

Wpływ wybranych technologii produkcji włókien filtracyjnych na ich właściwości elektrostatyczne

Streszczenie. W artykule omówiono dwie technologie produkcji włókien filtracyjnych oraz ich wpływ na właściwości elektrostatyczne. W sposób zwięzły opisano proces wytwarzania włókien: igłowane – wykurczanej i klejonej. Przedstawiono wyniki pomiarów wartości czasu połowicznego zaniku ładunku elektrostatycznego oraz przedstawiono charakterystyki ładowania/rozładowania włókien pod wpływem przepływu powietrza. Celem doświadczeń było poznanie wpływu struktury materiału (gęstość i układ włókien) na szybkość odprowadzania ładunku elektrostatycznego.

Abstract. This article discusses two producing nonwoven filtration technologies and their impact on the electrostatic properties. Concisely describes the process of producing nonwovens: needling – shrinkage and glued. Presents the results of measurements of the half-decay test of electrostatic charge. (The influence of selected technology to electrostatic properties nonwovens filtration)

Słowa kluczowe: włókniwy, technologia, filtracja, ładunek elektrostatyczny.

Keywords: nonwovens, technology, filtration, electrostatic charge

doi:10.12915/pe.2014.12.09

Wstęp

Jedną z najintensywniej rozwijających się narzędzi służących do separacji różnego rodzaju cząstek gazów, powietrza i pyłów o szerokim zakresie rozmiarów są włókniwy filtracyjne. Dzięki odpowiednio małej średnicy włókien i ich dużej gęstości upakowania funkcjonowanie włókien filtracyjnych opiera się na odpylaniu mechanicznym, elektrostatycznym i dyfuzyjnym, dzięki czemu są w stanie zatrzymać bardzo małe cząstki [1 ÷ 4].

Ze względu na dobre właściwości wytrzymałościowe, sposób odpylania cząstek oraz niskie koszty produkcji są powszechnie stosowane od wielu lat.

Włókniwy filtracyjne znajdują zastosowanie w układach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych, w wielu gałęziach przemysłu (elektronicznym, farmaceutycznym, w laboratoriach badawczych), jako środki ochrony osobistej, w pojazdach samochodowych oraz w urządzeniach codziennego użytku [1].

Technologie produkcji włókien filtracyjnych

W ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w dziedzinie otrzymywania materiałów włókniwowych o wysokiej sprawności filtracji, wytwarzanych metodami mechanicznymi. Wydatny wzrost i znaczny rozwój metod mechanicznych zaznacza się szczególnie w odniesieniu do włókien igłowane – wykurczanych i klejonych środkami wiążącymi.

Włókniwy igłowane – wykurczane

Najczęstszą rolę w filtracji powietrza oraz pyłów pełnią włókniwy igłowane – wykurczane.

Proces otrzymywania włókien igłowane – wykurczanych jest procesem trzyetapowym – etapy 1 ÷ 3 tworzą jeden etap produkcyjny będący procesem wytwarzania włókien ze stopionej masy polimeru:

- 1) stopienie i wytlóczenie polimeru,
- 2) rozdmuchiwanie stopionego polimeru strumieniem gorącego sprężonego powietrza,
- 3) odbiór włókienek w postaci runa,
- 4) mechaniczne formowanie runa – przeciąganie włókien za pomocą igieł o wielokierunkowych nacięciach. Pod wpływem działania nacięć igieł przetykających następuje przesuwanie się włókien w kierunku poprzecznym do płaszczyzny runa i związanie ze sobą w ten sposób poszczególnych warstw utworzonych podczas produkcji włókniwy ze stopionej masy polimeru.

5) zabieg termiczno – mechaniczny: wykurczanie i prasowanie (kalandrowanie) [5 ÷ 7].

W filtracyjnych włókniwach igłowanych, które znajdują zastosowanie jako pre – filtry odpylające zatrzymujące duże cząstki (5 ÷ 10 µm) dominują mechanizmy bezwładnościowy i bezpośredniego zaczepiania. Włókniwy igłowane stosowane są powszechnie do filtracji wstępnej większych cząstek zanieczyszczeń.

Włókniwy klejone środkami wiążącymi

W technologii włókien klejonych istotny jest rodzaj środka wiążącego. Wyróżnia się płynne i stałe środki wiążące. W zależności od postaci stosowanych środków termoplastycznych można wyróżnić łączenie za pomocą włókien, przędzy i proszków.

Na wytworzenie złącza klejowego składają się następujące operacje technologiczne:

- a) naniesienie środka wiążącego na łączone powierzchnie,
- b) złożenie ze sobą łączonych powierzchni,
- c) zestalenie środka wiążącego w spoinie prowadzące do powiązania łączonych powierzchni.

Spoina klejowa powstaje w momencie, gdy środek wiążący zmienia się w stałą wytrzymałą błonę klejową. W przypadku sklejanego ciekłym środkiem wiążącym spoina wytwarza się przez odparowanie ośrodka dyspergującego w procesie suszenia. Podczas procesu dogrzewania następuje zjawisko sieciowania, które powoduje wzrost adhezji i sił kohezji w strefie błonki środka wiążącego. W warunkach sklejanego włókien stałym środkiem wiążącym stała spoina klejowa zestala się w momencie ochłodzenia stopionego polimeru poniżej jego temperatury mięknienia [5, 7, 8].

Wpływ ładunków elektrostatycznych na włókniwach na przebieg technologicznego procesu formowania runa

Technologiczny proces formowania runa i wytwarzania tym samym włókniwy filtracyjnej, na który składają się etapy mieszania, rozdzielania i rozciągania włókien sprzyja powstawaniu ładunków elektrostatycznych na wytworzonych włókniwach. Zjawisko to wpływa niekorzystnie na proces produkcyjny poprzez zwiększenie ilości odpadków i nierównomierności produktu oraz zwiększenie ilości postojów maszyny spowodowane zerwaniem włókien, co jest szczególnie istotne na etapie rozciągania włókien w aparatach rozciągających [5, 6].

Występująca w aparatach rozciągowych bardzo silna elektryzacja włókien objawia się nadmiernym owijaniem wałków rozciągowych przerabianymi włóknami. Przechodzące pomiędzy parą wałków włókna kontaktują bezpośrednio ze sobą oraz z wałkami. Prowadzi to do dwóch zjawisk:

- a) naładowywanie się włókien i wałków rozciągowych różnoimiennie powodując przyciąganie włókien do wałków,
- b) ładowanie włókien jednoimiennie i wzajemne odpychanie się włókien.

Wielkość ładunku elektrostatycznego, który powstaje w elementach maszyn przędzalniczych zależy od powierzchni kontaktu włókien z elementami maszyny F , siły powstającej pomiędzy elementami maszyny i włóknami P , czasu tarcia włókien t , współczynnika elektryzacji włókien ξ a także wilgotności względnej powietrza φ :

$$(1) \quad \Theta = f(P * F * t * \xi * \varphi)$$

gdzie: Θ – wielkość ładunku włókien, F – powierzchnia kontaktu włókien z elementami maszyny, P – siła powstająca pomiędzy elementami maszyny i włóknami, t – czas tarcia włókien, φ – wilgotności względnej powietrza.

Zjawisko elektryzacji włókien znajduje także swoje pozytywne zastosowanie, między innymi w celu poprawienia procesu rozciągania. Uzasadnia to fakt, iż dla zajścia prawidłowego procesu rozciągania potrzebne są większe siły tarcia występujące między włóknami. Można to osiągnąć poprzez zwiększenie nacisku wałków rozciągowych bądź poprzez sam rozciąg [9]. Włókniny naładowane ładunkiem elektrostatycznym charakteryzują się wyższą skutecznością filtracji niż włókniny nie posiadające ładunku elektrostatycznego [10 ÷ 14].

Metody wyznaczania właściwości elektrostatycznych

Ocenę elektryzacji włókien można przeprowadzić za pomocą kilku metod opartych na następujących pomiarach:

- 1) pomiar przewodności włókien,
- 2) pomiar potencjału naładowanego włókna,
- 3) pomiar natężenia pola wzbudzanego przez ładunek włókna,
- 4) pomiar ładunku włókna,
- 5) pomiar czasu połowicznego zaniku ładunku.

Pomiar przewodności włókien polega na wyznaczeniu ich oporności elektrycznej, która pozwala wnioskować o prędkości rozładowania włókna. Zaletą tej metody jest także informacja czy badane włókno będzie sprawiało trudności w czasie przerobu [5] – podczas przędzenia włókno elektryzuje się i przykleja do maszyny przędzącej, co powoduje powstawanie defektów w postaci przerwań oraz nieciągłości i w następstwie przyczyniając się do zerwania włókna.

Metody oparte na pomiarze natężenia pola wzbudzanego przez ładunek włókna należą do bardzo dokładnych, gdyż nie ma tam bezpośredniego kontaktu z materiałem włóknistym. Pomiaru dokonuje się elektrometrem ładunku zaindukowanego na płycie umieszczonej w pobliżu badanego produktu [6].

Bezpośredni kontakt z materiałem włóknistym ma miejsce w przypadku pomiaru ładunku włókna. W tym celu używa się puszkę Faradaya, statoskop, woltomierz a ładunek wytwarza się przez pocieranie [6].

Materiał do badań

Materiał badawczy stanowiły dwie polipropylenowe włókniny filtracyjne stosowane jako materiał odpylający w odkurzacach domowych:

a) igłowno – wykurczana o wymiarach: 197 x 255 mm – filtr włókninowy usuwający z zassanego powietrza nawet najmniejsze cząsteczki kurzu, pyłu i odchodów roztoczy [1, 3].

b) klejona o wymiarach: 125 x 308 mm – pełniąc rolę filtru silnikowego – zatrzymuje cząsteczki kurzu, drobne zanieczyszczenia oraz przykre zapachy, które nie osiadły w pojemniku urządzenia filtrującego – w tym przypadku w odkurzaczu.

Metodyka i aparatura badawcza

Określanie czasu połowicznego zaniku ładunku elektrostatycznego wykonano dwiema metodami:

- a) za pomocą elektryzacji przez oddziaływanie napięcia DC,
- b) za pomocą elektryzacji pod wpływem przepływu powietrza.

Na stanowisku do pomiaru charakterystyk zaniku ładunku (rys. 1).

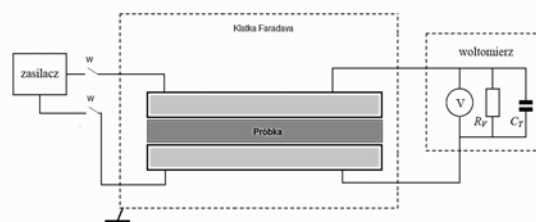
Ponadto na potrzeby pracy posłużono się następującymi parametrami, które są na ogół stosowane do celów technicznych tzn. do zwięzłego scharakteryzowania procesu rozładowania próbki. Należą do nich [15 ÷ 17]:

- zanik ładunku – przemieszczanie się ładunku po materiale lub wskroś materiału prowadzące do zmniejszenia gęstości ładunku lub potencjału powierzchniowego w punkcie, w którym ten ładunek został osadzony,
- czas połowicznego zaniku ($t_{0,5}$) – zdefiniowany jako czas, po którym napięcie zastępcze $U_z(t)$ zmniejsza się do połowy wartości początkowej,
- stała czasu (τ) – określana dla przypadku, gdy ładunek zanika zgodnie z krzywą wykładniczą,
- inne interwały czasowe – określające czas niezbędny do spadku gęstości ładunku $q_s(t)$ lub wytwarzanego przezeń potencjału $U_z(t)$ do określonej części wartości początkowej U_{z0} lub też do określonej wartości końcowej.

W badaniach technicznych, podczas określania czasu półzaniku $t_{0,5}$, w celu uwzględnienia wpływu znaku ładunku zaleca się korzystanie z poniższej zależności:

$$(2) \quad t_{0,5} = \frac{\sqrt{t_{0,5(-)}^2 + t_{0,5(+)}^2}}{2}$$

w której $t_{0,5(-)}$ i $t_{0,5(+)}$ – wartości czasu półzaniku, zmierzone po wprowadzeniu do badanego obiektu (lub na jego powierzchni) ładunku ujemnego oraz dodatniego.



Rys. 1. Układ do pomiaru charakterystyk zaniku ładunku próbki: RV, CT – zastępcze, (rezystancja i pojemność wejściowa elektrometru) [18]

Badane materiały zostały naładowane elektrostatycznie na dwa sposoby.

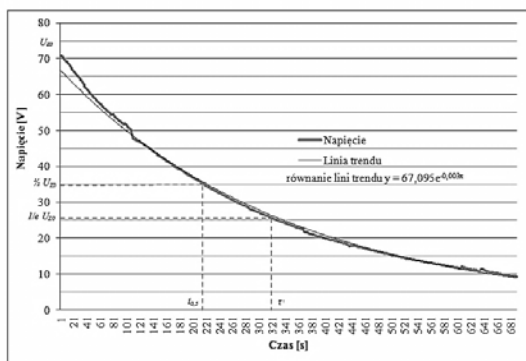
- 1) Ładowanie próbki przez indukcję napięciem DC 100 V następowało przez czas 10 minut. Rozładowanie przez obwód pomiarowy elektrometru Keithley 6514a RV>200TΩ w równoległym połączeniu z CT 20pF. Dla każdej z włókien filtracyjnych wykonano 10 pomiarów przy zmianie polaryzacji (5(+)) i 5(-)).

Elektryzacja przez indukcję powoduje naelektryzowanie powierzchni materiału poprzez działanie kierunkowego pola elektrycznego, które wywołuje quasi – trwałe przemieszczanie bądź orientację struktury atomowej różnych składników materiału włóknistego.

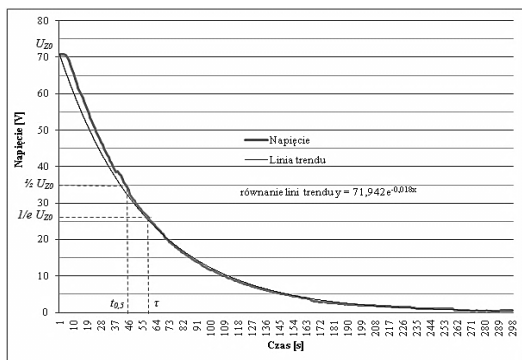
2) Elektryzacja pod wpływem przepływu powietrza. W doświadczeniu wykorzystano wentylator o parametrach: śred-nica 200 mm, moc znamionowa 150 W, wydajność teoretyczna 950 m³/h. Naelektryzowany materiał włóknisty jest zdolny do wytworzenia wyładowania elektrostatycznego [19].

Wyniki badań

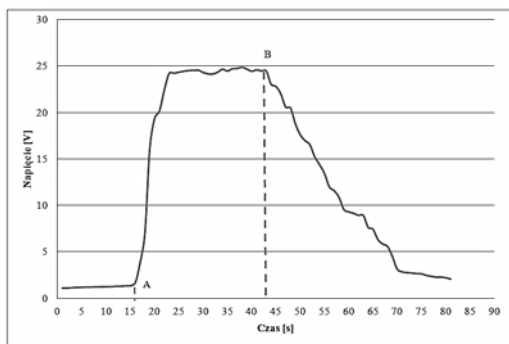
Wyniki badań przy wymuszeniu napięciem DC przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Przebieg charakterystyki zaniku ładunku w włókninie filtracyjnej igłowano – wykurczanej z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi



Rys. 3. Przebieg charakterystyki zaniku ładunku w włókninie filtracyjnej klejonej z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi

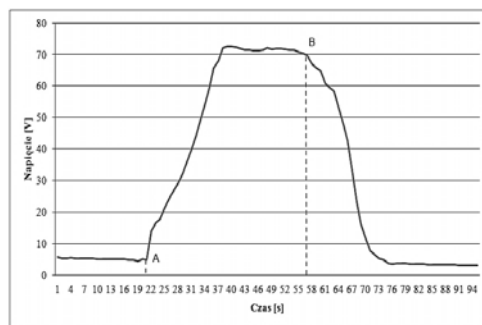


Rys. 4. Przebieg charakterystyki naładowania włókniny filtracyjnej igłowano – wykurczanej pod wpływem przepływu powietrza

Na rysunkach 4 i 5 pokazano przebieg charakterystyki ładowania/rozładowywania materiału pod wpływem przepływu powietrza. W tym przypadku punktem A

oznaczono moment załączenia wentylatora, natomiast punktem B chwilę jego wyłączenia.

Szczegółowe wyniki przeprowadzonych badań zestawiono w tabeli 1.



Rys. 5. Przebieg charakterystyki naładowania włókniny filtracyjnej klejonej pod wpływem przepływu powietrza

Tabela 1. Wyniki uśrednionych wartości pomiaru półzaniku ładunku badanych włókien filtracyjnych

Rodzaj włókniny	Parametr				
	U_{z0} [V]	$1/2 U_{z0}$ [V]	$1/e U_{z0}$ [V]	$t_{0,5}$ [s]	T [s]
igłowano wykurczana	70,8	35,4	26,1	214	315
klejona	70,8	35,4	26,1	44	58

Dyskusja wyników badań

Przebadane włókniny na bazie włókien syntetycznych naelektryzowane napięciem DC do wartości 70 V uzyskały różne czasy półzaniku ładunku. Różnice w przebiegu charakterystyk zaniku ładunku wynikają ze struktury materiałów. Włóknina igłowano – wykurczana o mniejszej gęstości i jednocześnie „luźniejszej” strukturze ma zdolność dłuższego utrzymywania zgromadzonego ładunku elektrostatycznego. Natomiast włóknina klejona z racji zwartej i gęstej struktury, gdzie włókna są bliżej siebie i częściej się stykają, proces zaniku ładunku przebiega szybciej.

W przypadku elektryzowania pod wpływem przepływu powietrza otrzymuje się podobną zależność. W tym przypadku różnice w przebiegu charakterystyk ładowania/rozładowania włókien również wynikają ze struktury materiałów. Włóknina igłowano – wykurczana jest mniej podatna na elektryzowanie pod wpływem przepływu powietrza. Mniejszy opór stawiany przepływającemu powietrzu wynikający z „luźnego” układu włókien sprawia, że włóknina ta uzyskuje niższe wartości potencjału (maksymalnie ok. 25 V). Włóknina klejona, o zwartej i gęstej strukturze, osiąga wyższy poziom potencjału (ok. 70 V).

Tempo ładowania podczas przepływu powietrza dla włókniny klejonej jest zbliżone do włókniny igłowano – wykurczanej i wynosi ok. 2,5 V/s.

Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń można stwierdzić, że na właściwości elektrostatyczne materiałów filtracyjnych syntetycznych główny wpływ mają sposób układu włókien oraz ich zagęszczenie.

Skłonność do generowania i kumulowania ładunku elektrostatycznego przez włókniny filtracyjne może powodować zagrożenia wybuchowe oraz zakłócenia procesów produkcyjnych. Poprzez odpowiednio dobraną technologię produkcji można w sposób elastyczny dostosować metodę do aktualnych potrzeb i kontrolować właściwości produkowanych wyrobów filtracyjnych.

LITERATURA:

- [1] Kałużka J., *Włókninowe materiały filtracyjne do wysokoskutekcznego oczyszczania powietrza*, Przegląd Włókienniczy (2006), n.9, 43-46.

- [2] Jackiewicz A., Gradoń L., *Sposoby zwiększania sprawności odpylania filtrów włókninowych*, Inż. Ap. Chem., 50 (2011), n.5, 42-43.
- [3] Kałużka J., *Badania nad otrzymywaniem filtrów włókninowych o zwiększonej pyłochłanności*, Prace Instytutu Włókiennictwa, 60 (2005), 77-89.
- [4] Gradoń L., Barmuta P., Jakubiak S., Rumiński W., *Elektryzacja włókien filtracyjnych syntetycznych*. Przegląd Elektrotechniczny, 87 (2011), n.8, 285-288.
- [5] Praca zbiorowa, *Poradnik inżyniera. Włókiennictwo*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1988.
- [6] Beuth B., *Materiałoznawstwo włókiennicze*, WPL, Warszawa, 1956.
- [7] Bergmann L., *Trends in nonwovens for filtration*, Nonwovens Industry, (1998), n.8, 26.
- [8] www.msv.com.pl z dnia 07.03.2014 r.
- [9] Borowik L., Jakubas A., *Pomiary i badania antystatycznych ubrań ochronnych*, Przegląd Elektrotechniczny, 89 (2013), n.12, 196-198.
- [10] Brochocka A., Majchrzycka K.: *Technology for the Production of Bioactive Melt – Blown Filtration Materials Applied to Respiratory Protective Devices*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 17 (2009), n. 5 (76), 92 – 98.
- [11] Brochocka A., Ruszkowski K., *Some aspects of manufacturing electret nonwoven filters by a conventional method with utilization of the triboelectric effect*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe, 8 (2003), n. 3 (30).
- [12] Domaradzka S., Brochocka A., *Elektryczność statyczna w ochronie układu oddechowego*, Przegląd Elektrotechniczny LXXVIII/2002, VI Ogólnopolskie Sympozjum: Inżynieria Wysokich Napięć IW 2002, Poznań – Kiekrz 20-22.05., 57 – 60.
- [13] Krucińska I., Zakrzewski S., Kowalczyk I., Wiśniewska - Konecka J., *Materiały filtracyjne dla powietrza o działaniu elektrostatycznym* – patent nr 181008, 14.08.2001.
- [14] Krucińska I., Pilas B., Michalak M., *Sposób wytwarzania materiału elektretowego* – patent nr 189896, 04.10.2005.
- [15] PN-EN 1149-3:2007 *Odzież ochronna. Właściwości elektrostatyczne. Część 3: Metody badań do pomiaru zaniku ładunku*
- [16] Kacprzyk R., *Wybrane zagadnienia badań ładunku i jego zaniku w dielektrykach stałych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004
- [17] PN-EN 1149-5:2009 *Odzież ochronna. Właściwości elektrostatyczne. Część 5: Wymagania*
- [18] Centralny Instytut Ochrony Pracy. Słowniczek, elektryczność statyczna, <http://www.ciop.pl/26422.html>
- [19] Zawadzka-Michalak L., Królikowska H., Kacprzyk R., Żyłka P., *Nowoczesne metody pomiarowe, badanie czasu półzaniku ładunku elektrostatycznego*, Prace Instytutu Włókiennictwa, Instytut Włókiennictwa 2004

Autorzy:

mgr inż. Monika Margol, e-mail: monikamargo184@gmail.com
 dr inż. Adam Jakubas, e-mail: adam.jakubas@gmail.com
 dr hab. inż. Dariusz Kwiatkowski, prof. PCz,
 e-mail: kwiatkowski@ipp.pcz.pl