

Dr inż. Katarzyna Majchrzycka

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

Zakład Ochron Osobistych

90-133 Łódź, ul. Wierzbowa 48

AUTOREFERAT

SPIS TREŚCI AUTOREFERATU:

1. Dane personalne	2
2. Stopnie i tytuły naukowe	2
3. Historia zatrudnienia i przebieg pracy zawodowej	2
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego	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	37
6. Sumaryczny dorobek publikacyjny, wynalazczy i wdrożeniowy	41



1. Dane personalne

Katarzyna Zofia Majchrzycka

2. Stopnie i tytuły naukowe

Stopień doktora nauk technicznych – 1999 r. w dyscyplinie inżynieria środowiska;

Centralny Instytut Ochrony Pracy (od 2002 r. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy);

Tytuł rozprawy: *Filtracja aerozoli w warunkach symulujących użytkowanie indywidualnych ochron układu oddechowego*;

Promotor: prof. dr hab. inż. Leon Gradoń.

Recenzenci: prof. dr hab. inż. Stanisław Wroński i dr hab. inż. Edward Szucht – prof. CIOP.

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

Tytuł magistra inżyniera włókiennika – 1984 r.

Politechnika Łódzka, Wydział Włókienniczy;

Specjalizacja: Mechaniczna Technologia Włókna; Specjalność: Metrologia Włókiennicza;

Tytuł pracy: *Analiza porównawcza własności mechanicznych włókien wełny*.

Promotor: prof. dr hab. inż. Witold Żurek.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Grzegorz Urbańczyk.

3. Historia zatrudnienia i przebieg pracy zawodowej

1993 - nadal Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
 Zakład Ochron Osobistych
 Stanowiska:

1994 - 2000 asystent,

2000 - nadal adiunkt,

2003 - nadal Kierownik Zakładu Ochron Osobistych.

1988 – 1993 Instytut Inżynierii Materiałów Włókienniczych (dawniej: Centralny Ośrodek
 Badawczo – Rozwojowy Przemysłu Jedwabniczo – Dekoracyjnego; obecnie:
 Instytut Włókiennictwa);
 Laboratorium Metrologii Włókienniczej;
 Stanowisko: asystent.

1984 – 1988 Politechnika Łódzka

Instytut Metrologii, Włóknin i Odzieżownictwa;

Stanowisko: pracownik naukowo-badawczy.

W 1984 r. ukończyłam Wydział Włókienniczy Politechniki Łódzkiej i w tym samym roku rozpoczęłam swoją pracę zawodową w Instytucie Metrologii, Włóknin i Odzieżownictwa.

Od 1988 r. pracę kontynuowałam w Centralnym Ośrodku Badawczo – Rozwojowym Przemysłu Jedwabniczo – Dekoracyjnego (późniejsza nazwa: Instytut Inżynierii Materiałów Włókienniczych; obecnie: Instytut Włókiennictwa), początkowo na stanowisku technologa w Laboratorium Metrologii Włókienniczej, a następnie asystenta naukowo-badawczego. W tym czasie prowadziłam badania naukowe w zakresie własności użytkowych materiałów włókienniczych, w tym w szczególności tkanin technicznych i włókienniczych pokryć podłogowych.

W 1993 r. podjęłam pracę w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy na stanowisku specjalisty, a następnie asystenta w Pracowni Sprzętu Ochrony Układu Oddechowego, w Zakładzie Ochron Osobistych w Łodzi. Od samego początku pracy w Instytucie prowadziłam **aktywną działalność: naukową, organizacyjną, doradczą, normalizacyjną oraz edukacyjną**. W tym czasie na szczególne podkreślenie zasługuje mój **aktywny udział w opracowaniu materiałów i programów szkoleniowych dla rozpoczynającego swą działalność w Instytucie - Centrum Edukacyjnego**. Za tę działalność byłam wielokrotnie nagradzana przez Dyрекcję Instytutu, na podstawie wysokich ocen ankietowych słuchaczy studiów podyplomowych.

Od 1999 r. działałam aktywnie w obszarze normalizacji jako członek **Normalizacyjnej Komisji Problemowej nr 21 ds. środków ochrony indywidualnej pracowników**. Jednocześnie działalność tę prowadziłam na poziomie europejskim jako przedstawiciel Polskiego Komitetu Normalizacji. **Brałam czynny udział w spotkaniach roboczych Komitetu Technicznego CEN/CENELEC nr 79 ds. normalizacji badań i kryteriów oceny sprzętu ochrony układu oddechowego (Respiratory Protective Devices)**.

W tym czasie konsekwentnie prowadziłam badania, których rezultaty przedstawiłam w 1999 r. w pracy doktorskiej. **Moją działalność naukowo-badawczą przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych** szczegółowo opisałam w załączniku nr 2 do wniosku o przeprowadzeniu postępowania habilitacyjnego.

W 2000 r. decyzją Rady Naukowej Instytutu zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta i jednocześnie pani Dyrektor Instytutu - prof. dr hab. med. Danuta Koradecka powierzyła mi funkcję **Kierownika Pracowni Sprzętu Ochrony Układu Oddechowego**.

Od 2002 do 2007 r. pełniłam równolegle funkcję kierownika pakietu kilkudziesięciu zadań o charakterze badawczym i aplikacyjnym, realizowanych w programie wieloletnim pt. *Dostosowanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej*, w ramach Przedsięwzięcia III pt. *Doskonalenie środków ochrony indywidualnej* oraz Grupy tematycznej 3 pt. *Rozwój systemu badań środków ochrony indywidualnej w zakresie dyrektywy 89/686/EWG*.

W 2003 r., doceniając moją aktywność naukową i organizacyjną, pani Dyrektor Instytutu powierzyła mi funkcję **Kierownika Zakładu Ochron Osobistych**, którą pełnię do chwili obecnej. Działalność moja obejmuje inicjowanie kierunków badawczych w zakresie nowych wyrobów, metod badań i kryteriów oceny wszystkich rodzajów środków ochrony indywidualnej, tj. sprzęt ochrony układu oddechowego, środki ochrony głowy i sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości, odzież ochronna, środki ochrony rąk i nóg oraz środki ochrony oczu i twarzy. **Bezpośrednio nadzoruję pracę interdyscyplinarnego zespołu badawczego Zakładu Ochron Osobistych** (30 osób, w tym 17 pracowników naukowych), odpowiadając za realizację celów i osiągnięcie założonych wskaźników projektów badawczych oraz prac rozwojowych. Między innymi wynikiem prac badawczych, nadzorowanych przeze mnie od 2003 r., było uzyskanie przez 4 pracowników Zakładu Ochron Osobistych stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska. Do moich zadań należy także inicjowanie i współpraca przy realizacji prac wdrożeniowych i upowszechniających wyniki projektów realizowanych przez pracowników Zakładu. Prowadzę także działania na rzecz pozyskiwania funduszy na badania w ramach konkursów krajowych i międzynarodowych. Między innymi w latach 2010-2014 **zarządzałam zespołem badawczym Zakładu Ochron Osobistych w ramach projektów realizowanych w konsorcjach naukowo-przemysłowych**. W szczególności dotyczyło to: Projektu celowego nr WKP- 1/1.4.4/1/2005/11/11/576/2006/U pt. *Nowa generacja materiałów filtracyjnych z udziałem nanowłókien i modyfikatorów*, Projektu PBZ nr PBZ-MNiSW-01/II/2007 pt. *Biodegradowalne włókniny dla zastosowania w medycynie, rolnictwie i technice*, 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* i Projektu 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*, a także Projektu o charakterze strategicznym nr WND-POIG.01.01.01-00-005/09 pt. *Nowoczesne Technologie dla włókiennictwa. Szansa dla Polski*. Ponadto w latach 2010-2014 **nadzorowałam prace realizowane w ramach dwóch dużych projektach, koordynowanych przez Zakład Ochron Osobistych**: Projekt 7 PR, THEME 4; Call FP7-NMP-2008-SEM-2; akronim projektu i-Protect: *Inteligentne rozwiązania środków ochrony*

*indywidualnej do zastosowań w warunkach wysokiego poziomu ryzyka w złożonym środowisku pracy (16 partnerów z 7 krajów UE) oraz Projekt nr POIG.01.01.02-10-018/09 pt. **Innowacyjne materiały polimerowe i węglowe chroniące przed nanocząsteczkami, parami i gazami.***

Z akcesją Polski do Unii Europejskiej w 2004 r. wiązało się **podjęcie przeze mnie obowiązków Kierownika Sekcji Certyfikacji Środków Ochrony Indywidualnej, w ramach działalności Instytutu jako Jednostki Notyfikowanej przez Komisję Europejską do pełnienia zadań wynikających z dyrektywy 89/686/EWG, związanej z dopuszczaniem do stosowania środków ochrony indywidualnej na terenie wspólnotowym.** Aktywność moja w tym zakresie nie dotyczy jedynie poziomu krajowego. **Reprezentuję Instytut i Porozumienie Krajowych Jednostek Notyfikowanych, działających w zakresie dyrektywy 89/686/EWG, na spotkaniach Komitetu Horyzontalnego UE (Horizontal Committee of Notified Bodies PPE),** który pełni rolę interpretacyjną i koordynacyjną. Funkcje tę pełnię do chwili obecnej.

Moje zaangażowanie w kreowanie nowych obszarów badań naukowych związanych z wykorzystaniem zaawansowanych technik i technologii do tworzenia nowych wyrobów i systemów wykorzystywanych do ochrony człowieka przed zagrożeniami, przyczyniło się do powierzenia mi przez Dyrekcję Instytutu, **w latach 2008-2013 funkcji koordynatora prac badawczych i zadań o charakterze służb państwowych realizowanych w ramach Programu Wieloletniego (PW) nt. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy.*** W I etapie PW w przedsięwzięciu III pt. *Nowe materiały i rozwiązania środków ochrony indywidualnej w środowisku pracy* nadzorowałam 15 projektów badawczych, a w grupie 03 pt. *Rozwój systemu badań maszyn, narzędzi oraz środków ochrony indywidualnej i zbiorowej* 11 zadań. **W II etapie PW byłam koordynatorem Przedsięwzięcia V pt. *Innowacyjne techniki i technologie dla poprawy bezpieczeństwa i jakości pracy,*** w ramach którego realizowano 16 projektów badawczych i 14 zadań o charakterze służb państwowych.

Obecnie kontynuuję to zadanie w ramach III części PW w zakresie prac badawczych Przedsięwzięcia III pt. *Inżynieria materiałowa i zaawansowane technologie na rzecz bezpieczeństwa i higieny pracy.* Celem 20 projektów badawczych, realizowanych w ramach przedsięwzięcia, jest zaprojektowanie i wykonanie modelowych środków ochrony indywidualnej i zbiorowej z wykorzystaniem innowacyjnych materiałów i technologii oraz wykorzystanie technik informacyjnych i telekomunikacyjnych do tworzenia inteligentnych systemów ochrony człowieka w środowisku pracy. **Do moich obowiązków koordynatora przedsięwzięć PW należy bieżący nadzór nad realizacją przez wykonawców celów badawczych Programu, z ukierunkowaniem na osiągnięcie zakładanych wskaźników ich realizacji. Współpracuję także z wykonawcami projektów realizowanych przez jednostki zewnętrzne, uczestniczące w programie wieloletnim. Dokonuję także okresowych**

podsumowań rezultatów projektów, przy wykorzystaniu opinii niezależnych recenzentów oraz prezentuję wynik Programu na posiedzeniach Zespołu Koordynacyjnego i Rady Ochrony Pracy przy Sejmie RP.

W związku z wprowadzeniem w 2007 r. przez Komisję Europejską nowej formuły integracji przemysłu z nauką w formie Europejskich Platform Technologicznych brałam także czynny udział w pracach Europejskiej Platformy Bezpieczeństwa w Przemśle (European Technology Platform on Industrial Safety - ETPIS) oraz tworzeniu Polskiej Platformy Technologicznej Bezpieczeństwa Pracy w Przemśle (PPT BPP), koordynowanej przez CIOP-PIB. W platformie pełniłam funkcję przewodniczącego grupy roboczej 1 nt. *Technologie Redukcji Ryzyka Zawodowego*.

Od 2003 r. jestem członkiem Rady Naukowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – PIB. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że uczestniczyłam w pracach Komisji ds. oceny planów i sprawozdań Rady Naukowej 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. 2003 nr 65 poz. 595; tekst ujednolicony – obwieszczenie Marszałka Sejmu z dnia 2 grudnia 2014 r., Dz. U. 2014, poz. 1852) przedstawiam cykl publikacji powiązanych tematycznie jako osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego. Prace badawcze i rozwojowe przedstawione w cyklu publikacji obejmują obszar nauk technicznych w dziedzinie Włókiennictwo. Ze względu na interdyscyplinarny charakter prowadzonych przeze mnie badań prace wykonywałam zespołowo, z uwzględnieniem obszarów kompetencji w dziedzinie inżynierii środowiska i mikrobiologii.

4.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

Rozwój technologii funkcjonalnych włóknin filtracyjnych i metod ich oceny w celu zapewnienia skutecznej ochrony układu oddechowego przed zagrożeniami biologicznymi.

Moim znacznym wkładem w rozwój dyscypliny Włókiennictwo jest:



- ustalenie podstawowych zależności pomiędzy przeżywalnością mikroorganizmów we włókninach filtracyjnych stosowanych do ochrony układu oddechowego przed bioaerozolem, a rodzajem cząstek biologicznych i sposobem ich kolonizacji struktur filtracyjnych oraz rodzajem modyfikatorów biobójczych i sposobem ich wprowadzanych do włókien polimerowych, a także mechanizmem aktywności środków biobójczych w warunkach przepływu bioaerozolu, przy krótkotrwałym i długotrwałym stosowaniu sprzętu w środowiskach wieloczynnikowych zagrożeń,
- opracowanie sposobu wprowadzania modyfikatorów biobójczych do włókien polimerowych (w tym biodegradowalnych) w technologii pneumatycznego formowania runa (*ang. melt-blown*), na etapie formowania włókien, z pominięciem strefy wysokich temperatur,
- opracowanie modyfikatorów o działaniu biobójczym, przeznaczonych do krótkotrwałego i długotrwałego stosowania włóknin do ochrony przed bioaerozolem,
- opracowanie stanowiska i metodyki badań skuteczności filtracji i biobójczości funkcjonalnych włóknin do ochrony przed bioaerozolem oraz sposobu modelowego wyznaczania tych wartości.

4.2 Wykaz prac naukowych

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego prezentuję na podstawie następujących 10 artykułów (w tym 9 z bazy JCR), 4 patentów i 1 zgłoszenia patentowego:

H1: Majchrzycka K., Gutarowska B., Brochocka A., Aspects of tests and assessment of filtering materials used for respiratory protection against bioaerosols. Part I: Type of active substance, contact time, microorganism species, INTERNATIONAL JOURNAL OF OCCUPATIONAL SAFETY AND ERGONOMICS, 16(2), 2010, 263-273.

[IF= 0,262; MNiSW= 13].

Mój udział 60% - opracowałam hipotezę i koncepcję badań oraz założenia technologiczne do wytworzenia włóknin (materiału do badań), nadzorowałam próby technologiczne i badania mikrobiologiczne, dokonałam analizy wyników w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H2: Majchrzycka K., Gutarowska B., Brochocka A., Aspects of tests and assessment of filtering materials used for respiratory protection against bioaerosols. Part II: Sweat in the environment microorganism in the form of a bioaerosol, INTERNATIONAL JOURNAL OF OCCUPATIONAL SAFETY AND ERGONOMICS, 16(2), 2010, 275-280.

[IF= 0,262; MNiSW= 13].

Mój udział 60% - opracowałam hipotezę i koncepcję badań oraz założenia technologiczne do wytworzenia włóknin (materiału do badań), nadzorowałam próby technologiczne i badania mikrobiologiczne, opracowałam metodykę i stanowisko do badań włóknin funkcjonalnych w przepływie powietrza, dokonałam analizy wyników w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H3: Orlikowski W., Brochocka A., Majchrzycka K.

Patent nr PL 212007-B1 pt. Sposób wytwarzania elektretowych włóknin pneumotermicznych oraz urządzenie do wytwarzania elektretowych włóknin pneumotermicznych – data zgłoszenia 2006, data uzyskania 2012;

Mój udział 30 % - opracowałam koncepcję sposobu modyfikacji włóknin pneumotermicznych, prowadziłam nadzór nad próbami technologicznymi i analizowałam wyniki eksperymentów, współuczestniczyłam w redakcji opisu patentu i sformułowaniu zastrzeżeń patentowych.

H4: Brochocka A., Majchrzycka K., Technology for the production of bioactive melt-blown filtration materials applied to respiratory protective devices; FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE, 17(5), 2009, 92-98.

[IF=0,581; MNiSW=15].

Mój udział 70% - opracowałam koncepcję metod modyfikacji włóknin pneumotermicznych, dobrałam rodzaje modyfikatorów, nadzorowałam próby technologiczne, przeprowadziłam analizę wyników badań i opisałam kluczowe wnioski, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H5: Majchrzycka K., Gutarowska B., Brochocka A., Brycki B., New filtering antimicrobial nonwoven with various carriers for biocides as respiratory protective materials against bioaerosol, INTERNATIONAL JOURNAL OF OCCUPATIONAL SAFETY AND ERGONOMICS, 18 (3), 2012, 375-385.

[IF= 0,494; MNiSW= 15].

Mój udział 60% - opracowałam koncepcję badań zmierzających do wyboru nośnika środka biobójczego, współuczestniczyłam w badaniach właściwości filtracyjnych, nadzorowałam badania mikrobiologiczne i próby technologiczne, przeprowadziłam analizę wyników badań, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H6: Gutarowska B., Brycki B., Majchrzycka K., Brochocka A., New bioactive polymer filtering material composed of nonwoven polypropylene containing alkylammonium microbiocides on a perlite carrier, POLIMERY, 55(7-8), 2010, 568-574.

[MNiSW=27].

Mój udział 50% - opracowałam koncepcję badań zmierzających do oceny możliwości zastosowania włóknin funkcjonalnych do sprzętu ochrony układu oddechowego, współuczestniczyłam w badaniach właściwości filtracyjnych, nadzorowałam badania mikrobiologiczne i próby technologiczne, przeprowadziłam analizę wyników badań, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H7: Brycki B., Gutarowska B., **Majchrzycka K.**, Brochocka A., Orlikowski W., Krucińska I., Gliścińska E., Krzyżanowski J., Łysiak I.

Patent nr PL 211878-B1 pt. Środek biobójczy do wytwarzania włóknin filtracyjnych oraz sposób otrzymywania środka biobójczego do wytwarzania włóknin filtracyjnych - data zgłoszenia 2009, data uzyskania 2012.

Mój udział 11,12 % - opracowałam założenia do wynalazku, współuczestniczyłam w koncepcji patentu, wykonywałam część badań, współuczestniczyłam w przygotowaniu opisu patentu i zastrzeżeń patentowych.

H8: **Majchrzycka K.**, Brochocka A., Orlikowski W., Krucińska I., Gliścińska E., Krzyżanowski J., Łysiak I., Brycki B., Gutarowska B.

Patent nr PL 215651-B1 pt. Elektretowa włóknina pneumotermiczna - data zgłoszenia 2009, data uzyskania 2014.

Mój udział 11,12 % - opracowałam koncepcję metody modyfikacji włókien polimerowych, wykonałam część badań właściwości filtracyjnych, nadzorowałam próby technologiczne, współuczestniczyłam w przygotowaniu opisu patentu i zastrzeżeń patentowych.

H9: **Majchrzycka K.**, Evaluation of a new bioactive nonwoven fabric for respiratory protection; FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE, 22(1), 2014, 81-88.

[IF=0,667; MNISW=20].

Mój udział 100% - opracowałam koncepcję badań i modyfikację metodyki badań włóknin funkcjonalnych w przepływie powietrza, nadzorowałam badania mikrobiologiczne, przeprowadziłam analizę wyników badań na tle aktualnej wiedzy, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H10: Brycki B., **Majchrzycka K.**, Brochocka A., Orlikowski W.

Patent nr PL 406794-A1 pt. Środek biobójczy do modyfikacji włóknin filtracyjnych z polimerów biodegradowalnych oraz sposób otrzymywania środka do modyfikacji włóknin filtracyjnych z polimerów biodegradowalnych – data zgłoszenia 2014, data uzyskania 2016.

Mój udział 25% - opracowałam założenia wynalazku, współuczestniczyłam w koncepcji patentu, wykonywałam część badań, współuczestniczyłam w przygotowaniu opisu patentu i zastrzeżeń patentowych.

H11: Majchrzycka K., Brochocka A., Brycki B., Biocidal agent for modification of poly(lactic acid) high-efficiency filtering nonwovens; FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE, 23(4), 2015, 88-95.

[IF=0,667; MNiSW=20].

Mój udział 35 % - opracowałam koncepcję badań, nadzorowałam badania mikrobiologiczne, przeprowadziłam analizę wyników badań na tle aktualnej wiedzy, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H12: Majchrzycka K., Brochocka A., Grzybowski P., Modeling the viability of microorganisms of poly(lactic acid) melt-blown nonwoven fabrics for the use of respiratory protection, FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE, 23(5), 2015, 107-113.

[IF=0,667; MNiSW=20].

Mój udział 40% - opracowałam koncepcję wykorzystania modeli prognostycznych do szacowania przeżywalności mikroorganizmów oraz założenia modelowe, przeprowadziłam walidację modelu, nadzorowałam badania mikrobiologiczne, przeprowadziłam analizę wyników badań, opracowałam publikację i udzielałam odpowiedzi recenzentom.

H13: Majchrzycka K., Kierunki doskonalenia włóknin stosowanych do ochrony układu oddechowego przed zagrożeniami biologicznymi, Przegląd włókienniczy. Włókno, Odzież, Skóra, 11, 2014, 33-37.

[MNiSW=5].

Mój udział 100% - przedstawiłam koncepcję projektowania innowacyjnych materiałów do ochrony człowieka w środowisku pracy na podstawie doświadczeń własnych, opracowałam publikację i dokonałam poprawek po uwagach recenzenta.

H14: Majchrzycka K., Okrasa M., Skóra J., Gutarowska B., Evaluation of the survivability of microorganisms deposited on the filtering respiratory protective devices under varying conditions of humidity, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH, 13(1), 2016, 98.

[IF=2,063; MNiSW=30].

Mój udział 50% - opracowałam koncepcję i metodykę badań, nadzorowałam badania, uczestniczyłam w opracowaniu publikacji, głównie w zakresie analizy i dyskusji wyników badań, przygotowałam odpowiedzi dla recenzentów.

H15: Majchrzycka K., Okrasa M., Brycki B.

Zgłoszenie patentowe P-416228 pt. Zestaw struktur porowatych o działaniu biobójczym do modyfikacji włóknin filtracyjnych długotrwałego użycia, data zgłoszenia luty 2016.

Mój udział 50% - opracowałam założenia wynalazku, współuczestniczyłam w koncepcji patentu, wykonywałam część badań, nadzorowałam próby technologiczne i badania mikrobiologiczne, współuczestniczyłam w przygotowaniu opisu patentu i zastrzeżeń patentowych.

Kopie w/w publikacji, stanowiących moje osiągnięcie naukowe, zawiera załącznik nr 7.

Oświadczenia współautorów, dotyczące udziału w w/w publikacjach, przedstawiłam w załączniku nr 8.

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

Moje zainteresowanie naukowe rozwojem technologii wywarzania włóknin filtracyjnych, przeznaczonych do ochrony układu oddechowego przed zagrożeniami biologicznymi, wyniknęło z gwałtownego wzrostu zapotrzebowania społeczeństwa na skuteczne metody prewencji w tym zakresie. Stanowiło to konsekwencję wzrastającej liczby doniesień o możliwości użycia tych czynników jako broni biologicznej oraz występowania zdarzeń o charakterze epidemii/pandemii, związanych z pojawianiem się nowych odmian mikroorganizmów chorobotwórczych i nasilającej się wśród ludności tendencji do migracji zarobkowej, turystycznej i militarnej.

W początkowym okresie pracy nad tym zagadnieniem, w latach 1999 – 2001, prace badawcze realizowałam w ramach kierowanego przeze mnie projektu pt. *Indywidualna ochrona układu oddechowego personelu medycznego przed aerozolem biologicznym* (Strategiczny Program Rządowy SPR-1), a następnie kontynuowałam w latach 2002-2004 (Program wieloletni pn. *Dostosowanie warunków pracy w Polsce do standardów UE*) w ramach projektu badawczego pt. *Modelowe rozwiązania hermetyzacji mikroorganizmów w bioochronach układu oddechowego*, którego także byłam kierownikiem.

Problem ten był nowatorski w momencie podejmowania przez mnie wyzwań badawczych, gdyż brak było w tym zakresie jakichkolwiek rozwiązań prawnych, normatywnych i technicznych, na poziomie krajowym i międzynarodowym. Moje prace miały charakter pionierski, o czym świadczy ich aktualność i rozkwit wraz z rozwojem inżynierii materiałów funkcjonalnych.

Chciałabym podkreślić szczególną rolę sprzętu ochrony układu oddechowego dla prewencji zagrożeń biologicznych. Wynika ona z faktu, że większość mikroorganizmów chorobotwórczych rozprzestrzenia się drogą powietrzną. Dlatego też zapewnienie odpowiedniej skuteczności włóknin filtracyjnych, stanowiących podstawowy materiał konstrukcyjny sprzętu ochrony układu oddechowego, warunkowało szansę na zapewnienie bezpieczeństwa w środowiskach zagrożonych czynnikami biologicznymi. Oznacza to nie tylko potrzebę zapewnienia wysokiej skuteczności filtracji cząstek drobnodyspersyjnych, ale także niszczenia lub hamowania rozwoju mikroorganizmów w całej objętości włóknin filtracyjnych. Wynika to głównie z faktu, iż szybkość mnożenia się mikroorganizmów jest znaczna, np. jedna bakteria (w sprzyjających warunkach) w ciągu 9 godzin może wytworzyć 6 bilionów bakterii. Podczas użytkowania sprzętu włókniny pozostają w bliskim kontakcie z układem oddechowym użytkownika, i tym samym mogą przyczyniać się do potęgowania czynników ryzyka. Sprzyja temu dynamiczny przepływ powietrza związany z fazą wdechu-wydechu, który powoduje odrywania się i migrację cząstek biologicznych kolonizujących włókniny. Procesowi temu sprzyja niekorzystny mikroklimat wewnątrz sprzętu ochrony układu oddechowego (podwyższona wilgotność i temperatura powietrza), który może wpływać na przedłużenie żywotności mikroorganizmów i ich przetrwalników.

Ze względu na wielowątkowy charakter badań, które przedstawiłam jako moje osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego, wyróżniłam następujące części:

- 1) badania nad sposobem funkcjonalizacji włókien z polimerów termoplastycznych, z wykorzystaniem technologii pneumatycznego formowania runa, przeznaczonych do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego;

Publikacje: H1, H2, H4, H5, H6;

Patenty: H3, H7, H8,

- 2) opracowanie metodyki i budowa stanowiska do badań skuteczności filtracji i przeżywalności mikroorganizmów, w warunkach dynamicznych, symulujących oczyszczanie powietrza z cząstek biologicznych, w sprzęcie ochrony układu oddechowego;

Publikacje: H2, H5, H6, H9, H11, H12,

- 3) wykorzystanie polimerów biodegradowalnych do wytwarzania biobójczych włóknin pneumatycznych, przeznaczonych do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego krótkotrwałego użycia;

Publikacje: H9, H11, H12;

Patent: H10,

- 4) badania nad sposobem modyfikacji włókien pneumatycznych z funkcją czasowego uwalniania środka biobójczego, przeznaczonych do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego długotrwałego (wielokrotnego) użycia;

Publikacje: H13, H15;

Zgłoszenie patentowe: H16.

Poniżej przedstawiam omówienie najważniejszych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych.

Część 1)

W początkowej fazie prowadziłam badania, których celem było rozpoznanie podstawowych zależności pomiędzy parametrami charakterystycznymi dla zjawiska oczyszczania powietrza z cząstek biologicznych (tj. rodzaj mikroorganizmów i ich wrażliwość na środki bioaktywne, czas kontaktu substancji czynnej z mikroorganizmami, sposób nanoszenia mikroorganizmów na włókno) a parametrami strukturalnymi włókna mającymi wpływ na skuteczność filtracji i opory przepływu powietrza oraz pomiędzy rodzajem możliwego do zastosowania modyfikatora bioaktywnego i sposobem jego inkorporacji w tworzywo włókien polimerowych. **Wyniki tych badań przedstawiłam w publikacji: H1 i H2.**

Do badań stosowałam dwa rodzaje włókien filtracyjnych: produkowane klasyczną techniką igłowania oraz pneumatycznego formowania włókna. Klasyczne włókna igłowane wytwarzałam z wykorzystaniem komercyjnych włókien o działaniu bioaktywnym. W szczególności były to włókna poliestrowe (PES) z inkorporowanymi jonami srebra na podłożu ceramicznym, włókna poliakrylonitrylowe (PAN) o właściwościach elektroprzewodzących oraz włókna poliamidowe (PA) ze środkiem biobójczym dodawanym w masie polimeru. **Mój wkład merytoryczny polegał na opracowaniu założeń technologicznych do produkcji włókien igłowanych. W szczególności składu mieszanek włókien, tak aby uzyskać podczas zgrzeblenia efekt tryboelektryczny, zapewniający skuteczność filtracji na drodze oddziaływań mechanicznych i elektrostatycznych.** W tym zakresie badań korzystałam z moich wcześniejszych doświadczeń, których efektem był patent PL 192375 – B1 pt. *Włókno do filtracji powietrza z efektem trybo elektrycznym*, którego jestem współautorem. Przy wykonywaniu prób technologicznych współpracowałam najpierw z Instytutem Technologii Eksploatacji z Radomia (Oddział w Łodzi), a następnie z przedsiębiorstwem FILTER-SERVICE Sp. z o.o. – czołowym producentem włókien filtracyjnych i sprzętu ochrony układu oddechowego.

Równolegle wytwarzałam na stanowisku doświadczalnym w Zakładzie Ochrony Osobistych Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego (CIOP-PIB) włókna pneumatyczne, z granulatu polipropylenu (PP).

W tym czasie kierowałam zespołem badawczym Pracowni Sprzętu Ochrony Układu Oddechowego i bezpośrednio nadzorowałam prace technologiczne.

Charakterystykę stosowanych do badań włókien opisałam w publikacji H1.

W zakresie oceny bioaktywności włókien filtracyjnych prowadziłam wieloletnią współpracę z Instytutem Technologii Fermentacji i Mikrobiologii Politechniki Łódzkiej.

Podstawowym celem badań przedstawionych w publikacji H1 było ocena wpływu czasu kontaktu i rodzaju mikroorganizmów na skuteczność ich niszczenia lub hamowania ich wzrostu, na włókninach filtracyjnych z użyciem różnych modyfikatorów bioaktywnych. Stwierdziłam, iż aktywność biostatyczna wszystkich badanych włókien była znacznie niższa niż aktywność biobójcza. Włókniyny, zatem raczej działały destrukcyjnie na metabolizm komórkowy bakterii, niż hamowały ich wzrost. Efekt biobójczy włókien wzrastał w miarę upływu czasu kontaktu z mikroorganizmami. Do najbardziej wrażliwych na działanie biobójcze włókniyny igłowanej, wykazującej najlepsze właściwości, należały gram dodatnie ziarniaki – *S.aureus* i *M.flavus* oraz gram ujemna pałeczka – *E.coli*. Włókniyna wykazywała również wysoką aktywność biobójczą wobec innych gram ujemnych pałeczek patogennych – *P.aeruginosa*, *K.pneumoniae* oraz drożdży *C.albicans*. Drobnoustrojami opornymi na włókniinę bioaktywną okazały się pleśnie (*A.niger*, *P.chrysogenum*), dla których włókniyna wykazywała średnią aktywność grzybobójczą.

Poczyniłam także ciekawą obserwację, iż **włókniyny stosowane w moich badaniach, modyfikowane jonami lub nanocząstkami srebra, nie wykazywały zadowalających właściwości biobójczych i biostatycznych**, mimo licznych informacji literaturowych potwierdzających ten efekt dla płaskich wyrobów włókienniczych. **Powodem tego zjawiska był niewystarczający kontakt środków bioaktywnych z mikroorganizmami, które osiadały w porowatej, trójwymiarowej strukturze włóknistej.**

Na podstawie wyników badań przedstawionych w publikacji H1 sformułowałam pierwszy ważny wniosek, iż skuteczność bioaktywna włókien filtracyjnych przeznaczonych do ochrony układu oddechowego silnie zależy od rodzaju środka bioaktywnego i sposobu jego zakotwiczenia w strukturze włókien, czasu kontaktu mikroorganizmów ze środkiem bioaktywnym oraz rodzaju mikroorganizmów kolonizujących włókniyny. Na tej podstawie założyłam, że konieczne jest zapewnienie bezpośredniego kontaktu mikroorganizmów ze środkiem biobójczym znajdującym się we włóknach i natychmiastowej aktywacji mechanizmu biobójczego, aby nie dopuścić do przemian metabolicznych komórek mikroorganizmów i produkcji przetrwalników, często o działaniu immunologicznym i toksycznym.

Celem badań opisanych w publikacji H2 było ustalenie czy sposób nanoszenia mikroorganizmów na powierzchnię włókien, szczególnie związany z przepływem

bioaerozolu i zawartością wilgoci, ma wpływ na przeżywalność mikroorganizmów w filtracyjnych włókninach bioaktywnych. W tym celu stosowałam dwie metody nanoszenia mikroorganizmów na próbki włókien. Pierwsza z nich polegała na zaszczepianiu włókien zawieszoną z hodowlą mikroorganizmów modelowych. Druga to, opracowana przeze mnie, dynamiczna metoda badania skuteczności filtracji włókien wobec bioaerozolu i ocena wskaźnika przeżywalności mikroorganizmów wyłapanych na włóknach ze strumienia przepływającego bioaerozolu (omówiona w części 2).

Wykazałam, że do prawidłowego biobójczego działania włókien konieczna była odpowiednia zawartość wilgoci. Przy niskich jej wartościach, co miało miejsce podczas napyłania włókniny cząstkami biologicznymi zawieszonymi w strudze powietrza, obserwowałam spadek właściwości bioaktywnych w odniesieniu do przypadku, gdy na tę samą włókninę bioaktywną наносzony był roztwór mikroorganizmów testowych (*E. coli* i *S. aureus*).

Wyniki badań skuteczności filtracji bioaerozolu, przedstawione w publikacji H2, wskazały, że bioaktywne igłowane włókniny filtracyjne posiadają relatywnie niską zdolność zatrzymywania mikroorganizmów (skuteczność filtracji na poziomie 86-95% wobec bakterii *E.coli* oraz *S.aureus*), w stosunku do oczekiwanych wartości, na poziomie co najmniej 98%. Podstawową przyczyną takich efektów była grubość włókien elementarnych oraz znaczna porowatość włókniny. W wyniku przeprowadzonych prac dokonałam wyboru technologii pneumotermicznej do dalszych prac nad doskonaleniem funkcjonalności biobójczych włókien filtracyjnych, przeznaczonych do konstrukcji bioochron układu oddechowego. Umożliwia ona uzyskanie włókien o małych średnicach oraz kontrolę lokalnej porowatości włókniny, podstawowych parametrów decydujących o skuteczności filtracji. **Przed kolejnym etapem moich badań sformułowałam następującą hipotezę badawczą:**

- ✓ sposób wprowadzenia modyfikatora biobójczego do włókien polimerowych w technologii pneumotermicznej będzie miał wpływ na skuteczność działania biobójczego włókien w warunkach stosowania tych materiałów do indywidualnej ochrony układu oddechowego.

We włókninach, które stosowałam na początku moich badań środek biobójczy dodawany był do granulatu polimeru PP przed jego uplastycznieniem w cylindrze wytłaczarki (przed strefą wysokich temperatur). Następnie razem z polimerem był podany do cylindra wytłaczarki, gdzie oba komponenty tj. środek biobójczy i stop polimeru poddane były wymieszaniu przez obracający się w cylindrze ślimak wytłaczarki. Zawiesina cząstek środka biobójczego w stopie polimeru kierowana była do głowicy włóknotwórczej, gdzie po rozdmuchaniu strumieniem gorącego powietrza stopu mieszanki formowane były włókna bioaktywne i zbierane w postaci runa na powierzchni urządzenia odbiorczego.

Obserwowałam, że zawarte w stopie polimeru stałe cząstki środka biobójczego osadzały się w wąskich kanałach wytłaczarki i głowicy włóknotwórczej zakłócając proces wytwarzania włókien, a często go uniemożliwiając. Ważnym aspektem był także wpływ wysokich temperatur strefy uplastyczniania i wytłaczania na właściwości środków biobójczych. Ze względu na konieczność uzyskania bardzo cienkich włókien brak było możliwości prowadzenia procesu technologicznego w zakresie niższych temperatur. Zwiększenie powierzchni przekrojów kanałów doprowadzających stop do dysz głowicy włóknotwórczej powodował spadek prędkości przepływu stopu, co skutkowało nierównomiernością rozkładu środka biobójczego w wytworzonych włóknach. Problematiczne było też zwiększenie średnic dysz na wylocie z głowicy włóknotwórczej, gdyż prowadziło to do zwiększenia średnicy włókien, a w konsekwencji pogorszenia skuteczności filtracji gotowych włókien. **Konieczne było poszukiwanie innego sposobu podawania modyfikatora, biorąc pod uwagę uwarunkowania samego procesu pneumatycznego formowania runa.**

Najważniejsze wnioski z tych badań przedstawiłam w publikacjach: H4, H5, H6. Wyniki prac rozwojowych, ze względu na swój nowatorski charakter, stanowiły podstawę do uzyskania patentów, których jestem współautorem. Patenty te powstały na bazie moich koncepcji badawczych i nadzoru merytorycznego jako kierownika projektów badawczych. Z tego powodu przedstawiłam je jako moje osiągnięcie naukowe – pozycja: **H3, H7 i H8.**

Analiza danych literaturowych z obszaru tekstyliów bioaktywnych, głównie o przeznaczeniu medycznym, takich jak opatrunki, nici chirurgiczne, protezy naczyniowe, bielizna szpitalna, zainspirowała mnie do sprawdzenia możliwości nanoszenia środka biobójczego w postaci roztworu na gotową włókninę i porównania uzyskanych efektów ze sposobem dawkowania środka biobójczego opisanego powyżej. Było to jednym z celów badań przedstawionych w artykule H4.

Do badań zastosowałam dwa komercyjne środki bioaktywne: Microban® Additive IB12 w postaci proszku oraz Bronopol® w postaci roztworu. Środki te posiadały wymagane certyfikaty zgodności z obowiązującą wówczas dyrektywą UE nr 98/8/EC, co potwierdzało ich bezpieczeństwo w kontakcie ze skórą użytkownika. Według danych producenta środki te posiadały potwierdzone własności w stosunku do bakterii gram dodatnich i gram ujemnych.

Docelowo Microban® Additive IB12 mieszałam z granulatem PP w stężeniu 0,75%, a następnie 1,0% w stosunku do granulatu PP i podawałam do leja wytłaczarki. Roztwór Bronopolu® o stężeniu 0,1% nanosiłam na uformowaną włókninę metodą natryskową. Włókniny zaszczepiono 24 godziną hodowlą pałeczek *E.coli* i inkubowano w czasie 2, 4, 8 godzin. W celach porównawczych analizowałam ilość mikroorganizmów w próbach natychmiast po zaszczepieniu (próby 0). **Wartości wskaźników liczby mikroorganizmów, które przeżyły kontakt z próbkami włókien modyfikowanych różnymi metodami i środkami biobójczymi wskazały, że żadna z badanych, w warunkach dynamicznych,**

włóknin filtracyjnych nie wykazała własności biobójczych na zadawalającym poziomie. Stwierdziłam, że we włókninie filtracyjnej z Bronopolem® wraz z wydłużaniem czasu inkubacji w temperaturze 37°C następował wzrost populacji badanych pałeczek *E.coli*. Dawkowanie Microban® Additive IB12 do stopu polimeru PP pozostawało bez wpływu na populację pałeczek *E.coli* (brak różnic statystycznie istotnych). **W związku z powyższym swoje zainteresowania skoncentrowałam na wprowadzeniu modyfikatora w strefę formowania włókien. Wyniki tych prac przedstawiłam także w artykule H4 i patencie H3.**

Wspólnie z zespołem autorów wymienionych w **patencie H3**, opracowałam rozwiązanie, które polegało na wprowadzeniu w strugę stopionego polimeru środka biobójczego i trwałego połączenia go z polimerem włóknotwórczym poprzez zastosowanie **oryginalnie opracowanej konstrukcji głowicy włóknotwórczej (rysunek w publikacji H4 i patencie H3)**. Oryginalność wynalazku polega na tym, że środek biobójczy (modyfikator) dozowany jest w głowicy, w miejscu wylotu powietrza rozdmuchującego polimer z dysz przedziałniczych, centralnie i symetrycznie do strefy wytwarzania włókien. Taki sposób podawania środka biobójczego zapewniał dobre jego wymieszanie z włóknami, w efekcie zasysania środka w strugę wytwarzanych włókien. Docelowo stanowisko do wytwarzania funkcjonalnych włóknin pneumatycznych składało się z: wylączarki, łącznika (strefa wysokich temperatur), umieszczonego między cylindrem wylączarki a głowicą włóknotwórczą, głowicy włóknotwórczej połączonej z nagrzewnicą powietrza oraz urządzenia odbiorczego w postaci siatki z wentylatorem wytwarzającym podciśnienie oraz aktywatora wyładowań koronowych, mającego na celu uzyskanie elektretowych włóknin o wysokiej skuteczności filtracji wobec cząstek drobnodispersyjnych. **Cechą wyróżniającą to stanowisko, od innych tego typu linii technologicznych, była autorska głowica włóknotwórcza z systemem do modyfikacji włókien polimerowych na etapie ich formowania.** W szczególności nad korpusem głowicy włóknotwórczej znajdował się lej zasypowy środka biobójczego, z przymocowanym zespołem napędowym silnika o regulowanej prędkości obrotowej. Zespół ten był połączony ze ślimakiem, którego cylinder umiejscowiony był centralnie w osi głowicy i przechodził przez jej całą długość. Rdzeń głowicy miał kształt walca, co stanowiło także oryginalne rozwiązanie autorów patentu H3. Zastąpienie kształtu rdzenia głowicy, ze stożkowej na walcową, z równoczesną zmianą przekroju rowka, ze zmniejszającego się na stały, zapewniło wyeliminowanie niekorzystnych przestojów w pracy urządzenia, związanych z potrzebą częstego oczyszczania kanału głowicy z resztek nierozdmuchanego polimeru. **Rozwiązanie to zostało nagrodzone medalem na międzynarodowych targach wynalazczości w Brukseli - Eureka 2006.**

W publikacji H4 przedstawiłam pierwsze wyniki badań z wykorzystaniem nowej konstrukcji głowicy. Jako środki biobójcze zastosowałam: Microban® Additive IB12,

nanocząstki srebra, viroksan (związek aktywny monoperoxyftalan magnezu) oraz mononadftalan magnezu. Środki biobójcze dodawane były w ilości 60 g/m² włókniny. Otrzymane włókniny charakteryzowały się masą powierzchniową około 90 g/m² i średnią średnicą włókien 2,43 μm. Osiągnięto bardzo dobre parametry penetracji cząstek stałych chlorku sodu – 1,11 %, penetracji mgły oleju parafinowego – 2,50 %, przy oporach przepływu powietrza na poziomie 106 Pa. W celu oszacowania efektu bioaktywnego włókien wyznaczono aktywność bakteriostatyczną i bakteriobójczą wobec bakterii *E.coli*, natychmiast po zaszczepieniu włókien oraz po 4 i 8 godzinach kontaktu zawiesiny testowej z włóknami bioaktywnymi. Najlepsze efekty uzyskałam dla włókien modyfikowanych mononadftalanem magnezu. Włókniny modyfikowane Microban® Additive IB12 oraz cząstkami srebra wykazywały efekt biobójczy dopiero po 4 godzinach ekspozycji na bakterie *E.coli*. Wyniki te z jednej strony potwierdziły przydatność opracowanego sposobu wprowadzania modyfikatorów biobójczych do włókien polimerowych w technologii pneumatycznego formowania runa, ale jednocześnie stały się punktem wyjścia do poszukiwań modyfikatorów odpowiednich do funkcjonalizacji włókien. W tym zakresie sformułowałam następującą hipotezę badawczą:

- ✓ nośnik środka biobójczego może zwiększać hydrofilowość powierzchni włókien PP, co przyczyni się do jego skutecznego działania w warunkach dynamicznych, podczas przepływu bioaerozolu przez włókniny filtracyjne.

W tym czasie prowadziłam badania w ramach projektu celowego nr WKP – 1/1.4.4/1/2005/11/11/576/2006/U, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, pt. *Nowa generacja materiałów filtracyjnych z udziałem nanowłókien i modyfikatorów*, realizowanego przez Centrum Zaawansowanych Technologii PRO HUMANO TEX, w konsorcjum PŁ, Katedra Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej, CIOP-PIB oraz przedsiębiorca FILTER – SERVICE Sp. z o.o. W ramach tego projektu pełniłam rolę koordynatora prac badawczych realizowanych w CIOP-PIB i jednocześnie, w latach 2005-2008, kierowałam dwoma projektami realizowanymi w ramach działalności statutowej Instytutu pt. *Nowa generacja pneumatycznych materiałów filtracyjnych z udziałem modyfikatorów o właściwościach bioaktywnych* i pt. *Nowa generacja ochron układu oddechowego przed bioaerozolem*, stanowiącymi wkład własny CIOP-PIB do projektu współfinansowanego z funduszy UE. Prace badawcze prowadzone w ramach wspólnego projektu były realizowane przez PŁ i CIOP-PIB w niezależnych obszarach poznawczych. Moje zainteresowania badawcze skupione były na dalszym rozwoju funkcjonalnych włókien filtracyjnych typu pneumatycznego. Osiągnięcia w tym zakresie przedstawiłam w publikacjach: H5, H6 oraz patentach: H7, H8.

Celem badań przedstawionych w publikacji H5 było wykazanie, że skuteczność biobójcza funkcjonalnych włókien pneumotermicznych zależy od rodzaju modyfikatora, a w szczególności od właściwości podłoża stanowiącego nośnik substancji czynnej biologicznie oraz od sposobu jego inkorporacji w strukturę włókien polimerowych. **W publikacji po raz pierwszy opisałam sposób funkcjonalizacji włókniny pneumotermicznej z wykorzystaniem oryginalnego modyfikatora biobójczego, którego jestem współautorem.** Skład i sposób otrzymania środka biobójczego (modyfikatora) zawarty jest w patencie H7. **Założenia merytoryczne i koncepcja tego wynalazku powstały na bazie moich wcześniejszych doświadczeń i wniosków przedstawionych powyżej.**

Środek biobójczy według wynalazku H7 otrzymuje się poprzez natryskiwanie suchego perlitu o średnicy ziaren nie większej niż 30 µm roztworem, w niższym alkoholu alifatycznym (np. 2-propanol) i 5-30% wagowych wody demineralizowanej, substancji czynnych o następującym składzie, w przeliczeniu na całkowitą masę substancji czynnych: 15-75% wagowych chlorku N,N-didecylo-N,N-dimetyloamoniowego, 3-30% wagowych chlorku N-benzylo-N-dodecylo-N,N-dimetyloamoniowego, 1,5-45% wagowych N,N-bis(3-aminopropyl)-N-dodecyloaminy, 0,3-30% wagowych soli sodowej kwasu 2-fosfonobutano-1,2,4-trikarboksylowego, 1,5-12% wagowych gliceryny. Po dokładnym wymieszaniu składników otrzymany środek biobójczy podlegał suszeniu pod normalnym ciśnieniem a następnie usuwano wodę i alkohol pod zmniejszonym ciśnieniem. Po zakończeniu suszenia środek poddano homogenizacji, przy czym zawartość preparatu biobójczego wynosiła od 2 do 8 % wagowych a perlitu od 92 do 98% wagowych w masie całkowitej środka biobójczego.

Podstawowym kryterium skutecznego działania modyfikatora biobójczego był sposób jego osadzenia na hydrofobowych włóknach PP, aby uniemożliwić jego odrywanie się od powierzchni włókien, a jednocześnie, aby substancja czynna biologicznie miała bezpośredni dostęp do komórek mikroorganizmów. Warunek ten zapewniało rozwiązanie polegające na osadzaniu substancji czynnych na podłożach o odpowiednich właściwościach. Wybrałam materiał glinokrzemianowy - bentonit, oraz szkło wulkaniczne - perlit, które z literatury były znane jako materiały kompatybilne z PP, a ponadto wykazujące wpływ na zmianę charakteru włókien PP z hydrofobowego w kierunku hydrofilowym. Odpowiednio dobrane proporcje pomiędzy wielkością cząstek modyfikatora i grubością włókien PP wytwarzanych techniką pneumotermicznego formowania runa, zapewniły efekt częściowego połączenia modyfikatora z powierzchnią włókien, na etapie ich formowania. **Znaczna część modyfikatora z substancją czynną biologicznie pozostała poza strukturą włókien, przez co zapewniony był bezpośredni kontakt z mikroorganizmami w całej objętości włókniny.** Opisany efekt potwierdziłam w badaniach z wykorzystaniem mikroskopii SEM oraz przeprowadzając analizę zawartości substancji czynnych biologicznie w modyfikowanych włóknach PP za pomocą analizy

elementarnej oraz spektrofotometrycznej w nadfiolecie. **Opisany sposób wprowadzania modyfikatora do włókien stanowi przedmiot wynalazku opisanego w patencie - pozycja H8.**

Na podstawie wstępnych badań stwierdziłam, że materiał glinokrzemianowy (bentonit lub perlit) mógł być, w sposób trwały, wprowadzone do włókien PP jako nośnik substancji czynnej, w ilościach do 20% wagowo, bez wpływu na pogorszenie skuteczności filtracji. Przygotowano modyfikator biobójczy poprzez rozpuszczenie substancji czynnych biologicznie w 2-propanolu i naniesiono metodą napyłania w mieszalniku, zarówno na bentonit jak i na perlit. Po odparowaniu rozpuszczalnika, pod zmniejszonym ciśnieniem, materiał poddano dokładnej homogenizacji. Wysuszone i homogenizowane nośniki zawierały 5% wagowo substancji czynnej biologicznie. W wyniku tych procedur otrzymałam dwa modyfikatory biobójcze – Bioperlit i Biobentonit. Zostały wprowadzone do włókien PP w technologii pneumatycznej, z wykorzystaniem opisanej powyżej głowicy włóknotwórczej (patent H3). Średnie wartości skuteczności filtracji funkcjonalnych włóknin kształtowały się na poziomie 97,58 % wobec mgły oleju parafinowego (cząstka o wielkości średnio 0,3 μm) i 98,78 % wobec cząstek chlorku sodu (cząstka o wielkości średnio 0,5 μm). Wyniki te potwierdziły brak negatywnego wpływu modyfikatorów na skuteczność zatrzymywania cząstek aerozoli w opracowanych włókninach. Skuteczność biobójczą włóknin filtracyjnych modyfikowanych Bioperlitem i Biobentonitem oceniałam wobec bakterii *E.coli* i *S. aureus*, bezpośrednio po naniesieniu mikroorganizmów oraz po 4 i 6 godzinach kontaktu. Stwierdziłam, iż oddziaływanie bakteriostatyczne i biobójcze włóknin modyfikowanych Biobentonitem, zarówno wobec bakterii *E.coli* oraz *S.aureus*, było na bardzo niskim poziomie po 4 godzinie kontaktu, a po 6 nastąpił wzrost liczby bakterii w porównaniu z włókniną kontrolną, co świadczyło o braku aktywności włókniny. Przyczyną prawdopodobnie była gorsza dystrybucja Biobentonitu w tworzywie włókien PP, z uwagi na jego wielokrotnie większy ciężar nasypowy w porównaniu do Bioperlitu. **Stwierdzono wysokie oddziaływania bakteriostatyczne oraz bakteriobójcze wobec bakterii *E.coli* oraz *S.aureus* włóknin modyfikowanych Bioperlitem.** Uznałam ten wynik jako zadowalający i dla tego wariantu dokonałam oceny metodą spektrofotometryczną w nadfiolecie, ilości substancji czynnych biologicznie zaadsorbowanych na powierzchni włókien. Stwierdziłam, że w warunkach prowadzonej ekstrakcji, we włókninie modyfikowanej Bioperlitem, desorpcji uległo 46% substancji czynnych biologicznie, a 54 % pozostało trwale związanych z włóknami. Biorąc pod uwagę wysoką skuteczność biobójczą włóknin pneumatycznych modyfikowanych Bioperlitem uznałam efekt funkcjonalizacji za osiągnięty.

Ostateczną weryfikacją osiągnięcia założonego celu, ukierunkowanego na opracowanie sposobu funkcjonalizacji włóknin pneumatycznych, przeznaczonych do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego, przedstawiłam w publikacji H6.

Celem badań było potwierdzenie skuteczności filtracji i biobójczej aktywności włóknin zastosowanych do wytworzenia półmasek filtrujących. W artykule H6 przedstawiłam wyniki badań aktywności biobójczej wytworzonej funkcjonalnej włókniny pneumotermicznej, o różnej zawartości modyfikatora biobójczego, w warunkach zmiennej wilgotności oraz wobec mikroflory saprofitycznej i patogennej, występującej w postaci bioaerozolu. Jednocześnie dokonałam oceny skuteczności filtracji metodami standardowymi wobec aerozolu modelowego cząstek stałych (chlorek sodu) oraz cząstek ciekłych (mgła oleju parafinowego), a także skuteczności filtracji wobec aerozolu bakterii *E.coli* i *S.aureus* według metody własnej. Opracowałam układ warstw włóknin filtracyjnych, w skład którego wchodziły włókniny igłowane, o znacznej porowatości, odpowiedzialne za filtrację wstępną oraz funkcjonalne, wysokoskuteczne włókniny pneumotermicznej, modyfikowane Bioperlitem w sposób opisany w patencie H8. Przygotowałam pięć wariantów PP włóknin pneumotermicznych o różnej zawartości Bioperlitu (w tym substancja czynna biologicznie stanowiła odpowiednio %): 5% (0,23%), 8% (0,37%), 10% (0,46%), 15% (0,69%), 20% (0,93%). Badania prowadziłam z wykorzystaniem 8 szczepów drobnoustrojów: *E. coli*, *S. aureus*, *C. albicans*, *A. niger*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *B. subtilis*, *M. flavus*. Kryterium wyboru szczepów była różnorodność taksonomiczna, a także ich częste występowanie w postaci bioaerozolu w pomieszczeniach zamkniętych. Wpływ wilgotności masowej włókniny na aktywność biobójczą wyznaczyłam wobec bakterii *E.coli*, co wynikało z jej wysokiej wrażliwości na włókninę bioaktywną we wcześniejszych badaniach.

Wykazałam wysoką aktywność biobójczą opracowanej przeze mnie funkcjonalnej włókniny pneumotermicznej z Bioperlitem. Efekt redukcji mikroorganizmów wzrastał w miarę zwiększania ilości Bioperlitu we włókninie, przy stężeniu 8% Bioperlitu (0,37% substancji czynnej biologicznie) stwierdziłam spadek 100-1000-krotny liczby bakterii. **Wykazałam różnice w aktywności biobójczej włóknin funkcjonalnych w zależności od właściwości morfologicznych drobnoustrojów tj. budowy osłon komórkowych bakterii i grzybów.** Po 6 godzinach inkubacji nastąpiła prawie całkowita redukcja gram ujemnych pałeczek *E.coli*, *P.aeruginosa*, *K.pneumoniae* (99.9%) oraz 95% redukcja gram dodatnich ziarniaków *S.aureus*, *M.flavus*. Natomiast bakterie *B.subtilis* były redukowane tylko w 86%. Czynnikiem warunkującym wysoką oporność bakterii *B.subtilis* na działanie soli amoniowych należy upatrywać w ich zdolności do wytwarzania przetrwalników. Podobnie grzyby *C.albicans* i *A.niger*, wytwarzające spory wykazywały nieco niższą wrażliwość na bioaktywną włókninę pneumotermiczną.

Zastosowanie perlitu jako nośnika dla związku czynnego biologicznie spowodowało zmianę właściwości tworzywa polimeru. **Dodatek perlitu zwiększył hydrofilowość włókniny PP, co okazało się cechą poprawiającą aktywność biobójczą.** W artykule H6 wykazałam proporcjonalną zależność aktywności biobójczej funkcjonalnej włókniny

z dodatkiem Bioperlitu od poziomu wilgotności. W praktyce oznacza to, iż w miarę użytkowania półmasksi wzrasta wilgotność materiału i zwiększa się jego działanie biobójcze.

W wyniku badań potwierdziłam, że opracowany przeze mnie układ filtracyjny, zawierający bioaktywną włókninę pneumotermiczną, modyfikowaną Bioperlitem jako podstawowy materiał konstrukcyjny półmasksi filtrującej, spełnia najwyższe kryteria oceny dla sprzętu ochrony układu oddechowego, uwzględniając kryterium wysokiej skuteczności filtracji (powyżej 98%) i aktywności biobójczej, w odniesieniu do szerokiego spektrum mikroorganizmów mogących stanowić zagrożenie dla człowieka.

Część 2)

Równolegle do badań przedstawionych w części 1) autoreferatu moje zainteresowania naukowe ukierunkowałam na opracowanie i wdrożenie do stosowania metody badania skuteczności filtracji i przeżywalności mikroorganizmów, w warunkach dynamicznych, symulujących oczyszczanie powietrza z cząstek biologicznych w sprzęcie ochrony układu oddechowego. Jest to moje oryginalne autorskie rozwiązanie, opracowane w ramach projektu badawczego pt. *Modelowe rozwiązania hermetyzacji mikroorganizmów w bioochronach układu oddechowego* (2002-2004), realizowanego w ramach programu wieloletniego pt. *Dostosowanie warunków pracy w Polsce do standardów UE*. Jednocześnie prace związane z opracowaniem metodyki badań skuteczności filtracji wobec bioaerozolu i oceną stopnia przeżywania mikroorganizmów w kontakcie z włókniną bioaktywną prowadziłam podczas stażu w Health and Safety Laboratory (Sheffield, Wielka Brytania), który odbyłam w ramach projektu *Centre for Testing and Measurement for Improvement of Safety of Products and Working Life*; akronim: *TEST PRO SAFETY LIFE*.

Opis metody po raz pierwszy przedstawiłam w publikacji H2. Jeden z aspektów badawczych, ujęty w tej publikacji, umożliwił sformułowanie niezwykle ważnego wniosku. **Ocena skuteczności biobójczego działania włókien wobec mikroorganizmów testowych *E. coli* i *S. aureus* silnie zależała od sposobu ich naniesienia na włókna.** Podstawą do interpretacji tych wyników była analiza różnic w sposobie depozycji cząstek na włóknach, gdy są one wychwytywane ze strumienia przepływającego bioaerozolu lub nanoszone na włókninę w formie zawiesiny. Sposób depozycji cząstek stałych, w tym biologicznych, na włóknach różni się znacznie od sposobu depozycji kropeł cieczy. Cząstki stałe tworzą na powierzchni włókien struktury rozgałęzione, które z czasem łączą się w aglomeraty cząstek, zmieniające porowatość włókniny filtracyjnej. Ciecze nie tworzą takich struktur w materiałach filtracyjnych, ale wnikają w wolne przestrzenie znajdujące się pomiędzy włóknami na skutek kondensacji i drenażu. Dlatego też w przypadku naniesienia

zawiesiny mikroorganizmów na włókninę zapewnione było znaczne pole kontaktu ze środkiem biobójczym, a dodatkowo obecność dużej ilości wilgoci, wspomagała jego skuteczność działania. Jednakże przy założeniu, że włókny funkcjonalne będą stosowane w sprzęcie ochrony układu oddechowego, ten sposób oceny skuteczności biobójczego działania odbiega od warunków rzeczywistych. **Moje badania wskazały, że przy potwierdzaniu skuteczności zadziałania mechanizmów funkcyjnych w innowacyjnych tekstyliach, absolutnie konieczne jest stworzenie możliwości prowadzenia badań w warunkach odpowiadających ich przewidywanemu stosowaniu.** Nieuwzględnienie tego faktu przez badaczy może prowadzić do poważnych błędów w interpretacji wyników oceny tego rodzaju materiałów.

W publikacjach: H5, H6, H9, H11 przywoływałam opis metody w nawiązaniu do wyników badań, potwierdzających skuteczność filtracji i działanie biobójcze funkcjonalnych włóknin pneumotermicznych, przeznaczonych do ochrony układu oddechowego, co stanowi element walidacji metody. **W publikacji H12 zaprezentowałam badania modelowe przeżywalności mikroorganizmów w funkcjonalnych włókninach biobójczych pneumotermicznych, łącznie z ich doświadczalną weryfikacją.**

Podstawowym założeniem metody oceny efektywności funkcjonalnych włóknin filtracyjnych, przeznaczonych do ochrony układu oddechowego przed bioaerosem, było zapewnienie przepływu strumienia powietrza z zawieszonymi drobnodyspersyjnymi cząstkami mikroorganizmów testowych, przez jedną lub wiele warstw filtracyjnych, stanowiących przegrodę usytuowaną prostopadle do kierunku napływu aerozolu. Sposób wytwarzania bioaerozolu wzorowałam na rozwiązaniach z zastosowaniem atomizera Collisona i układu osuszającego cząstki, podobnie jak inni autorzy opisujący układy pomiarowe do badań skuteczności filtracji stałych cząstek niebiologicznych. Kluczowe znaczenie przypisałam prawidłowemu odwzorowaniu zjawisk zachodzących we włókninach filtracyjnych podczas depozycji cząstek stałych mikroorganizmów na włóknach. Aby w sposób prawidłowy zasymulować te zjawiska konieczne było rozpylenie mikroorganizmów testowych, a następnie wymieszanie ich ze strumieniem czystego powietrza. W wyniku przepływu strumienia bioaerozolu przez badaną próbkę następowała depozycja cząstek mikroorganizmów w funkcjonalnych włókninach filtracyjnych.

Celem publikacji H9 była prezentacja sposobu podejścia do oceny skuteczności filtracji i przeżywalności mikroorganizmów w funkcjonalnych włókninach, wytworzonych z polimeru biodegradowalnego poli(kwasu mlekowego) (PLA) modyfikowanych Bioperlitem według wynalazku H7. Wyniki prac badawczych nad opracowaniem biodegradowalnych i biobójczych włóknin filtracyjnych zostały omówione w części 3) autoreferatu. Badania realizowałam w latach 2011-2013 w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego pt. *Modele biodegradowalnych układów filtracyjnych do*

zastosowania w sprzęcie ochrony układu oddechowego (Program Wieloletni pt. Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy - etap II).

Publikacja H9 zawiera omówienie mojej autorskiej metody badań. Ten zamysł był podyktowany potrzebą zaprezentowania metody po okresie jej walidacji, z uwzględnieniem aktualnej wiedzy i możliwości technicznych oraz chęcią upowszechnienia idei potwierdzania funkcjonalności innowacyjnych materiałów w odniesieniu do zakresu ich przewidywanego stosowania.

Kierując się powyższymi względami w **publikacji H9** omówiłam wyczerpująco stan wiedzy i poglądy na temat badań skuteczności filtracji włókien przeznaczonych do ochrony układu oddechowego przed bioaerozolem, wobec cząstek biologicznych i niebiologicznych, oraz oceny przeżywalności mikroorganizmów po kontakcie z materiałem bioaktywnym. Podstawowe zmiany w odniesieniu do metody prezentowanej w publikacjach wcześniejszych (H2, H5, H6) dotyczyły sposobu detekcji liczby mikroorganizmów, które penetrowały przez włókniyny filtracyjne, rodzaju bakterii gram ujemnych oraz czasu kontaktu włókniyny z mikroorganizmami testowymi. W celu zapewnienia czystości powietrza w układzie pomiarowym zastosowałam separator cyklonowy i filtr oleju usuwający cząstki o średnicy $0,01\ \mu\text{m}$. Za komorą pomiarową zaprojektowałam filtr o dokładności filtracji 0,003 p.p.m., aby zapobiec zanieczyszczeniu mikrobiologicznemu zaworów, miernika przepływu i pompy próżniowej. Do detekcji liczby cząstek bioaerozolu, które przeszły przez filtr (penetracji - odwrotność skuteczności filtracji) zastosowano optyczny licznik cząstek OPC model Grimm 1.109 (Grimm Aerosol Technik, Niemcy). Licznik umożliwiał pomiar penetracji cząstek o średnich średnicach z zakresu $0,3 - 20\ \mu\text{m}$. Badania prowadzono w Zakładzie zagrożeń chemicznych, pyłowych i biologicznych CIOP-PIB.

Konstrukcja stanowiska pomiarowego zapewniała zastosowanie różnych, pod względem kształtu i właściwości, mikroorganizmów testowych, co umożliwiało otrzymanie bioaerozoli o różnym stężeniu i charakterystyce rozkładu wielkości cząstek. Możliwa była także regulacja prędkości przepływu bioaerozolu przez włókniyny (symulacja wentylacji minutowej płuc), a także prowadzenie badań w różnym czasie przepływu bioaerozolu przez próbkę włókniyny. Do badań opisanych w publikacji H9 wytypowano mikroorganizmy o średnicy aerodynamicznej $\leq 1,0\ \mu\text{m}$, o różnym kształcie, należące do dwóch grup bakterii tlenowych (gram dodatnie i gram ujemne). Pomiar polegał na przepływie bioaerozolu przez próbkę włókien o średnicy 80 mm, z objętościowym natężeniem przepływu 30 l/min, przez 15 minut, a następnie przechowywaniu szczelnie zamkniętych próbek włókien w czasie 2, 4 i 8 godzin, w temp. 37°C . W celu oceny przeżywalności mikroorganizmów po kontakcie z bioaktywną włókniiną następowało wypłukanie i wstrząsanie mikroorganizmów w czasie 15 minut we wstrząsarce o częstotliwości 150 cykli/min. Po rozcieńczeniu w sterylnej soli fizjologicznej mikroorganizmy wysiewano na jałową płytkę Petriego i zliczano

mikroorganizmy. W ten sposób dokonano oceny skuteczności filtracji wobec bioaerozolu i stopnia przeżywalności mikroorganizmów testowych w funkcjonalnych włókninach pneumotermicznych z polimeru PLA, modyfikowanych Bioperlitem według wynalazku H7. Wyniki te omówiłam w części 3) autoreferatu. Posłużyły one także do walidacji zależności modelowych.

Wyniki modelowania właściwości funkcjonalnych włóknin pneumotermicznych, z ukierunkowaniem na ocenę ich efektywności w sprzęcie ochrony układu oddechowego, przedstawiłam w publikacji H12. Potrzeba opracowania prostego sposobu szacowania właściwości bioaktywnych włóknin, na etapie ich projektowania lub doboru do konkretnych środowisk pracy, została przeze mnie zauważona w kontekście **wyboru mikroorganizmów do badań.** Zauważyłam, że jest to jeden z kluczowych elementów oceny efektywności bioaktywnych włóknin, a jednocześnie ograniczona jest liczba organizmów testowych, z punktu widzenia ich dostępności, czasu i sposobu przechowywania oraz ceny. Analiza innych obszarów technologicznych, w tym biotechnologii i nauk o żywieniu, naprowadziła mnie na obiecujący kierunek jakim jest wykorzystanie mikrobiologicznych modeli prognostycznych. Prognozowanie mikrobiologiczne umożliwia przewidywanie rozwoju, przeżywalności lub inaktywacji mikroorganizmów w produktach spożywczych. Wykorzystuje ono modele matematyczne i zasadę, że reakcja mikroorganizmów w określonych warunkach jest powtarzalna. Środowisko można określić poprzez wybór parametrów, takich jak czas ekspozycji, temperatura, pH, powinowactwo do wody, a także dostępność związków organicznych stanowiących pożywkę do rozwoju organizmów żywych. Dokładność przewidywania zachowania się mikroorganizmów zależy od stopnia dopasowania przyjętego modelu matematycznego, a także od właściwego określenia specyfiki badanego produktu.

W publikacji H12 zaproponowałam model pierwszorzędowy do oceny wskaźnika przeżywalności mikroorganizmów w bioaktywnej włókninie filtracyjnej, przeznaczonej do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego. Założyłam niezmienność właściwości (cech) włókniny funkcjonalnej w czasie, a prognozowałam szybkość zamierania mikroorganizmów pod wpływem środka biobójczego, zakotwiczonego we włóknach materiału filtracyjnego. Ze względu na fakt, że zastosowany do modyfikacji włóknin środek biobójczy działał na komórki mikroorganizmów na drodze reakcji chemicznych, ten typ reakcji rozważałam podczas modelowania. W swoich rozważaniach uwzględniłam matematyczny model, znany z wcześniejszych danych literaturowych, który zakładał, że proces inaktywacji mikroorganizmów pod wpływem czynnika biobójczego, przebiega na drodze reakcji chemicznej z kinetyką pierwszego rzędu. Zdefiniowałam współczynnik przeżywalności P_k mikroorganizmów we włókninie w funkcji czasu kontaktu mikroorganizmów ze środkiem biobójczym, uwzględniając liczbę mikroorganizmów

zgrupowaną na próbce w chwili jej napylenia bioaerozolem (N_0) i jej zmianę w czasie (N_t). Ponieważ ilość mikroorganizmów zdeponowana w funkcjonalnej włókninie pneumotermicznej zależała od jej skuteczności filtracji, w rozważeniach modelowych odnosiłam się także do tej kwestii. Wzięłam pod uwagę fakt, że skuteczność filtracji zależy silnie od parametrów strukturalnych włókniny, a w szczególności od jej porowatości. z punktu widzenia właściwości aerozolu najważniejszymi parametrami wpływającymi na skuteczność filtracji są wielkość i kształt cząstek. Przy wyznaczaniu skuteczności filtracji włókien założono, iż zmiennym składnikiem układu włókno-zaczepona cząstka aerozolu będzie porowatość włókniny. Z punktu widzenia wielkości i kształtu cząstek aerozolu obliczenia prowadzono dla cząstki kulistej mgły oleju parafinowego o średnicy $d_p=0,3$, uznawanej w literaturze jako cząstka najlepiej penetrująca drogi oddechowe. Walidację modelu prognostycznego przeprowadzono metodą graficzną z wykorzystaniem obliczeń teoretycznych i wyników badań mikrobiologicznych funkcjonalnej włókniny pneumotermicznej z polimeru biodegradowalnego PLA. Metoda graficzna, według danych literaturowych, była często stosowana do prostych prognoz mikrobiologicznych, w stałych warunkach środowiskowych. Niedoskonałością tej metody jest brak możliwości uwzględnienia wielu czynników wpływających na inaktywację mikroorganizmów zgromadzonych we włókninie, tj. wilgotność, temperatura, pH środowiska, interakcje między mikroorganizmami, dostępność pożywki. Pomimo tych niedoskonałości uzyskałam zadowalającą zgodność obliczeń z wynikami eksperymentalnymi w odniesieniu do *S. aureus*. W przypadku *P. aeruginosa* następowało bardzo szybkie zamieranie mikroorganizmów w kontakcie z włókniną bioaktywną, co uniemożliwiło właściwą ich interpretację. **Wynika z tego istotny wniosek na przyszłość, iż w fazie projektowania eksperymentów do walidacji modeli prognostycznych konieczne będzie ustalenie wrażliwości mikroorganizmów testowych na warunki ich dezaktywacji w bioaktywnych włókninach filtracyjnych.** Badania w tym zakresie będą przeze mnie kontynuowane, w szczególności w odniesieniu do przypadków, gdzie zagrożenie czynnikami biologicznymi wynika z występowania pyłu organicznego (np. przerób biomasy). Przewiduję wykorzystanie do tego celu metody sztucznych sieci neuronowych. Uważam, że metoda ta będzie spełniała oczekiwania przy uwzględnieniu dynamiki zachowań mikroorganizmów w środowisku o zmiennych parametrach. W chwili obecnej dysponuję wyposażeniem laboratoryjnym w postaci komory do symulacji zapylenia, przy uwzględnieniu zmiennych środowiskowych, tj. pył rzeczywisty, pochodzący ze stanowisk pracy, wilgotność i temperatura powietrza, kontrola rozkładu wielkości cząstek i ich stężenia. Pozwoli to na wykonanie szeregu symulacji na etapie zbierania danych w procesie kształtowania struktury sieci neuronowych. Wynikiem moich zamierzeń badawczych będzie model do szacowania czasu bezpiecznego stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego, uwzględniający fakt

czy sprzęt wytworzony jest z tradycyjnych czy funkcjonalnych włókien filtracyjnych oraz specyfikę danego środowiska pracy.

Część 3)

Rozwój wiedzy w dziedzinie ochrony środowiska naturalnego, jaki nastąpił w ostatnich latach, wskazał nowe trendy w zakresie projektowania wyrobów, które po zakończeniu cyklu życia, mogą negatywnie wpływać na środowisko naturalne. Kierunek ten oznacza, że o odpadach myśli się zanim fizycznie powstaną nowe wyroby, uwzględniając ten aspekt na etapie doboru materiałów i składników do ich konstrukcji. Nurt ten szczególnie dynamicznie rozwija się w zakresie opakowań, ale z wyraźną tendencją wykorzystania zdobytej wiedzy w dziedzinach związanych z rozwojem produktów do innych zastosowań. Analizując rozwój tworzyw polimerowych można z pewnością powiedzieć, że lata od 60-tych do 80-tych XX wieku to rozkwit surowców petrochemicznych, ale już lata 90-te XX wieku zapoczątkowały rozwój biotechnologii, związanej z wytwarzaniem tzw. biotworzyw. W tym nurcie, w ostatnich latach obserwuje się zwiększenie znaczenia biotworzyw przewidzianych do recyklingu organicznego (kompostowania), a w szczególności biodegradowalnych tworzyw polimerowych z surowców odnawialnych. **Z powyższych powodów uznałam, że dobrym kierunkiem doskonalenia włókien filtracyjnych, przeznaczonych do ochrony układu oddechowego przed bioaerozlem, będzie wykorzystanie do jego produkcji polimerów biodegradowalnych.** Uznałam, że jest to ważne ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie sprzętu do celów prywatnych. W tym przypadku konieczne jest zapewnienie jego nieszkodliwości w kontekście zalegania na wysypiskach, do momentu utylizacji. Warunek ten może zostać zapewniony w wyniku biodegradacji, przekształcenia o charakterze organicznym, ale jednocześnie ważne jest, aby zużyty sprzęt nie stał się „wtórnym źródłem” zakażeń, czyli był pozbawiony negatywnych cech bioaktywnych w odniesieniu do organizmów żywych i kompostu organicznego. **Rezultaty prowadzonych w tym obszarze badań opisanych w publikacjach H9, H11 i patencie H10.**

Pierwsze prace nad wprowadzeniem polimerów biodegradowalnych do produkcji wysokoskutecznych włókien pneumotermicznych prowadziłam w ramach projektu koordynowanego przez Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych - PBZ nr PBZ-MNiSW-01/II/2007 pt. *Biodegradowalne włókniny dla zastosowania w medycynie, rolnictwie i technice* realizowanego w latach 2008-2010. W wyniku tej współpracy powstały liczne publikacje (wymienione w załączniku 2), ale ze względu na fakt, iż **nie dotyczyły one funkcjonalnych włókien o działaniu biobójczym**, nie zaliczyłam ich do cyklu zgłoszonego do wniosku habilitacyjnego.

W publikacji H9 przedstawiłam wyniki pierwszego etapu prac rozwojowych, związanych z opracowaniem technologii wytwarzania, z polimerów



biodegradowalnych funkcjonalnych włóknin do ochrony przed bioaerozolem. Prace realizowałam w ramach projektu *pt. Modele biodegradowalnych układów filtracyjnych do zastosowania w sprzęcie ochrony układu oddechowego*, którego byłam kierownikiem w latach 2011-2013. Dokonałam sprawdzenia możliwości przerobu, w technologii pneumatycznej, biodegradowalnych polimerów poli(kwasu mlekowego) PLA oraz kopoliestrów alifatyczno-aromatycznych. Ostatecznie do prac nad rozwojem włóknin funkcjonalnych stosowałam polimer PLA. Ze względu na fakt, że jest on poliestrem alifatycznym posiadającym wiązania podatne na hydrolizę a jednocześnie wykazuje niestabilność termiczną, konieczne było opracowanie szczególnych warunków jego przerobu, aby uzyskać submikronowe włókna, warunkujące wysoką skuteczność filtracji.

W czasie procesu formowania włókien ze stopu, w skutek działania wysokiej temperatury, następował gwałtowny spadek masy cząsteczkowej PLA. Degradacja termiczna PLA związana była z przypadkowymi podziałami głównego łańcucha w wyniku procesów takich jak hydroliza, depolimeryzacja, utlenianie, reakcje wewnątrzcząsteczkowe transestryfikacji. Do prób technologicznych stosowałam stanowisko doświadczalne do produkcji włóknin pneumatycznych (opisane powyżej), wyposażone w głowicę włóknotwórczą z możliwością wprowadzania modyfikatora, poza strefą wysokich temperatur, centralnie do strugi polimeru (patent H3). Polimer PLA przed przetwarzaniem ze stopu został pozbawiony wilgoci, która mogła wpłynąć na wzrost wartości wskaźnika szybkości płynięcia (MFR), co mogło powodować jego destrukcję. W celu wyznaczenia warunków suszenia badałam różne warianty zależnie od temperatury zeszklenia poliestru, jego zdolności do krystalizacji, zastosowanej temperatury suszenia i wartości ciśnienia. Doświadczalne warunki suszenia zostały ustalone w oparciu o termogramy DSC. Proces suszenia prowadziłam w suszarce próżniowej, w temperaturze 80°C przez 4 godziny. Funkcjonalne włókniny filtracyjne z PLA wytworzono przy następujących parametrach technologicznych: temperatura I i II strefy wytłaczania oraz temperatura powietrza - 270°C, temperatura głowicy - 210 °C, wydatek powietrza - 8,8 m³/h, wydatek polimeru - 4,0 g/min, odległość urządzenia odbiorczego od głowicy – 300 mm. Dodatkowo niektóre warianty aktywowano w polu wyładowań koronowych, przy napięciu 30 kV. Do badań zastosowałam środek biobójczy według wynalazku H7 (Bioperlit).

Wyznaczyłam skuteczność filtracji włóknin wobec standardowych aerozoli niebiologicznych (chlorku sodu i mgły oleju parafinowego) oraz wobec dwóch mikroorganizmów o różnym kształcie cząstki: pałeczki *P. aeruginosa* oraz ziarniaki *S. aureus*. Przeżywalność mikroorganizmów we włókninach wyznaczyłam w następujących czasach: 0, 2, 4, 8, co odpowiadało użyciu sprzętu w czasie jednej zmiany roboczej.

Uzyskałam bardzo dobre rezultaty w zakresie skuteczności zatrzymywania mikroorganizmów przez funkcjonalne biodegradowalne włókniny modyfikowane



Bioperlitem. Skuteczność filtracji kształtowała się na poziomie od 94,96 do 99,34. Zgodnie z założeniami lepsze rezultaty uzyskałam dla włókien aktywowanych elektrostatycznie. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej stwierdziłam, że wielkość cząstek mikroorganizmów miała wpływ na skuteczność filtracji funkcjonalnych włókien. Ziarniki *S.aureus* o średniej średnicy cząstki od 0,5 do 1,5 μm były w mniejszym stopniu zatrzymywane na filtrach niż pałeczki *P. aeruginosa*, charakteryzujące się znacznie większymi rozmiarami $(0,4 - 0,7) \times (1,0 - 3,0) \mu\text{m}$. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wykazałam, że zarówno dla pałeczek *P. aeruginosa* jak i ziarniaków *S.aureus* w czasie inkubacji w temp. 37°C już w czasie 2 godzin występuje zjawisko ich zamierania. Nie stwierdziłam wpływu aktywacji elektrostatycznej włókien funkcjonalnych na przeżywalność mikroorganizmów.

Dalsze prace badawcze ukierunkowałam na opracowanie modyfikacji środka biobójczego (Bioperlitu). Założyłam, że docelowo środek biobójczy powinien zapewniać, w krótkim czasie, efekt zamierania mikroorganizmów w kontakcie z włókniną i jednocześnie nie zakłócać procesu degradacji włókien w środowisku kompostu organicznego. Warunkiem koniecznym było, aby wszystkie substancje czynne, wchodzące w skład preparatu biobójczego, spełniały wymagania Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 528/2012 z dnia 22 maja 2012 r. w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych. Wyniki tych prac przedstawiłam w publikacji H11 i w patencie H10.

Modyfikacja Bioperlitu polegała na:

- zmianie proporcji pomiędzy składnikami substancji czynnych (preparatu biobójczego), posiadającymi odmienną zdolność do reagowania z rozpuszczalnikami polarnymi, i posiadających przenikalność elektryczną gwarantującą skuteczną adhezję mikrobiocydów na powierzchni hydrofilowego perlitu,
- zmianie wielkości cząstki perlitu z 100 μm na cząstkę nie mniejszą niż 30 μm i nie większą niż 50 μm , co skutkowało zmianą substancji czynnych z 2-8% dla Bioperlitu na 2-30%, w środku biobójczym według wynalazku H10 (oznaczenie PB-1),
- wprowadzeniu składnika wywołującego efekt synergizmu, którego rezultatem było ponad dziesięciokrotne obniżenie najmniejszego stężenia biobójczego w czasie 5 min. w porównaniu z aktywnością biobójczą mieszaniny substancji czynnych, która nie zawierała propionianu N,N-didecylo-N-metylo-N-poli(oxyetylo) amoniowego.

Preparat biobójczy zastosowany do funkcjonalizacji włókien pneumatycznych z PLA, spełniający powyższe kryteria składał się z perlitu o średnicy ziaren 50 μm z naniesionym na jego powierzchnię preparatem biobójczym o składzie: 0,3-45,8% wagowych N-3-aminopropylo-N-dodecylo-1,3-propanodiaminy, 0,2-28,5% wagowych propionianu N,N-didecylo-N-metylo-N-poli(oxyetylo) amoniowego, 0,1-36,7% wagowych

chlorku N,N-didecylo-N,N-dimetyloamoniowego, 0,1-15,9% wagowych monoetanolaminy, 0,2-15,5% wagowych glikolu etylenowego, 0,7-23,6% wagowych gliceryny i 0,8-15,9% wagowych kwasu octowego. Najmniejsze stężenie biobójcze (MBC_s) preparatu biobójczego wynosiło 500 µg/mL w stosunku do *S. aureus* ATCC 6538 i 1000 µg/mL w stosunku do *P. aeruginosa* PCM2562 (ATCC 15442), podczas gdy dla roztworu analogicznego preparatu biobójczego, nie zawierającego propionianu N,N-didecylo-N-metylo-N-poli(oxyetylo) amoniowego MBC_s wynosi 5000 µg/mL w stosunku do *S. aureus* i 12000 µg/mL w stosunku do *P. aeruginosa*. **Sposób otrzymania środka biobójczego (PB-1) opisano w publikacji H11 i patencie H10.**

Na podstawie obecności pasm drgań rozciągających N-H, O-H i C-H w zakresie 2850 – 3500 cm⁻¹ oraz pasm drgań deformacyjnych N-H, O-H i C-H w zakresie 1430-1650 cm⁻¹ w widmach FTIR, potwierdzono obecność substancji czynnych. Ilościową zawartość substancji czynnych wyznaczono poprzez oznaczenie ilościowe azotu w analizie elementarnej. Do oceny grubości włókien i równomierności rozmieszczenia środka biobójczego w strukturze włóknin PLA zastosowano technikę mikroskopii skaningowej SEM.

Do wytworzenia włóknin, których wyniki badań zamieszczono w artykule H11 zastosowałam sposób modyfikacji włókien PLA opisany w patentach – pozycja H3 i H8. Środek biobójczy PB-1 dodawany był w ilości 5 i 10% wagowo w stosunku do masy suchego granulatu PLA. Na podstawie badań potwierdziłam uzyskanie funkcjonalnych włóknin z PLA, przeznaczonych do konstrukcji sprzętu ochrony układu oddechowego o następujących właściwościach :

- wysoka skuteczność filtracji wobec standardowych aerozoli – penetracja na poziomie 4,14% wobec mgły oleju parafinowego; 1,15% wobec aerozolu chlorku sodu; opory przepływu powietrza w granicach 84,06-103,63 Pa; przy łącznej masie powierzchniowej średnio 135,73 g/m²,
- stabilność właściwości filtracyjnych w czasie - niewielka zmiana wskaźnika filtracji mgły oleju parafinowego w czasie obciążywania aerozolem testowym, co potwierdza brak negatywnego wpływu modyfikatora PB-1 na tworzywo PLA,
- całkowita biodegradacja próbek funkcjonalnych włóknin PLA (ubytek masy 100%) po 8 tygodniach trwania procesu; brak negatywnego wpływu na przebieg procesu biodegradacji w standardowym kompoście organicznym,
- bardzo dobre właściwości biobójcze przy niewielkim stężeniu (5%) środka biobójczego PB-1 jako modyfikatora włókien PLA na etapie ich formowania w technologii pneumatycznej; w czasie 2 godzin nastąpiło znaczne obniżenie liczby mikroorganizmów (bliskiej zera), zarówno dla pałeczek *P. aeruginosa* jak ziarniaków *S.aureus* w czasie inkubacji w temp. 37°C.

Potwierdziłam w badaniach przedstawionych w publikacji H11, że poczynione przeze mnie założenia merytoryczne, w postaci hipotez badawczych, ukierunkowanych z jednej strony na opracowanie sposobu wprowadzania modyfikatora biobójczego w strugę polimeru włóknotwórczego poza strefą wysokich temperatur, a z drugiej strony na przygotowanie modyfikatora o odpowiednim kształcie i składzie chemicznym, ma zastosowanie także do funkcjonalizacji włókien z termoplastycznych polimerów biodegradowalnych.

Część 4)

W punkcie 4) prezentacji mojego osiągnięcia naukowego, stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego, przedstawiłam pierwsze wyniki prac zmierzających do opracowania metody modyfikacji włókien pneumatycznych z funkcją czasowego uwalniania środka biobójczego. **Zamysł i uzasadnienie prowadzenia prac badawczych w tym zakresie przedstawiłam w publikacji H13.** W artykule prezentuję przykład podejścia do projektowania innowacyjnych materiałów, który wynika z moich wcześniej opisanych doświadczeń badawczych. Wskazuję przede wszystkim na potrzebę dobrego rozpoznania wszelkich warunków funkcjonowania innowacyjnych materiałów, w szczególności aktywnych lub inteligentnych, w wyrobach przewidywanych do zdefiniowanego stosowania.

Na podstawie literatury i badań własnych realizowanych obecnie w ramach projektu badawczego rozwojowego pt. *Bioaktywne włókniny filtracyjne do zastosowania w sprzęcie ochrony układu oddechowego wielokrotnego użycia*, którego jestem kierownikiem, dokonałam selekcji grup pracowników, który najczęściej stosują sprzęt ochrony układu oddechowego przed bioaerozolem. Należą do nich pracownicy opieki zdrowotnej i laboratoriów mikrobiologicznych oraz pracownicy rolnictwa, leśnictwa, przemysłu rolno-spożywczego i drzewnego, biotechnologii oraz przetwórstwo odpadów komunalnych i oczyszczalni ścieków. Pracownicy związani z wymienionymi przemysłami są na ogół narażeni na kontakt z pyłami organicznymi pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, zawierającymi duże stężenia mikroorganizmów oraz wytwarzanych przez nie alergenów i toksyn. Dlatego warunki te zdecydowanie różnią się od panujących w placówkach opieki zdrowotnej, gdzie sprzęt ochrony układu oddechowego jest na ogół stosowany jednorazowo, z powodu profilaktyki zakażeń szpitalnych. W warunkach przemysłowych z reguły sprzęt stosowany jest przez pracowników przez kilka zmian roboczych. Dlatego **środek biobójczy, inkorporowany do włókniny filtracyjnej sprzętu, powinien działać z jednakową skutecznością przez cały czas jego użytkowania.** W tym celu podjęłam się wyzwania badawczego polegającego na opracowaniu funkcjonalnych struktur do modyfikacji

włóknin pneumotermicznych, zapewniających funkcję czasowej aktywacji środka biobójczego.

Założyłam, że wzrost mikroorganizmów związany z długotrwałym stosowaniem sprzętu warunkowany jest dostępnością substancji organicznej, podwyższoną wilgotnością i temperaturą oraz wrażliwością mikroorganizmów na warunki środowiskowe. W tym przypadku możliwa była analogia do zjawisk zachodzących we włókninach filtracyjnych stosowanych w urządzeniach klimatyzacyjnych. W celu opracowania założeń związanych z czasem uwalniania substancji biobójczej z nośników inkorporowanych do włókien, zaprojektowałam i **wykonałam badania modelowe, których celem było określenie mikroklimatu wewnątrz półmasek oraz ocena przeżywalności we włókninach mikroorganizmów w różnych warunkach wilgotności. Wyniki tych badań przedstawiłam w publikacji H14.**

Badania prowadziłam wspólnie z zespołem Instytutu Technologii Fermentacji i Mikrobiologii PŁ, z wykorzystaniem pięciu modelowych mikroorganizmów, pochodzących z kolekcji czystych kultur z American Type Culture Collection (ATCC): *E. coli* 10536, *S. aureus* 6538, *C. albicans* 10231, *A. niger* 16404; i jedna z National Collection of Agricultural and Industrial Microorganisms (NCAIM) *B. subtilis* 01644. Wyselekcjonowane mikroorganizmy (gram dodatni ziarniak, gram ujemna pałeczka, gram dodatnia laseczka, drożdże, pleśń) charakteryzują się zróżnicowaną zdolnością do przeżywania w środowisku, ze względu na wytwarzanie przetrwalników (*B. subtilis*) i zarodników (*A. niger*) oraz jedynie komórek wegetatywnych (*E. coli*, *S. aureus*, *C. albicans*). Do symulacji warunków oddychania w sprzęcie ochrony układu oddechowego (półmaski filtrujące) opracowałam stanowisko i metodę opisane w publikacji H14. Na podstawie serii badań ustaliłam, że temperatura pod częścią twarzową kształtowała się, już po pierwszej godzinie, na poziomie 29-30°C. Warunki te były stabilne mimo symulowanych przerw w pracy. Wyniki wilgotności względnej mikroklimatu wewnątrz półmasek wskazały, że natychmiast po rozpoczęciu pracy w sprzęcie następuje gwałtowny wzrost wilgotności, nawet do 84-92%. Wartość wilgotności przez cały czas symulacji oddychania wahała się w niewielkich granicach od 80 do 92%. Wielokrotna symulacja cykli oddychania była podstawą do ustalenia zawartości wilgoci we włókninie filtracyjnej, podczas jej długotrwałego stosowania na przemysłowych stanowiskach pracy. Badania przeżywalności mikroorganizmów we włókninach filtracyjnych, przeznaczonych do długotrwałego stosowania w warunkach przemysłowych prowadziłam dla wartości 40, 80 i 200% masowej zawartości wilgoci w odniesieniu do masy próbek o powierzchni 4 cm² (masa – 0,0125 g). **Badania wykazały, iż przeżywalność mikroorganizmów we włókninie silnie zależy od ich gatunku i zawartości wilgoci w materiale.** Na włókninie filtracyjnej przy zawartości wilgoci 40-200% najlepszą przeżywalność wykazały bakterie *S. aureus*. Spadek przeżywalności na materiale

filtracyjnym obserwowano natomiast dla drożdży *C. albicans* oraz bakterii *E. coli*. W przypadku bakterii *B. subtilis* i pleśni *A. niger* wykazano, iż mikroorganizmy te namnażają się w materiałach filtracyjnych do 48-72 h inkubacji, a następnie zamierają.

W moich rozważaniach modelowych uwzględniłam także ustalenie wpływu zawartości pyłu organicznego (biomasy) na przeżywalność mikroorganizmów. Do badań użyłam biomase roślinną przetwarzaną w elektrociepłowni o osiągalnej mocy cieplnej, ogółem wynoszącej 557 MW. Na stanowiskach pracy pobrałam trzy rodzaje biomasy: z wierzby energetycznej, leśną oraz pelet słonecznikowy. Użyta do badań mieszanka biomasy roślinnej charakteryzowała się największym udziałem cząstek o wielkości rzędu 10^2 nm (rozkład wielkości cząstek w pyłe z biomasy uśrednionej wyznaczono za pomocą kondensacyjnego licznika cząstek TSI, USA). Głównym pierwiastkiem wchodzącym w skład badanej biomasy był węgiel, który stanowił średnio 75,8%. Zawartość azotu w biomacie była na poziomie 1,4-1,9%, a fosforu 0,2-0,3%. Liczba bakterii w biomacie była na poziomie 10^6 - 10^7 jtk/g, a grzybów na poziomie 10^4 - 10^5 jtk/g. Czas napyłania włókien dobrano w taki sposób, aby masa odłożonego pyłu odpowiadała masie pyłu gromadzącego się na warstwach filtracyjnych półmasek podczas użytkowania na stanowiskach pracy. Wynosiła ona odpowiednio: 9%, 21%, 32%, 52%, 62%, 81%, 101% i 104% w stosunku do masy włókniny. Wykazałam, iż liczba mikroorganizmów po 24h inkubacji w warunkach wysokiej wilgotności, na włókninach o różnym stopniu zapylenia była istotnie różna dla wszystkich poziomów zapylenia dla bakterii *E. coli*, *B. subtilis*, *C. albicans*. Dla bakterii *S. aureus* nie wykazano różnic w liczbie komórek na włókninie niezapyłonej i zawierającym 9% pyłu z biomasy. Natomiast dla pleśni *A. niger* zapylenie przekraczające 62% skutkowało zanikaniem różnic w liczbie komórek na włókninie filtracyjnej. Przebieg opisanego eksperymentu oraz wyniki badań i ich analizę przedstawiłam w publikacji pt. *The impact of dust on the viability of microorganisms on the filter material used for respiratory protection of workers who process plant biomass*, autorstwa: K. Majchrzycka, M. Okrasa, J. Skóra B. Gutarowska. Publikację przekazałam do redakcji *International Journal of Industrial Ergonomics* dnia 24 listopada 2015 r. Została przyjęta przez redakcję i zarejestrowana pod numerem identyfikacyjny: IJIE-15-313. Oczekuję na recenzję tej publikacji.

Podsumowując uzyskane wyniki badań modelowych stwierdziłam, że kluczowe znaczenie dla przeżywania i rozwoju mikroorganizmów we włókninach filtracyjnych stosowanych do ochrony układu oddechowego w warunkach przemysłowych ma zawartość wilgoci. Niemniej jednak pył odkładany w tych materiałach podczas wielokrotnego użycia może wpływać stymulująco na wzrost liczby mikroorganizmów, co wskazuje na konieczność zapewnienia aktywności biobójczej, na tym samym wysokim poziomie, przy każdym kolejnym użyciu sprzętu. Zapewni to aplikacja do włókien filtracyjnych środka biobójczego o różnym czasie aktywacji. Rozwiązanie to zostało

przeze mnie opracowane i zgłoszone do ochrony patentowej pt. *Zestaw struktur porowatych o działaniu biobójczym do modyfikacji włókien filtracyjnych długotrwałego użycia* i zarejestrowane pod numerem nr P - 416228 dnia 22.02.2016 r. – pozycja H16, co uniemożliwiło mi wcześniejsze opublikowanie wyników badań w postaci recenzowanej publikacji.

Dokumentacja zgłoszenia patentowego H16 zawiera opis stanu wiedzy w tym zakresie, kryteria wyboru substancji biobójczej i jej nośnika, a także obrazuje, na podstawie przykładu, zasadę czasowego uwalniania środka biobójczego podczas długotrwałego stosowania włókien.

Spośród substancji czynnych, które mogą być zastosowane w sprzęcie ochrony układu oddechowego w kontekście wymagań związanych ze środkami biobójczymi i kierując się analizą danych literaturowych, wybrałam dibromek heksametyleno-1,6-bis-(*N,N*-dimetylo-*N*-dodecylamoniowy) (12-6-12), który należy do gemini surfaktantów (GS). Jest to nowoczesny mikrobiocyd, charakteryzujący się co najmniej o dwa rzędy wielkości wyższą aktywnością biobójczą w porównaniu do analogicznych, monomerycznych czwartorzędowych soli amoniowych. Bardzo dobra aktywność biobójcza tego związku umożliwia jego zastosowanie w znacznie niższych stężeniach w porównaniu do innych dostępnych mikrobiocydów.

Szczególnie istotny był także wybór nośnika, który zapewnił spełnienie warunku stopniowego i kontrolowanego uwalnianie substancji czynnych. Jako nośnik gemini surfaktantów wybrałam porowate nanokryształy glinokrzemianowe typu rurkowego, o wielkości nie przekraczającej 100 nm. Umożliwiają one osadzenie wewnątrz struktury zdefiniowanej ilości substancji biobójczej oraz jej kontrolowane uwolnienie w czasie. Nośnik stanowiący układ supramolekularny zapewniał łatwość wprowadzenia do strugi polimeru. Substancje biobójcze wprowadzone do struktury porowatej nośnika są nieaktywne w stanie bezwodnym stąd też zapoczątkowanie ich działania wymagało wprowadzenia do układu supramolekularnego alkoholi wielowodorotlenowych, zapewniających zwiększenie hydrofilowości struktur. Zróżnicowanie ilości wprowadzanych alifatycznych alkoholi wielowodorotlenowych umożliwiło zróżnicowanie czasu aktywacji struktur. Do modyfikacji polimerowych włókien w technologii pneumotermicznej przygotowałam zestaw porowatych struktur biobójczych poprzez wymieszanie w równych ilościach $n=(1,2,..., i)$ struktur o różnym czasie aktywacji od pierwszego kontaktu z wilgocią. Do przygotowania zestawu stosowałam recepturę, która zapewniła, że struktury 1-wszego rodzaju aktywowały się natychmiast po kontakcie z wilgocią, struktury 2-go rodzaju po upływie 24 godzin od pierwszego kontaktu z wilgocią, a struktury i -tego rodzaju po upływie i -krotności 24 godzin od pierwszego kontaktu z wilgocią. Wprowadzając zestaw porowatych struktur biobójczych do polimerów termoplastycznych, na etapie formowania włókien uzyskałam zawartość substancji czynnej na poziomie od

0,25 do 0,5% wagowych, co zapewniło żądany poziom aktywności biobójczej wobec bakterii *E. coli* (spadek liczby bakterii o 2-6 rzędów w skali logarytmicznej).

Badania w tym zakresie są przeze mnie kontynuowane.

Podsumowanie osiągnięcia naukowego stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego

Do najważniejszych moich osiągnięć naukowych związanych z rozwojem inżynierii materiałów funkcjonalnych, a także badaniem i modelowaniem zjawisk zachodzących w materiałach włókninowych stosowanych do ochrony układu oddechowego przed bioaerozolem zaliczam opracowanie:

- **Sposobu funkcjonalizacji włókien polimerowych na drodze oddziaływań natury fizycznej, co zapewnia bezpieczeństwo użytkownikom sprzętu ochrony układu oddechowego.**

Wynika ono przede wszystkim z faktu, iż połączenia modyfikatorów z tworzywem włókien o innym charakterze (np. chemicznym) wykazują znaczną wrażliwość na warunki środowiskowe, tj. wilgotność, temperatura, obecność związków silnie reaktywnych, co charakteryzuje środowisko, w którym stosowany jest sprzęt ochrony układu oddechowego. W moich wynalazkach zastosowałam połączenie substancji biobójczych z nośnikiem za pomocą adhezji. Tego typu oddziaływania nie powodowały zmniejszenia aktywności biobójczej związków czynnych. Częściowe zakotwiczenie nośników w tworzywie włókien uniemożliwiło ich niekontrolowane uwalnianie w warunkach przepływu bioaerozlu przez włókniny, a substancje biobójcze osadzone na nośniku posiadały swobodę oddziaływania z mikroorganizmami w całej strukturze porowatej włókniny. Prezentowane w moich publikacjach wyniki z użyciem metod spektrofotometrycznych potwierdziły brak silnych oddziaływań substancji biobójczych z tworzywem włókien polimerowych, co stanowi dowód, że ich właściwości reologiczne nie ulegały zmianie w czasie procesu modyfikacji. Warunek ten był konieczny do zapewnienia możliwości uzyskania, w technologii pneumatycznej submikronowych włókien z zachowaniem ich podatności na aktywację elektrostatyczną, a tym samym uzyskania wysokiego poziomu skuteczności filtracji wobec biologicznych i niebiologicznych cząstek aerozoli.

- **Stanowiska do wyznaczania skuteczności filtracji włóknin wobec bioaerozolu i przeżywalności mikroorganizmów we włókninie filtracyjnej naniesionych na powierzchnię włókien w strudze przepływającego powietrza.**

Konstrukcja stanowiska pomiarowego zapewnia możliwość zastosowania różnych, pod względem kształtu i właściwości mikroorganizmów testowych, prowadzenie badań przy zróżnicowanych wartościach stężeń i prędkości przepływu bioaerozolu, a

także czasu obładowywania włóknin. Moje badania wskazały, że przy potwierdzaniu skuteczności zadziałania mechanizmów funkcyjnych w innowacyjnych tekstyliach, absolutnie konieczne jest stworzenie możliwości prowadzenia badań w warunkach odpowiadających ich przewidywanemu stosowaniu.

➤ **Modelowej metody przewidywania przeżywalności mikroorganizmów we włókninach o działaniu biobójczym.**

W rozważaniach uwzględniłam chemiczny typ reakcji środka biobójczego z komórkami mikroorganizmów oraz fakt, że proces inaktywacji mikroorganizmów pod wpływem czynnika biobójczego, przebiega na drodze reakcji kinetycznej pierwszego rzędu. Zdefiniowałam współczynnik przeżywalności P_k mikroorganizmów we włókninie w funkcji czasu kontaktu mikroorganizmów ze środkiem biobójczym, uwzględniając liczbę mikroorganizmów zgromadzoną na próbce w chwili jej napylenia bioaerozolem i jej zmianę w czasie. Uzyskałam zadowalającą zgodność obliczeń z wynikami eksperymentalnymi w odniesieniu do bakterii *S. aureus*., a w przypadku bakterii *P. aeruginosa* ich szybkie zamieranie uniemożliwiło właściwą interpretację zgodności modelowej. Prowadzi to do istotnego wniosku, że w fazie projektowania eksperymentów do walidacji modeli prognostycznych konieczne jest ustalenie wrażliwości mikroorganizmów testowych na warunki ich inaktywacji w bioaktywnych włókninach filtracyjnych. Wykorzystanie mikrobiologicznych modeli prognostycznych jest obiecującym kierunkiem do szacowania właściwości bioaktywnych włóknin, na etapie ich projektowania lub doboru do konkretnych środowisk pracy.

➤ **Sposobu funkcjonalizacji włóknin przeznaczonych do długotrwałego stosowania na przemysłowych stanowiskach pracy w środowisku zagrożeń złożonych (np. przerób biomasy).**

Wykazałam w badaniach modelowych, że obecność wilgoci i pyłu organicznego, nasilająca się wraz z czasem użytkowania sprzętu, silnie wpływa na przeżywanie i rozwój mikroorganizmów we włókninach filtracyjnych. Dlatego też konieczne jest systematyczne uzupełnianie zawartości środka biobójczego, przy każdym kolejnym użyciu sprzętu. Sposób ten jest bezpieczniejszy dla użytkowników sprzętu niż zastosowanie do funkcjonalizacji włóknin takiej ilości środka biobójczego, aby zapewniona była jego aktywność przy długotrwałym stosowaniu sprzętu. Byłoby to również trudne do zastosowania z powodów technologicznych – zbyt duża liczba modyfikatorów uniemożliwia uzyskanie submikronowych włókien, niezbędnych do zapewnienia wysokiego poziomu skuteczności filtracji. Do modyfikacji włókien polimerowych opracowałam zestaw porowatych struktur wykonanych z nanorurek glinokrzemianowych zawierających związki biobójcze o charakterze gromi surfaktantów i alifatycznych alkoholi wielowodorotlenowych. Zróżnicowanie proporcji

tych związków w porowatych strukturach zapewniło czasową aktywację środka biobójczego w kontakcie z wilgocią.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moja działalność naukowa po uzyskaniu stopnia doktora koncentrowała się wokół zagadnień związanych z filtracją nieustaloną (w załączniku nr 5 – poz. IIA.1). W latach 2000-2003 kierowałam dwoma projektami badawczymi *pt. Przewidywanie czasu maksymalnego użytkowania filtrów przeznaczonych do ochrony układu oddechowego w warunkach znacznego zapylenia* i *pt. Oddziaływanie wybranych aerozoli przemysłowych na elektrostatyczne materiały filtracyjne stosowane do ochrony układu oddechowego*". Kierunek moich prac wpisywał się w nurt badań prowadzonych przez wiodące Instytuty UE (INRS – Francja i HSL – Wielka Brytania), zmierzających do modyfikacji metodyki badań i oceny skuteczności filtrów i półmasek filtrujących wobec aerozoli modelowych. Problemem była utrata skuteczności filtracji włóknin elektretowych, stanowiących bazowy materiał sprzętu, na skutek depozycji cząstek ciekłych. W tym czasie brałam czynny udział w spotkaniach europejskiego Komitetu Technicznego CEN/CENELEC nr 79 ds. sprzętu ochrony układu oddechowego, co umożliwiało mi prezentowanie wyników moich badań podczas dyskusji nad nową metodyką. Badania różnych rodzajów włóknin filtracyjnych, ze szczególnym uwzględnieniem elektretów, potwierdziły słuszność tezy, iż dla zapewnienia bezpieczeństwa pracowników stosujących sprzęt filtrujący w warunkach przemysłowych, konieczne jest wykonywanie badań w fazie filtracji nieustalonej wobec dwóch aerozoli modelowych: chlorku sodu (cząstki stałe) i mgły oleju parafinowego (cząstki ciekłe).

Oprócz wymienionych aspektów praktycznych moje zainteresowania poznawcze ukierunkowałam także na wyjaśnienie zjawiska utraty skuteczności włóknin filtracyjnych w aspekcie ich powinowactwa do cieczy. Badania prowadziłam w ramach projektu finansowanego z działalności statutowej Instytutu *pt. Analiza mikroskopowa zjawisk zachodzących podczas depozycji cząstek ciekłych w materiałach włókninowych* (2003-2004), którego byłam kierownikiem. Przeprowadziłam szereg doświadczeń związanych z ustaleniem wpływu zwilżalności powierzchni włókien na dynamikę zmian skuteczności filtracji w czasie. Kąt zwilżania włókien wyznaczałam metodą profilu kropli cieczy przy wykorzystaniu metody numerycznej. **Ustaliłam zależność dynamiki zmian utraty skuteczności w czasie depozycji cząstek ciekłych w elektretowych włókninach filtracyjnych od kąta zwilżania powierzchni włókien.** Obserwowałam mniejszą tendencję do utraty skuteczności filtracji włóknin dla przypadku, gdy ciecz w niewielkim stopniu zwilżała powierzchnię włókien, co powodowało tworzenie się zwartych kropli, symetrycznych względem osi włókien. Wnioski te były istotne w

odniesieniu do planowanych zmian metodyki badań skuteczności ochronnej filtrującego sprzętu, wprowadzanego do stosowania na terenie UE. Stanowiły one podstawę do prowadzenia prac nad nowymi materiałami filtracyjnymi, spełniającymi podwyższone wymagania w zakresie skuteczności filtracji wobec cząstek ciekłych aerozoli.

Nieustające dążenie do poprawy skuteczności włóknin filtracyjnych, w szczególności związane z poprawą trwałości elektretów i zmniejszeniem ich wrażliwości na warunki środowiskowe, związane ze stosowaniem sprzętu ochrony układu oddechowego, przyczyniło się do podjęcia przeze mnie nowego kierunku badań. Od 2008 do 2010 roku kierowałam projektem *pt. Badanie zjawisk zachodzących w wysokoskutecznych układach filtracyjnych modyfikowanych w środowisku plazmy niskotemperaturowej* (Program Wieloletni nt. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*). Moje zainteresowanie wykorzystaniem plazmy niskotemperaturowej do modyfikacji powierzchni włókien było podyktowane poszukiwaniem metody pozwalającej na rozwinięcie powierzchni filtracyjnej włókien, co tym samym powinno wpływać na poprawę ich skuteczności. Metoda ta uniezależniała skuteczność filtracji włóknin od oddziaływań: cząstka aerozolu – włókno, z wykorzystaniem sił elektrostatycznego przyciągania. Aby w pełni wykorzystać zalety tej metody każdorazowo dobieierałam wartości poszczególnych parametrów procesowych obróbki plazmą. Proces modyfikacji prowadziłam we współpracy z Katedrą Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej Politechniki Łódzkiej.

Badania właściwości włóknin filtracyjnych pneumatycznych modyfikowanych plazmą niskotemperaturową prowadziłam z ukierunkowaniem na dwa podstawowe cele: określenie wpływu zmian fizyko-chemicznych charakteru powierzchni włóknin PP, uzyskanych w wyniku modyfikacji z wykorzystaniem: argonu, tlenu, azotu i powietrza, na skuteczność filtracji cząstek ciekłych, oraz ocenę trwałości wzrostu skuteczności filtracji włóknin pneumatycznych, po przechowywaniu w czasie 12 miesięcy i po oddziaływaniu wysokiej temperatury i wilgotności. Oceny efektów modyfikacji dokonałam poprzez wyznaczanie skuteczności filtracji wobec cząstek stałych i ciekłych, zmiany topografii powierzchni, z wykorzystaniem mikroskopii SEM, zmiany charakteru chemicznego powierzchni włóknin z wykorzystaniem spektrofotometrii absorpcyjnej w podczerwieni. **Stwierdziłam, że niezależnie od parametrów procesowych modyfikacji powierzchni włókien plazmą niskotemperaturową w środowisku argonu w każdym przypadku nastąpił wzrost skuteczności filtracji mgły oleju parafinowego, nawet do wartości 90% w stosunku do włóknin przed modyfikacją.** Było to spowodowane zmianą topografii powierzchni włókien. Modyfikacja w plazmie niskotemperaturowej w środowisku azotu, tlenu i powietrza spowodowała zmiany w budowie chemicznej wierzchniej warstwy włóknin PP w kierunku poprawy jej zwilżalności. Zwiększyło to tendencję do rozplywu kropli cieczy po powierzchni włókien, co, jak wykazałam we wcześniejszych badaniach, wpływało na utratę skuteczności filtracji w czasie. **We wszystkich przebadanych wariantach włóknin filtracyjnych**

poddanych modyfikacji w plazmie niskotemperaturowej w środowisku argonu nie zaobserwowałam wpływu czasu przechowywania (12 miesięcy) oraz oddziaływania wysokiej temperatury i wilgotności na trwałość uzyskanych efektów modyfikacji. Wyniki badań przedstawiłam w załącznik nr 5 – poz. IIA.2, IIA.9 oraz patencie poz. IIC10.

Ten obiecujący kierunek badań kontynuowałam jako wykonawca w projekcie 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; akronim: NanoProtect, realizowanego w latach 2011-2013 w Zakładzie Ochron Osobistych, pod kierunkiem dr inż. Agnieszki Brochockiej. Jednym z celów projektu było opracowanie technologii modyfikacji włóknin filtracyjnych na skalę półtechniczną. Projekt był realizowany w partnerstwie z Wydziałem Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej i obejmował swoim zakresem materiały polimerowe i sorbenty węglowe. Obróbkę plazmą prowadzono w reaktorze plazmowym PŁ, a następnie w skali półtechnicznej z wykorzystaniem reaktora CIOP-PIB. Do badań wykorzystywałam technikę plazmy niskotemperaturowej o częstotliwości radiowej (RF) i mikrofalowej (MW). Modyfikację prowadziłam dla włókien z poliwęglanu (PC) i polipropylenu (PP). Próbki modyfikowanych włóknin oceniałam z wykorzystaniem metod SEM, EDX, FTIR, XPS oraz wyznaczając parametry filtracyjne. Poczyniłam obserwację, że ze wzrostem czasu modyfikacji plazmowej w Ar następuje coraz większy wzrost chropowatości powierzchni włókien, co przekłada się na rozwinięcie powierzchni filtracyjnej włókien, a tym samym na wzrost zdolności włóknin filtracyjnych do efektywniejszego zatrzymywania cząstek ciekłych aerozolu. Wyniki badań przedstawiłam w załączniku nr 5 - poz. IIA.10 oraz zgłoszeniu patentowym – poz. IIC.15.

W celu przeniesienia technologii obróbki plazmą na skalę półtechniczną przeprowadzono obróbkę jednostronną i dwustronną włóknin PC i PP w środowisku plazmy argonu. Ustalono, że najlepszym wariantem obróbki plazmowej włóknin z punktu widzenia właściwości filtracyjnych była dwustronna obróbka w plazmie argonowej typu RF. Wykazano również różnicę we wpływie obróbki plazmowej na skuteczność filtracji na korzyść włóknin PC.

Wraz z pojawieniem się nowej dziedziny nauki - nanotechnologii prowadziłam także prace ukierunkowane na opracowaniu nowych materiałów filtracyjnych do ochrony przez nanoaerozolami. W wyniku badań komercyjnego sprzętu ochrony układu oddechowego stwierdzono, że żaden typ włókniny filtracyjnej obecnie stosowany do konstrukcji półmasek filtrujących nie zapewnia wystarczającej ochrony przed nanocząstkami. Materiały te wykazywały wysoką skuteczność jedynie w pewnym przedziale wielkości nanocząstek. Założono uzyskanie poprawy skuteczności filtracji poprzez modyfikację włókien polimerowych dodatkami zwiększającymi podatność włókien na elektryzację w polu

wyładowań koronowych. W tym celu zmodyfikowano stanowisko doświadczalne do produkcji włóknin pneumatycznych w Zakładzie Ochron Osobistych, w stosunku do opisanego w patencie nr PL 212007-B1 (pozycja H3 w cyklu wymienionym jako moje osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego). W pierwszym etapie badań zastosowano głowicę włóknotwórczą z systemem ciągłego podawania stałego modyfikatora na drodze mechanicznej. Sposób ten powodował jednak niekorzystne działanie podwyższonej temperatury na strukturę stosowanych modyfikatorów, co skutkowało problemami technologicznymi w układzie podającym polimer w głowicy włóknotwórczej. Dlatego też opracowano nowy system pneumatycznego podawania modyfikatorów. **Poprawę skuteczności filtracji wobec nanocząstek z przedziału (20-100 nm) zapewniło dodanie do strugi stopionego polimeru granulatu wulkanicznego i żywicy naturalnej. Opracowano dodatkowo sposób wprowadzania do włókien polimerowych modyfikatorów w postaci roztworów o supermikronowych kroplach.** Wyniki tych badań przedstawiłam w załączniku nr 5 – poz. IIA.3., IIA.7., IIA.8. w oraz zgłoszeniach patentowych – poz. IIC.13., IIC.14.

Od 2009 roku do chwili obecnej uczestniczę także w pracach związanych z oceną funkcjonalności osobistych ochron balistycznych, w postaci różnego rodzaju kamizelek. Prace te realizuję jako koordynator badań prowadzonych przez zespół CIOP-PIB w ramach 3 projektów realizowanych w konsorcjach naukowo-przemysłowych (załącznik nr 5, poz. IIA.6). **Celem nadzorowanych przeze mnie badań było opracowanie metodyki laboratoryjnych i poligonowych badań eksploatacyjnych.**

Od 2015 r. jestem kierownikiem projektu badawczego (Umowa PBS3/A5/55/2015) finansowanego 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 wykonuję w partnerstwie naukowo-przemysłowym z Katedrą Fizyki Włókna i Metrologii Włókienniczej Politechniki Łódzkiej oraz Przedsiębiorstwem Sprzętu Ochronnego MASKPOL S.A. **Celem projektu jest opracowanie warunków technologicznych wytwarzania jednowarstwowego wielofunkcyjnego kompozytu włókninowego o parametrach zapewniających aplikację do filtrującego sprzętu ochrony układu oddechowego i wkładek do obuwia ochronnego** (załącznik nr 5, poz. IIA.11). Wymienione rodzaje wyrobów obecnie produkowane są z kilku warstw włóknin, spełniających selektywnie kryteria związane z ich funkcjonalnością w środowisku pracy. Półmaski filtrujące i filtry produkowane są z reguły jako układy dwóch lub trzech warstw włókninowych o różnej porowatości, wytwarzanych z wykorzystaniem odrębnych technologii formowania runa. Wkładki do obuwia powszechnie produkowane są z układów materiałów łączonych ze sobą technikami klejenia, co pogarsza elastyczność i wygodę użytkowania. Rozwiązaniem tych problemów będzie opracowanie i wdrożenie do produkcji

jednowarstwowego kompozytu włókninowego o działaniu wielofunkcyjnym, spełniającym jednocześnie wszystkie kryteria ochronne i użytkowe stawiane środkom ochrony indywidualnej na bazie włóknin, przeznaczonych do stosowania w warunkach ciężkiej pracy, ze szczególnym uwzględnieniem minimalizacji uciążliwości wynikających z niekorzystnych warunków mikroklimatycznych i zagrożeń biologicznych. Badania te będę kontynuowała do 2018 r.

6. Sumaryczny dorobek publikacyjny, wynalazczy i wdrożeniowy

Szczegółowe wykazy moich osiągnięć naukowych i aplikacyjnych, po uzyskaniu stopnia doktora, przedstawiłam w załącznikach 5, 6 a sumaryczny dorobek prezentuję 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)	20 (398 pkt. MNiSW)
2.	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	5
3.	Udzielone patenty: a) międzynarodowe b) krajowe	a) Brak b) 10 patentów, 5 zgłoszeń patentowych
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	34 (98,5 pkt. MNiSW)
6.	Autorstwo lub współautorstwo poradników, broszur i artykułów popularnonaukowych	22
7.	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz	7
8.	Sumaryczny <i>impast factor</i> według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	11,509
9.	Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)	46 (26 bez autocytowań)
10.	Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	5
11.A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	a) Brak b) 12
11.B.	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 3 b) 6
12.	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	9

L.p.	KRYTERIUM WEDŁUG §3 P.4, §4 i §5	TAK (liczba)/ BRAK
13.	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	a) 12 referatów, 1 plakat b) 28
14.	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	6
15.	Aktywny udział w konferencjach naukowych a) międzynarodowych b) krajowych	a) 18 referatów, 4 plakaty b) 30 referatów, 2 plakaty
16.	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 8 b) 3
17.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	3
18.	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	5
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) 3 b) Brak c) 1
20.	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	3
21.A.	Członkostwo w międzynarodowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	2
21.B.	Członkostwo w krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	5
22.	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	7
23.	Opieka naukowa nad studentami	20
24.	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze: a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	a) Brak b) Brak
25.	Stáže w ośrodkach naukowych lub akademickich a) zagraniczne b) krajowe	a) 3 b) Brak
26.	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	6
27.	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	8
28.	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	a) Brak b) 7
29.	Recenzowanie publikacji w czasopismach: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 14 b) 4

L.p.	KRYTERIUM WEDŁUG §3 P.4, §4 i §5	TAK (liczba)/ BRAK
30.	Inne osiągnięcia	8