	29,3	20,3	206	195	3,4	0,3
M4	0,76	36	23	50,4	47,2	270	250	12	3,7
M5	0,74	35	19	52	49,6	154	139	9,8	5,5
M6	0,42	43	24	24,9	26,3	378	378	3,1	6,5
M7	0,75	35	21	44,6	44,6	254	230	6,7	4
M8	0,75	35	18	51	53,7	149	121	10,7	8
M9	0,69	36	23	50,7	47,1	271	262	9,4	2,9
M10	0,67	38	22	50	48,5	269	277	9,7	4,5
M11	0,66	27	23	57,3	58,3	228	228	5,9	7,1
M12	0,75	56	25	41,1	38,7	278	278	7,7	1,5
M13	0,48	82	30	9,6	25,5	0	0	8,7	0
M14	0,38	45	32	20,6	19,4	215	0	12,2	3,1

Tabela 1(cd.)

M15	0,28	48	26	19,7	8,5	0	0	3,2	0,3
M16	0,27	44	35	12,2	18,5	0	0	6,5	0
M17	0,65	27	25	48,9	50,3	271	258	2,1	7,1
M18	0,67	49	40	26,6	24,4	0	0	26	13
M19	0,33	45	33	19,4	35,1	244	172	3,4	12,4
M20	0,41	43	24	25,1	25,7	290	200	2,5	5,9

Na rysunku 7 przedstawiono jakościowy model matematyczny wybranego obiektu badań, czyli tkanin.



Rys. 7. Jakościowy model matematyczny

Obszarem określoności  $\Omega$  modelu obiektu badań jest podzbiór przestrzeni  $\mathcal{R}^9$ :

$$\Omega = [0,27;0,76] \times [22;82] \times [18;40] \times [9,6;57,3] \times [8,5;58,3] \times [0;378] \times [0;378] \times [2,1;26,0] \times [0,0;13,0].$$

W wyniku przeprowadzonych badań i obliczeń uzyskano docelowo wartości wskaźników przepuszczalności udarowej  $IP$  badanych tkanin. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

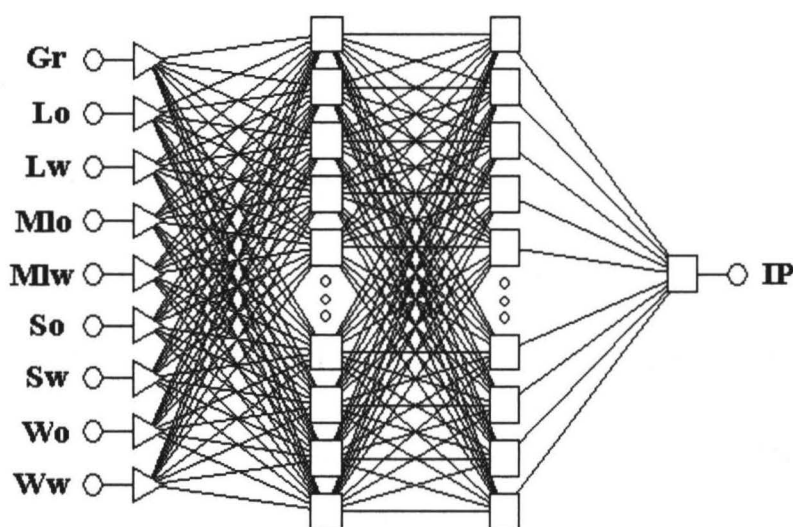
Tabela 2

## Wartości wskaźników IP tkanin

Ozn. tkaniny	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
IP	0,0233	0,0131	0,0151	0,0438	0,0359	0,0268	0,0487	0,0411	0,0380	-0,0377
Ozn. tkaniny	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20
	-0,0540	-0,0592	-0,0135	-0,0197	-0,0941	-0,0677	-0,0467	-0,0719	-0,2330	-0,0562

Uzyskane średnie wartości wskaźników przepuszczalności udarowej badanych tkanin mieszczą się w przedziale od  $-0,2330$  do  $0,0487$ . Wartości te świadczą o zróżnicowaniu, pod względem właściwości przepływowych, badanych tkanin. Otrzymano również małe wartości współczynników zmienności wartości średnich wskaźników, od  $0,94\%$  do  $4,27\%$ .

Na podstawie przeprowadzonych badań skonstruowano ilościowy model matematyczny badanego obiektu w postaci sieci neuronowej [14]. Za pomocą programu STATISTICA Neural Networks PL, opcja APS wygenerowano sieć typu perceptron postaci:  $9:9-40-21-1:1$  (rysunek 8).



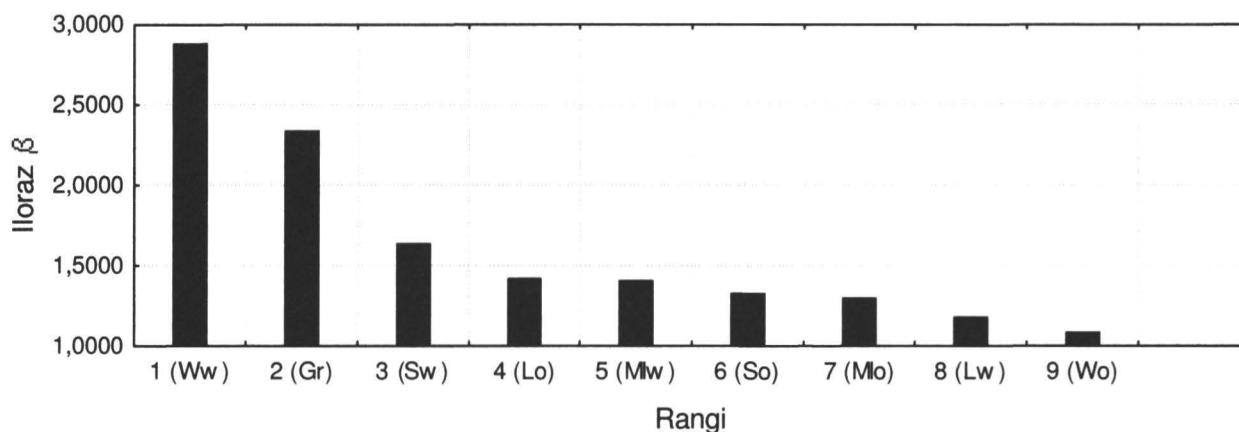
Rys. 8. Perceptron wielowarstwowy 9:9-40-21-1:1

Otrzymaną sieć neuronową charakteryzują dobre parametry jakości [16]. Pozytywny wynik przeprowadzonej weryfikacji strukturalnej świadczy o tym, iż sieć ma zdolność do generalizacji. Zatem uzyskano ilościowy model matematyczny opisujący związek wskaźnika przepuszczalności udarowej tkanin z ich wybranymi parametrami strukturalnymi.

## 4. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Przepuszczalność udarowa płaskich wyrobów włókienniczych jest wynikiem różnic w zachowaniu się elementów struktury wyrobu podczas ustalonych i nieustalonych przepływów powietrza. Za miarę tej cechy przyjęto wskaźnik przepuszczalności udarowej  $IP$ . Przyjmowanie przez wskaźnik różnych wartości jest wyznacznikiem zachowania się kanałów międzynytkowych. Przy tym zachowanie to uwarunkowane jest nie tylko cechą tkaniny charakteryzowaną przez wartość wskaźnika, lecz również uwarunkowane jest ono sposobem przepływu powietrza przez badany wyrób włókienniczy (przepływy ustalone bądź nieustalone).

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań znaleziono zależność wskaźnika przepuszczalności udarowej  $IP$  od wybranych parametrów strukturalnych tkanin. Związek ten przedstawiono w postaci sztucznej sieci neuronowej. Za pomocą analizy wrażliwości uszeregowano parametry strukturalne pod względem ich wpływu na wartość wskaźnika  $IP$ . Na rysunku 9 przedstawiono rangi poszczególnych parametrów tkaniny w kolejności od najbardziej istotnego do najmniej istotnego parametru.



Rys. 9. Graficzne przedstawienie istotności parametrów tkaniny

Przy czym iloraz  $\beta$  błędu uzyskanego przy uruchomieniu sieci dla zbioru danych bez jednej zmiennej i błędu uzyskanego z kompletem zmiennych mniejszy od jedności jest miarą istotności analizowanych wielkości wejściowych.

Według przeprowadzonej analizy w sposób najbardziej istotny na wartość wskaźnika  $IP$  wpływa wrobienie nitek wątku  $Ww$ . Wzajemne przeplatanie nitek obu systemów wpływa na kształt kanałów międzynytkowych. Wyroby włókiennicze o dużym wrobieniu nitek są mniej zbite, co powoduje możliwość przedostania się przez wyrób większej ilości powietrza. Fakt, iż wrobienie wątku jest dużo bardziej istotne od wrobienia osnowy  $Wo$  (jak wskazuje przeprowadzona analiza wrażliwości) można tłumaczyć wpływem zastosowanych naprężeń prostujących. Naprężenia te nadano w kierunku nitek osnowy, a zatem ich podatność na przepływ strugi powietrza był mniejszy.

Następnym, istotnym parametrem jest grubość tkanin  $Gr$ . Nie można jednak rozpatrywać grubości jako jedyne parametru wpływającego na przepuszczalność powietrza. Można spotkać tkaniny grube, ale o luźnym splocie i przez to o większej przewiewności oraz tkaniny cieńsze, ale bardziej zbite cechujące się mniejszą przewiewnością.

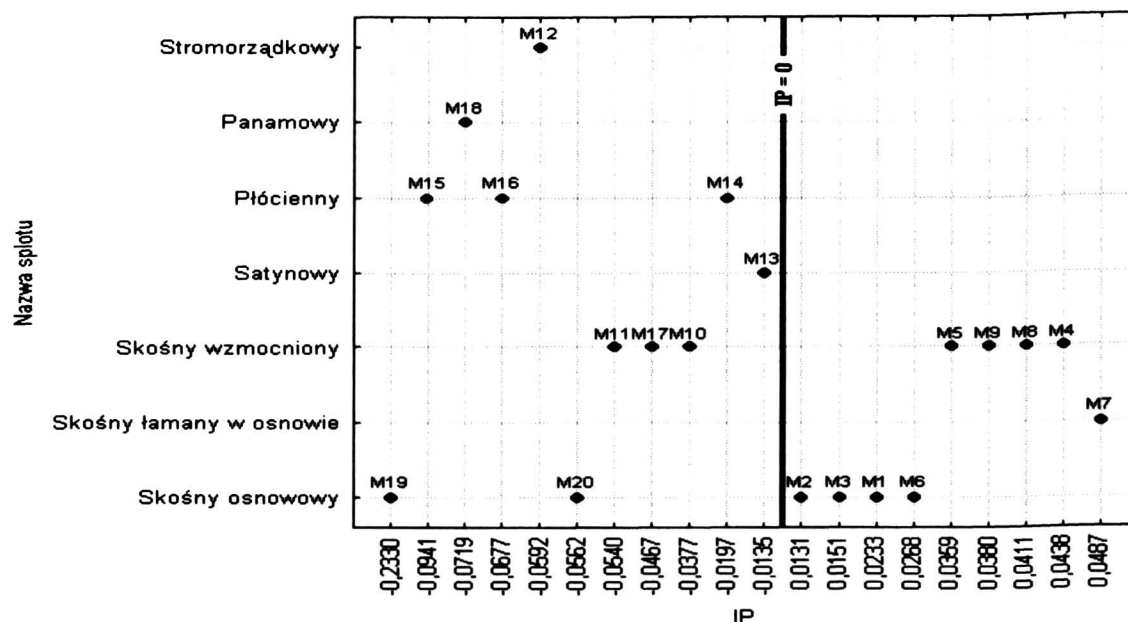
Kolejnym, istotnie wpływającym na wartość wskaźnika przepuszczalności udarowej parametrem jest skręt wątku  $Sw$ . Mniej istotnym okazał się skręt osnowy  $So$ . Podobnie jak w przypadku wrobienia różne rangi przypisane tym wielkościom można tłumaczyć nadaniem próbie badanego wyrobu włókienniczego naprężeń prostujących wzdłuż osnowy. Duży skręt sprawia zmniejszenie średnicy nitek i zmniejszenie współczynnika wypełnienia wyrobu włókienniczego. Wówczas przewiewność wzrasta. Przędze słabo skręcone dają dobre wypełnienie tkanin. Wobec tego przewiewność ich jest mała.

Następną istotną wielkością wejściową modelu neuronowego, jest liczba nitek osnowy  $Lo$ . W dalszej kolejności znajduje się natomiast liczba nitek wątku  $Lw$ . Ponieważ wyrób włókienniczy mocuje się w kołowym uchwycie, więc należałoby się spodziewać, iż liczby nitek obu systemów winny jednakowo wpływać na wartość wskaźnika przepuszczalności udarowej. Należy jednak pamiętać, że analiza wrażliwości daje ogólny pogląd na istotność wielkości wejściowych zaproponowanego modelu neuronowego, nie zawsze zgodny z przewidywaniami. Stopień wypełnienia tkaniny niemi warunkuje prędkość przepływu powietrza przez wyrób. Tkaniny o zwartej strukturze są mniej przewiewne.

Następny, istotny parametr strukturalny to masa liniowa wątku  $Mlw$  i dalej masa liniowa osnowy  $Mlo$ . Parametr strukturalny taki jak masa liniowa związany jest z grubością przędzy. Grubość nitek decyduje o rozmiarze porów. Wpływa ona na wielkość swobodnej powierzchni przepływu powietrza, czyli rozmiar kanałów międzynitkowych, przez które może przedostać się powietrze. Grubsza przędza oznacza większą masę liniową.

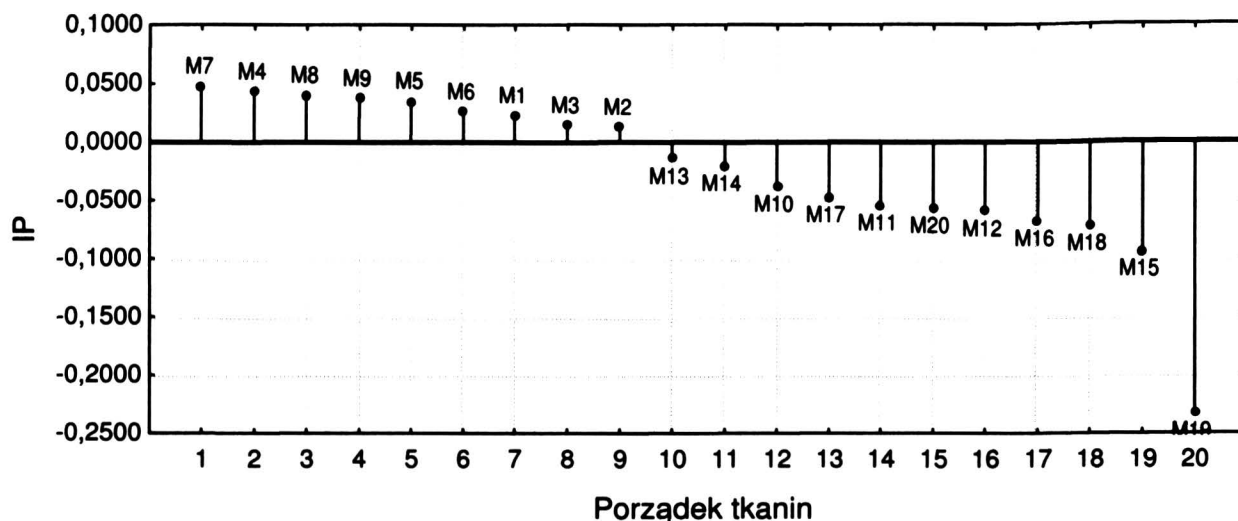
Odrębną analizę przeprowadzono dla parametru strukturalnego tkaniny, jakim jest jej splot. Splot nie został zaliczony do zbioru  $\Omega$  określoności modelu neuronowego, gdyż jest on wielkością, której nie można przypisać miary liczbowej. W postaci graficznej dokonano porównania wartości wskaźników przepuszczalności udarowej  $IP$  i występujących splotów tkanin (rysunek 10). Jak wynika z rysunku 10, dla tkanin o tym samym splocie uzyskano zróżnicowane wartości wskaźników  $IP$  (ujemne i dodatnie).

Wskaźniki poszczególnych wyrobów włókienniczych sytuują się tak po lewej jak i po prawej stronie prostej odniesienia o równaniu  $IP = 0$ . Wyjątek stanowią tkaniny o splocie płóciennym ( $M14$ ,  $M15$ ,  $M16$ ). Dla tych wyrobów wartość wskaźnika przepuszczalności udarowej jest ujemna. Nie oznacza to, że nie istnieje tkanina o splocie płóciennym, parametrach strukturalnych mieszczących się w obszarze określoności modelu i  $IP$  dodatnim. Takie stwierdzenie wymaga jednak weryfikacji.



Rys. 10. Wpływ splotu na wartość wskaźnika IP

Następnie w postaci graficznej (rys. 11) uszeregowano tkaniny w kolejności od najmniejszej do największej wartości wskaźnika  $IP$ .



Rys. 11. Uszeregowane tkaniny

Tkaniny, dla których uzyskano ujemną wartość wskaźnika przepuszczalności udarowej, wyróżniają się dużą liczbą nitek osnowy a małą liczbą nitek wątku. Kształty i wymiary, jakie przyjmą pory wyrobu o wskaźniku ujemnym powinny spowodować zmniejszenie oporów przepływu powietrza na tkaninie w warunkach dynamicznych w stosunku do warunków statycznych. W skrajnym przypadku, liczba nitek wątku może być na tyle mała, że nastąpi rozchodzenie się nitek osnowy pod wpływem dynamicznej strugi powietrza. Brak podparcia nitek osnowy przez nitki wątku wpłynie na powiększenie przestrzeni międzynit-

kowych w warunkach dynamicznych. Tak zbudowana tkanina będzie miała niestabilną, luźną konstrukcję i będzie podatna na wypychanie.

Tkaniny o wskaźniku dodatnim zbudowane są z grubych przędz. Przędze te nie są zbite, co ułatwia przepływ powietrza; z drugiej jednak strony, w tkaninach tych występuje małe wrobienie wątku hamujące przedostawanie się powietrza przez wyrób włókienniczy. Kształty i wymiary, jakie przyjmują pory takiego wyrobu spowodują zwiększenie oporów przepływu powietrza na tkaninie w warunkach dynamicznych w stosunku do warunków statycznych. Nitki tkaniny przeplatając się wzajemnie tworzą trwałą, ale rzadką strukturę. Małe wrobienie nitek wątku spowoduje usztywnienie tkaniny, co utrudni uginanie się nitek osnowy pod wpływem przepływającego powietrza.

Wyróżniono tkaniny o małej wartości wskaźnika przepuszczalności udarowej:  $IP \in [-0,0200; 0,0200]$ . Tkaniny te nie należą do wyrobów grubych. Cechuje je mała masa liniowa obu systemów nitek oraz małe wrobienie wątku. Nitki wątku i osnowy tworzą sztywną i zbitą tkaninę. W takim układzie, w szczególności duża gęstość nitek wątku, spowoduje wzrost oporów przepływu powietrza na wyrobie włókienniczym. Poprawę warunków przepływu może zapewnić występujące duże wrobienie osnowy. Tak zbudowana tkanina powinna zachować się w podobny sposób w warunkach statycznych i dynamicznych.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

Z niniejszej pracy można wysunąć kilka wniosków.

- Istnieje potrzeba rozszerzenia badań przepuszczalności wyrobów włókienniczych na pomiary w warunkach nieustalonych przepływów powietrza, ponieważ badania w warunkach statycznych są niewystarczające do oceny ich zachowania w rzeczywistych sytuacjach użytkowania.
- Różnice w zachowaniu się rzeczywistej tkaniny w stosunku do tkaniny idealnej podczas ustalonych i nieustalonych przepływów powietrza można opisać za pomocą jednego, syntetycznego wskaźnika przepuszczalności udarowej  $IP$ .
- Wśród badanych tkanin występują takie, które wykazują ujemną wartość wskaźnika przepuszczalności udarowej  $IP$  świadczącą o tym, iż w warunkach dynamicznych w porównaniu ze statycznymi, wystąpił spadek oporów powietrza na tkaninie, wartość dodatnią, która oznacza, że wystąpił wzrost oporów powietrza oraz zerową wartość wskaźnika mówiącą o braku różnic w zachowaniu się wyrobu włókienniczego.
- Niepewność rozszerzona względna wyznaczenia wskaźnika przepuszczalności udarowej  $IP$  tkanin jest rzędu od kilku do kilkudziesięciu procentów; wraz ze wzrostem różnic między wartościami hipotetycznego i rzeczywistego ciśnienia maksymalnego maleje wartość niepewności rozszerzonej;



w przypadku, gdy różnice te są małe wartość niepewności rozszerzonej względnej może przekroczyć sto procent.

- Model neuronowy dobrze opisuje związek wskaźnika przepuszczalności udarowej *IP* z parametrami strukturalnymi tkanin; o zdolności do predykcji otrzymanego modelu świadczą uzyskane parametry jakości oraz przeprowadzona weryfikacja.
- Znajomość przepuszczalności udarowej płaskiego wyrobu włókienniczego pozwala ocenić przydatność tego wyrobu do zastosowania podczas określonych, dynamicznych warunków użytkowania.

## LITERATURA

- [1] **Bukowski J., Kijkowski P.:** Kurs mechaniki płynów, PWN, Warszawa 1980.
- [2] **Kazimierski Z., Orzechowski Z.:** Mechanika płynów, Skrypty PŁ, Łódź 1986.
- [3] **Praca zbiorowa,** Metrologia włókiennicza, WNT, Tom IV, Warszawa 1973.
- [4] **PN-EN ISO 9237:1998.**
- [5] **Sommer H.:** Melliand Textilber, 22, 1941, 414, 462, 516, 564.
- [6] **Żurek W., Kopias K.:** Struktura płaskich wyrobów włókienniczych, WNT, Warszawa 1983.
- [7] **Gniotek K.:** Zeszyty Naukowe PŁ, 680, 1993.
- [8] **Gniotek K.:** Fibres & Textiles in EE, 2, 1996, 54-55.
- [9] **Awrajcewicz J., Wodzicki W.:** Podstawy automatyki. Teoria i przykłady, Wydawnictwo PŁ, Łódź 2001.
- [10] **Żelazny M.,** Podstawy automatyki, PWN, Warszawa 1976.
- [11] **Gniotek K., Tokarski P.:** Tex. Res. J., 70, 2000, 53-58.
- [12] **Gniotek K., Tokarska M.:** V Szkoła-Konferencji Metrologia Wspomagana Komputerowo, 2001.
- [13] **Tokarska M., Gniotek K.:** Fibres & Textiles in EE, 4, 2005, 48-51.
- [14] **Tadeusiewicz R.:** Sieci neuronowe, Akad. Oficyna Wyd. RM, Warszawa 1993.
- [15] **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO 1995.**
- [16] **Tokarska M.:** Badania i analiza przepuszczalności udarowej tkanin, Praca doktorska, PŁ 2006.
- [17] **Gniotek K.:** 2003, XVII IMEKO Word Congress, 2003.
- [18] **Polański Z.:** Planowanie doświadczeń w technice, PWN, Warszawa 1984.

## RESEARCH AND ANALYSIS OF IMPACT PERMEABILITY OF WOVEN FABRICS

### Summary

In the dissertation a future of flat textile products calls impact air-permeability in the dissertation was studied. A measuring stand of special construction necessary to obtain impact air-permeability has been constructed. The measuring

stand serves for determination of the following time dependencies: air pressure drop, linear displacements of the piston, whose rapid movement downwards in the cylinder causes a transient airflow through a porous membrane, deflection of the fabric and electromagnet current. A measure of impact air-permeability, in the form of an index for arranging fabrics with respect to their flow properties has been proposed. The index results from the fabric behaviour differences that occurred during fixed and transient airflows. An inaccuracy of determination of impact air-permeability index was taken into consideration.

Department for Automation of Textile Processes  
Technical University of Lodz