

AUTOREFERAT

Dr inż. Agnieszka Brochocka

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16
Pracownia Sprzętu Ochrony Układu Oddechowego, Zakład Ochron Osobistych
90-133 Łódź, ul. Wierzbowa 48



Spis treści

1. Dane personalne	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie i tytuły naukowe	3
3. Historia zatrudnienia i przebieg pracy zawodowej	3
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora	6
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	6
4.2. Wykaz prac naukowych	7
4.3. Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.	11
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	33
6. Sumaryczny dorobek publikacyjny, wynalazczy i wdrożeniowy	39



1. Dane personalne

Agnieszka, Ewa Brochocka

2. Posiadane dyplomy, stopnie i tytuły naukowe

Stopień doktora nauk technicznych – 2005 r. w dyscyplinie: inżynieria środowiska

Nadany uchwałą Rady Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego;

Tytuł rozprawy doktorskiej: *Modelowanie właściwości filtracyjnych włókien pneumotermicznych w funkcji parametrów strukturalnych i rodzaju aktywacji elektrostatycznej*;

Promotor: dr hab. inż. Witold Gądor

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Leon Gradoń

prof. dr hab. inż. Barbara Lipp-Symonowicz

Kopię dokumentu stwierdzającego nadanie tytułu doktora nauk technicznych przedstawiłam w załączniku nr 1 do wniosku o przeprowadzeniu postępowania habilitacyjnego.

Dyplom uzyskania tytułu magistra inżyniera włókiennika – 1992 r.

Politechnika Łódzka, Wydział Włókienniczy;

Specjalizacja: Mechaniczna Technologia Włókna; Specjalność: Technologia Włókien

Tytuł pracy: *Zależność relaksacji włókniny od wielkości jednoosiowej deformacji*

Promotor: dr inż. Romualda Cisko

Dyplom stanowiący dowód uzyskania kwalifikacji pedagogicznych do pracy nauczycielskiej – 1992 r.

Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne Politechniki Łódzkiej

3. Historia zatrudnienia i przebieg pracy zawodowej

10.1992 – aktualnie Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Ochron Osobistych w Łodzi

Stanowiska:

10.1992 - 12.1993 Stażysta

01.1994 - 11.1995 Włókiennik

12.1995 - 03.2006 Asystent

04.2006 – aktualnie Adiunkt

08.2014 – aktualnie Kierownik Pracowni Sprzętu Ochrony Układu Oddechowego



W 1992 r. ukończyłam Wydział Włókienniczy Politechniki Łódzkiej i w tym samym roku rozpoczęłam pracę zawodową w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy na stanowisku stażysty, a następnie włókiennika i asystenta w Zakładzie Ochrony Osobistych w Łodzi. Od samego początku pracy brałam czynny udział w pracach naukowych oraz prowadziłam aktywną działalność doradczą, organizacyjną, normalizacyjną i certyfikacyjną w zakresie metod badań i oceny sprzętu ochrony układu oddechowego. Od 1999 r. działałam aktywnie jako członek Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 21 ds. Środków Ochrony Indywidualnej Pracowników.

W tym okresie konsekwentnie prowadziłam badania w kierunku modelowania właściwości filtracyjnych włókien pneumotermicznych i ich aktywacji elektrostatycznej w aspekcie optymalizacji charakterystyk filtracji aerozoli, których rezultaty przedstawiłam w pracy doktorskiej w 2005 r. Moją działalność naukowo-badawczą przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych szczegółowo opisałam w załączniku nr 2 do wniosku o przeprowadzeniu postępowania habilitacyjnego.

W 2006 roku decyzją Rady Naukowej Instytutu zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta. Moja aktywność naukowa oscyluje w obszarze badań skoncentrowanych nad opracowaniem nowych materiałów włókninowych stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego przed aerozolami ze stałą i ciekłą fazą rozproszenia oraz metod badań i kryteriów jego oceny. Do moich zadań należy również dążenie do wdrożenia wyników badań naukowych i prac rozwojowych B+R oraz wzmocnienie współpracy pomiędzy nauką i biznesem. Dlatego też prowadzę działania ukierunkowane na pozyskiwanie funduszy na badania w kierunku projektów krajowych i międzynarodowych realizowanych w konsorcjach naukowo-przemysłowych. Brałam czynny udział przy opracowaniu projektu celowego w ramach sektorowego programu operacyjnego Wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw, lata 2006-2008 pt.: *„Nowa generacja materiałów filtracyjnych z udziałem nanowłókien i modyfikatorów”* współfinansowanego z EFRR w ramach umowy nr WKP_1/1.4.4/1/2005/11/11/576/2006/U.

W latach 2007-2015 byłam wykonawcą projektu kluczowego nr POIG.01.03.01-10-005/08 pt.: *„Nowoczesne balistyczne ochrony osobiste oraz zabezpieczenia środków transportu i obiektów stałych wykonane na bazie kompozytów włóknistych”*, projektu nr O ROB 0014 01/ID14/1 pt. *„Nowoczesna, trudnopalna i ergonomiczna kamizelka balistyczna skrytego noszenia”* na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa, projektu rozwojowego nr DOBR/0001/R/IDI/2012/03 pt. *„Wypracowanie nowoczesnej, trudnopalnej kamizelki z kompozytów włóknistych i polietylenowych z zastosowaniem pełnych 3D płyt twardych z uwzględnieniem ochrony przed nowoczesnymi pociskami pola walki”*, projektu nr DOBR-BIO4/045/13067/2013 pt.: *„Indywidualizacja konstrukcji*



wielofunkcyjnych kamizelek balistycznych skrytego noszenia" na rzecz bezpieczeństwa i obronności państwa, projektu PBZ nr PBZ-MNiSW-01/II/2007 pt. *"Biodegradowalne włókny dla zastosowania w medycynie, rolnictwie i technice"*, oraz projektu NMP4 –SL-2012-280535, Collaborative Project Fundacion Tecnalia Research & Innovation TECNALIA, Hiszpania pt. *"Innovative strategies, methods and tools for occupational risks management of manufactured nanomaterials (MNMs) in the construction industry"*.

W latach 2009-2014 kierowałam projektem w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka nr POIG.01.01.02-10-018/09 pt. *„Innowacyjne materiały polimerowe i węglowe chroniące przed nanocząsteczkami, parami i gazami”*, którego jednym z celów bezpośrednich było opracowanie innowacyjnych materiałów włókninowych na bazie polimerów stanowiących element konstrukcyjny filtrującego sprzętu ochrony układu oddechowego w celu stworzenia efektywnej bariery wobec nanocząsteczek zanieczyszczających powietrze.

Z akcesją Polski do Unii Europejskiej w 2004 r. przyjął obowiązek związany z realizacją procesów certyfikacji /oceny zgodności środków ochrony indywidualnej w ramach działalności Instytutu jako Jednostki Notyfikowanej przez Komisję Europejską do pełnienia zadań wynikających z Dyrektywy 89/686/EWG. Posiadam kompetencje audytora systemu zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy zgodnie z kryteriami KOCKP-04 Ośrodka Certyfikacji Kompetencji Personelu CIOP-PIB. Od 2010 r. jestem audytorem wiodącym Systemu Zarządzania Jakością wg normy ISO 9001:2008.

W 2014 r. doceniając moją aktywność naukową i organizacyjną Pani Dyrektor Instytutu powierzyła mi funkcję Kierownika Pracowni Sprzętu Ochrony Układu Oddechowego, którą pełnię do chwili obecnej.

Od 2015 r. jestem członkiem Rady Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – PIB, a od 2016 r. członkiem Zespołu ds. Technologii i Procesów Przemysłowych Głównego Urzędu Miar oraz Polskiego Towarzystwa Towaroznawczego. Od 2017 r. uczestniczę w składzie Komitetu Technicznego przy Ośrodku Certyfikacji Indywidualnych Środków Ochronnych i Roboczych CIOP-PIB. Komitet Techniczny pełni funkcję doradczą wspierającą podejmowanie decyzji w zakresie certyfikacji i oceny zgodności w przypadku spraw spornych, ewentualnie przy rozstrzyganiu skarg, odwołań lub innych związanych z działalnością certyfikacyjną CIOP-PIB.



4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny Włókiennictwo zgodnie z art.16 ust.2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki

Zgodnie z art. 16 ust.2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311) przedstawiam cykl publikacji powiązanych tematycznie jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego. Publikacje powstały na podstawie badań naukowych i prac rozwojowych prowadzonych w obszarze nauk technicznych w dziedzinie Włókiennictwo. Ze względu na interdyscyplinarny charakter prowadzonych przeze mnie badań prace wykonywałam zespołowo w dyscyplinie inżynieria materiałowa oraz w obszarze nowoczesnych technologii materiałów o projektowanych właściwościach.

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Innowacyjne metody modyfikacji elektretowych włókien filtracyjnych otrzymywanych w procesie pneumotermicznego formowania runa w celu poprawy ich skuteczności filtracji wobec drobnodispersyjnych aerozoli.

Jako mój znaczący wkład w dyscyplinę Włókiennictwo uznaję:

- opracowanie nowej konstrukcji głowicy włóknotwórczej umożliwiającej wprowadzanie modyfikatorów bezpośrednio w strefę półpłynnych włókien polimerowych;
- opracowanie metodyki badań penetracji nanoaerozoli przez materiały filtracyjne z uwzględnieniem specyficznych warunków stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego w środowisku pracy;
- opracowanie metody modyfikacji elektretowych włókien pneumotermicznych poprzez dobór odpowiednich modyfikatorów o zmiennych właściwościach elektrostatycznych w celu poprawy skuteczności włókien filtracyjnych wobec drobnodispersyjnych aerozoli, w tym nanoaerozoli;
- opracowanie metody modyfikacji elektretowych włókien pneumotermicznych z wykorzystaniem modyfikatorów w postaci roztworów w celu uzyskania włókieniny o strukturze nanometrycznej;



- opracowanie dwu-etapowej modyfikacji elektretowych włókien pneumatycznych z wykorzystaniem nanonapełniacza w celu poprawy efektywności elektryzacji włókien w wyniku wyładowań koronowych;
- opracowanie metody modyfikacji filtracyjnych włókien pneumatycznych z wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej jako wzmocnienie sposobu poprawy skuteczności filtracji.

4.2. Wykaz prac naukowych

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego przedstawiam na podstawie 10 artykułów z bazy JCR i 4 patentów:

H-1. Orlikowski W., **Brochocka A.**, Majchrzycka K., Patent PL 212007, 2012, pt. *Sposób wytwarzania elektretowych włókien pneumatycznych oraz urządzenie do wytwarzania elektretowych włókien pneumatycznych*, Polska, Urząd Patentowy RP

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji konstrukcji głowicy włóknotwórczej w technologii melt-blown oraz współuczestniczeniu w prowadzeniu prób technologicznych bioaktywnych włókien filtracyjnych oraz redakcji opisu patentu i wynosi 30 %

H-2. **Brochocka A.**, Majchrzycka K., 2009, *Technology for the production of bioactive melt-blown filtration materials applied to respiratory protective devices*, FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE, 17(5), 92-98. [IF=0,581; 15 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu założeń technologicznych do pneumatycznego wytwarzania włókien filtracyjnych, opracowaniu metody dozowania środka biobójczego do głowicy włóknotwórczej, wykonywaniu części badań w zakresie właściwości filtracyjnych oraz współudziale w przygotowaniu publikacji i wynosi 30 %

H-3. **Brochocka A.**, Majchrzycka K., Makowski K., 2012, *Penetration of different nanoparticles through melt-blown filter media used for respiratory protective devices*, TEXTILE RESEARCH JOURNAL, 82(18), 1906-1919. [IF 1,135; 40 pkt. MNiSW]



Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji manuskryptu, wytworzeniu włóknin z polipropylenu o różnej masie powierzchniowej, interpretacji wyników badań i opisanu kluczowych wniosków, przygotowaniu publikacji oraz udzielaniu odpowiedzi recenzentom i wynosi 70 %

H-4. **Brochocka A.**, Makowski K., Majchrzycka K., Grzybowski P., 2013, *Efficiency of filtering materials used in respiratory protective devices against nanoparticles*, INTERNATIONAL JOURNAL OF OCCUPATIONAL SAFETY AND ERGONOMICS, 19(2), 285-295. [IF=0,253; 15 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, interpretacji wyników badań i ich dyskusji, sformułowaniu wniosków oraz przygotowaniu publikacji i udzielaniu odpowiedzi recenzentom i wynosi 50 %

H-5. **Brochocka A.**, Orlikowski W., Majchrzycka K., Patent PAT.226188, data decyzji 2016.12.20, pt. *Głowica do wytwarzania modyfikowanych elektretowych włóknin pneumatycznych*, Polska, Urząd Patentowy RP

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji głowicy do wytwarzania elektretowych włóknin pneumatycznych modyfikowanych przy pomocy sypkich modyfikatorów, składającej się z części włóknotwórczej oraz elementu podającego modyfikator umieszczonego centralnie w rdzeniu głowicy, przygotowaniu opisu patentowego i sformułowaniu zastrzeżeń patentowych i wynosi 65 %

H-6. **Brochocka A.**, Majchrzycka K., Makowski K., 2013, *Modified melt-blown nonwovens for respiratory protective devices against nanoparticles*, FIBRES AND TEXTILES IN EASTERN EUROPE, 21(4), 106-111. [IF 0,541; 30 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji artykułu, wytworzeniu materiału filtrującego z modyfikatorami, opracowaniu sposobu modyfikacji włóknin filtracyjnych, interpretacji wyników badań, przygotowaniu publikacji oraz udzieleniu odpowiedzi recenzentom i wynosi 70 %

H-7. **Brochocka A.**, 2017, *Efficiency of electret polycarbonate nonwovens in respiratory protection against nanoparticles*, June 2017, AUTEX Research Journal, Vol. 17, No 2, 188-198, DOI: 10.1515/aut-2017-0004. [IF=0,460; 20 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, wytworzeniu materiału filtrującego z modyfikatorami, opracowaniu sposobu modyfikacji włóknin filtracyjnych, wykonywaniu badań w zakresie penetracji wobec nanoaerozoli, przeprowadzeniu analizy wyników badań i sformułowaniu wniosków końcowych oraz przygotowaniu publikacji i udzieleniu odpowiedzi na pytania recenzentów i wynosi 100 %

H-8. **Brochocka A.**, Makowski K., 2014, *Półmaski filtrujące do ochrony układu oddechowego przed aerozolami zawierającymi nanocząstki*, PRZEMYSŁ CHEMICZNY, 93, 1, 93-98. [IF=0,399; 15 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, opracowaniu układu materiałów do konstrukcji półmaski filtrującej, wykonywaniu część badań w zakresie podstawowych parametrów ochronnych zgodnie ze standardami europejskimi, interpretacji wyników badań i ich dyskusji oraz przygotowaniu publikacji i udzielaniu odpowiedzi recenzentom i wynosi 80 %

H-9. **Brochocka A.**, Orlikowski W., Majchrzycka K., Patent PAT.226187, data decyzji 2016.12.20, pt. Głowica do wytwarzania modyfikowanych elektretowych włóknin pneumatycznych, Polska, Urząd Patentowy RP

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji głowicy do wytwarzania elektretowych włóknin filtracyjnych z polimerów termoplastycznych przy użyciu modyfikatorów w postaci płynów wprowadzanych w postaci aerozoli uzyskanych przy pomocy urządzenia współpracującego z głowicą włóknotwórczą, przygotowaniu opisu patentowego i sformułowaniu zastrzeżeń patentowych i wynosi 65 %

H-10. **Brochocka A.**, 2017, *Method for introducing liquid modifiers into melt-blown nonwovens during production process*, Przemysł Chemiczny, 96/4, 930-935, DOI: 10.15199/62.2017.4.41. [IF=0,367; 15 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, wytworzeniu materiału filtrującego z modyfikatorami, opracowaniu sposobu modyfikacji włóknin filtracyjnych roztworami, przeprowadzeniu badań w zakresie penetracji wobec nanoaerozoli, interpretacji wyników badań i sformułowaniu kluczowych wniosków oraz przygotowaniu publikacji i udzieleniu odpowiedzi na pytania recenzentów i wynosi 100 %

H-11. Okrasa M., **Brochocka A.**, Majchrzycka K., 2015, *Nanofillers containing polymer composite filters*, *Przemysł Chemiczny*, 94/2, 1000-1004. [IF=0,367; 15 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, przeprowadzeniu części badań w zakresie właściwości filtracyjnych, interpretacji wyników badań i ich dyskusji oraz udzieleniu odpowiedzi recenzentom i wynosi 60 %

H-12. **Brochocka A.**, Majchrzycka K., Urbaniak-Domagała W., Szymanowski H., Wrzosek H., 2011, Patent PL 208598 pt. *Sposób modyfikacji włókien filtracyjnych*, Polska, Urząd Patentowy RP

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu materiału filtrującego pod kątem odpowiedniej budowy morfologicznej, przeprowadzeniu badań skuteczności filtracji, przygotowaniu opisu patentowego i sformułowaniu zastrzeżeń patentowych i wynosi 25 %

H-13. Urbaniak – Domagała W., Wrzosek H., Szymanowski H., Majchrzycka K., **Brochocka A.**, 2010, Plasma Modification of Filter Nonwovens Used for the Protection of Respiratory Tracts, *FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE*, 18(6), 94-99. [IF=0,629; 20 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu materiału filtrującego pod kątem odpowiedniej budowy morfologicznej, wykonaniu doświadczeń polegających na wytworzeniu różnych wariantów włókien techniką pneumatycznego formowania runa oraz wykonywaniu badań w zakresie parametrów filtracyjnych i użytkowych i wynosi 40 %

H-14. Majchrzycka K., Okrasa M., Brochocka A., Urbaniak – Domagała W., 2017, *Influence of low-temperature plasma treatment on the filtration efficiency of melt-blown nonwovens in the conditions of simulated use of respiratory protective equipment*, *Chemical & Process Engineering*, 2/2017, DOI: 10.1515/cpe-2017-0015. [IF=0,500; 15 pkt. MNiSW]

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu założeń manuskryptu, opracowaniu i wytworzeniu materiału filtrującego pod kątem odpowiedniej budowy morfologicznej, wykonywaniu badań, opracowaniu i interpretacji wyników badań i



przygotowaniu publikacji oraz współpracy przy udzieleniu odpowiedzi recenzentom i wynosi 50 %

Sumarycznie dla wybranych publikacji H1- H14	IF = 5,232 MNIŚW = 200
--	---------------------------

Kopie ww. publikacji stanowiących moje osiągnięcie naukowe zawiera załącznik nr 6. Oświadczenia współautorów dotyczące udziału w ww. publikacjach przedstawiłam w załączniku nr 7.

4.3. Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Moje zainteresowanie naukowe związane z modyfikacją elektretowych włóknin filtracyjnych przeznaczonych do ochrony układu oddechowego przed drobnodyspersyjnymi aerozolami, wyniknęło między innymi z powodu zmiany wymagań w zakresie dopuszczenia do stosowania filtrujących środków ochrony układu oddechowego na terenie UE bez możliwości uzyskania okresu przejściowego. W związku z powyższym nowelizowanie norm zharmonizowanych zawierających zarówno wymagania jak i metody badań środków ochrony układu oddechowego ukierunkowane było na zapewnienie efektywnego wychwytywania zarówno cząstek stałych jak i cząstek cieczy ze strugi przepływającego powietrza oraz zapewnienie stabilności tego efektu w czasie użytkowania. Stanowiło to warunek konieczny i niezbędny do podjęcia intensywnych prac zmierzających w kierunku modyfikacji materiałów filtracyjnych w celu poprawy ich skuteczności filtracji, aby polscy producenci materiałów filtracyjnych mogli wprowadzać wyroby do sprzedaży na rynku europejskim.

Powszechnie stosowaną metodą do wytwarzania włóknin filtracyjnych jest technika pneumatycznego formowania runa. Metoda ta jest zintegrowaną technologią łączącą proces formowania włókien z procesem wytwarzania runa. Włókniny filtracyjne powszechnie stosowane w filtrującym sprzęcie ochrony układu oddechowego są wytwarzane bezpośrednio ze stopu polimeru i w celu poprawy ich właściwości filtracyjnych podczas formowania poddaje się je aktywacji elektrostatycznej metodą wyładowań koronowych. Teoria wyładowań koronowych stosowanych do elektrostatycznego ładowania materiałów włókninowych została szeroko omówiona w literaturze światowej w zakresie metod badań i nowych metod prowadzenia procesu koronizacji oraz zachodzących mechanizmów. Z punktu widzenia filtrującego sprzętu ochrony układu oddechowego ważne jest, aby efekt



koronizacji był trwały zarówno w czasie przechowywania sprzętu jak też podczas jego użytkowania na stanowiskach pracy. Niestety liczne doniesienia literaturowe wykazały, że w przypadku powszechnie stosowanych elektretowych materiałów filtracyjnych zatrzymywanie cząstek aerozoli powoduje utratę skuteczności w czasie na skutek ekranowania i neutralizacji ładunków na włókninie przez deponujące tam cząstki aerozolu ze względu na wpływ m.in. ciężkich warunków pracy: wysokiej temperatury i wysokiej wilgotności względnej powietrza. Dlatego konieczne jest poszukiwanie nowych metod poprawy skuteczności filtracji i trwałości materiałów elektretowych w czasie użytkowania.

Z drugiej strony intensywny rozwój nanotechnologii oraz wzrastające zapotrzebowanie na wytwarzanie i stosowanie nowych, funkcjonalnych materiałów, w tym nanomateriałów spowodowało powstawanie nowych rodzajów zagrożeń dla środowiska i człowieka, dla których brak jest obecnie odpowiednich metod oceny ryzyka oraz wiedzy związanej ze skutkami potencjalnego narażenia. Między innymi zjawisko to dotyczy zagrożeń związanych ze stosowaniem lub wytwarzaniem nanocząstek w procesach produkcyjnych. Cząstki pyłu zawieszonego oddziałują nie tylko na procesy środowiskowe, ale również na funkcjonowanie człowieka, w tym na jego stan zdrowia. W zależności od wielkości cząstek mogą one deponować w różnych częściach organizmu. Największe problemy zdrowotne stwarzają nanocząstki pyłu zawieszonego o średnicy aerodynamicznej mniejszej niż $0,2 \mu\text{m}$. Mogą one przedostawać się do płuc i prowadzić do rozwoju chorób serca, problemów oddechowych czy nowotworów płuc, a nawet do śmierci. Ponadto mogą umożliwiać również przedostawanie się substancji chemicznych do krwioobiegu prowadząc do zmian inicjujących procesy nowotworowe. W związku z czym tak duże znaczenie ma zastosowanie odpowiedniej ochrony pracowników przed narażeniem na drobnodyspersyjne aerozole, w tym nanoaerozole uwalniające się do środowiska pracy ze stosowanych w procesach produkcyjnych nanomateriałów. Zjawisko to jest szczególnie niebezpieczne, gdy sprzęt ochrony układu oddechowego stosowany jest do ochrony przed nanoaerozolami.

Poniżej przedstawiam omówienie najważniejszych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych.

Opracowanie nowej konstrukcji głowicy włóknotwórczej umożliwiającej wprowadzanie modyfikatorów bezpośrednio w strugę półpłynnych włókien polimerowych

W podjętych przy moim współudziale pracach badawczych w ramach realizacji projektu statutowego pt. „Nowa generacja ochron układu oddechowego przed bioaerozolem” oraz projektu celowego w ramach sektorowego programu



operacyjnego Wzrost Konkurencyjności Przedsiębiorstw pt.: „Nowa generacja materiałów filtracyjnych z udziałem nanowłókien i modyfikatorów” współfinansowanego w latach 2006-2008 z EFRR w ramach umowy nr WKP_1/1.4.4/1/2005/11/11/576/2006/U prowadziłam badania w kierunku opracowania nowej konstrukcji głowicy włóknotwórczej, umożliwiającej wprowadzanie modyfikatorów bezpośrednio w strefę półpłynnych włókien polimerowych, stanowiącej kluczowe urządzenie linii produkcyjnej do wytwarzania włókien filtracyjnych techniką pneumatycznego formowania runa.

Założyłam, że nowa konstrukcja głowicy włóknotwórczej umożliwi przede wszystkim uzyskanie jak najcieńszych włókien polimerowych, a wprowadzenie modyfikatorów bezpośrednio do głowicy włóknotwórczej z pominięciem stref wysokich temperatur wytłaczania spowoduje:

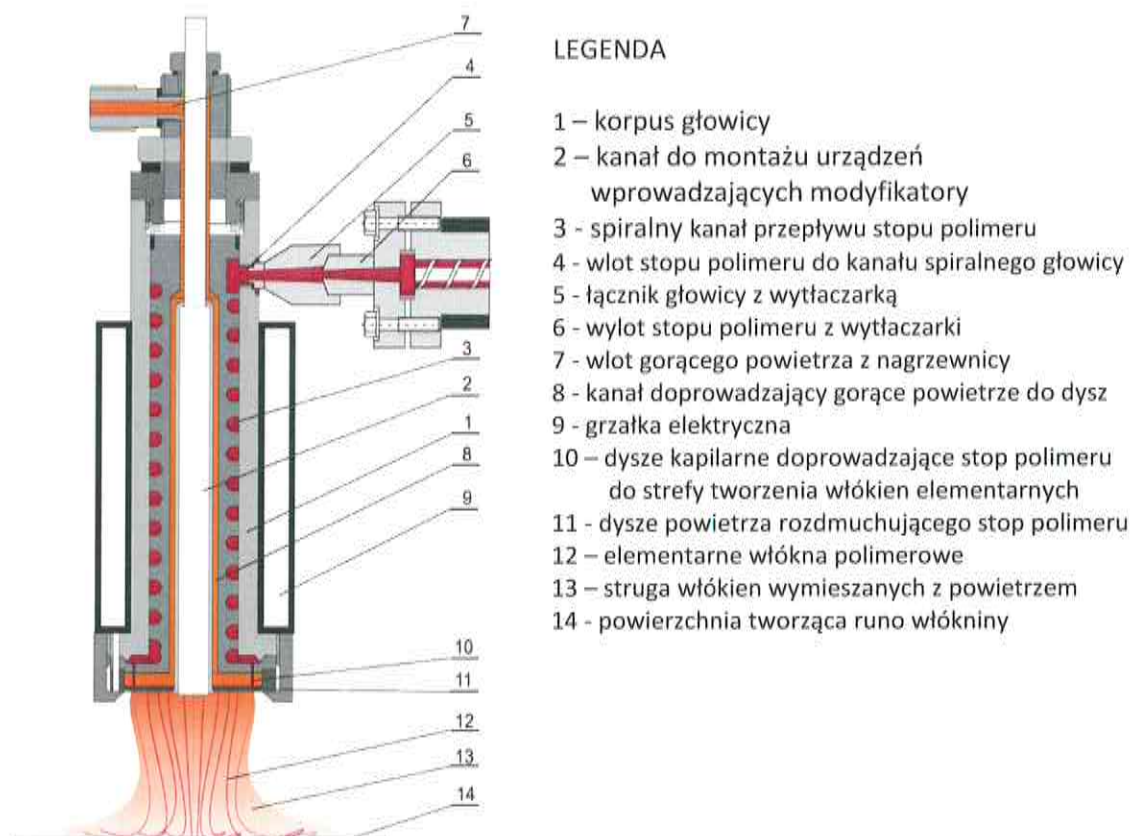
- **równomierne rozmieszczenie modyfikatorów w strukturze włókniiny,**
- **wyeliminowanie wpływu wysokich temperatur na strukturę modyfikatorów,**
- **uzyskanie lepszej efektywności procesu produkcji poprzez zmniejszenie strat ilości modyfikatorów w odniesieniu do przypadku, gdy były one dodawane do granulatu polimerowego i razem wprowadzane do leja zasypowego wytłaczarki jednoślismakowej.**

Prace badawczo-rozwojowe prowadziłam z ukierunkowaniem na opracowanie metody wprowadzenia modyfikatorów w postaci proszku w końcowej fazie formowania runa tzn. bezpośrednio w strugę plastycznego polimeru podczas tworzenia włókien elementarnych. **W tym celu opracowałam oryginalną modyfikację procesu pneumatycznego formowania runa polegającą na modyfikacji głowicy włóknotwórczej i jednocześnie urządzenia odbiorczego oraz zoptymalizowałam parametry procesu, ze szczególnym uwzględnieniem wydatku i temperatury rozdmuchu polimeru.**

Zadaniem opracowanej głowicy było ostateczne dogrzanie stopu polimeru, który po wyjściu z dysz polimerowych był rozdmuchiwany strumieniem gorącego powietrza, tworząc cienkie, elementarne włókna. W głowicy przedstawionej na rysunku 1 utworzono kanał, w którym przepływający stop polimeru osiągał wymaganą w procesie technologicznym lepkość. Kanał wykonano w postaci spiralnego rowka o długość około 1,5 m, naciętego na powierzchni zewnętrznej rdzenia głowicy. Niewielki przekrój poprzeczny kanału ($\sim 0,1 \text{ cm}^2$) zapewniał właściwy odbiór ciepła z przepływającego stopu polimeru, ponieważ płynący kanałem stop polimeru był grzany od zewnątrz grzałką elektryczną, a od wewnątrz gorącym powietrzem płynącym w kierunku dysz rozdmuchujących stopiony polimer na elementarne włókna. Zmiana kształtu rdzenia głowicy ze stożkowego na walcowy oraz zmiana przekroju kanału przepływu polimeru, ze zmniejszającego się w kierunku wylotu polimeru na przekrój stały o tych samych wymiarach, pozwoliła na wyeliminowanie niekorzystnego efektu zatykania się kanału przez grudki



zdegradowanego polimeru. Wyeliminowałam tym samym problemy związane z brakiem drożności jednej lub kilku dysz polimerowych powodujące wzrost ciśnienia i prędkości przepływu polimeru w pozostałych dyszach i zakłócające pracę głowicy. Krótki czas przebywania stopu w strefie grzanej powodował, że otrzymane włókna polimerowe posiadały odpowiednią odporność mechaniczną, ponieważ polimer nie ulegał degradacji.

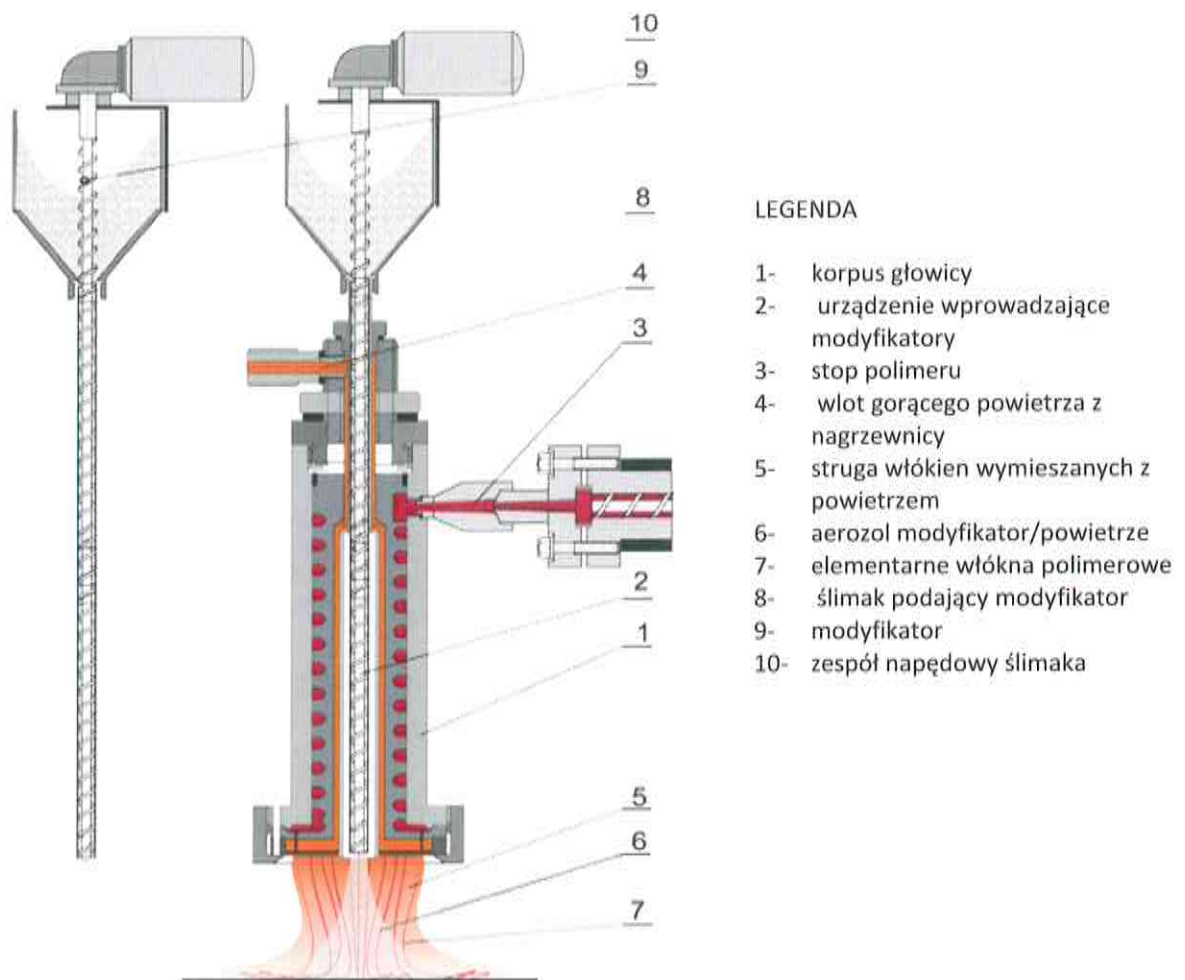


LEGENDA

- 1 – korpus głowicy
- 2 – kanał do montażu urządzeń wprowadzających modyfikatory
- 3 – spiralny kanał przepływu stopu polimeru
- 4 – wlot stopu polimeru do kanału spiralnego głowicy
- 5 – łącznik głowicy z wytłaczarką
- 6 – wylot stopu polimeru z wytłaczarki
- 7 – wlot gorącego powietrza z nagrzewnicy
- 8 – kanał doprowadzający gorące powietrze do dysz
- 9 – grzałka elektryczna
- 10 – dysze kapilarne doprowadzające stop polimeru do strefy tworzenia włókien elementarnych
- 11 – dysze powietrza rodmuchujące stop polimeru
- 12 – elementarne włókna polimerowe
- 13 – struga włókien wymieszanych z powietrzem
- 14 – powierzchnia tworząca runo włókniny

Rys.1 Przekrój osiowy głowicy włóknotwórczej pracującej bez modyfikatorów przystosowanej do współpracy z urządzeniami wprowadzającymi różne modyfikatory

Aby można było wprowadzić modyfikatory w postaci proszku bezpośrednio do głowicy włóknotwórczej opracowano urządzenie tłoczące modyfikator za pomocą transportu mechanicznego. Istotę rozwiązania przedstawiłam na rysunku 2.



Rys. 2 Zespół głowicy włóknotwórczej i urządzenia wprowadzającego modyfikator w postaci proszków za pomocą transportu mechanicznego

Urządzenie wprowadzające modyfikator, umieszczone w kanale głowicy włóknotwórczej, składa się z leja zasypowego z przymocowanym zespołem napędowym silnika o regulowanej prędkości obrotowej, który jest połączony ze ślimakiem. Ślimak umiejscowiony jest centralnie i symetrycznie w osi kanału głowicy i przechodzi przez całą jego długość. Umożliwia on tłoczenie modyfikatora w sposób ciągły i w pełni kontrolowany do kanału głowicy z możliwością jego dozowania w ściśle określonych proporcjach.

Dodatkowo ze względów ochrony środowiska korzystne było wprowadzenie również zmian w konstrukcji urządzenia odbiorczego linii technologicznej do wytwarzania włókien filtracyjnych metodą pneumatycznego formowania runa. Zmiany te polegały na wbudowaniu filtru na wylocie z wentylatora wytwarzającego podciśnienie pod siatką zbierającą włókna. Filtr ten wyłapywał cząstki modyfikatora z powietrza uchodzącego do atmosfery. Konstrukcja urządzenia odbiorczego pozwala na skuteczne osadzanie się najcieńszych włókien elementarnych z modyfikatorem bezpośrednio w trakcie procesu ich wytwarzania.

Wyniki tych prac rozwojowych ze względu na swój pionierski charakter stanowiły podstawę do uzyskania patentu, którego jestem współautorem i który stanowi osiągnięcie naukowe **H-1**, a najważniejsze wnioski z tych badań przedstawiłam w publikacji **H-2**.

Opracowanie nowej metodyki badania penetracji nanoaerozoli przez materiały filtracyjne

Dalsze moje badania ukierunkowałam na rozwój pneumotermicznych włókien filtracyjnych przeznaczonych do filtracji nanoaerozolami. Ze względu na fakt, że brak było metod oceny materiałów filtracyjnych przeznaczonych do ochrony układu oddechowego przed nanoaerozolami równoległe do prac technologicznych moje zainteresowania naukowe ukierunkowałam na opracowanie i wdrożenie do stosowania metodyki badania penetracji nanoaerozoli przez materiały filtracyjne z uwzględnieniem specyfiki warunków stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego w środowisku pracy. W ramach projektu nr POIG.01.01.02-10-018/09 pt. „Innowacyjne materiały polimerowe i węglowe chroniące przed nanocząsteczkami, parami i gazami” opracowałam założenia i metodykę badawczą umożliwiającą ocenę penetracji nanoaerozoli o stałej fazie rozproszenia biorąc pod uwagę takie czynniki jak: zagrożenia i warunki środowiskowe występujące na stanowiskach pracy, właściwości fizykochemiczne aerozoli i ich ładunek elektrostatyczny, wymagania dotyczące natężenia przepływu przez badany filtr i rozkład wymiarowy cząstek aerozoli, stężenie aerozolu i ciśnienie w atomizerze. W początkowej fazie prowadziłam prace badawcze, których celem było określenie czy do badań skuteczności materiałów filtrujących stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego do ochrony przed nanocząstkami konieczne jest wykorzystanie aerozoli rzeczywistych. Badania polegały na przepuszczeniu przez badaną włókninę filtracyjną o powierzchni $0,01 \text{ m}^2$, umieszczoną w komorze badawczej, nanoaerozolu testowego z ustalonym natężeniem przepływu. Badania penetracji wobec aerozoli zawierających nanocząsteczki dla wytworzonych włókien filtracyjnych prowadziłam przy użyciu elektrostatycznego klasyfikatora model 3080 firmy TSI i kondensacyjnego licznika nanocząstek model 3775 firmy TSI. Zakres pomiarowy zastosowanego układu umożliwiał prowadzenie badań dla cząstek od 7 do 270 nm z podziałem na 90 klas pomiarowych. Czas badania ustalono na 7 minut tak, aby umożliwić obliczenie wartości średniej pomiaru penetracji dla 3 cykli trwających po 126 s, z uwzględnieniem 15 s przerwy między cyklami pomiarowymi, w celu wyzerowania elektrostatycznego klasyfikatora cząstek. Stężenie tego aerozolu mierzone było przed i za badanym filtrem przy wykorzystaniu licznika cząstek. Umożliwiło to uzyskanie wyników w zakresie od 0,0001 % do 100 % skuteczności filtracji. Aeroszol testowy uzyskiwałam za pomocą generatora Collison'a z 0,1% roztworu bądź zawiesiny. Generator składał się ze szklanego zbiornika oraz głowicy wyposażonej w 3 dysze



rozpylające. Do generatora dostarczane było powietrze pod ciśnieniem 345 kPa, a powstający strumień powietrza zawierający rozpyloną ciecz, uderzał o ściany naczynia, które zatrzymywały duże cząstki. Cząstki, które nie zostały usunięte ze strumienia powietrza były mieszane ze strumieniem suchego powietrza, co powodowało odparowanie wody i otrzymanie suchych cząstek aerozolu. Uzyskiwany w tych warunkach strumień mieszał się z suchym powietrzem o odpowiednim dla potrzeb badań natężeniu, co dawało w rezultacie natężenie przepływu w zakresie od 10 l/min do 120 l/min. Aby móc wybrać odpowiedni aerozol testowy zawierający nanocząstki w zakresie ich wielkości od 7 nm do 270 nm do badań zastosowałam 4 aerozole rzeczywiste otrzymywane z wodnego roztworu bądź zawiesiny następujących substancji: chlorek sodu (NaCl), dwutlenek tytanu (Anatase), dwutlenek tytanu (Rutyle) oraz nanorurki glinokrzemianowe (Al-Si) oraz wytworzyłam polipropylenowe włókniny filtracyjne bez aktywacji elektrostatycznej o różnych masach powierzchniowych: 30 g/m², 70 g/m², 50 g/m² i 90 g/m². W celu uwzględnienia wpływu odmiennej skłonności przylegania cząstek aerozoli do powierzchni włókien w zależności od ich morfologii i natury aerozole dobrałam w taki sposób, aby charakteryzowały się one różnym kształtem i strukturą morfologiczną. Ustaliłam zmiany penetracji nanocząsteczek aerozoli przez materiał filtrujący w zależności od rozmiarów nanocząstek dla szerokiego zakresu mas powierzchniowych włókien. **W wyniku przeprowadzonej analizy statystycznej sformułowałam niezwykle ważny wniosek, że nie ma istotnych różnic pomiędzy wynikami penetracji poszczególnych aerozoli we wszystkich badanych przypadkach. Wykazałam, że do oceny poprawy efektywności filtracji materiałów filtracyjnych stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego wobec zagrożeń jakimi są nanocząstki możliwe jest zastosowanie dowolnego aerozolu testowego o wymiarach od 7 nm do 270 nm.** We wszystkich badanych przypadkach penetracja kształtowała się na jednakowym poziomie. Kształt cząstek o wymiarach w skali nano nie miał wpływu na penetrację. Opis nowej, oryginalnej metodyki badań mojego autorstwa po raz pierwszy przedstawiłam w publikacji H-3.

Opracowaną metodykę badań penetracji nanoaerozoli przez materiały filtracyjne wykorzystałam do dalszych badań, których podstawowym celem było wyznaczenie skuteczności filtracji materiałów powszechnie stosowanych w konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego, z uwzględnieniem ich porowatości, stopnia naelektryzowania, a także zmiennych parametrów środowiskowych takich, jak: prędkość przepływu nanoaerozolu modelowego i wielkość nanocząstek. Najczęściej wykorzystywane w konstrukcji filtrującego sprzętu ochrony układu oddechowego układy zawierają od strony wlotu powietrza włókniny o grubych włóknach odpowiadające za wstępną filtrację dużych cząstek zanieczyszczeń, kolejne warstwy stanowią włókniny o cienkich włóknach (o średnicy rzędu kilku mikronów) odpowiedzialne za filtrację właściwą najmniejszych cząstek

aerozoli. Do badań wytypowałam komercyjnie dostępne materiały filtracyjne otrzymywane różnymi technikami włókienniczymi: włókniny wytwarzane techniką klasycznego igłowania, włókniny igłowane z efektem tryboelektrycznym, włókniny wytwarzane techniką pneumatycznego formowania runa oraz włókniny otrzymywane techniką elektroprzędzenia z roztworu polimeru. Badania penetracji wobec nanoaerozolu prowadziłam z zastosowaniem aerozolu chlorku sodu ze względu na jego nietoksyczność przy następujących wartościach objętościowych natężeń przepływu: 1800 l/h, 2700 l/h, 3600 l/h, 4500 l/h, 5400 l/h.

Przeprowadzone eksperymenty pokazały, że **efektywność procesu zatrzymywania nanocząsteczek przez materiały filtracyjne silnie zależy, z jednej strony od zakresu wielkości nanocząsteczek aerozolu, a z drugiej od charakterystyki materiałów w zakresie ich struktury morfologicznej i właściwości elektrostatycznych.** Należy podkreślić, że materiały włókninowe o znacznej porowatości (relatywnie niska wartość oporu przepływu powietrza) nie powinny być stosowane do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego przed nanoaerozolem, gdyż nawet wzbudzenie w nich efektu tryboelektrycznego nie poprawia ich skuteczności na tyle, aby stanowiły wystarczające zabezpieczenie dla użytkowników sprzętu. Odnosząc analizę do bardziej porowatych materiałów, które charakteryzują się oporem przepływu powietrza w zakresie od 140 Pa do 950 Pa należy podkreślić, że żaden typ włókniny filtracyjnej stosowany do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego w pełni nie spełnia oczekiwań w zakresie skutecznego zatrzymywania nanocząsteczek szkodliwych aerozoli.

Przeprowadzone badania wskazują, że w praktyce do ochrony układu oddechowego przed aerozolami zawierającymi nanocząstki powinny być stosowane układy materiałów filtrujących zapewniające wychwytywanie nanocząstek równomiernie dla całego spektrum aerozolu (od 7 nm do 270 nm). **Wykazałam, że materiały filtracyjne stosowane do ochrony przed nanocząstkami charakteryzują się wysoką skutecznością filtracji jedynie dla pewnych przedziałów wielkości cząstek.** Wynika z tego istotny wniosek, że konieczne jest zatem poszukiwanie technologii modelowania i wytwarzania nanostruktur filtracyjnych, które zastosowane w filtrującym sprzęcie ochrony układu oddechowego w postaci filtrów przeciwpływowych lub półmasek filtrujących zapewnią skuteczną ochronę dla pracowników narażonych na wdychanie szkodliwych aerozoli zawierających **nanocząstki**. Wyniki badań wskazujących na konieczność opracowania nowych materiałów filtracyjnych przedstawiłam w publikacji H-4.



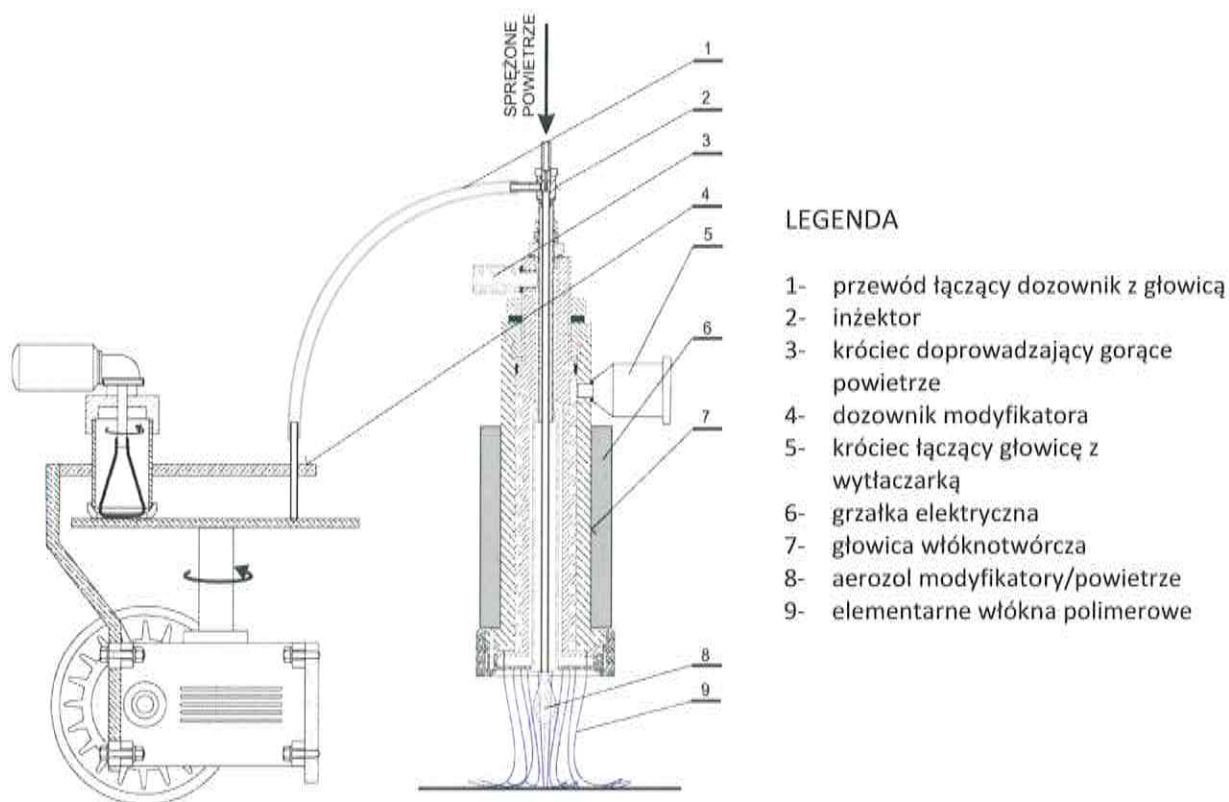
Opracowanie metody modyfikacji elektretowych włókien pneumotermicznych poprzez dobór odpowiednich modyfikatorów o zmiennych właściwościach elektrostatycznych w celu poprawy skuteczności włókien filtracyjnych wobec drobnodyspersyjnych aerozoli, w tym nanoaerozoli

Równolegle do badań przedstawionych w osiągnięciu naukowym i aplikacyjnym dotyczącym konstrukcji nowej głowicy włóknotwórczej moje zainteresowania ukierunkowałam na modyfikację elektretowych włókien pneumotermicznych poprzez dobór odpowiednich modyfikatorów o zmiennych właściwościach elektrostatycznych w celu poprawy skuteczności filtracji tych włókien wobec nanoaerozoli. Jest to moje oryginalne autorskie rozwiązanie opracowane w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka projektu nr POIG.01.01.02-10-018/09 pt. "Innowacyjne materiały polimerowe i węglowe chroniące przed nanocząsteczkami, parami i gazami", którego byłam kierownikiem i prowadziłam nadzór merytoryczny nad zadaniami realizowanymi przez pracowników CIOP-PIB i Politechniki Łódzkiej. Jednym z celów tego projektu było **opracowanie technologii wytwarzania włókien zawierających modyfikatory techniką pneumotermicznego formowania runa (zwaną w literaturze światowej jako melt-blown) na skalę wielkolaboratoryjną.**

Analiza danych literaturowych w zakresie zjawiska filtracji nanoaerozoli w materiałach filtracyjnych wykazała, że najskuteczniejszym mechanizmem wychwytywania nanocząsteczek przez materiał filtracyjny jest mechanizm oparty na siłach pola elektrostatycznego wytwarzanego przez ładunki elektrostatyczne naniesione na włókna. W wyniku przeprowadzonej analizy literaturowej oraz badań własnych związanych z technologią wytwarzania włókien igłowanych z efektem tryboelektrycznym i technologią pneumotermicznego formowania runa w ramach realizowanych projektów założyłam, że filtrujące materiały polimerowe ładowane będą poprzez wyładowania koronowe za pomocą aktywatora do nanoszenia ładunków elektrostatycznych, natomiast wprowadzane modyfikatory ładowane będą tryboelektrycznie (przez tarcie) w przewodzie łączącym wykonanym z PCV. Do tego celu wykorzystałam opracowaną nową konstrukcję głowicy włóknotwórczej umożliwiającą wprowadzanie modyfikatorów bezpośrednio w strugę półpłynnych włókien polimerowych. Podczas przeprowadzania prób technologicznych z modyfikatorami w postaci żywicy naturalnej gromadzącej ładunek ujemny okazało się, że niemożliwe jest jej wprowadzenie w strugę polimeru sposobem opracowanym według wynalazku przedstawionym w patencie **H-1**, gdzie modyfikator wprowadzany był za pomocą ślimaka. Żywica naturalna nieodporna na temperaturę występującą w strefie grzania głowicy oklejała ślimak, co uniemożliwiało podawanie jej z dozownika do urządzenia wprowadzającego modyfikator w strugę elementarnych włókien. Ze względu na fakt, że jedynie próby wykonane z modyfikatorami odpornymi na wysokie



temperatury (np. modyfikowany perlit z naniesioną substancją czynną, czysty perlit (skała pochodzenia wulkanicznego)) dawały bardzo dobre wyniki, które przedstawiłam w patencie **H-1** i publikacji **H-2**, zaistniała konieczność modyfikacji głowicy współpracującej z urządzeniem wprowadzającym modyfikator. Wspólnie z zespołem autorów wymienionych w patencie **H-5**, opracowałam rozwiązanie zachowujące zalety podawania modyfikatora za pomocą ślimaka i usuwające wadę zbyt długiego jego przebywania w kanale głowicy. Polegało ono na wprowadzeniu w strugę stopionego polimeru modyfikatora w postaci stałej (proszku) i trwałego jego połączenia z polimerem włóknotwórczym poprzez zastosowanie nowatorskiej konstrukcji głowicy włóknotwórczej przedstawionej na rysunku 3.



Rys. 3. Zespół głowicy włóknotwórczej i urządzenia wprowadzającego modyfikator w postaci proszku

Oryginalność tego rozwiązania polegała na zastosowaniu urządzenia wprowadzającego modyfikator za pomocą transportu pneumatycznego. Do głowicy włóknotwórczej od góry wprowadzany był iniektor zasilany sprężonym powietrzem. Sprężone powietrze wypływając z dyszy iniektora wytwarzało w komorze mieszania aerosolu podciśnienie, które służy do pobierania modyfikatora z dozownika. Modyfikator rozcieńczony przez rozprężające się powietrze był podawany w postaci aerosolu, przewodem znajdującym się w kanale głowicy do przestrzeni wytwarzania

włókien. Tą metodą można wprowadzić każdy rodzaj modyfikatora w postaci proszku charakteryzujący się niską odpornością na wysokie temperatury, ponieważ konstrukcja głowicy pozwala na znaczne skrócenie czasu przebywania modyfikatora w jej strefie grzanej. Rozwiązanie według wynalazku eliminuje podawanie modyfikatorów za pomocą ślimaka umieszczonego w kanale głowicy włóknotwórczej i zapewnia wygodne podawanie dowolnego modyfikatora centralnie i symetrycznie do strefy wytwarzania włókien, co pozwala na równomierne jego nanoszenie w strukturę wytwarzanego runa włókniny.

W publikacjach **H-6** i **H-7** przedstawiłam pierwsze wyniki badań z wykorzystaniem nowej unikatowej konstrukcji głowicy przystosowanej do modyfikatorów nieodpornych na wysokie temperatury. Celem badań w nich opisanych było opracowanie sposobu poprawy skuteczności polipropylenowych (PP) i poliwęglanowych (PC) elektretowych pneumatycznych włókien filtracyjnych wobec nanocząstek z wykorzystaniem modyfikatorów o różnym potencjale elektrostatycznym. W procesie modyfikacji zastosowałam dwa granulaty: żywicę naturalną (bursztyn) gromadzącą ładunek ujemny oraz skałę pochodzenia wulkanicznego (perlit) gromadzącą ładunek dodatni. Modyfikatory w postaci granul dodawane były na etapie tworzenia włókien PC i PP w ilości 5 % w stosunku do masy polimeru zgodnie z patentem **H-5**. Wytworzyłam włókniny filtracyjne o masie powierzchniowej 90 g/m^2 i bardzo cienkich włóknach dla PP - średnia średnica włókna wynosiła $0,74 \text{ }\mu\text{m}$, a dla PC – $1,04 \text{ }\mu\text{m}$. W celu nadania włókninom właściwości elektrostatycznych zastosowałam urządzenie do aktywacji elektrostatycznej metodą wyładowań koronowych. Posiadało ono dwie elektrody ostrzowe umieszczone przy urządzeniu odbiorczym, do których doprowadzone było napięcie dodatnie i przeciwelektrodę umieszczoną pod siatką zbierającą runo włókniny, do której doprowadzone było napięcie ujemne. Sumaryczne napięcie ładowania wynosiło 30 kV. Układ taki pozwalał na kontrolę przepływu ładunków, które nie ulegały rozproszaniu.

Uzyskałam bardzo dobre parametry penetracji cząstek aerozoli chlorku sodu i mgły oleju parafinowego oraz nanocząstek chlorku sodu dla wytworzonych włókien filtracyjnych. W badaniach potwierdziłam, że zastosowanie wyładowań koronowych podczas formowania włókien w technologii pneumatycznego formowania runa wpływa znacząco na wzrost skuteczności wyłapywania cząstek zanieczyszczeń ze strumienia przepływającego powietrza. Dobór odpowiednich modyfikatorów spowodował lepsze naładowanie włókien w wyniku zastosowania wyładowań koronowych. Spadek liczby cząstek penetrujących przez elektretowe włókniny filtracyjne, w porównaniu do wariantów nie elektretowych, był na zbliżonym poziomie we wszystkich przebadanych wariantach, przed i po modyfikacji. Ze względu na fakt, iż w badaniach stosowane są dwa rodzaje cząstek aerozoli, tj. stałe, których reprezentantem jest chlorek sodu oraz ciecze, których reprezentantem jest mgła oleju parafinowego, wystąpiły różnice w wartościach penetracji aerozoli dla tych

samych wariantów włókien. Wynika to z różnicy wielkości cząstek obu rodzajów aerozoli oraz ich własności elektrostatycznych, a w konsekwencji dominacji różnych mechanizmów depozycji cząstek cieczy (mgieł) i stałych (pyłów) na włóknach.

Odmienne rezultaty zaobserwowałam w odniesieniu do penetracji nanocząstek NaCl. W przypadku włókien nie elektretowych wprowadzenie modyfikatorów nie spowodowało istotnych zmian w skuteczności depozycji nanocząstek na włóknach PP. Dominującym mechanizmem depozycji nanocząstek był w tym przypadku mechanizm dyfuzyjny, na efektywność którego znacząco wpływa prędkość przepływu aerozolu i średnica włókna. **Jednakże wprowadzenie modyfikatorów do włókien elektretowych spowodowało oczekiwany wzrost ich skuteczności w porównaniu do włókien elektretowych niemodyfikowanych.** Wynika z tego, że zatrzymywanie cząstek w materiale filtracyjnym występowało na skutek sił elektrycznych. Włókna z naniesionym ładunkiem elektrycznym przyciągały zarówno cząstki obojętne jak i naładowane elektrycznie. Wyłapywanie cząstek przeciwnie naładowanych odbywało się poprzez oddziaływanie sił Culomba, a cząstek naładowanych obojętnie poprzez oddziaływanie sił polaryzacyjnych. **Badania wykazały, że obiecującym kierunkiem poprawy skuteczności elektretowych włókien wobec nanocząstek było wzmocnienie efektu oddziaływań sił elektrostatycznych poprzez wprowadzenie modyfikatorów i zastosowanie metody wyładowań koronowych.**

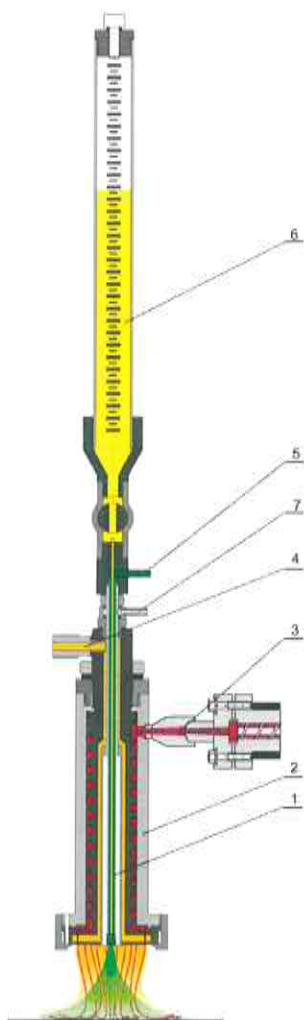
Moje badania wykazały, że istnieje możliwość wytwarzania oraz modyfikacji PP i PC elektretowych włókien filtracyjnych otrzymywanych w procesie pneumotermicznego formowania runa z ukierunkowaniem na poprawę ich skuteczności filtracji (spadek ilości cząstek penetrujących przez włókniny filtracyjne) w wyniku domieszkowania polimeru PC i PP modyfikatorami o różnych potencjałach elektrostatycznych. W wyniku zastosowania modyfikacji włókien granulami perlitu (ładunek dodatni) i dodatnich wyładowań koronowych uzyskano lepszy efekt wzrostu skuteczności filtracji elektretów niż w przypadku zastosowania granul bursztynu (ładunek ujemny) i dodatnich wyładowań koronowych. Zastosowanie we włóknach PP i PC modyfikatorów o tym samym ładunku dodatnim, co wyładowania koronowe spowodowało zwiększenie ich potencjału elektrostatycznego.

Wyniki modyfikacji elektretowych włókien filtracyjnych podczas procesu pneumotermicznego formowania runa z ukierunkowaniem na ocenę ich efektywności w sprzęcie ochrony układu oddechowego przedstawiłam w publikacji H-8. Aspektem praktycznym tej pracy było wytworzenie półmasek filtrujących z wykorzystaniem opracowanych modyfikowanych strukturalnie materiałów filtracyjnych z polipropylenu (PP) i poliwęglanu (PC) o dobrej zdolności do gromadzenia ładunków elektrostatycznych, stanowiącej skuteczną ochronę przed nanocząstkami przenoszonymi drogą powietrzną. Opracowałam układy warstw włókien filtracyjnych, z których wykonane zostały dwa typy półmasek filtrujących. Układy składały się z: włókien igłowanych o znacznej porowatości odpowiedzialnych za filtrację wstępną i

elektretowych włóknin filtracyjnych modyfikowanych perlitem wytwarzanych z PP i PC o masie powierzchniowej 90 g/m^2 . Jako próbkę odniesienia (referencyjną) zastosowałam układ z półmaski komercyjnie dostępnej na rynku, w skład którego wchodziły włókniny igłowane i elektretowa włóknina filtracyjna o tej samej masie powierzchniowej. **Wykazałam, że opracowane typy półmasek filtrujących spełniają kryteria oceny na najwyższym poziomie co wskazuje na to, że półmaska filtrująca opracowana na bazie polimerowych materiałów filtracyjnych z modyfikatorami w pełni zapewnia ochronę przed aerozolami (pył, dym, mgła) w całym czasie użytkowania, w tym również przed nanoaerozolami.**

Opracowanie metody modyfikacji elektretowych włóknin pneumatycznych z wykorzystaniem modyfikatorów w postaci roztworów w celu uzyskania włókniny o strukturze nanometrycznej

Ze względu na fakt, że trudno było uzyskać zbliżoną do wymiarów włókien ziarnistość modyfikatorów w postaci proszku (tj. rzędu ok. $1\mu\text{m}$) dalsze prace badawcze ukierunkowałam na opracowanie metody wprowadzania modyfikatorów w postaci roztworów do włóknin pneumatycznych podczas procesu ich wytwarzania. Wspólnie z zespołem autorów wymienionych w patencie **H-9**, opracowałam rozwiązanie polegające na wprowadzeniu w strugę stopionego polimeru modyfikatora w postaci roztworu i trwałego jego połączenia z polimerem włóknotwórczym poprzez zastosowanie nowatorskiej konstrukcji głowicy włóknotwórczej przedstawionej schematycznie na rysunku 4.



LEGENDA

- 1 - urządzenie wprowadzające modyfikator
- 2 - głowica włóknotwórcza
- 3 - zasilanie stopem polimeru
- 4 - zasilanie gorącym powietrzem z nagrzewnicy
- 5 - zasilanie zimnym powietrzem rozpylającym roztwór modyfikatora
- 6 - roztwór modyfikatora
- 7- zasilanie zimnym powietrzem chłodzącym przewód z modyfikatorem

Rys.4. Zespół głowicy włóknotwórczej i urządzenia wprowadzającego modyfikator w postaci roztworów

Jest to nowatorskie rozwiązanie w skali światowej polegające na wytwarzaniu elektretowych włókien pneumatycznych zawierających w swej strukturze środki modyfikujące w rozmiarach nanometrycznych. Modyfikator roztworu organicznego w postaci aerozolu o jak najdrobniejszych kropelkach наносono w strukturę włókniny poprzez jego wprowadzanie w strefę wytwarzania włókien polimerowych. Proces ten odbywa się w przestrzeni między głowicą włóknotwórczą, a powierzchnią formowania runa. Rozwiązanie takie wymagało zastosowania głowicy włóknotwórczej umożliwiającej dodawanie aerozolu z nanomodyfikatorami możliwie centralnie między wychodzącymi z głowicy włóknami będącymi w fazie półpłynnej, co stwarzało dobre warunki na wymieszanie i połączenie cząstek aerozolu i włókien.

Opracowany sposób eliminuje konieczność mielenia środków modyfikujących przed dodaniem ich do struktury włókien na cząstki do wielkości zbliżonej do rozmiarów elementarnych włókien tworzących włókninę. Pozwala on również na uzyskanie cząstek modyfikatora o wielkościach kilkudziesięciu nanometrów przy zachowaniu ich dużej równomierności wymiarowej. Uzyskanie nanocząstek

modyfikatora jest szczególnie korzystne przy produkcji włóknin pneumatycznych zawierających w swej strukturze włókna o submikronowych średnicach i według obecnego światowego stanu techniki jest niemożliwe do uzyskania innymi metodami w tym procesie technologicznym. Korzystne jest to, że w procesie produkcji włóknin końcowa faza wytwarzania użytego modyfikatora powstaje jednocześnie z tworzeniem się włókien polimerowych. Rozwiązanie według wynalazku opisanego w patencie **H-9** pozwala na szybką i skuteczną modyfikację włóknin uzyskaną w łatwy sposób równocześnie z wytwarzaniem włókien w jednym procesie technologicznym, dobre wymieszanie włókien i środka modyfikującego, który zasysany jest do środka strugi wytwarzanych włókien i równomiernie nanoszony na ich powierzchni w całej objętości formowanego runa oraz uzyskanie modyfikatora w rozmiarze nanometrycznym. Technologia pneumatycznego formowania runa jest technologią otwartą i w przypadku wprowadzania modyfikatorów w postaci proszku powoduje niewielkie zapylenie, natomiast wprowadzenie modyfikatorów w postaci roztworów ogranicza to zapylenie podczas wytwarzania włóknin filtracyjnych. Rezultaty prowadzonych w tym obszarze badań przedstawiłam w publikacji **H-10**. Celem badań przedstawionych w publikacji było opracowanie sposobu wytwarzania polimerowych włóknin filtracyjnych techniką pneumatycznego formowania runa z jednoczesnym wprowadzaniem roztworów organicznych do procesu oraz sprawdzenie czy wprowadzone dodatki w postaci roztworów organicznych spowodują zmiany w strukturze morfologicznej, co przekłada się na poprawę ich właściwości filtracyjnych wobec aerozoli. W badaniach do modyfikacji włóknin PC i PP zastosowałam czysty alkohol etylowy oraz roztwory kalafonii w alkoholu etylowym o następujących stężeniach: 5,0 %, 1,0 %; 0,5 %; 0,1 %. W celu weryfikacji wpływu dodatku kalafonii i alkoholu etylowego na skuteczność filtracji przeprowadziłam również próby dla włókniny czystej nie zawierającej modyfikatorów, które stanowiły wariant kontrolny. Wprowadzone do PP i PC materiałów filtracyjnych modyfikatory analizowałam jakościowo za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego SEM. Obrazy SEM potwierdziły obecność modyfikatorów w materiałach polimerowych oraz pokazały stopień ich rozproszenia. Wytworzone włókniny filtracyjne z PC i PP poddałam badaniom skuteczności filtracji wobec nanocząstek wg opracowanej nowej metodyki badania penetracji nanoaerozoli przez materiały filtracyjne będącej moim osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego. **Uzyskałam bardzo dobre rezultaty w zakresie skuteczności zatrzymywania nanoaerozoli przez modyfikowane włókniny filtracyjne.** Badania penetracji wobec nanoaerozoli stosowane do oceny właściwości filtracyjnych sprzętu ochrony układu oddechowego wykazały, że dla włókniny otrzymywanej z **PC** w zakresie wielkości cząstek aerozolu od 20 nm do 270 nm najlepsze wyniki otrzymano dla włóknin modyfikowanych roztworem czystego alkoholu etylowego. Dla cząstek najsilniej penetrujących w zakresie od 125 nm do 200 nm uzyskałam dwukrotną poprawę skuteczności filtracji w porównaniu do włókniny nie modyfikowanej. Wynika to z



większej podatności włókien PC na modyfikację alkoholem etylowym w trakcie procesu formowania włókniny. Wprowadzenie roztworu organicznego w postaci alkoholu etylowego w trakcie procesu wytwarzania włókien PC spowodowało zmniejszenie ich średnicy oraz zmiany w budowie morfologicznej włókniny.

Dla włókniny otrzymywanej z PP w analogicznym zakresie wielkości cząstek najlepsze wyniki uzyskałam dla włókien modyfikowanych roztworem 0,1 % kalafonii w alkoholu etylowym. Dla cząstek najsilniej penetrujących w zakresie od 125 nm do 200 nm osiągnęłam również dwukrotną poprawę skuteczności filtracji dla włókniny modyfikowanej roztworem 0,1 % w porównaniu do włókniny nie modyfikowanej. Zastosowanie roztworu organicznego o większym stężeniu 5,0 % powodowało, to że cząstki dość gęsto osadzały się na powierzchni elementarnych włókien powodując zwiększenie ich wymiarów, co miało negatywny wpływ na proces filtracji.

Badania w tym zakresie będą przeze mnie kontynuowane.

Opracowanie dwu-etapowej modyfikacji elektretowych włókien pneumotermicznych z wykorzystaniem nanonapełniacza w celu poprawy efektywności elektryzacji włókien w wyniku wyładowań koronowych

Ciągła potrzeba poszukiwania coraz to efektywniejszych metod poprawy skuteczności filtracji oraz gwałtowny rozwój materiałów kompozytowych zainspirował mnie do poszukiwania kolejnych rozwiązań w kierunku otrzymywania nowych funkcjonalnych materiałów. Nowe możliwości uzyskania włókien chemicznych o wzbogaconych, w stosunku do wyrobów otrzymywanych z tradycyjnych materiałów, właściwościach funkcjonalnych i strukturalnych stwarza zastosowanie polimerów z dodatkiem nanonapełniaczy. Z danych literaturowych wynika, że wprowadzenie do matrycy polimerowej nanonapełniacza, może wpływać na właściwości mechaniczne, termiczne, optyczne, elektrostatyczne bądź biologiczne otrzymywanych włókien polimerowych. Charakter uzyskiwanych właściwości zależy m.in. od kształtu i rozmiaru wprowadzanych nanocząstek, ich powierzchni właściwej oraz od sposobu rozmieszczenia nanocząstek w matrycy polimerowej. Prace w tym obszarze prowadziłam będąc wykonawcą projektu realizowanego w ramach działalności statutowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy - PIB pt.: „Analiza i optymalizacja procesu aktywacji elektrostatycznej nowoczesnych filtracyjnych kompozytów polimerowych stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego” w latach 2014-2015. Podstawowym celem projektu było przeprowadzenie szczegółowej analizy zjawisk zachodzących w nowoczesnych kompozytowych materiałach polimerowych, aktywowanych w polu elektrostatycznym, z ukierunkowaniem na poprawę stabilności właściwości filtracyjnych materiałów stosowanych do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego. **Założyłam, że zastosowanie innowacyjnych elektretowych**

materiałów filtracyjnych zawierających nanonapełniacz POSS przyczyni się do wydłużenia czasu bezpiecznego stosowania sprzętu wytwarzanego na bazie opracowanych materiałów filtracyjnych.

Asumptem do podjęcia badań opisanych w pracy **H-11** były obiecujące światowe doniesienia literaturowe o możliwości zastosowania nanonapełniacza oktawinilo-POSS do poprawy elektrostatycznych właściwości materiałów filtracyjnych. Wytworzyłam cztery rodzaje włóknin filtracyjnych z izotaktycznego polipropylenu o temperaturze topnienia 160 °C – 170 °C i wskaźniku szybkości płynięcia MFI równym 3,4 g/10 min. Do modyfikacji polimeru zastosowałam oktaizobutylo - POSS nietoksyczny związek krzemooorganiczny o czystości 99,9 % w postaci białego proszku o temperaturze topnienia 267 °C – 273 °C, który przed procesem produkcji włóknin został wymieszany w masie polimeru z wykorzystaniem dwuślimakowej wytłaczarki. Z uzyskanego regranulatu (wskaźnik płynięcia MFI = 5,16 g/10 min), wytworzyłam pneumotermiczne włókniny filtracyjne o masie powierzchniowej ok. 100 g/m², które w czasie ich formowania zostały poddane aktywacji elektrostatycznej metodą wyładowań koronowych, z 10 % dodatkiem nanonapełniacza POSS i bez dodatku nanonapełniacza. Opracowałam **założenia technologiczne do produkcji pneumotermicznych włóknin filtracyjnych z regranulatu oraz ustaliłam warunki procesu aktywacji elektrostatycznej tak, aby uzyskać jak najlepszy efekt koronizacji zapewniający skuteczność filtracji wobec nanoaerozoli na drodze oddziaływań elektrostatycznych**. Stwierdziłam, że zastosowanie dwuetapowej modyfikacji obejmującej wprowadzenie nanonapełniacza POSS do matrycy polimerowej i aktywację elektrostatyczną metodą wyładowań koronowych wpłynęło w znacznej mierze na wzrost skuteczności wychwytywania nanocząstek aerozolu chlorku sodu ze strumienia przepływającego powietrza. Włókniny poddane aktywacji elektrostatycznej charakteryzowały się ponad 10-krotnie większą skutecznością filtracji nanoaerozoli w stosunku do włóknin nie poddanych aktywacji. Penetracja nanocząstek przez włókninę poddaną aktywacji elektrostatycznej z dodatkiem nanonapełniacza była o połowę mniejsza od wartości tego parametru dla włókniny poddanej aktywacji ale bez dodatku nanonapełniacza. Względna poprawa wskaźnika penetracji nanocząstek dla włóknin poddanych aktywacji elektrostatycznej w stosunku do włóknin nie poddanych aktywacji była ponad 2-krotnie większa dla materiałów zawierających nanonapełniacz. Świadczyło to o większej podatności tego typu materiału na aktywację elektrostatyczną metodą wyładowań koronowych. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej struktury morfologicznej włóknin w zakresie rozkładu średnic włókien elementarnych obu wariantów włóknin filtracyjnych stwierdziłam, że różnica pomiędzy średnią średnicą włókien wariantu włókniny bez nanonapełniacza - 1,1 µm, a średnią średnicą włókien wariantu włókniny z nanonapełniaczem POSS - 0,7 µm - była statystycznie istotna.

Wykazałam, że zastosowanie nanonapełniacza w produkcji elektretowych włóknin filtracyjnych spowodowało uzyskanie cieńszych włókien polimerowych w całej objętości włókniny, co miało decydujący wpływ na poprawę skuteczności filtracji wobec nanoaerozoli.

Opracowanie metody modyfikacji filtracyjnych włóknin pneumatycznych z wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej jako wzmocnienie sposobu poprawy skuteczności filtracji

W dążeniu do nieustającej poprawy skuteczności włóknin filtracyjnych otrzymywanych w procesie pneumatycznego formowania runa poprzez ich modyfikację za pomocą aktywacji elektrostatycznej metodą wyładowań koronowych moje zainteresowania skierowałam na inny rodzaj modyfikacji, którą stanowi modyfikacja z wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej (PNT).

Wstępne badania, które prowadziłam miały na celu rozpoznanie podstawowych zależności pomiędzy parametrami procesowymi obróbki plazmą niskotemperaturową (rodzajem gazu roboczego, ciśnieniem, mocą i czasem obróbki) a parametrami strukturalnymi włókniny mającymi wpływ na skuteczność filtracji i opory przepływu powietrza. Wyniki tych badań przedstawiłam w publikacji H-12. Do badań zastosowałam jeden rodzaj polipropylenowej włókniny filtracyjnej wytwarzanej w procesie pneumatycznego formowania runa na stanowisku doświadczalnym będącym na wyposażeniu Zakładu Ochrony Osobistych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego (CIOP-PIB). Mój wkład merytoryczny polegał na opracowaniu i wytworzeniu materiału filtrującego o odpowiedniej strukturze morfologicznej oraz przeprowadzeniu badań w zakresie podstawowych właściwości filtracyjnych.

Podstawowym celem tych badań była jednostronna modyfikacja techniką plazmy niskotemperaturowej RF włóknin polipropylenowych otrzymywanych w procesie pneumatycznego formowania runa mająca wpływ na poprawę właściwości filtracyjnych stosowanych w sprzęcie ochrony układu oddechowego. Stwierdziłam, że włókniny wytworzone z cieńszych włókien elementarnych bardziej są podatne na modyfikację ich powierzchni i trawienie techniką plazmy niż włókniny zawierające w swojej strukturze włókna grube. Uzyskałam poprawę skuteczności filtracji wobec aerozolu chlorku sodu o ponad 80 % w stosunku do włóknin filtracyjnych nie poddanych obróbce plazmą. Potwierdziło to moje wnioski z prowadzonych wcześniej prac badawczych związanych z procesem aktywacji elektrostatycznej włóknin. **Stwierdziłam wówczas, że efektywność tego procesu jest wprost zależna od wielkości czynnej powierzchni włókien - nośnika ładunków.** Badania wykazały, że zmniejszenie grubości włókien i w konsekwencji wzrost ich

liczności w masie włókniny powoduje zwiększenie jej powierzchni dostępnej dla ładunków elektrycznych i znaczącą poprawę procesu koronizacji.

Wspólnie z autorami publikacji doszliśmy do wniosku, że stosując różne media plazmotwórcze: gazowe węglowodory, powietrze, lotne ciekłe związki krzemoorganiczne oraz optymalizując odpowiednio parametry procesowe w zależności od typu zastosowanego związku plazmotwórczego takie, jak: ciśnienie, moc wyładowania, szybkość przepływu gazów roboczych i czas oddziaływania plazmy na włókninę można zmodyfikować strukturę powierzchni filtracyjnych włókien polipropylenowych celem uzyskania wysokiej skuteczności filtracji przy nie zmienionych oporach przepływu powietrza. Wyniki tej pracy ze względu na swój nowatorski charakter stanowiły podstawę do opracowania zgłoszenia patentowego i uzyskania patentu, którego jestem współautorem – **H-13**.

Wspólnie z zespołem autorów wymienionych w patencie **H-13** opracowałam rozwiązanie, które polegało na modyfikacji uformowanej włókniny w procesie pneumotermicznego formowania runa w taki sposób, aby nie uległa zmianie jej wyjściowa struktura, natomiast podlegały zmianie właściwości fizykochemiczne włókien elementarnych tworzących włókninę. Do realizacji wynalazku wykorzystano plazmę niskotemperaturową stanowiącą nowoczesne narzędzie subtelnej modyfikowania powierzchni materiałów, powodujące zmiany właściwości chemicznych, fizykochemicznych i mechanicznych warstwy powierzchniowej materiałów. W efekcie oddziaływanie plazmy prowadzi do uzyskania pożądanych właściwości fizykochemicznych powierzchni włókien polimerowych tj. zwiększenie porowatości i możliwości gromadzenia ładunku. Zgodnie z opracowanym według wynalazku sposobem modyfikacji włókien filtracyjnych wytwarzano plazmę w elektrycznym wyładowaniu jarzeniowym, za pomocą zmiennego pola o częstotliwości radiowej 13,56 MHz. Proces modyfikacji włókien realizowany był w szklanym reaktorze, wyposażonym w dwie naprzeciwległe elektrody miedziane, umieszczone na zewnątrz reaktora, do których moc była doprowadzona z generatora wysokich częstotliwości przez rezonansowy układ dopasowujący. Stosowano różne media plazmotwórcze: gazowe węglowodory, powietrze, lotne ciekłe związki krzemoorganiczne. Modyfikacja PNT umożliwia zwiększenie efektywności depozycji cząstek aerozoli na włókninach filtracyjnych o różnej strukturze, grubości włókien i współczynniku wypełnienia nie powodując jednocześnie zmian oporów przepływu gazu nośnego. Oddziaływanie PNT na włókninę powoduje trwałe zwiększenie efektywnego pola powierzchni włókien. **Oryginalność tego wynalazku polega na modyfikacji uformowanej włókniny melt-blown w taki sposób, aby nie uległa zmianie wyjściowa struktura włókniny, natomiast podlegały zmianie właściwości fizyczne, fizykochemiczne i chemiczne włókien tworzących włókninę. Nastąpił wzrost skuteczności filtracji włókien na skutek rozwinięcia powierzchni filtracyjnej.** Aby sprawdzić czy ten efekt był trwały w czasie dalsze prace naukowo-badawcze związane z modyfikacją włókien z wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej



wykonywałam we współpracy z Katedrą Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej Politechniki Łódzkiej w ramach projektu pt. „*Badanie zjawisk zachodzących w wysokoskutecznych układach filtracyjnych modyfikowanych w środowisku plazmy niskotemperaturowej*” (Program wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”). Badania właściwości filtracyjnych włókien pneumatycznych prowadziłam w celu ustalenia wpływu zmian fizyko-chemicznych powierzchni włókien polipropylenowych (rozwiniecie powierzchni i zmianę zwilżalności), uzyskanych na drodze modyfikacji w środowisku plazmy niskotemperaturowej, na skuteczność filtracji wobec drobnodispersyjnych aerozoli oraz oceny trwałości wzrostu skuteczności filtracji włókien pneumatycznych po przechowywaniu w czasie 12 miesięcy i oddziaływaniu wysokiej temperatury i wilgotności względnej powietrza. Ocenę efektów modyfikacji przeprowadziłam wyznaczając wskaźnik penetracji wobec drobnodispersyjnych aerozoli, zmiany topografii powierzchni z wykorzystaniem mikroskopii SEM oraz zmiany charakteru chemicznego powierzchni włókien elementarnych stanowiących bazowy materiał włókniny filtracyjnej z wykorzystaniem spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni. Obróbkę w środowisku plazmy prowadziłam z wykorzystaniem gazu inertnego – argonu, przy zmiennych parametrach procesowych. Wybór gazu obojętnego był podyktowany założeniem, że podstawowy efekt wzrostu skuteczności filtracji zostanie uzyskany na drodze rozwiniecia powierzchni włókien. Ponadto uwzględniając doniesienia literaturowe i wcześniejsze doświadczenia autorów sprawdziłam możliwość uzyskania efektu poprawy skuteczności filtracji włókien w wyniku wzrostu energii swobodnej powierzchni włókien. Badania te były prowadzone w gazie oksydacyjnym - powietrzu oraz w gazach polimeryzujących – azocie i tlenie. Wyniki badań przedstawiłam w publikacji H-14. W przypadku zastosowania plazmy argonowej do modyfikacji powierzchni włókien PP zaobserwowano spadek penetracji mgły oleju parafinowego sięgający 82 %. Odmienne rezultaty otrzymałam dla wariantów włókien modyfikowanych w plazmie z użyciem gazów reaktywnych chemicznie. Wyniki badań penetracji mgły oleju parafinowego uzyskane dla włókien modyfikowanych w azocie, tlenie i powietrzu wskazują, że w tym przypadku oddziaływanie plazmy niskotemperaturowej tylko w sposób minimalny wpłynęło na skuteczność filtracji. Modyfikacja włókien filtracyjnych w środowisku argonu głównie spowodowała zmiany topografii powierzchni polimerów, z ukierunkowaniem na rozwiniecie powierzchni tworzywa polimeru. Największe nierównomierności powierzchni zaobserwowałam w przypadku zastosowania argonu, natomiast nie zaobserwowałam znaczących różnic w morfologii powierzchni włókien elementarnych modyfikowanych azotem, tlenem i powietrzem. Zmiany charakteru chemicznego powierzchni włókien elementarnych stanowiących bazowy materiał włókniny filtracyjnej z wykorzystaniem spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni uwiaryściły się wyraźnie w próbkach traktowanych plazmą argonową dopiero przy dużej mocy wzbudzenia (200 W) i długim czasie oddziaływania plazmy na włókna (300 s). We wszystkich przebadanych



wariantach włóknin filtracyjnych nie zaobserwowałam znacznego wpływu czasu przechowywania (12 miesięcy) oraz oddziaływania wysokiej temperatury i wilgotności na trwałość uzyskanych efektów modyfikacji w postaci wzrostu skuteczności filtracji włóknin pneumatycznych. **Wykazałam, że modyfikacja włóknin filtracyjnych w środowisku argonu spowodowała trwałe zmiany na powierzchni włókien, co miało znaczący wpływ na wzrost skuteczności filtracji wobec aerozoli drobnodispersyjnych.** Stwierdziłam, że technika plazmy niskotemperaturowej jest obiecującym kierunkiem do prowadzenia dalszych badań w celu poprawy właściwości filtracyjnych włóknin stosowanych do ochrony układu oddechowego przed szkodliwymi drobnodispersyjnymi aerozolami ze względu na inny charakter zjawisk związanych z depozycją cząstek cieczy na włóknie w odniesieniu do cząstek stałych.

Podsumowując osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego, ze względu na charakter badań związany z rozwojem nowoczesnych technologii materiałów o projektowanych właściwościach opartych na włóknach i wyrobach włókienniczych, w szczególności modyfikacji elektretowych włóknin filtracyjnych otrzymywanych w procesie pneumatycznego formowania runa w celu poprawy ich skuteczności filtracji wobec drobnodispersyjnych aerozoli wykazałam, że:

1. ***Opracowana konstrukcja głowicy*** umożliwia wytwarzanie włókien z dowolnego typu polimeru termoplastycznego oraz łatwą implementację urządzeń wprowadzających różne modyfikatory. Największą zaletą opracowanego rozwiązania jest możliwość dodawania różnych modyfikatorów bezpośrednio w strugę stopionego polimeru na etapie tworzenia włókien elementarnych. Umożliwia to trwałe połączenie cząstek modyfikatora o różnych wymiarach z elementarnymi włóknami tworzącymi runo włókniny.
2. ***Opracowana metoda badań penetracji nanoaerozoli przez materiały filtracyjne*** umożliwia zastosowanie różnych, pod względem kształtu i średnicy cząstek nanoaerozoli oraz ich struktury morfologicznej i właściwości elektrostatycznych oraz prowadzenie badań przy zróżnicowanych wartościach stężeń i natężeń przepływu nanoaerozolu dla zakresu wielkości cząstek do 7 nm do 250 nm. Moje badania wykazały, że przy potwierdzaniu skuteczności filtracji materiałów polimerowych otrzymywanych w procesie pneumatycznego formowania runa wobec drobnodispersyjnych aerozoli, w tym nanoaerozoli można prowadzić badania z dowolnym typem aerozolu niezależnie od jego kształtu przy różnym objętościowym natężeniu przepływu.
3. ***Modyfikacja polegająca na wprowadzaniu modyfikatorów w postaci materiałów mineralnych*** o różnych potencjałach elektrostatycznych w strukturę



włókien polimerowych podczas procesu pneumatycznego formowania włókniny ukierunkowana była na wzmocnienie potencjału elektrostatycznego uzyskanego na włóknach w wyniku ich modyfikacji za pomocą aktywacji elektrostatycznej metodą wyładowań koronowych. Opracowane włókniny polimerowe zawierające modyfikator w postaci proszku mogą być efektywnie wykorzystywane do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego wielokrotnego stosowania chroniącego przed nanoaerozolami. Opracowana konstrukcja głowicy umożliwiła wprowadzenie modyfikatora w postaci perlitu w strukturę elementarnych włókien polimerowych oraz skuteczne i trwałe jego połączenie z włóknami tworzącymi włókninę. Wprowadzony w strukturę włókniny minerał silnie elektryzujący się dodatkowo zwiększył pole elektrostatyczne pomiędzy włóknami materiału filtracyjnego powodując wzrost skuteczności filtracji.

4. ***Modyfikacja polegająca na wprowadzaniu modyfikatorów w postaci roztworu organicznego*** w strukturę włókien polimerowych podczas procesu pneumatycznego formowania włókniny stanowi dobrą alternatywę do modyfikacji włókien filtracyjnych z wykorzystaniem aktywacji elektrostatycznej za pomocą wyładowań koronowych oraz doskonałe wzmocnienie dla polimerowych materiałów filtracyjnych poddanych aktywacji elektrostatycznej w wyniku wyładowań koronowych lub procesu obróbki plazmą niskotemperaturową w zakresie poprawy ich właściwości filtracyjnych stosowanych w filtrującym sprzęcie ochrony układu oddechowego przed wszelkimi zanieczyszczeniami powietrza, w tym nanoaerozolami. Modyfikacja ta umożliwiła uzyskanie nanostruktur filtracyjnych otrzymywanych w procesie pneumatycznego formowania runa.
5. ***Dwuetaapowa modyfikacja, obejmująca wprowadzenie nanonapełniacza POSS nietoksycznego związku krzemoorganicznego do matrycy polimerowej i następnie modyfikację włókniny wytworzonej w procesie pneumatycznego formowania runa plazmą generowaną w warunkach ciśnienia atmosferycznego,*** umożliwiła wytworzenie włókien cieńszych w zakresie od 0,7 μm do 0,8 μm , co miało bezpośredni wpływ na wzrost efektywności filtracji. Filtrujące materiały polimerowe zawierające w swojej strukturze nanonapełniacze POSS mogą być z powodzeniem stosowane w filtrującym sprzęcie ochrony układu oddechowego przed drobnodyspersyjnymi aerozolami.
6. ***Modyfikacja filtracyjnych włókien pneumatycznych z wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej*** umożliwia zwiększenie efektywności depozycji cząstek aerozoli na włókninach filtracyjnych i zapewnienie tego efektu w czasie użytkowania. Może stanowić doskonałe wzmocnienie dla polimerowych materiałów filtracyjnych poddanych wcześniej aktywacji elektrostatycznej w

wyniku wyładowań koronowych w zakresie poprawy ich właściwości filtracyjnych stosowanych w filtrującym sprzęcie ochrony układu oddechowego przed wszelkimi zanieczyszczeniami powietrza, w tym nanoaerozolami.

Wyniki tych prac zostały skomercjalizowane w postaci dwóch umów wdrożeniowych:

- Umowa wdrożeniowa nr 2/2016/W z dnia 17 lutego 2016 r. ze Spółdzielnią Inwalidów ZGODA z Konstantynowa Łódzkiego,
- Umowa wdrożeniowa nr 8/2016/W z dnia 22 czerwca 2016 r. z Przedsiębiorstwem Sprzętu Ochronnego MASKPOL S.A. w Konieczkach.

Celem tych umów było udzielenie licencji prostej, niewyłącznej na bezterminowe korzystanie z dokumentacji dotyczącej technologii wytwarzania elektretowych materiałów polimerowych z modyfikatorami. Potwierdzeniem tej współpracy jest oświadczenie producenta przedstawione w załączniku nr 8.

Została również podpisana umowa w 2015 r. o zachowaniu poufności z firmą Louis M. Gerson Co., Inc., Delaware Corporation, z siedzibą: 16 Commerce Blvd., Middleboro, MA 02346 USA celem kontynuacji prac związanych z opracowaną technologią wytwarzania elektretowych włókien pneumatycznych oraz urządzenia do wytwarzania elektretowych włókien pneumatycznych.

Opracowany rodzaj modyfikacji materiałów polimerowych wytwarzanych w procesie pneumatycznego formowania runa otrzymał uznanie zdobywając Nagrodę I stopnia w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy w kategorii prace naukowo – badawcze za opracowanie pt. *Modyfikowane elektretowe materiały filtracyjne do ochrony układu oddechowego przed nanocząstkami*, 2013 r. (zespół: **Brochocka A.**, Orlikowski W., Majchrzycka K., Makowski K.)

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moja działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych skupiona była w większości przypadków na zagadnieniach dotyczących modyfikacji technologii pneumatycznego formowania runa. W ramach realizacji projektu statutowego pt. „Nowa generacja ochron układu oddechowego przed bioaerozolem” oraz projektu celowego w ramach sektorowego programu operacyjnego Wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw, lata 2006-2008 pt.: „Nowa generacja materiałów filtracyjnych z udziałem nanowłókien i modyfikatorów” współfinansowany z EFRR w ramach umowy nr WKP_1/1.4.4/1/2005/11/11/576/2006/U, których byłam wykonawcą prowadziłam badania w kierunku wytwarzania funkcjonalnych włókien filtracyjnych



otrzymywanych techniką pneumatycznego formowania runa mających zastosowanie w sprzęcie ochrony układu oddechowego przed zagrożeniami biologicznymi. Ze względu na coraz szersze zainteresowanie wyrobami włókienniczymi z włókien chemicznych zawierającymi wkomponowane w strukturę lub osadzone na powierzchni substancje czynne o właściwościach hamujących rozwój mikroorganizmów w strukturze materiału prowadziłam prace ukierunkowane na opracowanie nowego typu elektretowych włókien filtracyjnych modyfikowanych środkiem biobójczym. Wykorzystanie włókien bioaktywnych w produkcji półmasek filtrujących czy filtrów staje się niezbędnym warunkiem zabezpieczenia pracowników na stanowiskach pracy, gdzie występuje narażenie na czynniki biologiczne. W wyniku badań sprzętu ochrony układu oddechowego stosowanego przez personel medyczny stwierdzono, że żaden typ włókniny filtracyjnej stosowanej do konstrukcji półmasek nie zapewnia ochrony przed bioaerozolem. W związku z powyższym założono, że włókniny filtracyjne przeznaczone na bioochronę będą wytwarzane techniką pneumatycznego formowania runa. Aby zapewnić wysoką skuteczność filtracji materiałów polimerowych w odniesieniu do bioaerozoli przy zachowaniu niskich wartości oporów przepływu powietrza opracowałam strukturę morfologiczną włókien w zakresie grubości włókien, porowatości włókniny oraz parametry technologiczne procesu formowania włókien i aktywacji elektrostatycznej. Na zmodyfikowanym stanowisku doświadczalnym do produkcji włókien filtracyjnych techniką pneumatycznego formowania runa wytworzono włókniny filtracyjne z polipropylenu zawierające różny środek biobójczy, który wprowadzany był bezpośrednio do głowicy włóknotwórczej z pominięciem stref wysokich temperatur wytłaczania. Wyniki tych badań przedstawiałam w **załączniku nr 5** w publikacjach **poz. II.A)1, II.A)2., II.A)3, II.A)9, II.A)10, II.E)** Publikacje w czasopismach międzynarodowych lub krajowych spoza bazy JCR **poz. 1, 3, 5** i patentach **poz. II.C) 9, II.C)10, II.C)11.**

Kolejnym wyzwaniem zmierzającym do opracowania nowego typu włókniny filtracyjnej było użycie do jej produkcji biopolimeru w tym z poli(kwasu mlekowego) (PLA) i zastosowanie jej do konstrukcji filtrującego sprzętu ochrony układu oddechowego chroniącego przed aerozolami. Pierwsze prace podejmujące próby wytwarzania elektretowych włókien filtracyjnych z polimerów biodegradowalnych prowadziłam w ramach projektu badawczego zamawianego „*Biodegradowalne włókniny dla zastosowania w medycynie, rolnictwie i technice*” nr PBZ-MNiSW-01/II/2007 koordynowanego przez Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych w latach 2008-2010 oraz projektu realizowanego w ramach II etapu programu wieloletniego pn.: „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” w latach 2011-2013 pod kierownictwem dr inż. Katarzyny Majchrzyckiej. Podstawowym problemem był wybór odpowiedniej technologii przetwórstwa polimerów biodegradowalnych. Jak dotąd włókniny filtracyjne otrzymywane standardowo w procesie pneumatycznego formowania runa nie były produkowane z polimerów biodegradowalnych. Swoje badania ukierunkowałam na opracowaniu parametrów technologiczny procesu z wykorzystaniem polimerów biodegradowalnych z grupy

biodegradowalnych poliestrów alifatycznych oraz biodegradowalnych kopoliestrów alifatyczno-aromatycznych o różnych wskaźnikach płynięcia. Wytworzyłam biodegradowalne włókniny filtracyjne, które poddałam modyfikacji plazmą generowaną w warunkach ciśnienia atmosferycznego przy napięciu wyładowań -30 kV. Proces technologiczny prowadzony był przy temperaturach wytłaczania od 270 °C do 280 °C, temperatura powietrza na wylocie z nagrzewnicy osiągnęła 270 °C – 300 °C, temperatura głowicy włóknotwórczej wynosiła 210 °C - 230 °C, natomiast wydatek powietrza kształtował się na poziomie 10 m³/h, a wydatek polimeru aż 80 g/min. Wydatki powietrza i polimeru były wysokie, ponieważ temperatury topnienia polimerów biodegradowalnych odbiegały znacząco od temperatury topnienia polipropylenu. W wyniku prowadzonych prac uzyskano tylko z jednego polimeru PLA 6202 D, którego temperatura topnienia była porównywalna z temperaturą topnienia polipropylenu, biodegradowalną włókniną filtracyjną charakteryzującą się penetracją na poziomie 5,0 % i oporami przepływu powietrza wynoszącymi 200 Pa. Mając opanowany proces wytwarzania włókien z polimerów biodegradowalnych kolejne prace związane były z zastosowaniem tej włókniny w sprzęcie ochrony układu oddechowego. Następnym krokiem było nadanie włókninom wytworzonym na bazie polimeru biodegradowalnego PLA właściwości biobójczych. Celem tych badań było opracowanie warunków wytwarzania bioaktywnych włókien pneumotermicznych z poli(kwasu mlekowego) (PLA) do oczyszczania powietrza w sprzęcie ochrony układu oddechowego przed bioaerozolem, ze szczególnym uwzględnieniem wprowadzania środka biobójczego oraz potwierdzenie skuteczności filtracji. Wyniki tych prac przedstawiłam **w załączniku nr 5** w publikacjach **poz. II.A)4, II.E)** Publikacje w czasopismach międzynarodowych lub krajowych spoza bazy JCR **poz. 11, 12, 13** i patencie **poz. II.C)14**.

Badania modyfikacji pneumotermicznych materiałów filtracyjnych za pomocą plazmy niskotemperaturowej kontynuowałam jako kierownik projektu nr POIG.01.01.02-10-018/09 pt. „*Innowacyjne materiały polimerowe i węglowe chroniące przed nanocząsteczkami, parami i gazami*” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka. Jednym z celów tego projektu była modyfikacja plazmowa oraz badania struktury materiałów polimerowych wraz z przeniesieniem technologii obróbki plazmą na skalę półtechniczną. Projekt realizowany był we współpracy z Katedrą Termodynamiki Procesowej Wydziału Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej i obejmował swoim zakresem modyfikację zarówno materiałów polimerowych jak i sorbentów węglowych. Moje zainteresowania skupiłam na dalszym rozwoju modyfikacji włókien pneumotermicznych z wykorzystaniem m.in. plazmy niskotemperaturowej. Do badań wykorzystywałam technikę plazmy niskotemperaturowej o częstotliwości radiowej (RF) i mikrofalowej (MW), dwa rodzaje włókien wytworzonych z włókien polipropylenowych (PP) i poliwęglanowych (PC). Prowadzone prace miały na celu, z jednej strony osiągnięcie wzrostu porowatości powierzchni włókien (zmiana

struktury fizycznej), co umożliwi uzyskanie zwiększenia skuteczności dyfuzyjnego mechanizmu zaczepienia nanocząstek na włóknach, z drugiej - zmianę właściwości chemicznych ich powierzchni (wzrost możliwości gromadzenia ładunku elektrycznego). W pierwszym przypadku wykorzystałam proces trawienia plazmowego, który realizowany był za pomocą plazmy gazów inertnych - argon. W drugim przypadku zastosowałam plazmę z udziałem prekursorów krzemoorganicznych. Przeprowadziłam szczepianie plazmowe prekursorów o założonej funkcjonalności po uprzednim zaktywowaniu powierzchni polimeru w plazmie gazu inertnego. Próbki modyfikowanych pneumatycznych włókien filtracyjnych oceniałam w zakresie badań budowy chemicznej za pomocą spektroskopii FTIR i EDX, nanostruktury powierzchni za pomocą mikroskopii SEM, składu i struktury chemicznej za pomocą spektroskopii XPS oraz właściwości filtracyjnych. Osiągnięcia w tym zakresie przedstawiłam w publikacji **II.A)7** i patencie **II.C)8 - załącznik nr 5**. W wyniku prowadzonych badań potwierdziłam, że materiały polimerowe zmodyfikowane tym sposobem, z rozwiniętą powierzchnią i szczepioną na niej molekularną warstwą rozgałęzionych łańcuchów węglowodorowych, charakteryzują się dużą skutecznością filtracji wobec olejowych aerozoli cieczy oraz trwałością uzyskanego efektu po przechowywaniu w czasie 12 miesięcy.

Wynika z tego bardzo ważny wniosek, że **opracowany sposób modyfikacji materiałów polimerowych może być efektywnie wykorzystany do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego wielokrotnego stosowania i stanowi doskonałe wzmocnienie dla polimerowych materiałów filtracyjnych poddanych aktywacji elektrostatycznej w wyniku wyładowań koronowych.**

W latach 2010-2016 uczestniczyłam w pracach związanych z oceną funkcjonalności kamizelek balistycznych w ramach trzech projektów realizowanych w konsorcjach naukowo-przemysłowych, w których byłam wykonawcą. Celem nadzorowanych przeze mnie badań było opracowanie metodyki laboratoryjnych i poligonowych badań eksploatacyjnych z udziałem uczestników badań, opracowanie metody badań psychologicznych. Wyniki prac przedstawiłam w **załączniku nr 5 poz. II.A)6, II.E)** Publikacje w czasopismach międzynarodowych lub krajowych spoza bazy JCR poz. 7, 16.

W latach 2014-2016 byłam kierownikiem realizowanego w ramach Programu Wieloletniego pn. *„Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”* projektu badawczego pt. *„Włókninowe kompozyty do środków ochrony układu oddechowego w warunkach ciężkiej pracy fizycznej”*. Projekt dotyczył opracowania włókninowych kompozytów do wykorzystania w środkach ochrony układu oddechowego w warunkach ciężkiej pracy fizycznej. Na szczególne podkreślenie, w aspekcie innowacyjności tego projektu, zasługuje zastosowanie superabsorbentów w technologii *melt-blown*. Dotąd nie wprowadzano polimerów superabsorbentowych (SAP) bezpośrednio do technologii *melt-blown*. Obecnie brak jest na rynku europejskim wielofunkcyjnego materiału filtracyjnego otrzymywanego techniką

melt-blown i charakteryzującego się z jednej strony wysoką skutecznością filtracji przy zachowaniu niskich oporów przepływu powietrza a z drugiej - dobrą zdolnością do gromadzenia wilgoci. Innowacyjnością proponowanego rozwiązania jest zapewnienie, w jednym procesie formowania i modyfikacji, wielofunkcyjnego kompozytu włókninowego do zastosowania w sprzęcie ochrony układu oddechowego w warunkach ciężkiej pracy. Opracowałam metodę wprowadzania modyfikatorów w postaci polimerów SAP do technologii melt-blown oraz przeprowadziłam badania weryfikacyjne otrzymanych materiałów kompozytowych. Opracowałam założenia do konstrukcji nowych materiałów filtracyjnych uwzględniające zmiany właściwości użytkowych w danych warunkach pracy i na potrzeby konstrukcji struktury filtracyjnej, zapewniającej odpowiednią ochronę układu oddechowego przez więcej niż jedną zmianę roboczą. Dokonałam wyboru odpowiedniego superabsorbenta polimerowego do technologii melt-blown na podstawie badania zdolności pęcznienia w wodzie, absorpcji pary wodnej metodą grawimetryczną oraz badania właściwości sorpcyjnych pary wodnej z zastosowaniem urządzenia Autosorb-iQ. Następnie opracowałam sposób aplikacji modyfikatora w technologii melt-blown z zastosowaniem urządzenia wprowadzającego superabsorbentowy polimer w postaci sypkiej w strugę plastycznego polimeru, na etapie tworzenia włókien elementarnych. Następnie wytworzyłam materiały filtracyjnych z superabsorbentowym polimerem (SAP) o różnym składzie ilościowym, z ładunkiem i bez ładunku elektrostatycznego, które poddano badaniom weryfikacyjnym w zakresie właściwości filtracyjnych, użytkowych i sorpcyjnych. **Wykazałam, że spośród wytworzonych włókien filtracyjnych najbardziej optymalną, z punktu widzenia właściwości filtracyjnych i wysokiej temperatury i wilgotności powietrza ($T=40\pm 2^{\circ}\text{C}$; $RH=95\pm 5\%$) jest włóknina poddana aktywacji elektrostatycznej, zawierająca 2,5 g rozdrobnionego polimeru SAP na $0,8\text{ m}^2$ włókniny.** Charakteryzuje się ona również najmniejszym przyrostem oporów przepływu powietrza, który ma wpływ na właściwości użytkowe sprzętu ochrony układu oddechowego przeznaczonego do stosowania w ciężkich warunkach pracy. **Założyłam, że układ kompozytu włókninowego w postaci: dwóch warstw osłonowych zawierających modyfikator w postaci superabsorbenta polimerowego (SAP) o różnej ziarnistości i jednej warstwy włókniny filtracyjnej poddanej aktywacji elektrostatycznej za pomocą wyładowań koronowych będzie stanowić alternatywne rozwiązanie do obecnie istniejących materiałów na rynku.** Aktywacja elektrostatyczna spowodowała poprawę skuteczności filtracji wytworzonych pojedynczych i złożonych struktur włókninowych w wyniku modyfikacji powierzchni elementarnych włókien stanowiących bazowy materiał struktur włókninowych. Dla włókniny filtracyjnej poddanej modyfikacji ładunkiem elektrostatycznym względna zmiana penetracji wobec aerozolu chlorku sodu wyniosła ok. 93% a względna zmiana penetracji wobec mgły oleju parafinowego ok. 85 %. **Wykazałam, że wprowadzone modyfikatory o ziarnistości $250\text{ }\mu\text{m}$ i $30\text{ }\mu\text{m}$ w**



strukturę włókien osłonowych są trwale przymocowane do powierzchni włókien. Pomimo dużych rozmiarów w stosunku do wymiarów średnic włókien, włókniny charakteryzują się niskimi oporami przepływu powietrza i dobrą sorpcją wilgoci. Opracowałam układ składający się z: elektretowej włókniny osłonowej zawierającej SAP o ziarnistości 250 μm , elektretowej włókniny filtracyjnej i elektretowej włókniny osłonowej zawierającej SAP o ziarnistości 30 μm . **Założyłam, że włókniny osłonowe zastosowane w kompozycie włóknistym będą pełnić dwie funkcje:**

- włóknina z grubym SAP-em będzie osuszała przepływające przez nie powietrze i jednocześnie zatrzymywała duże cząstki zanieczyszczeń z przepływającego powietrza,
- włóknina z drobnym SAP-em poprawi komfort użytkownika od strony przylegania do twarzy użytkownika w warunkach ciężkiej pracy fizycznej.

Wyniki tych prac przedstawiłam w załączniku nr 5 w publikacjach **poz. II.A)11, II.A)12, II.E)** Publikacje w czasopismach międzynarodowych lub krajowych spoza bazy JCR **poz.15** oraz zgłoszeniach patentowych **poz. II.C)12, II.C)13**.

Od 2015 r. kontynuuję te prace w kolejnym projekcie badawczym prowadzonym przez dr hab. inż. Katarzynę Majchrzycką (umowa nr PBS3/A5/55/2015) finansowanym w ramach III konkursu Programu Badań Stosowanych PBS w ścieżce A pt. "Opracowanie technologii wytwarzania wielofunkcyjnych kompozytów do ochrony człowieka w warunkach szczególnie uciążliwej pracy, który jest wykonywany w partnerstwie naukowo-przemysłowym z Katedrą Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej Politechniki Łódzkiej oraz Przedsiębiorstwem Sprzętu Ochronnego MASKPOL S.A. Celem projektu jest opracowanie technologii wytwarzania wielofunkcyjnych kompozytów włókninowych, których zastosowanie w wybranych środkach ochrony indywidualnej zapewni ochronę człowieka przed zagrożeniami w warunkach szczególnie uciążliwej pracy. Przy zastosowaniu najnowszych rozwiązań technologicznych wykorzystując technikę pneumotermicznego formowania runa, do opracowania kompozytów z polimerów o różnorodnych właściwościach fizycznych i chemicznych w jednym procesie technologicznym, zostaną wykorzystane 2 modyfikatory w postaci: superabsorbentów oraz środków biobójczych. Wprowadzenie ich do materiału umożliwi otrzymanie nowych wielofunkcyjnych materiałów o wysokich właściwościach ochronnych i użytkowych. Opracowane włókniny będą materiałem bazowym do produkcji półmasek filtrujących oraz wkładek do obuwia ochronnego.



6. Sumaryczny dorobek publikacyjny, wynalazczy i wdrożeniowy

Moje osiągnięcia naukowe i aktywność naukowa zostały przedstawione w załączniku nr 5 do wniosku, a sumaryczny dorobek przedstawiam poniżej.

L.p.	KRYTERIUM WEDŁUG §3 p.4, §4 I §5	TAK (liczba)/BRAK
1	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	22 [549 pkt. MNiSW/KBN]
2	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	4
3	Udzielone patenty a) międzynarodowe b) krajowe	a) brak b) 12 patentów, 3 zgłoszenia patentowe
4	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	7
5	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR	25
6	Autorstwo, współautorstwo poradników, broszur i artykułów popularnonaukowych	11
7	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz	11
8	Sumaryczny <i>impact factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	11,708
9	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)	71 (47 bez autocytowań)
10	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	6
11A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	a) brak b) 6
11B	Udział w projektach badawczych a) międzynarodowych b) krajowych	1 19
12	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	9
13	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	a) 6 referatów, 7 plakatów b) 15 referatów
14	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	brak
15	Aktywny udział w konferencjach naukowych a) międzynarodowych b) krajowych	a) 6 referatów, 6 plakatów B) 7 referatów
16	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych a) międzynarodowych b) krajowych	a) 1 b) brak
17	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	brak
18	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	brak
19	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z:	



	a) naukowcami z innych ośrodków polskich b) naukowcami z innych ośrodków zagranicznych c) przedsiębiorcami, innymi niż wymienione wyżej	a) 1 b) brak c) brak
20	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	brak
21A	Członkostwo w międzynarodowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	brak
21B	Członkostwo w krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	3
22	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	4
23	Opieka naukowa nad studentami	6
24	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	a) brak b) brak
25	Staże w ośrodkach naukowych lub akademickich a) zagraniczne b) krajowe	a) 1 b) brak
26	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	15
27	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	3
28	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	a) brak b) brak
29	Recenzowanie publikacji w czasopismach a) międzynarodowych b) krajowych	a) 12 b) 2
30	Inne osiągnięcia	3

