

Badania nad zwiększeniem powierzchni filtracyjnej kompozytów włókninowych o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych i ich łączeniem z różnymi komponentami obudowy

Research on increasing the filtration surface of nonwoven composites with different physico-chemical properties and their connection with various components of the housing

Beata Pąprowicz-Nędza¹, Ewelina Pąprowicz¹, Jan Pąprowicz¹, Dawid Polar¹,
Piotr Wojnar¹ Michalina Falkiewicz – Dulik^{2*}

¹Podkarpackie Centrum Produkcyjno-Wdrożeniowe „Eko-Karpaty” dr inż. Jan Pąprowicz

²Lukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny

Abstrakt

W pracy przedstawiono wyniki badań wykonanych w ramach projektu RPPK.01.02.00-18-0028/17 pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania wysokoskutekcyjnych kompozytów włókninowych filtropochłaniających do usuwania zanieczyszczeń z powietrza”. Zadanie obejmowało opracowanie układu plis dla włókninowych kompozytów filtracyjnych, ocenę poprawy skuteczności filtracji w odniesieniu do płaskich kompozytów filtropochłaniających, wykonanych z włóknin. Parametry łączenia plis z elementami obudów wyznaczono dla filtrów uzyskanych metodą klejenia i metodą promieniowania podczerwonego. Wyznaczono optymalne parametry łączenia plis z obudową z różnych materiałów. W celu uzyskania optymalnych filtrów przeprowadzono testy szczelności, wytrzymałości mechanicznej i filtracji.

Abstract

The results of the research carried out as part of the project RPPK.01.02.00-18-0028/17 titled: “Development of technology for the production of highly-effective nonwoven absorbent composites for removing air pollutants” were presents in research work. The development of a design of the pleat system for non-woven filter composites, evaluation of the filtration efficiency improvement in relation to flat filter-absorbing composites, made of nonwovens were included the task. Parameters for joining pleats with housing elements were determined for the filters obtained by gluing and by the method of infrared radiation. The optimal parameters for connecting pleats with housing elements made of various materials were determined. Tightness, mechanical strength and filtration tests were carried out for optimal filters.

Słowa kluczowe: łączenie filtrów włókninowych, metoda klejenia, metoda podczerwieni

Keywords: connecting non-woven filters, adhesive method, infrared method

* autor koresp.: Michalina Falkiewicz-Dulik, michalina.falkiewicz@lit.lukasiewicz.gov.pl

DOI: 10.57636/67.2022.1.4

1. Wprowadzenie

Filtry plisowane często stosowane są do odpylania gazów ze względu na większą powierzchnię filtracyjną w stosunku do filtrów workowych. W wielu przypadkach z uwagi na brak miejsca budowane są małogabarytowe filtry. Najbardziej popularne materiały filtracyjne wykorzystywane przy produkcji filtrów plisowanych to polipropylen, poliester, papier impregnowany, często poddawane obróbce specjalistycznej zapewniającej odpowiednie własności, tj. absorpcyjność, wodo – i olejoodporność oraz antyelektrostatyczność. Jako pierwszy stopień filtracji głównie w budynkach użyteczności publicznej (hotelach, bankach, urzędach), zakładach produkcyjnych, szpitalach itp. znajdują zastosowanie filtry kieszeniowe w ramie z tworzywa sztucznego. Medium filtra produkowane jest z materiałów filtracyjnych o progresywnie zbudowanej strukturze, także plisowane dla zwiększenia powierzchni filtracyjnej. Do kompletnego montażu filtrów kieszeniowych, filtrów kasetowych, filtrów cylindrycznych stosuje się profile i ramki z tworzywa sztucznego [1]. Poszukując polimerów na obudowy do nowo opracowywanych filtrów wzięto pod uwagę właściwości fizyko-mechaniczne tj. twardość, udarność, odporność na działanie promieniowania UV, odporność na działanie czynników chemicznych (kwasów, zasad, ługów, tłuszczu i soli oraz rozpuszczalników organicznych), właściwości termoizolacyjne, odporność cieplną w zakresie temperatur użytkowania filtrów aby tworzywa same nie odkształcały się przy zmianie temperatur. Przede wszystkim ważnym czynnikiem brany pod uwagę było bezpieczeństwo dla człowieka (brak toksyczności). Ze względu na swoje właściwości w naszych badaniach zostały wykorzystane trzy rodzaje tworzyw mających zastosowanie do wytwarzania obudów sprzętu i urządzeń, produkcji rur i pojemników do agresywnych chemikaliów. Są to: ABS– terpolimer akrylonitryl/butadien/styren, PP– polipropylen, PA– poliamid [2-7].

Przy opracowywaniu filtrów z medium filtropochłaniającym zastosowano nowoczesne technologie montażu filtru z obudową przy użyciu klejów ekologicznych i promieniowania podczerwonego. Zastosowanie w procesie montażu filtrów, nowej generacji klejów ekologicznych wyeliminuje zagrożenia wynikające z bezpośredniego oddziaływania toksycznych substancji na organizm ludzki na stanowisku pracy oraz poprawi parametry wytrzymałościowe spoiny klejowej. W trakcie realizacji prac prowadzone były badania nad zastosowaniem takiej technologii klejenia, która przyczyni się do ochrony zdrowia pracowników i ochrony środowiska naturalnego człowieka i jednocześnie zapewni odpowiednią wytrzymałość spoiny klejowej. Przewidziano zastosowanie nowych rodzajów klejów termotopliwych. Zaplanowane prace zmierzały do rozwiązania następujących zagadnień: doboru odpowiednich klejów, opracowania sposobu przygotowania materiałów do klejenia, a także metod aplikacji klejów [8-10]. Użycie do łączenia materiałów promienników podczerwieni emitujących promienie krótkofalowe IR-A lub średniofalowe IR-B, będące znakomitym nośnikiem energii cieplnej, umożliwi dogrzanie materiału i absorpcję ciepła wynikającą z wytrącania pierwotnej energii dzięki czemu dochodzi do kumulacji ciepła [11, 12].

2. Cel i zakres badań

Celem projektu było opracowanie sposobów zwiększenia powierzchni filtracyjnej kompozytów włókninowych o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych i metod ich łączenia z różnymi komponentami. W niniejszym zadaniu zostały przeprowadzone badania nad:

- opracowaniem projektu układu plis dla włókninowych kompozytów filtropochłaniających (określenie wysokości i szerokości plis, gęstości plis, sposobu łączenia plis),

- uzyskaniem poprawy skuteczności filtracji w odniesieniu do włókninowych kompozytów filtropochłaniających płaskich,
- wyborem optymalnego rozwiązania układu plis w odniesieniu do zróżnicowanych właściwości fizyko-chemicznych kompozytów włókninowych,
- określeniem parametrów łączenia plis z elementami tworzywowymi obudów filtrów metodą klejenia przy użyciu kleju termotopliwego i metodą podczerwieni z zastosowaniem promienników podczerwieni,
- wyznaczeniem optymalnych parametrów łączenia plis z elementami obudów filtrów wykonanych z różnego rodzaju tworzyw o dużej wytrzymałości mechanicznej i ciśnieniowej,
- wykonanie badań szczelności, wytrzymałości mechanicznej i filtracji dla optymalnych filtrów łączonych metodą podczerwieni.

3. Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań były włókniny poliestrowe (PES) i włókniny poliestrowe (PES) filtropochłaniające z węglem aktywnym i glinokrzemianami. Były to:

- A – włóknina poliestrowa (PES) płaska surowa,
- B – włóknina poliestrowa (PES) filtropochłaniająca.

Badania obejmowały także filtry cylindryczne z medium plisowanym, wykonanym z włókninowego kompozytu filtropochłaniającego.

3.1. Badania nad opracowaniem projektu układu plis dla włókninowych kompozytów filtropochłaniających - określenie wysokości, szerokości i gęstości oraz sposobu łączenia plis

Zaprojektowane układy plis dla włókninowych kompozytów filtropochłaniających były wykonane na urządzeniu zaopatrzone w system sterowania Siemens S7-1200, posiadającym moc 6,5 kW i zasilanie 400 V AC. Dla

włóknin filtropochłaniających przeznaczonych na filtry cylindryczne wykonano plisy o wymiarach: wysokość plisy 20 mm, szerokość plisy 108 mm. Zaplanowane układy plis dla filtrów cylindrycznych pozwoliły uzyskać znaczne zwiększenie powierzchni filtracyjnej kompozytów włókninowych. Uzyskano trzy typy filtrów cylindrycznych z medium plisowanym z włókniny filtropochłaniającej tj.:

- rozmiar filtra "50" – posiadający 50 plis na obwodzie filtra cylindrycznego zwiększył swoją powierzchnię filtracyjną do 0,216 m²,
- rozmiar filtra "100" – posiadający 100 plis na obwodzie filtra cylindrycznego zwiększył swoją powierzchnię filtracyjną do 0,432 m²,
- rozmiar filtra "150" – posiadający 150 plis na obwodzie filtra cylindrycznego zwiększył swoją powierzchnię filtracyjną do 0,648 m².

3.2. Badania parametrów łączenia plis z elementami tworzywowymi obudów filtrów metodą klejenia oraz promiennikami podczerwieni.

Badanie łączenia plis z elementami tworzywowymi obudów wykonano dwiema metodami:

- metodą promieniowania podczerwonego,
- metodą klejenia przy użyciu klejów.

3.2.1. Metoda promieniowania podczerwonego

W celu przeprowadzenia prób łączenia medium filtracyjnych w postaci plis wykonanych z włókniny filtropochłaniającej z elementami obudów tworzywowych użyto dwóch promienników elektrycznych podczerwieni:

- **Promiennik A** krótkofalowy (długość fal od 760 do 1400 nm), o mocy 1500W.

Promiennik podczerwieni produkcji Heraeus, wykonany ze szkła kwarcowego o następujących parametrach technicznych:

- krótkofalowy, dwururkowy,
- ze złotym reflektorem,
- moc 1500 Wat,
- zasilanie 230 Volt,
- długość grzejna $L_b = 200$ mm,
- długość całkowita $L_g = 300$ mm,
- średnica dwururki $axb = 23 \times 11$ mm,
- długość strefy niegrzanej po stronie przewodów podłączeniowych $L_{u1} = 75$ mm,
- długość strefy niegrzanej po stronie przeciwnej $L_{u2} = 25$ mm,
- konstrukcja typu B – podłączenie jednostronne i oba kanały całkowicie grzejne w następujący sposób:
 - długość przewodów podłączeniowych $L_i = 500$ mm,
 - pozycja pracy spirali grzejnej dozwolona w poziomie.

W próbach łączenia plis z elementami tworzywowymi obudów filtrów użyto **Promiennika A**-krótkofalowego, zamieszczonego na Rys. 1.



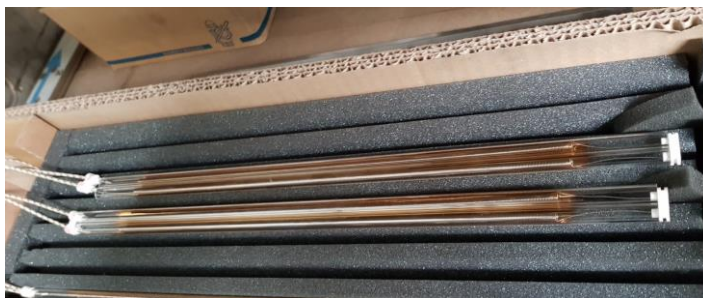
Rys. 1. Promiennik A krótkofalowy [13].

- **Promiennik B** średnioletowy (długość fali od 1400 do 3000 nm), o mocy 1500W

Promiennik podczerwieni produkcji Heraeus, wykonany ze szkła kwarcowego o następujących parametrach technicznych:

- średnioletowy, dwururkowy,
- ze złotym reflektorem,
- moc 1500 Wat,
- zasilanie 230 Volt,
- długość grzejna $L_b = 300$ mm,
- długość całkowita $L_g = 400$ mm,
- średnica dwururki $a \times b = 18 \times 8$ mm,
- długość strefy niegrzanej po stronie przewodów podłączeniowych $L_{u1} = 50$ mm,
- długość strefy niegrzanej po stronie przeciwnej $L_{u2} = 50$ mm,
- konstrukcja typu B – podłączenie jednostronne i oba kanały całkowicie grzejne w następujący sposób:
 - długość przewodów podłączeniowych $L_i = 500$ mm,
 - pozycja pracy spirali grzejnej dozwolona w poziomie.

Promiennik B średnioletowy, używany w próbach łączenia materiału filtracyjnego z włókniny filtropochłaniającej, plisowanej do zespolenia z obudowami z różnych tworzyw zamieszczono na Rys. 2.



Rys. 2. Promiennik B średnioletowy [13].

W przeprowadzonych próbach na obudowy wykorzystano 3 rodzaje tworzyw:

- poliamid (PA),
- polipropylen (PP),
- poli(akrylonitryl-co-butadien-co-styren) (ABS).

Elementy tworzywowe wykonane zostały w postaci płaskich krążków (denek) o średnicy 100 mm z wyciętym centralnie otworem o średnicy 55 mm. Do powierzchni opisanych krążków łączone były media filtracyjne w postaci plis wykonanych z włókniny PES filtropochłaniającej. Próby wykonano z użyciem włókniny filtropochłaniającej o gramaturze 192,3 g/m², plisowanej, łączonej na obwodzie denka o wymiarze 172,7 [mm], w trzech gęstościach plisowania: 50, 100, 150. Próbki do zgrzewania podczerwienią umieszczane były w trzech różnych odległościach od źródła promieni podczerwonych, były to odległości: 5,10,15 mm. Niewidzialne promieniowanie podczerwone emitowane było z promiennika na powierzchni sklejanych próbek w zmiennym czasie naświetlania, zmieniającym się co 5 s począwszy od 5 do 30 s dla każdego z trzech usytuowań próbek badawczych. Stosowana moc promiennika podczerwieni była ustawiana w zależności od gęstości plis:

- włóknina filtropochłaniająca 50 plis na obwodzie denka – moc 2 W,
- włóknina filtropochłaniająca 100 plis na obwodzie denka – moc 4 W,
- włóknina filtropochłaniająca 150 plis na obwodzie denka – moc 6 W.

3.2.2. Metoda klejenia przy użyciu klejów

Równocześnie przeprowadzono próby łączenia medium filtracyjnych w postaci plis, wykonanych z włókniny filtropochłaniającej, z elementami obudów tworzywowych przy użyciu kleju termotopliwego o nazwie Pattex Hot Sticks, produkcji Henkel Polska Sp. z o.o. (Tab. 1).

Tab. 1. Dane techniczne kleju Pattex Hot Sticks (wg karty technicznej producenta).

Skład	Gęstość [g/cm³]	Czas schnięcia otwartego [s]	Średnica wkładów [mm]	Temperatura pracy [°C]	Odporność termiczna [°C]
klej topliwy na bazie octanu	około 0,98	około 90. (w zależności od temperatury i podłoża)	około 11	około +170- 200	max + 600

Zastosowany w próbach klej charakteryzuje się bezbarwną i elastyczną spoiną, która łączy powierzchnie w 2 minuty. Został skomponowany do klejenia drewna i materiałów drewnianych, papieru, kartonu, metalu i tworzyw sztucznych np.: ABS, twarde PCW.

Sposób postępowania przy klejeniu:

Powierzchnie klejone powinny być czyste, suche, całkowicie wolne od kurzu i wilgoci. Klejone powierzchnie zostały odfuszczone. Dla uzyskania lepszej przyczepności kleju powierzchnie klejone denek zostały zmatowione, mechanicznie moletowane dla uzyskania szorstkiej powierzchni w celu lepszego zespojenia z klejem. Klej był наносzony za pomocą pistoletu Pattex Hot Pistol. Najpierw wprowadzono wkład klejowy do kanału pistoletu, a następnie podłączono pistolet do sieci i nagrzewano przez 8-10 minut. Naciskając delikatnie język spustowy наносzono klej jednostronnie na sklejjane materiały. Podczas prób łączenia medium filtracyjnych z włókniny filtropochłaniającej w postaci plis, z elementami obudów tworzywowych наносzona była warstwa 3 mm kleju termotopliwego na powierzchnię denek tworzywa PA, PP, ABS. Po rozgrzaniu klej można наносić punktowo lub w formie paska. Części należy natychmiast połączyć i docisnąć krótko, lecz mocno. Po 2 minutach miejsce sklejenia jest twarde i obciążalne. Elementy klejone mogą być rozdzielone po ponownym ogrzaniu. Dla

wszystkich wykonanych prób sklejanie filtrów cylindrycznych uzyskano dobre sklejenie.

3.3. Wyznaczanie optymalnych parametrów łączenia plis z elementami obudów filtrów wykonanych z różnego rodzaju tworzywa o dużej wytrzymałości mechanicznej i ciśnieniowej

Podczas badań wykonano próby łączenia dla 108 podstawek z medium filtracyjnym w postaci plis, uzyskując 54 próby filtrów cylindrycznych dla jednego rodzaju badanego tworzywa przy użyciu jednego promiennika podczerwieni. Media filtracyjne z włókniny filtropochłaniającej posiadały plisy o szerokości 20 mm i wysokości 110 mm. Zostały łączone w trzech wersjach gęstości plisowania: 50, 100, 150 plis na obwodzie podstawy. Podstawy w postaci płaskich krążków miały wymiar wzdłuż promienia 22 mm.

3.3.1. Omówienie rezultatów prób łączenia filtrów cylindrycznych

Próby łączenia medium filtracyjnego z PA

- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 50 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PA obserwowano niską skuteczność sklejanie przy mocy 2 W promiennika A (krótkofalowego), niezależnie od czasu nagrzewania promieniami podczerwonymi i odległości źródła podczerwieni.
- Niską skuteczność podgrzewania i sklejanie medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 50 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PA obserwowano przy mocy 4 W promiennika A, niezależnie od czasu nagrzewania promieniami podczerwonymi i odległości źródła podczerwieni.

- Natomiast wysoki stopień spalania podczas procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 50 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PA obserwowano przy mocy 6 W promiennika A, niezależnie od czasu nagrzewania promieniami podczerwonymi i odległości źródła podczerwieni.
- Podczas prób łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 50, 100, 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PA z użyciem promiennika B (średniofalowego) dla wszystkich prób niezależnie od zastosowanych warunków (mocy promiennika, odległości próbki od źródła, czasu nagrzewania) obserwowano niską skuteczność podgrzewania.

Próby łączenia medium filtracyjnego z PP

- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 50 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PP zauważono, że tworzywo nie podgrzewa się i nie topi się przy mocy 2 W promiennika A (krótkofalowego), niezależnie od czasu nagrzewania promieniami podczerwonymi i odległości źródła podczerwieni. Wynik łączenia uznano za negatywny.
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 100 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PP zauważono, że detal nie podgrzewa się i nie topi się przy mocy 4 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 5-20 s nagrzewania promieniami podczerwonymi, niezależnie od odległości źródła podczerwieni. Wynik łączenia uznano za negatywny.
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 100 na obwodzie cylindrycznego filtru)

i denek wykonanych z PP zauważono, że tworzywo podgrzewa się, jednak zbyt słabo skleja się przy mocy 4 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 25-30 s nagrzewania promieniami podczerwonymi, a także w przypadku włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 5 s nagrzewania promieniami podczerwonymi, niezależnie od odległości źródła podczerwieni. W tych przypadkach wynik łączenia uznano za negatywny.

- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PP zauważono, że detal skleja się lecz połączenie miejscowe nie jest szczelne przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 10 s nagrzewania promieniami podczerwonymi.
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PP zauważono, że detal skleja się lecz denka są zdeformowane przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 15 s nagrzewania promieniami podczerwonymi.
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PP zauważono spalanie przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 20-30 s nagrzewania promieniami podczerwonymi, ze względu na wysoką temperaturę. W tych przypadkach wynik łączenia uznano za negatywny.
- Podczas prób łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 50, 100, 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z PP z użyciem promiennika B (średniofalowego) dla wszystkich prób niezależnie od zastosowanych

warunków (mocy promiennika, odległości próbki od źródła, czasu nagrzewania) obserwowano niską skuteczność podgrzewania.

Próby łączenia medium filtracyjnego z ABS

- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z ABS zauważono, że detal nie skleja się - zbyt niska temperatura przy mocy 2 W promiennika A (krótkofalowego), niezależnie od czasu nagrzewania promieniami podczerwonymi i odległości źródła podczerwieni. Wynik łączenia uznano za negatywny.
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z ABS zauważono, że detal nie skleja się - zbyt niska temperatura przy mocy 4 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 5, 10, 15, 20 i 30 s nagrzewania promieniami podczerwonymi oraz niezależnie od odległości źródła podczerwieni. Wynik łączenia uznano za negatywny z dwoma wyjątkami (korzystne połączenie w czasie 20 i 25 s w odległości 5 mm).
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z ABS uzyskano dobre połączenie przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 5, 10, 15, 20 s nagrzewania promieniami podczerwonymi oraz niezależnie od odległości źródła podczerwieni. Wynik uznano za pozytywny.
- W przypadku procesu łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i denek wykonanych z ABS zauważono że temperatura jest zbyt wysoka

przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego) w czasie 25, 30 s nagrzewania promieniami podczerwonymi, niezależnie od odległości źródła podczerwieni. Wynik łączenia uznano za negatywny.

- Podczas prób łączenia medium filtracyjnego (z włókniny filtropochłaniającej o gęstości plis 150 na obwodzie cylindrycznego filtru) i podstawek wykonanych z ABS z użyciem promiennika B (średniofalowego) dla wszystkich prób niezależnie od zastosowanych warunków (mocy promiennika, odległości próbki od źródła, czasu nagrzewania) obserwowano niską skuteczność podgrzewania.

Podsumowując, można wysnuć następujące wnioski z tej części badań:

1) Korzystne połączenia filtrów cylindrycznych uzyskano w próbach łączenia medium filtracyjnych z podstawami z tworzyw przy zastosowaniu Promiennika A (krótkofalowego) dla prób:

- medium filtracyjnego 150 łączonego z podstawą z ABS w czasie 5, 10, 15, 20 s nagrzewania promieniami podczerwonymi przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego), niezależnie od odległości źródła podczerwieni,
- medium filtracyjnego 150 łączonego z denkiem z ABS w czasie 20, 25 s nagrzewania w odległości 5 mm, przy mocy 4 W promiennika A (krótkofalowego),
- medium filtracyjnego 150 łączonego z denkiem z PP w czasie 10, 15 s nagrzewania promieniami podczerwonymi przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego), niezależnie od odległości źródła podczerwieni,
- medium filtracyjnego 150 łączonego z denkiem z PP w czasie 20 s nagrzewania w odległości 5 mm, przy mocy 6 W promiennika A (krótkofalowego),
- Filtry wykonane przy udziale promiennika podczerwieni A przedstawia Rys. 3.

- 2) W przypadku wykonanych prób łączenia filtrów cylindrycznych przy pomocy Promiennika B (średnioletowego) dla żadnej próby nie uzyskano pozytywnego połączenia media filtracyjnego z elementem obudowy z tworzywa.
- 3) Dobre połączenie klejowe medium plisowanego do podstaw filtrów cylindrycznych uzyskano z użyciem kleju Pattex Hot Sticks, nanosząc warstwę 3 mm na powierzchnię denek (Rys. 4).



Rys. 3. Filtry wykonane przy zastosowaniu Promiennika podczerwieni A (krótkofalowego) [13].



Rys. 4. Filtry wykonane przy zastosowaniu kleju termoplastycznego Pattex Hot Sticks [13].

4. Wyniki badań laboratoryjnych i ich omówienie

4.1. Badania i ocena poprawy skuteczności filtracji w odniesieniu do włókninowych kompozytów filtropochłaniających płaskich

W ramach pracy wykonano badania w zakresie przepuszczalności powietrza, skuteczności filtracji, przepływu nominalnego, straty ciśnienia przy założonym nominalnym natężeniu przepływu, wyznaczenia oporów przepływu dla włóknin filtropochłaniających. Badaniom poddano dwie włókniny:

- A – włóknina poliestrowa (PES) płaska surowa,
- B – włóknina poliestrowa (PES) filtropochłaniająca.

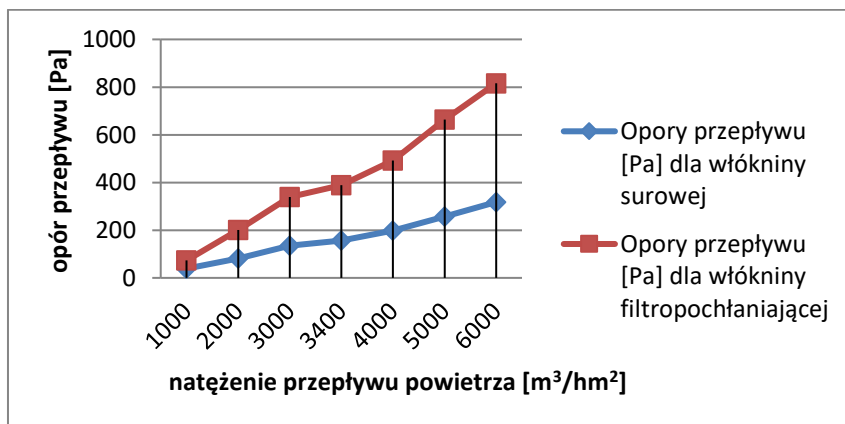
Wyniki przeprowadzonych badań przedstawiono w Tab. 2-3 i na Rys. 5.

Tab. 2. Wyniki badań dla włóknin poliestrowych: surowej i filtropochłaniającej [13]

Material filtracyjny	Masa powierzchniowa [g/m ²]	Grubość [mm]	Przepuszczalność powietrza 200 Pa [m ³ /(hm ²)]	Przepuszczalność powietrza 125 Pa [m ³ /(hm ²)]	Skuteczność filtracji, metoda wagowa [%]	Przepływ nominalny [m ³ /(hm ²)]	Strata ciśnienia przy założonym nominalnym natężeniu przepływu [Pa]
Włóknina poliestrowa surowa	144,4	0,47	3963	2802	76,7	3400	156
Włóknina poliestrowa filtropochłaniająca	192,3	0,66	1981	1401	88,0	3400	389

Tab. 3. Wyniki oporów przepływu w funkcji natężenia przepływu powietrza dla włóknin [13]

Material filtracyjny	Natężenie przepływu powietrza [m ³ /(h·m ²)]	Opory przepływu [Pa]
Włóknina poliestrowa surowa	1000	39
	2000	82
	3000	135
	3400	156
	4000	198
	5000	257
	6000	318
Włóknina poliestrowa filtropochłaniająca	1000	73
	2000	201
	3000	339
	3400	389
	4000	492
	5000	664
	6000	816

**Rys. 5.** Porównanie oporów przepływu w funkcji natężenia przepływu powietrza dla włóknin [13].

W przypadku porównania właściwości filtracyjnych dla badanych włóknin wyraźnie obserwuje się wzrost wartości parametru oporu przepływu dla włókniny filtropochłaniającej.

4.2. Wykonanie badań szczelności, wytrzymałości mechanicznej i filtracji dla optymalnych filtrów.

Badanie szczelności

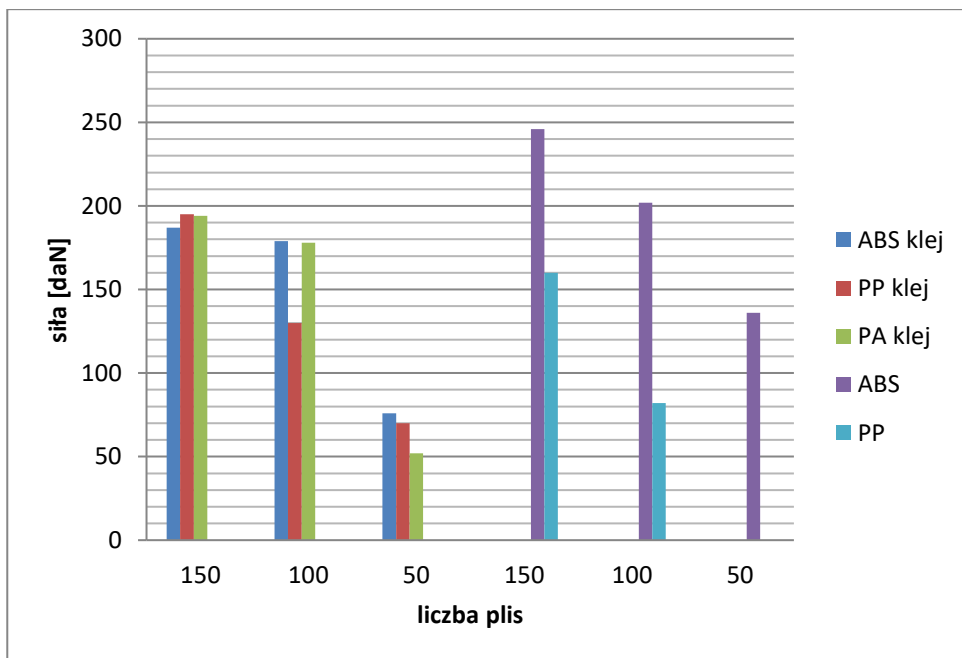
Badania szczelności wykonania filtrów, wytrzymałości mechanicznej połączeń podstaw z medium filtracyjnym plisowanym w trzech rozmiarach: 50, 100, 150 oraz wyznaczenie właściwości filtracyjnych dla uzyskanych próbných filtrów zmontowanych z użyciem kleju lub łączonych metodą podczerwieni przedstawiono w Tab. 4-5 i na Rys. 6-8.

Tab. 4. Wyniki badania siły [daN] odrywającej podstawy filtrów i rozszczelnienia filtrów cylindrycznych zmontowanych z użyciem kleju lub promieni podczerwonych [13].

Lp.	Rodzaj tworzywa sztucznego	Rodzaj medium filtracyjnego	Rodzaj spoiwa	Siła odrywająca podstawy filtra lub rozszczelniająca filtr [daN]
1.	ABS	150	Klej	187
2.		100	termotopliwy	179
3.		50		76
4.	PP	150	Klej	195
5.		100	termotopliwy	130
6.		50		70
7.	PA	150	Klej	194
8.		100	termotopliwy	178
9.		50		52
10.	ABS	150	Promiennik	246
11.		100	podczerwieni A	202
12.		50	(krótkofalowy)	136
13.	PP	150	Promiennik	160
14.		100	podczerwieni A	82
15.		50	(krótkofalowy)	x
16.	PA	150	Promiennik	x
17.		100	podczerwieni A	x
18.		50	(krótkofalowy)	x

x – podstawy filtra nie skleily się (pozostają nieszczelne)

Podczas badania szczelności filtrów cylindrycznych z medium plisowanym z włóknin PES, które były łączone z podstawami z tworzywa przy pomocy kleju, stwierdzono dobrą szczelność dla wszystkich filtrów niezależnie od rozmiaru filtra i użytego tworzywa (ABS, PP, PA) na podstawy. W przypadku łączenia podstaw z plisowanym medium włókninowym przy użyciu promieniowania podczerwonego (ciepłego) obserwowano dobrą szczelność dla podstaw wykonanych z tworzywa ABS dla wszystkich badanych rozmiarów filtrów. Natomiast w przypadku łączenia podstaw z PP obserwowano dobrą szczelność dla filtrów o rozmiarach 150 i 100 oraz brak szczelności filtra o rozmiarze 50. W przypadku podstaw wykonanych z tworzywa PA żadne z nich nie skleiły się, filtry pozostały nieszczelne.

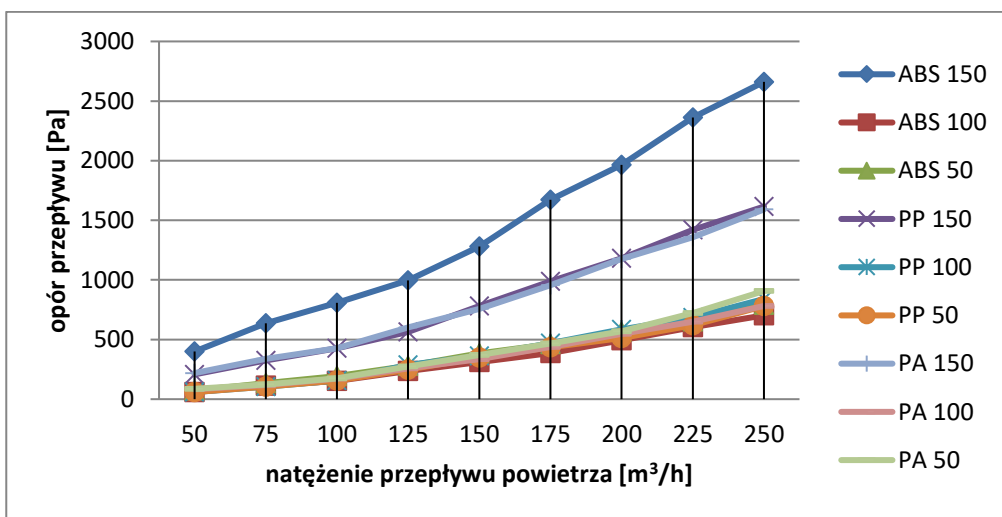


Rys. 6. Siła odrywająca podstawy filtrów: 150, 100, 50 zmontowanych za pomocą kleju lub podczerwieni [13].

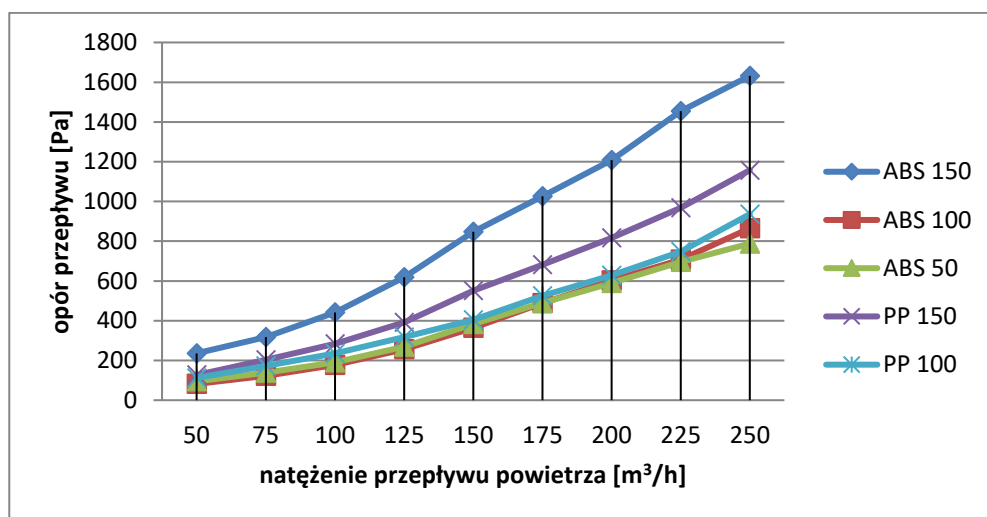
Tab. 5. Wyniki badań oporów przepływu dla filtrów plisowanych cylindrycznych [13]

Lp.	Rodzaj tworzywa sztucznego	Rodzaj medium filtracyjnego	Rodzaj spoiwa	Opory przepływu przy natężeniach powietrza w m ³ /h [Pa]								
				50	75	100	125	150	175	200	225	250
1.	ABS	150	Klej termotopliwy	400	637	807	996	128	167	196	236	266
								0	2	4	3	1
2.			100		60	113	154	236	312	386	494	604
3.		50		73	135	193	280	383	462	564	653	792
4.	PP	150	Klej termotopliwy	208	324	426	564	781	988	118	141	161
										0	9	5
5.			100		86	144	198	287	362	470	585	685
6.		50		60	105	157	248	350	436	514	619	781
7.	PA	150	Klej termotopliwy	219	339	427	602	757	955	117	135	159
										6	7	1
8.			100		83	118	172	258	336	438	547	649
9.		50		87	124	175	275	370	468	570	721	907
10.	ABS	150	Promiennik podczerwieni A	236	318	442	619	847	102	120	145	163
										6	8	5
11.			100		82	122	177	257	364	488	603	707
12.		50		95	139	190	269	384	490	590	696	788
13.	PP	150	Promiennik podczerwieni A	127	203	283	391	551	681	817	968	115
												7
14.			100		112	172	235	318	404	525	628	747
15.		50		x	x	x	x	x	x	x	x	x
16.	PA	150	Promiennik podczerwieni A	x	x	x	x	x	x	x	x	x
17.			100		x	x	x	x	x	x	x	x
18.		50		x	x	x	x	x	x	x	x	x

x – podstawy filtra nie skleły się (pozostają nieszczelne)



Rys. 7. Opory przepływu [Pa] dla filtrów cylindrycznych zmontowanych z użyciem kleju [13].



Rys. 8. Opory przepływu [Pa] dla filtrów cylindrycznych zmontowanych z użyciem podczerwieni [13].

Wytrzymałość mechaniczna połączenia filtrów

Na podstawie uzyskanych wyników z badania siły odrywającej podstawy (wykonane z ABS, PP, PA) filtrów cylindrycznych od medium filtracyjnego (wykonanego z plisowanej włókniny poliestrowej nawęglanej), stwierdzono bardzo

dobrą wytrzymałość połączeń klejowych dla filtrów o rozmiarze 150, 100 tj.:

- wartość siły kształtowała się na poziomie 187-195 daN dla filtrów o rozmiarze 150,
- wartość siły kształtowała się na poziomie 130-179 daN dla filtrów o rozmiarze 100.

Także wystarczającą wytrzymałość mechaniczną dla filtrów o rozmiarze 50, dla których siła odrywająca podstawy kształtowała się na poziomie 52-76 daN.

W przypadku łączenia podstaw filtrów z użyciem podczerwieni uzyskano bardzo dobrą wytrzymałość połączeń plis włókniny nawęglanej z tworzywowymi podstawami ABS dla każdego rozmiaru filtra. Dla filtrów z podstawą z ABS łączonych podczerwienią w porównaniu do odpowiednich filtrów łączonych klejem uzyskano wyższy poziom parametru siły odrywającej podstawy filtra tj.: dla rozmiaru 150: 246 daN, rozmiaru 100: 202 daN, rozmiaru 50: 136 daN. W przypadku łączenia filtrów z podstawami z PP bardzo dobrą wytrzymałość połączeń uzyskano dla rozmiaru filtra 150: 160 daN i wystarczającą dla rozmiaru filtra 100: 82 daN. Podstawy filtrów z PA przy udziale podczerwieni nie uległy sklejeniu, a także nie uzyskano połączenia filtra 50 z podstawą z PP.

Właściwości filtracyjne optymalnych filtrów

Badania oporów przepływu filtrów w Pa, wykonane w zależności od natężenia przepływu powietrza mierzonego w m³/h dla filtrów cylindrycznych z medium plisowanym z włókniny nawęglanej o rozmiarach 50, 100, 150 wykazały, że:

- Parametry oporów przepływu filtrów wzrastają wraz ze wzrostem natężenia przepływu powietrza, ta zależność jest obserwowana dla wszystkich rozmiarów filtrów.
- Tempo wzrostu oporów przepływu filtrów z medium plisowanym zależy od wielkości filtra - liczby plis na obwodzie podstawy filtra cylindrycznego.

- Opory przepływu w Pa będące funkcją natężenia przepływu powietrza w m³/h najszybciej wzrastają dla filtra o rozmiarze 150.
- Wartości oporów przepływu w Pa jako funkcja natężenia przepływu powietrza m³/h dla filtrów cylindrycznych z medium plisowanym o rozmiarach 50,100 kształtują się na poziomie porównywalnym (brak znaczących różnic).
- Najkorzystniejsze wartości oporów przepływu wykazały filtry posiadające 150 plis na obwodzie podstaw z ABS, które w badaniach siły odrywania podstawy wykazały najwyższą wytrzymałość połączeń klejowych podstaw z medium filtracyjnym.

5. Wnioski

1. Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości filtracyjne filtrów zależą od rozmiaru medium filtracyjnego, szczelności i wytrzymałości mechanicznej połączeń elementów filtra.
2. Optymalnym rozwiązaniem w odniesieniu do zróżnicowanych właściwości fizyko-chemicznych kompozytów włókninowych są układy plis, rozmiar medium filtracyjnego jest proporcjonalny do ilości plis.
3. Podstawy z tworzyw: ABS, PP, PA do filtrów cylindrycznych można łączyć z medium filtracyjnym z plisowanej włókniny PES, za pomocą klejów termotopliwych, otrzymując dobre wytrzymałości połączenia (dobre połączenie uzyskano z użyciem kleju Pattex Hot Sticks, nanosząc warstwę 3 mm na powierzchnię podstaw).
4. Podstawy wykonane z tworzywa ABS można łączyć z medium filtracyjnym z plisowanej włókniny PES za pomocą podczerwieni, uzyskując połączenia o dobrej wytrzymałości (przy zastosowaniu Promiennika A (krótkofalowego) w czasie 5, 10, 15, 20s nagrzewania promieniami

podczerwonymi przy mocy 6 W, niezależnie od odległości: 5, 10, 15 mm źródła podczerwieni).

Praca prezentuje wyniki projektu RPPK.01.02.00-18-0028/17 realizowanego w latach 2017-2020. Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2014-2020, oś priorytetowa: I Konkurencyjna i innowacyjna gospodarka, Działanie: 1.2 Badania przemysłowe, prace rozwojowe oraz ich wdrożenia, Typ projektu: Prace B+R.

Literatura

- [1] Hutten I.M.: *Handbook of nonwoven filter media*, Elsevier Science, Oxford, UK, 2007
- [2] PN-EN ISO 1043-1:2004 Tworzywa Sztuczne. Symbole i skróty nazw. Polimery podstawowe i ich cechy charakterystyczne.
- [3] Szlezyngier W., Brzozowski Z. K.: *Tworzywa sztuczne.*, Tom 1, Wydawnictwo Oświatowe FOSZE, Rzeszów, 2016.
- [4] Puszyński A., Pilichowski J.: *Technologia Tworzyw Sztucznych.*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2003.
- [5] <http://plastpro.pl/oferta/tworzywo-abs>, 21.06.2022.
- [6] <http://www.tworzywa.pwr.wroc.pl/pl/dydaktyka/polipropylen>, 21.06.2022.
- [7] <http://www.plastem.pl/oferta/tworzywa-sztuczne/poliamid-pa/>, 21.06.2022.
- [8] Pasek S., Gąsiorski K. P.: *Kleje obuwnicze. Wybrane zagadnienia z ochrony zdrowia, bezpieczeństwa i środowiska naturalnego.*, Informator wzorniczo materiałowy "Obuwie i wyroby skórzane" Nr 17 (2002-2003), CLPO, Kraków, 2002.
- [9] Pasek S., Gąsiorski K. P.: *Nowej generacji kleje obuwnicze i metody ich aplikacji.*, Informator wzorniczo materiałowy "Obuwie i wyroby skórzane" Nr 20 (2004r.), CLPO, Kraków, 2004.
- [10] Pasek S., Gąsiorski K. P.: *Nowości w klejach dla przemysłu obuwniczego.*, Informator wzorniczo materiałowy " Obuwie i wyroby skórzane" Nr 21 (2004-2005), CLPO, Kraków, 2004.

- [11] Józwicki R., Wawrzyniuk L.: *Technika podczerwieni.*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2013.
- [12] Kowalczyk M.: *Gazowe i elektryczne promienniki podczerwieni: komfort, oszczędność, ekologia.* Wydawnictwo SOLAREN BIS, Gdańsk, 2004.
- [13] Pąprowicz J. i inni. Projekt badawczy RPPK.01.02.00-18-0028/17 pt.: *Opracowanie technologii wytwarzania wysokoskutecznych kompozytów włókninowych filtropochłaniających do usuwania zanieczyszczeń z powietrza*, Eko-Karpaty, Tarnowiec, 2020.