

Dr inż. Dorota Kowalczyk

Autoreferat

Instytut Włókiennictwa
Zakład Naukowy Niekonwencjonalnych Technik i Wyrobów Włókienniczych

Łódź, 2017



1. Imię i Nazwisko

Dorota Kowalczyk

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- doktor nauk chemicznych – Politechnika Łódzka , Wydział Chemiczny, 2003.
Reakcje przeniesienia elektronu indukowane radiacyjnie i fotochemicznie w wodnych roztworach polielektrolitów;
- magister inżynier – Politechnika Łódzka, Wydział Chemiczny, specjalność – techniki fizyko-chemiczne i komputerowe, 1997.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.

- | | |
|------------------|---|
| 2009 - aktualnie | – Instytut Włókiennictwa, Zakład Naukowy Niekonwencjonalnych Technik i Wyrobów Włókienniczych,
– Adiunkt, |
| 2007 - 2009 | – Instytut Włókiennictwa, Zakład Naukowy Niekonwencjonalnych Technik i Wyrobów Włókienniczych,
– Asystent, |
| 2006 - 2007 | – Instytut Inżynierii Materiałów Włókienniczych, Pracownia Chemicznej Technologii Wyrobów Jedwabnych i Pasmanterii,
– Technolog. |

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego.

Moim głównym osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego, określonym w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) są badania w zakresie modyfikacji powierzchni włókien i wyrobów włókienniczych celem nadania im nowych oczekiwanych właściwości dodanych, względnie optymalizacji właściwości/funkcji już posiadanych. Badania te były prowadzone przede wszystkim w obszarze nano- lub submikro technologii włókienniczych. Odnosiły się do modyfikacji stanu i właściwości powierzchniowych włókien i wyrobów

włókienniczych metodami fizycznymi poprzez oddziaływanie niskotemperaturową plazmą atmosferyczną oraz wytwarzania na powierzchni włókien odpowiednio sfunkcjonalizowanych powłok, a w szczególności wytwarzania metodą zol-żel cienkich powłok krzemionkowych domieszkowanych nano- lub submikrocząstkami funkcjonalnymi.

a) tytuł osiągnięcia naukowego

Moim osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę wniosku habilitacyjnego określonym w art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311) jest cykl 16 publikacji (z bazy JCR), 1 publikacji składającej się z 3 części (spoza bazy JCR), 4 patentów i 1 zgłoszenia patentowego, wynikających z prowadzonych przeze mnie badań z tematyki:

**Uszlachetniania materiałów włókienniczych w wyniku ich
modyfikacji powierzchniowej**

*b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci
wydawniczy);*

1. **Kowalczyk D., Kamińska I., (2017),** Effect of corona discharge on the stability of the adhesion of thin silicone-organic coating to polyamide fiber surface made by the sol-gel method, Journal of Coatings Technology and Research, DOI:10.1007/s11998-016-9899-9;
[IF – 1,557 (2016), MNiSW – 25]

*Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji włókniny poliamidowej wyładowaniami koronowymi, opracowaniu warunków nanoszenia zolu krzemionkowego na włókninę poliamidową, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i udziale w badaniach, przeprowadzeniu analizy wyników badań, napisaniu publikacji oraz roli autora korespondencyjnego.
Mój udział procentowy oceniam na 70%.*

2. **Kowalczyk D., Brzeziński S., Kamińska I., (2017),** Multifunctional nanocoating finishing of polyester/cotton woven fabric by the sol-gel method, Textile Research Journal, DOI: 10.1177/0040517517693979;
[IF – 1,443 (2016), MNiSW – 40]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu sposobu wielofunkcyjnej modyfikacji tkanin metodą zol-żel, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i udziale w badaniach, przeprowadzeniu analizy wyników badań, napisaniu publikacji oraz roli autora korespondencyjnego.

Kowalczyk D.

Mój udział procentowy oceniam na 60%.

3. Makowski T., Grala M., Fortuniak W., **Kowalczyk D.**, Brzeziński S., (2016), Electrical properties of hydrophobic polyester and woven fabrics with conducting 3D Network of multiwall carbon nanotubes, *Materials & Design*, 90, s. 1026-1033; [IF – 4,364 (2016), MNiSW – 35]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu sposobu otrzymywania stabilnej dyspersji nanorurek węglowych i trwałego ich nanoszenia na tkaniny, udziale w analizie wyników badań oraz w udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 45%.

4. **Kowalczyk D.**, Brzeziński S., Makowski T., Fortuniak W., (2015), Conductive hydrophobic hybrid textiles modified with carbon nanotubes, *Applied Surface Science*, 357, s. 1007-1014; [IF – 3,150 (2015), MNiSW – 35]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu sposobu otrzymywania stabilnej dyspersji nanorurek węglowych i trwałego ich nanoszenia na tkaniny, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu zaplanowanych badań, przeprowadzeniu analizy wyników badań, napisaniu publikacji oraz roli autora korespondencyjnego.

Mój udział procentowy oceniam na 40%.

5. Makowski T., **Kowalczyk D.**, Fortuniak W., Brzeziński S., Kregiel D., (2015), Electrochemical deposition of silver nanoparticle and polymerization of pyrrole on fabrics via conducting multiwall carbon nanotubes, *Cellulose*, Vol. 22, Issue 4, s. 3063-3075; [IF – 3,195 (2015), MNiSW – 45]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu sposobu otrzymywania stabilnej dyspersji nanorurek węglowych i trwałego ich nanoszenia na tkaniny, udziale w analizie wyników badań oraz w udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 40%.

6. **Kowalczyk D.**, Brzeziński S., Kamińska I., (2015), Multifunctional bioactive and improving the performance durability nanocoatings for finishing PET/CO woven fabrics by the sol-gel, *Journal of Alloys and Compounds*, 649, s. 387-393; [IF – 3,014 (2015), MNiSW – 35]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu sposobu bioaktywnej modyfikacji tkaniny metodą sol-żel, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i udziale w badaniach, przeprowadzeniu analizy wyników badań, napisaniu publikacji oraz roli autora korespondencyjnego.

Mój udział procentowy oceniam na 60%.

7. Makowski T., **Kowalczyk D.**, Fortuniak W., Jeziorska D., Brzeziński S., **Tracz A.**, (2014), Superhydrophobic properties of cotton woven fabrics with conducting 3D networks of multiwall carbon nanotubes, MWCNTs, *Cellulose*, Vol. 21, Issue 6, s.

4659-4670,

[IF – 3,573 (2014), MNiSW – 45]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu sposobu otrzymywania stabilnej dyspersji nanorurek węglowych i trwałego ich nanoszenia na tkaniny, udziale w analizie wyników badań oraz w udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 30%.

8. Brzeziński S., **Kowalczyk D.**, Borak B., Jasiorski M., **Tracz A.**, (2012), Applying the Sol-Gel Method to the Deposition of Nanocoats on Textiles to Improve Their Abrasion Resistance, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 125, s. 3058-3067;

[IF – 1,395 (2012), MNiSW – 25]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków nanoszenia zolu krzemionkowego na tkaninę, opracowaniu koncepcji badań, przeprowadzeniu analizy wyników badań oraz w udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 50%.

9. Brzeziński S., **Kowalczyk D.**, Borak B., Jasiorski M., **Tracz A.**, (2011), Nanocoat Finishing of Polyester/Cotton Fabrics by the Sol-Gel Method to Improve their Wear Resistance, Fibres&Textiles in Eastern Europe, Vol. 19, No. 6(89), s. 83-88;

[IF – 0,532 (2011), MNiSW – 25]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków nanoszenia zolu krzemionkowego na tkaninę, opracowaniu koncepcji badań, przeprowadzeniu analizy wyników badań oraz w udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 50%.

10. Brzeziński S., Kaleta A., **Kowalczyk D.**, Malinowska G., Gajdzicki B., (2010), Effect of changes in the nanostructure of the outer layer of synthetics fibres on their dyeing properties, Fibres&Textiles in Eastern Europe, Vol. 18, No. 4(81), s. 92-98;

[IF – 0,629 (2010), MNiSW – 20]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkaniny wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i udziale w badaniach, udziale w analizie wyników badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 40%.

11. Brzeziński S., **Tracz A.**, Połowiński S., **Kowalczyk D.**, (2010), Effect of corona discharge on the morphology of polyester fiber top layer, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 116, s. 3659-3667;

[IF – 1,24 (2010), MNiSW – 25]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkaniny wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i udziale w badaniach, udziale w analizie wyników badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 60%.

Kolmij

12. Brzeziński S., **Kowalczyk D.**, Połowiński S., (2009), Deposition of Polymer Complex Nano-Layers onto Polyester Fabrics Activated with Corona Discharges, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17, No. 1(72), s. 87-90;
[IF – 0,581 (2009), MNiSW – 15]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkaniny wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu wykonywanych badań, udziale w analizie wyników badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 75%.

13. Brzeziński S., Połowiński S., **Kowalczyk D.**, Karbownik I., Malinowska G., (2009), Effect of the corona discharge treatment of polyester fabrics on their adhesive properties, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17, No. 4(75), s. 98-102;
[IF – 0,581 (2009), MNiSW – 15]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkaniny wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, wykonaniu części badań, analizie wyników badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 65%.

14. Brzeziński S., Żenkiewicz M., Połowiński S., **Kowalczyk D.**, Karbownik I., Lutomirski S., Malinowska G., (2009), Zastosowanie wyładowań koronowych do modyfikowania warstwy wierzchniej włókienniczych materiałów polimerowych – analiza problemu, konstrukcja urządzeń i badania wstępne, (Application of corona treatment to modify the surface layer of textile polymer materials. Analysis of the issue, design of equipment, and preliminary studies), *Polimery*, No. 6,(54), s. 421-429;
[IF – 1,376 (2009), MNiSW – 20]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkaniny wyładowaniami koronowymi, nadzorowaniu wykonywanych badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 50%.

15. Brzeziński S., Żenkiewicz M., Połowiński S., **Kowalczyk D.**, Karbownik I., Lutomirski S., Malinowska G., (2009), Zastosowanie wyładowań koronowych do modyfikowania warstwy wierzchniej włókienniczych materiałów poliestrowych, (Application of corona discharge to modify the surface layer of polyester textiles), *Polimery*, No. 7-8, (54), s. 552-558;
[IF – 1,376 (2009), MNiSW – 20]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkaniny wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i wykonaniu części badań, udziale w analizie wyników badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 50%.

16. Brzeziński S., Połowiński S., **Kowalczyk D.**, Malinowska G., (2009), Effect of the corona discharge treatment on the surface strength and performance properties of synthetic fibre textiles, *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 17, No. 5(76), s. 62-68;
[IF – 0,581 (2009), MNiSW – 15]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkanin wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, nadzorowaniu i wykonaniu części badań, udziale w analizie wyników badań oraz udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy oceniam na 60%.

17. Brzeziński S., Połowiński S., Żenkiewicz M., **Kowalczyk D.**, Malinowska G., Lutomirski S., (2009), Optymalizacja właściwości użytkowych wyrobów z włókien syntetycznych w wyniku ich modyfikacji wyładowaniami koronowymi, Cz. I, Przegląd Włókienniczy, No 9, s. 36-40
Cz. II Przegląd Włókienniczy, No 10, s. 29-31
Cz. III Przegląd Włókienniczy, No 11, s. 31-33
[MNiSW – 4]

Mój wkład w powstanie w/w publikacji polegał na opracowaniu warunków aktywacji tkanin wyładowaniami koronowymi, opracowaniu koncepcji badań, wykonaniu części badań, udziale w analizie wyników badań i udziale w napisaniu publikacji.

Mój udział procentowy w każdej części publikacji oceniam na 50%.

Patenty

- P 1. Numer zgłoszenia w Urzędzie Patentowym RP - P.395765, data zgłoszenia 25.07.2011.

Decyzja Urzędu Patentowego RP o udzieleniu patentu – 21.09.2015, Patent Nr 222260

„Sposób produkcji materiału włókienniczego o zwiększonej trwałości użytkowej”, Brzeziński S. (20%), **Kowalczyk D.** (20%), Malinowska G. (12%), Kaleta A. (8%), Jasiorski M. (17%), Borak B. (17%), Baszczuk A. (6%).

Mój wkład w powstanie w/w patentu polegał na opracowaniu założeń wynalazku, opracowaniu sposobu trwałego nanoszenia zolu krzemionkowego na powierzchnię włókien, wykonaniu części badań, udziale w przygotowaniu opisu patentowego i zastrzeżeń patentowych.

Mój udział procentowy oceniam na 20%.

- P 2. Numer zgłoszenia w Urzędzie Patentowym RP - P.407857, data zgłoszenia 10.04.2014.

Decyzja Urzędu Patentowego RP o udzieleniu patentu – 20.12.2016, Patent Nr 226137

„Sposób produkcji materiałów włókienniczych o właściwościach bioaktywnych i zwiększonej trwałości użytkowej”, Brzeziński S. (35%), **Kowalczyk D.** (35%), Jasiorski M. (15%), Borak B. (15%).

Mój wkład w powstanie w/w patentu polegał na opracowaniu założeń wynalazku, prowadzeniu prac związanych z modyfikacją zolu krzemionkowego cząstkami bioaktywnymi, naniesieniu modyfikowanego zolu na powierzchnię włókien, wykonaniu części badań, udziale w przygotowaniu opisu patentowego i zastrzeżeń patentowych.

Mój udział procentowy oceniam na 35%.

- P 3. Numer zgłoszenia: P.407849, data zgłoszenia 09.04.2014

Kol-D

Decyzja Urzędu Patentowego RP o udzieleniu patentu – 21.12.2016, Patent Nr 226136

„Sposób produkcji materiałów włókienniczych o właściwościach hydrofobowych i zwiększonej trwałości użytkowej”, Brzeziński S. (35%), **Kowalczyk D.** (35%), Jasiorski M. (15%), Borak B (15%).

Mój wkład w powstanie w/w patentu polegał na opracowaniu założeń wynalazku, naniesieniu na powierzchnię włókien zolu krzemionkowego, wykonaniu części badań, udziale w przygotowaniu opisu patentowego i zastrzeżeń patentowych. Mój udział procentowy oceniam na 35%.

P 4. Numer zgłoszenia: P.406396, data zgłoszenia 05.12.2013

Decyzja Urzędu Patentowego RP o udzieleniu patentu – 21.12.2016, Patent Nr 226123

„Sposób produkcji wielofunkcyjnych wyrobów włókienniczych”, Brzeziński S. (28%), **Kowalczyk D.** (30%), Malinowska G. (12%), Jasiorski M. (15%), Borak B. (15%).

Mój wkład w powstanie w/w patentu polegał na opracowaniu założeń wynalazku, prowadzeniu prac związanych z modyfikacją zolu krzemionkowego nanocząstkami funkcjonalnymi i jego nanoszeniu na powierzchnię włókien, wykonaniu części badań oraz udziale w przygotowaniu opisu patentowego i zastrzeżeń patentowych. Mój udział procentowy oceniam na 30%.

Zgłoszenie patentowe

ZP 1. Numer zgłoszenia: P.395680, data zgłoszenia 18.07.2011

„Sposób produkcji antybakteryjnych i antygrzybiczych włókiennie-tworzywowych materiałów powłokowych”, Brzeziński S. (20%), Malinowska G. (20%), **Kowalczyk D.** (12%), Kaleta A. (8%), Jasiorski M. (12%), Borak B. (10%), Baszczuk A. (10%), Dąbek K. (8%).

Mój wkład w powstanie w/w zgłoszenia patentowego polegał na przygotowaniu i prowadzeniu prac związanych z inkorporacją submikrocząstek bioaktywnych na materiały włókiennicze oraz zbadaniu ich właściwości użytkowych. Mój udział procentowy oceniam na 12%.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

W dobie ciągłego rozwoju gospodarczego i zapotrzebowania na specjalistyczne produkty różnego przeznaczenia, materiałom włókienniczym również stawia się coraz większe wymagania. Oprócz trwałości użytkowej i walorów estetycznych oczekuje się, że będą wykazywały dodatkowe właściwości funkcjonalne, chroniące ich użytkowników przed zagrożeniami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. Uzyskanie materiałów włókienniczych o właściwościach dodanych wymaga specjalnie opracowanych metod lub

procesów uszlachetniających, które mogą obejmować różne etapy wytwarzania wyrobu włókienniczego.

Szczególnie istotny wpływ na uzyskanie materiałów włókienniczych o oczekiwanych właściwościach funkcjonalnych ma rozwój nanotechnologii. Zastosowanie specjalistycznej aparatury badawczej pozwoliło na poznanie procesów/mechanizmów oraz zmian stanu powierzchni włókien zachodzących w skali nano. Rozwój nanotechnologii umożliwił również zastosowanie różnego rodzaju nanomodifikatorów np. jako domieszki polimerów włóknotwórczych na etapie wytwarzania włókien, ich aplikację na powierzchnię włókien/wyrobu włókienniczego technikami powlekania, napawania, drukowania.

Możliwości wynikające z zastosowania nanotechnologii do opracowania innowacyjnych materiałów włókienniczych, stanowiły główną ideę prac o charakterze interdyscyplinarnym, prowadzonych przeze mnie od prawie 10 lat. Celem moich prac były badania nad opracowaniem sposobu modyfikacji powierzchni włókien ukierunkowanej na poprawę efektywności następczych procesów aplikacji oraz opracowaniem wielofunkcyjnych materiałów włókienniczych modyfikowanych nanocząstkami funkcjonalnymi, w tym z zastosowaniem metody zol-żel.

Prowadzone przeze mnie badania miały charakter poznawczy jak i aplikacyjny, i obejmowały:

1. modyfikację powierzchniową – nanostrukturyzację oraz aktywację chemiczną powierzchni włókien/materiałów włókienniczych niskotemperaturową plazmą atmosferyczną (wyładowaniami koronowymi);
2. funkcjonalizację materiałów włókienniczych w wyniku wytworzenia na ich powierzchni mikropowłok polimerów organicznych lub wytworzenia na powierzchni włókien hybrydowych organiczno-nieorganicznych submikro- lub nanopowłok krzemionkowych, modyfikowanych nanocząstkami funkcjonalnymi;
3. funkcjonalizację materiałów włókienniczych w wyniku wytworzenia na powierzchni włókien przestrzennej przewodzącej sieci nanorurek węglowych, a w okresie ostatnich dwóch lat również grafenu, immobilizowanego w hybrydowej matrycy krzemionkowej wytwarzanej metodą zol-żel.

Istotnym elementem moich prac były badania z zakresu fizykochemii powierzchni. Badania morfologii, zwilżalności, swobodnej energii powierzchniowej oraz identyfikacja aktywnych grup powstałych na powierzchni włókien stanowiły podstawę do oceny wpływu

modyfikacji plazmy niskotemperaturowej na właściwości fizyko-chemiczne warstwy wierzchniej włókien, a w konsekwencji na efektywność następczych procesów aplikacji. Jednocześnie badania z zakresu fizykochemii powierzchni dostarczały informacji w aspekcie zmian zachodzących na powierzchni włókien w wyniku ich modyfikacji cząstkami funkcjonalnymi.

Prowadzone przeze mnie badania dotyczące uszlachetniania materiałów włókienniczych poprzez modyfikację/funkcjonalizację ich powierzchni, obejmowały nadawanie im właściwości bioaktywnych, fotokatalitycznego samooczyszczania, barierowych wobec promieniowania UV, przewodzących i hydrofobowych oraz odpornych na ścieranie i tworzenie się pillingu.

1. Modyfikacja powierzchniowa włókien/materiału włókienniczego niskotemperaturową plazmą atmosferyczną – wyładowaniami koronowymi.

Wyładowania koronowe podobnie jak dielektryczne wyładowania barierowe i plazma jarzeniowa stanowią odmianę plazmy atmosferycznej. W trakcie aktywacji wyładowaniami koronowymi generowane są cząstki energetyczne i fotony, które oddziaływując z powierzchnią włókna powodują zmiany o charakterze fizycznym i chemicznym warstwy wierzchniej włókien. Do głównych efektów aktywacji warstwy wierzchniej włókien należą:

- oczyszczanie – usuwanie różnego rodzaju zanieczyszczeń organicznych, technologicznych i przypadkowych z powierzchni włókien,
- zmiana topografii powierzchni włókien – nanostrukturyzacja,
- modyfikacja chemiczna struktury warstwy wierzchniej włókien.

Biorąc pod uwagę uzyskiwane efekty modyfikacji warstwy wierzchniej włókien, wyładowania koronowe mogą stanowić alternatywę dla konwencjonalnych procesów obróbki chemicznej w środowisku wodnym. Przy odpowiednim doborze parametrów modyfikacji, wyładowania koronowe oddziałują wyłącznie na warstwę powierzchniową włókien i nie wpływają na właściwości ich tworzywa, a więc nie powodują negatywnego wpływu na właściwości wytrzymałościowe wyrobów. Jednocześnie wykazują charakter proekologiczny. W znacznej mierze mogą zastępować powszechnie stosowane procesy chemicznego uszlachetniania wyrobów włókienniczych, przeprowadzane w środowisku wodnym, zużywające bardzo znaczne ilości wody i generujące trudno oczyszczalne ścieki poprodukcyjne. Ponadto procesy modyfikacji plazmowej zużywają znacznie mniej energii

oraz charakteryzują się dużą efektywnością procesową. Bardzo istotne znaczenie ma także wysoka trwałość użytkowa uzyskiwanych efektów modyfikacji plazmowej, istotnie różniąc się od przeprowadzanych w środowisku wodnym sorpcyjnych procesów uszlachetniających tekstylia, wymagających stosowania różnych chemikaliów, niekiedy bardzo agresywnych i szkodliwych dla środowiska naturalnego.

Pomimo licznych zalet i dużego potencjału rozwojowego, ta nowoczesna, ekonomiczna i proekologiczna technika modyfikacji materiałów włókienniczych w środowisku niskotemperaturowej plazmy atmosferycznej, w tym wyładowań koronowych, nie jest rozpowszechniona w przedsiębiorstwach włókienniczych. Wynika to zarówno z ograniczonego dostępu do aktywatorów, jak i braku kompleksowej informacji w przedsiębiorstwach o ich rzeczywistych możliwościach aplikacyjnych. Najczęściej dostępne są eksperymentalne lub laboratoryjne prototypy takich urządzeń, natomiast aktywatory przemysłowe posiada i użytkuje jedynie niewielu wyspecjalizowanych producentów i to wyłącznie zagranicznych, co w znacznej mierze wynika z wysokiego poziomu kosztów zakupu takich urządzeń.

W ramach współpracy Instytutu Włókiennictwa z Instytutem Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych (IPTS) METALCHEM, obecnie Instytutem Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, opracowaliśmy własną konstrukcję aktywatora laboratoryjno-doświadczalnego, która miała posłużyć do przygotowania konstrukcji aktywatora przemysłowego, dostosowanego do lokalnych warunków i potrzeb przedsiębiorstw włókienniczych. Prace te realizowane były w ramach projektu badawczego rozwojowego MNiSW Nr R0803501 pt. *Zastosowanie wyładowań koronowych do trwałego uszlachetniania wyrobów z włókien syntetycznych*, w którym pełniłam funkcję głównego wykonawcy.

Opracowana konstrukcja aktywatora laboratoryjnego zapewniała dowolną regulację warunków procesowych obróbki wyładowaniami koronowymi obejmującą moc wyładowań, wielkość szczeliny międzyelektrodowej, środowiska wyładowań i czasu trwania obróbki wyładowaniami koronowymi, zarówno poprzez zmianę prędkości przesuwu materiału włókienniczego przez stację wyładowczą, jak i możliwość wielokrotnego powtarzania obróbki. Aktywator laboratoryjny wyposażono w elektrodę dwuostrzową, z możliwością regulowania mocy wyjściowej generatora w zakresie od 20-100% mocy znamionowej, wynoszącej 2,1 kW, częstotliwością 25-30 kHz i możliwością przesuwu materiału włókienniczego w zakresie od 1 – 20 m/min. Na tak skonstruowanym aktywatorze przeprowadziłam wstępne badania technologiczne, które miały na celu eksperymentalną



weryfikację przyjętych założeń konstrukcyjnych aktywatora i ocenę prawidłowości jego działania oraz wstępne określenie warunków procesowych obróbki wyładowaniami koronowymi wybranych materiałów włókienniczych.

Warunki te obejmowały m.in. określenie wymaganej wartości energii aktywacji E_j , czas poddawania materiału włókienniczemu oddziaływaniu wyładowań koronowych (prędkość oraz krotność przesuwu materiału przez sekcję wyładowczą) oraz ustalenie wielkości szczeliny międzyelektrodowej. Określenie wstępnych warunków obróbki wyładowaniami koronowymi przeprowadziłam wyznaczając swobodną energię powierzchniową, zwilżalność oraz wizualnie określając zmiany makroskopowe stanu powierzchni aktywowanego materiału włókienniczego. Przeprowadziłam również analizę obrazów mikroskopowych stanu powierzchni włókien wykonanych techniką skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz analizę zmian wytrzymałości na rozciąganie.

W wyniku przeprowadzonych badań, stwierdziłam, że aktywacja tkaniny z włókien poliestrowych (PET) energią $E_j < 0,5 \text{ J/cm}^2$, czyli najczęściej stosowaną do modyfikacji folii polimerowych, nie powoduje znacznych zmian warstwy wierzchniej włókien, a w rezultacie i oczekiwanych efektów aktywacji materiałów włókienniczych. Zmiany te okazały się niewielkie i nierównomierne. W trakcie sukcesywnego zwiększania wartości energii aktywacji wyładowań koronowych, uzyskałam zauważalną poprawę efektów aktywacji włókien poliestrowych, jednocześnie zaobserwowałam pojawianie się coraz większej ilości pojedynczych wyładowań snopiastych, tzw. strimerów. Powodowały one miejscowe termiczne uszkodzenia aktywowanych tkanin. **Na podstawie wyników badań laboratoryjnych oraz analizy obrazu wyładowań międzyelektrodowych ustaliłam wpływ mocy wyładowań, wielkości szczeliny międzyelektrodowej i prędkości przesuwu aktywowanego materiału włókienniczego na równomierność wyładowań koronowych.** Stwierdziłam, że największą równomierność wyładowań, w przypadku aktywatora laboratoryjnego wyposażonego w metalową elektrodę dwuostrzową, uzyskuje się stosując możliwie jak najmniejszą szczelinę międzyelektrodową (która powinna być o ok. 1 mm większa od grubości aktywowanego materiału włókienniczego), oraz moc wyładowań na poziomie 25-30% mocy znamionowej generatora. Ze względu na niedostateczny efekt modyfikacji aktywowanego materiału włókienniczego przy mniejszych energiach E_j oraz występowanie dyskwalifikujących uszkodzeń termicznych przy zastosowaniu większych energii E_j stwierdziłam, że niezbędna jest modyfikacja konstrukcji aktywatora laboratoryjnego, a w szczególności elektrody dwuostrzowej. Na podstawie przeprowadzonych

przeze mnie badań, zaprojektowano i wykonano w IIMPiB w Toruniu oryginalną pięcioostrzową elektrodę, która dzieliła doprowadzaną z generatora energię E_j na pięć mniejszych dawek. Takie rozwiązanie konstrukcyjne zapewniło wysoki poziom równomierności wyładowań i eliminację występujących strimerów, a więc i dyskwalifikujących miejscowych uszkodzeń (przepaleń) tkaniny. Słuszność zmian konstrukcyjnych elektrody wyładowczej potwierdziłam badaniami właściwości powierzchniowych (morfologia, zwilżalność, swobodna energia powierzchniowa) aktywowanej tkaniny poliestrowej.

Przeprowadzone przeze mnie badania potwierdzające pozytywne efekty modyfikacji tkaniny poliestrowej pozwoliły na opracowanie konstrukcji i wykonanie aktywatora doświadczalnego z czterema elektrodami pięcioostrzowymi. W celu poznania dokładnego wpływu wyładowań koronowych na właściwości powierzchniowe aktywowanych materiałów włókienniczych, przeprowadziłam kompleksową analizę zachodzących zmian właściwości powierzchniowych w zależności od zastosowanej energii aktywacji oraz efektu tego procesu w odniesieniu do rodzaju włókien aktywowanych materiałów. Analiza ta była przedmiotem podjętych przeze mnie badań przy współpracy z Polską Akademią Nauk w Łodzi, Politechniką Łódzką oraz Polską Akademią Nauk w Warszawie.

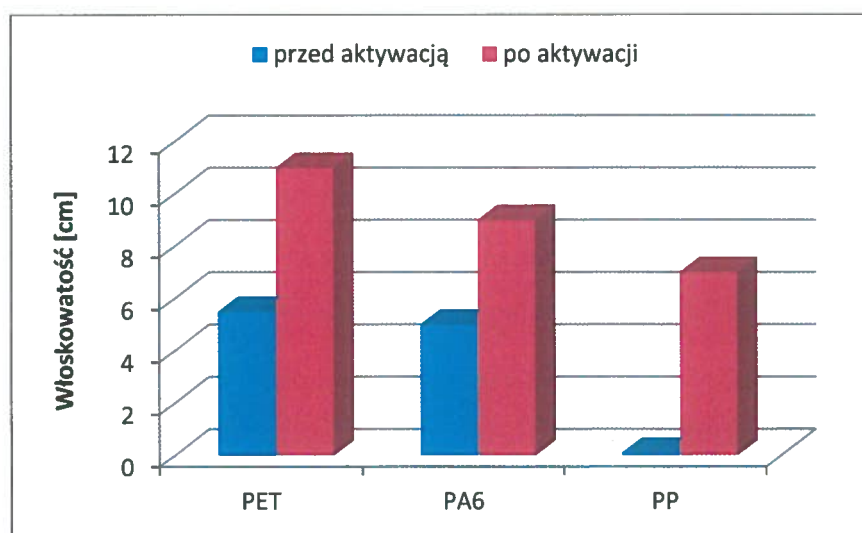
Aktywacji poddałam tkaniny z włókien poliestrowych (politereftalanu etylenowego, PET), poliamidowych (PA6) i polipropylenowych (PP). Na podstawie analizy wyników badań właściwości wytrzymałościowych aktywowanych tkanin, w różnych warunkach procesowych, **określiłam maksymalną dopuszczalną energię aktywacji dla poszczególnych rodzajów i struktur tkanin**, czyli energię po przekroczeniu której następowało pogorszenie parametrów wytrzymałościowych aktywowanych tkanin. Największą dopuszczalną wartość energii aktywacji uzyskałam dla tkaniny PET ($E_j \text{ max} = 75,6 \text{ J/cm}^2$) następnie dla tkaniny PP ($E_j \text{ max} = 22,7 \text{ J/cm}^2$) i tkaniny PA6 ($E_j \text{ max} = 18,9 \text{ J/cm}^2$).

Następnie skoncentrowałam się na ocenie zmian zwilżalności aktywowanych tkanin. Analizę tych zmian przeprowadziłam w oparciu o wyniki badań zastosowanych różnych metod badawczych. Metody te obejmowały pomiar kąta zwilżania metodą tensometryczną, kinetykę rozplywu kropli wody metodą goniometryczną, pomiar czynności kapilarnej tkanin metodą pomiaru włoskowatości oraz pomiar chłonności wody z zastosowaniem testu napawania. Wybór kilku metod badawczych do oceny zwilżalności aktywowanych tkanin podyktowany był możliwością zastosowania różnych technik uszlachetniania aktywowanych



materiałów włókienniczych (np. napawanie pełnokąpielowe, druk pigmentowy, powlekanie czy barwienie). Dobra zwilżalność włókien/materiałów włókienniczych jest podstawowym warunkiem prawidłowego przebiegu procesów technologicznych uszlachetniania, prowadzonych w znacznej mierze w środowisku wodnym. Decyduje ona również o właściwościach adhezyjnych włókien/materiałów włókienniczych, trwałym łączeniu warstw składowych w wyrobach złożonych czy odporności użytkowej wydruków pigmentowych. Jak wiadomo, włókna syntetyczne wykazują właściwości hydrofobowe. Z tego względu, w celu prawidłowego przeprowadzenia procesów uszlachetniających materiały włókiennicze niezbędna jest ich hydrofilizacja. Najczęściej wzrost zwilżalności uzyskuje się przez nanoszenie na materiały włókiennicze różnego rodzaju środków zwilżających, co jest rozwiązaniem niekorzystnym, zarówno pod względem technologicznym, ekologicznym i ekonomicznym.

Niezależnie od zastosowanej metody badawczej, **stwierdziłam, że wraz ze wzrostem energii aktywacji następuje wzrost zwilżalności tkanin**, przy czym największe zmiany zaobserwowałam dla tkaniny z włókien PP charakteryzującej się największymi właściwościami hydrofobowymi (Rys. 1). **Pozwala to na kontrolowanie poziomu zwilżalności tkanin poprzez odpowiedni dobór parametrów aktywacji**. Obserwowany wzrost zwilżalności jest efektem zmian właściwości chemicznych i morfologicznych powierzchni aktywowanych włókien.



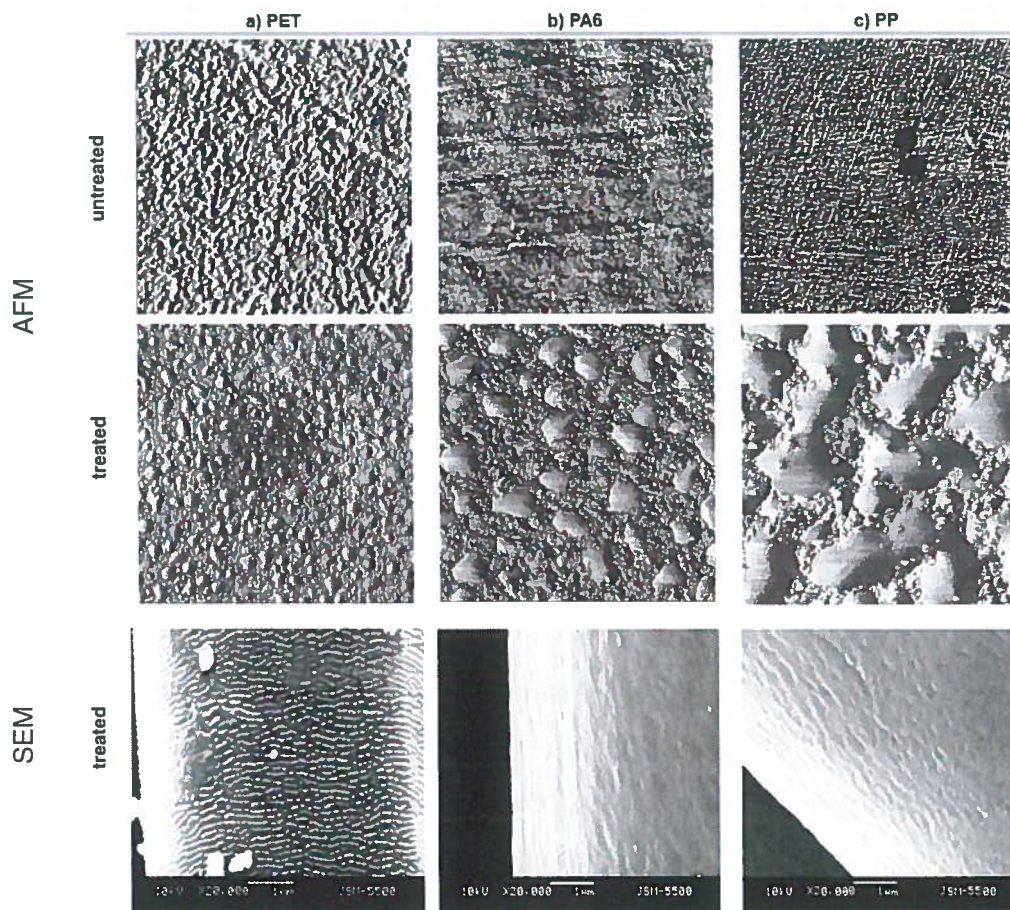
Rys. 1. Wpływ aktywacji wyładowaniami koronowymi na zwilżalność (włoskowatość) tkaniny PET, PA6 i PP.

Na powierzchni włókien generowane są aktywne grupy funkcyjne, które powodują zmianę właściwości powierzchniowych włókien. Na podstawie pomiaru kąta zwilżania metodą tensometryczną, wyznaczonej wartości swobodnej energii powierzchniowej oraz jej składowych dyspersyjnej i polarnej stwierdziłam, że aktywacja wyładowaniami koronowymi powoduje wzrost zwilżalności i wzrost składowej polarnej swobodnej energii powierzchniowej. Zaobserwowane zmiany świadczą o dużym udziale grup polarnych na powierzchni aktywowanych włókien. Przeprowadzone badania techniką spektroskopii fotoelektronowej (XPS) pozwoliły mi na identyfikację powstałych grup funkcyjnych. W zależności od rodzaju aktywowanego materiału włókienniczego na powierzchni włókien obecne były grupy C-O-, O=C-O-, C=O i/lub N-CO-N.

Powstałe tlenowe grupy funkcyjne spowodowały również zmianę stopnia utlenienia warstwy wierzchniej włókien. Na podstawie wyznaczonego stosunku wagowego O/C z zastosowaniem techniki ilościowej i jakościowej mikroanalizy rentgenowskiej (EDS) stwierdziłam, że stopień utlenienia warstwy wierzchniej włókien zależy od warunków procesowych aktywacji, przy czym największą zmianę stosunku O/C (ponad dwukrotny wzrost) uzyskałam dla tkaniny z włókien polipropylenowych (Tabela 1).

Zastosowanie techniki mikroskopii sił atomowych (AFM) oraz techniki elektronicznej mikroskopii skaningowej (SEM) pozwoliło mi na ocenę zmiany topografii i morfologii powierzchni aktywowanych włókien. Stwierdziłam, że w wyniku aktywacji wyładowaniami koronowymi następują zmiany zarówno mikro- jak i nanotopografii powierzchni oraz rozwinięcie powierzchni włókien (Rys. 2). Największy, kilkunastokrotny wzrost chropowatości (RMS) powierzchni włókien uzyskałam dla tkaniny z włókien polipropylenowych (Tabela 1). To znaczne rozwinięcie powierzchni aktywowanych włókien ma szczególne znaczenie w procesach wykończalniczych materiałów włókienniczych (np. w procesie powlekania, laminowania, drukowania), w których powierzchnia kontaktu wytworzonej powłoki z powierzchnią włókien ma decydujący wpływ na trwałość ich połączenia.

Dlatego też, w dalszej części badań skoncentrowałam się ocenie wpływu aktywacji wyładowaniami koronowymi na właściwości użytkowe materiałów włókienniczych. Po wstępnej obróbce wyładowaniami koronowymi materiały włókiennicze poddałam procesowi powlekania, laminowania, drukowania i barwienia.



Rys. 2. Obrazy AFM (kontrast fazowy) powierzchni nieaktywowanych i aktywowanych włókien oraz obrazy SEM powierzchni włókien aktywowanych w zoptymalizowanych warunkach: a) PET ($E_j = 75,6 \text{ J/cm}^2$), b) PA6 ($E_j = 18,9 \text{ J/cm}^2$), c) PP ($E_j = 22,7 \text{ J/cm}^2$).

Tabela 1. Wybrane właściwości powierzchniowe tkanin z włókien PET, PA6 oraz PP aktywowanych wyładowaniami koronowymi w zoptymalizowanych warunkach.

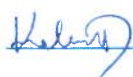
Rodzaj tkaniny	PET		PA6		PP	
	Przed aktywacją	Po aktywacji	Przed aktywacją	Po aktywacji	Przed aktywacją	Po aktywacji
Energia aktywacji E_j [J/cm^2]	----	75,6	----	18,9	----	22,7
Swobodna energia powierzchniowa [J/cm^2]	38,45	48,16	41,79	45,02	43,45	73,50
d- składowa dyspersyjna p- składowa polarna	d = 12,74 p = 25,71	d = 12,52 p = 35,64	d = 12,23 p = 29,56	d = 12,25 p = 32,77	d = 42,31 p = 1,14	d = 35,61 p = 37,89
Stopień zwilżalności/ włoskowatość [cm]	5,45	10,65	5,05	8,70	0,10	7,10
Kąt zwilżania wodą [deg]	63,35	51,03	60,00	56,92	112,07	13,40
Stosunek O/C (metoda EDS)	0,7588	0,7915	0,3112	0,3440	0,0808	0,1748
Chropowatość powierzchni RMS [nm]	1,7	13,0	5,4	15,6	1,7	18,7

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziłam, że wstępnie aktywowane materiały włókiennicze wykazywały lepsze właściwości użytkowe niż materiały nieaktywowane. Wytworzone włókiennotworzywowe materiały włókiennicze charakteryzowały się większą wodoszczelnością, dla laminatów uzyskałam prawie dwukrotne zwiększenie siły rozwarstwiania materiałów, a dla materiałów drukowanych zwiększoną odporność wydruków pigmentowych na ścieranie. W przypadku materiałów poddanych procesowi barwienia, widoczną poprawę intensywności zabarwienia uzyskałam dla materiałów barwionych metodą ciągłą – Termosol, polegającą na napawaniu materiału włókienniczego kąpielą zawierającą barwnik i dyspergator, a następnie suszeniu i dogrzewaniu. Natomiast nie zaobserwowałam istotnych zmian w intensywności barwy materiałów włókienniczych barwionych metodą okresową wyciągania barwnika z kąpeli (dye exhaustion).

Po przeprowadzeniu kompleksowej analizy wyników badań **stwierdziłam, że opracowana konstrukcja doświadczalnego aktywatora wyładowań koronowych wyposażonego w elektrody pięcioostrzowe, zapewnia uzyskanie wysokiego stopnia modyfikacji fizycznej i chemicznej powierzchni włókien i jest w pełni przydatna do modyfikacji powierzchniowej tkanin z włókien syntetycznych.** Zastosowanie wstępnej obróbki wyładowaniami koronowymi umożliwia znaczną poprawę właściwości użytkowych aktywowanych tkanin poddawanych procesom technologicznym uszlachetniania (laminowanie, powlekanie wodoszczelne, druk pigmentowy, barwienie ciągłe). Jednocześnie pozytywne wyniki badań pozwoliły na zaprojektowanie aktywatora przemysłowego, umożliwiającego współpracę z urządzeniami lub liniami produkcyjnymi znajdującymi się w przedsiębiorstwach przemysłowych.

Uzyskany wysoki poziom aktywacji przy zachowaniu właściwości wytrzymałościowych włókien i stabilności efektów aktywacji w czasie, dowodzi prawidłowości koncepcji podziału energii aktywacji na kilka mniejszych dawek oraz celowość konstrukcji elektrody wieloostrowej.

Równolegle prowadziłam badania efektywności aktywacji innego, niż wyładowania koronowe rodzaju niskotemperaturowej plazmy atmosferycznej, a mianowicie koplanarnych dyfuzyjnych wyładowań powierzchniowych (KDWP). Zastosowany aktywator KDWP wyposażony był w dwie płaskie elektrody w otulinie ceramicznej, a warunki procesowe aktywacji tak dobrałam aby odpowiadały warunkom (energii aktywacji) wyładowań koronowych. Przeprowadzone badania wpływu warunków procesowych aktywacji KDWP na



zmiany fizyczne i chemiczne warstwy wierzchniej włókien stanowiły przedmiot analizy porównawczej, umożliwiając ocenę i porównanie efektywności dwóch technik obróbki plazmowej. Efektywność aktywacji oceniałam na podstawie badań zwilżalności, wartości swobodnej energii powierzchniowej, procentowego udziału wagowego pierwiastków i chropowatości warstwy wierzchniej włókien (Tabela 2).

Tabela 2. Wpływ rodzaju plazmy atmosferycznej na właściwości powierzchniowe tkanin z włókien PET, PA6 oraz PP.

Rodzaj tkaniny Rodzaj plazmy atmosferycznej Parametr	PET		PA6		PP	
	Wyładowania koronowe	KDWP*	Wyładowania koronowe	KDWP*	Wyładowania koronowe	KDWP*
Energia aktywacji E_i [J/cm ²]	75,6	73,5	18,9	21,0	22,7	22,5
Swobodna energia powierzchniowa [J/cm ²]	48,16	40,82	45,02	48,04	73,50	47,50
Stopień zwilżalności/ włoskowatość [cm]	10,65	7,10	8,70	7,90	7,10	3,80
Kąt zwilżania wodą [deg]	51,03	61,60	56,92	51,32	13,40	96,21
Stosunek O/C (metoda EDS)	0,7915	0,7646	0,3440	0,3262	0,1748	0,1577
Chropowatość powierzchni RMS [nm]	13,0	4,6	15,6	3,8	18,7	3,0

*¹ wyniki zamieszczone w sprawozdaniu końcowym z realizacji projektu badawczego rozwojowego MNiSW Nr R0803501

W rezultacie tych badań stwierdziłam, że w zoptymalizowanych warunkach efektywność aktywacji włókien PA6 wyładowaniami koronowymi, z zastosowaniem oryginalnego skonstruowanego aktywatora doświadczalnego, jest podobna do efektywności aktywacji KDWP, a w przypadku włókien PET i PP – nawet większa. Przeprowadzone badania porównawcze potwierdziły, że konstrukcja aktywatora doświadczalnego może stanowić podstawę do zaprojektowania aktywatora przemysłowego i zaoferowania go przedsiębiorstwom.

Podsumowując:

- uczestniczyłam w opracowaniu koncepcji optymalizacji procesu modyfikacji wyładowaniami koronowymi poprzez podział niezbędnej energii aktywacji na kilka mniejszych dawek oraz konstrukcji elektrody wielostrzałowej i całego laboratoryjnego i doświadczalnego aktywatora wyładowań koronowych;

- opracowałam i zrealizowałam obszerny program badawczy wpływu modyfikacji wyładowaniami koronowymi na właściwości powierzchniowe trzech podstawowych rodzajów włókien chemicznych z polimerów syntetycznych i wytworzonych z nich tkanin;
- opracowałam parametry techniczne warunków procesowych modyfikacji wyładowaniami koronowymi materiałów włókienniczych (tkanin) z trzech podstawowych rodzajów włókien syntetycznych;
- na podstawie wyników własnych badań opracowałam analizę zmian właściwości fizycznych i chemicznych powierzchni aktywowanych włókien w zależności od stosowanych warunków aktywacji;
- na podstawie wyników własnych badań przeprowadziłam ocenę wpływu obróbki wyładowaniami koronowymi na różne procesy uszlachetniania materiałów włókienniczych, jak: laminowanie, powlekanie wodoszczelne, drukowanie, barwienie.

Ref. 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17

2. Funkcjonalizacja materiałów włókienniczych z zastosowaniem metody zol-żel.

Intensywny rozwój nanotechnologii obejmujący wytworzenie submikro- i nanopowłok stwarza szerokie możliwości wytwarzania wielofunkcyjnych materiałów włókienniczych. Badania z zastosowaniem nanotechnologii realizowałam w ramach projektu kluczowego POIG.01.03.01.00-004/08 „*Funkcjonalne nano- i mikromateriały włókiennicze*” - *NANOMITEX*.

Jednym z trzech pakietów realizowanych w ramach projektu *NANOMITEX* były „*Funkcjonalne materiały włókiennicze modyfikowane nano- i mikrocząstkami*”. Pakiet ten obejmował cztery tematy badawcze, w tym m.in. „*Włókiennicze funkcjonalne materiały nanopowłokowe różnego przeznaczenia*”, którego byłam kierownikiem i głównym wykonawcą.

Badania prowadzone w ramach tego projektu miały charakter poznawczy, jak i aplikacyjny. Celem badań była funkcjonalizacja materiałów włókienniczych w wyniku wytworzenia na powierzchni włókien metodą zol-żel, cienkich i elastycznych, nieorganiczno-organicznych hybrydowych powłok kserożelowych domieszkowanych nanocząstkami funkcjonalnymi i uzyskanie materiałów włókienniczych o dodatkowych właściwościach użytkowych.

Kolodziej

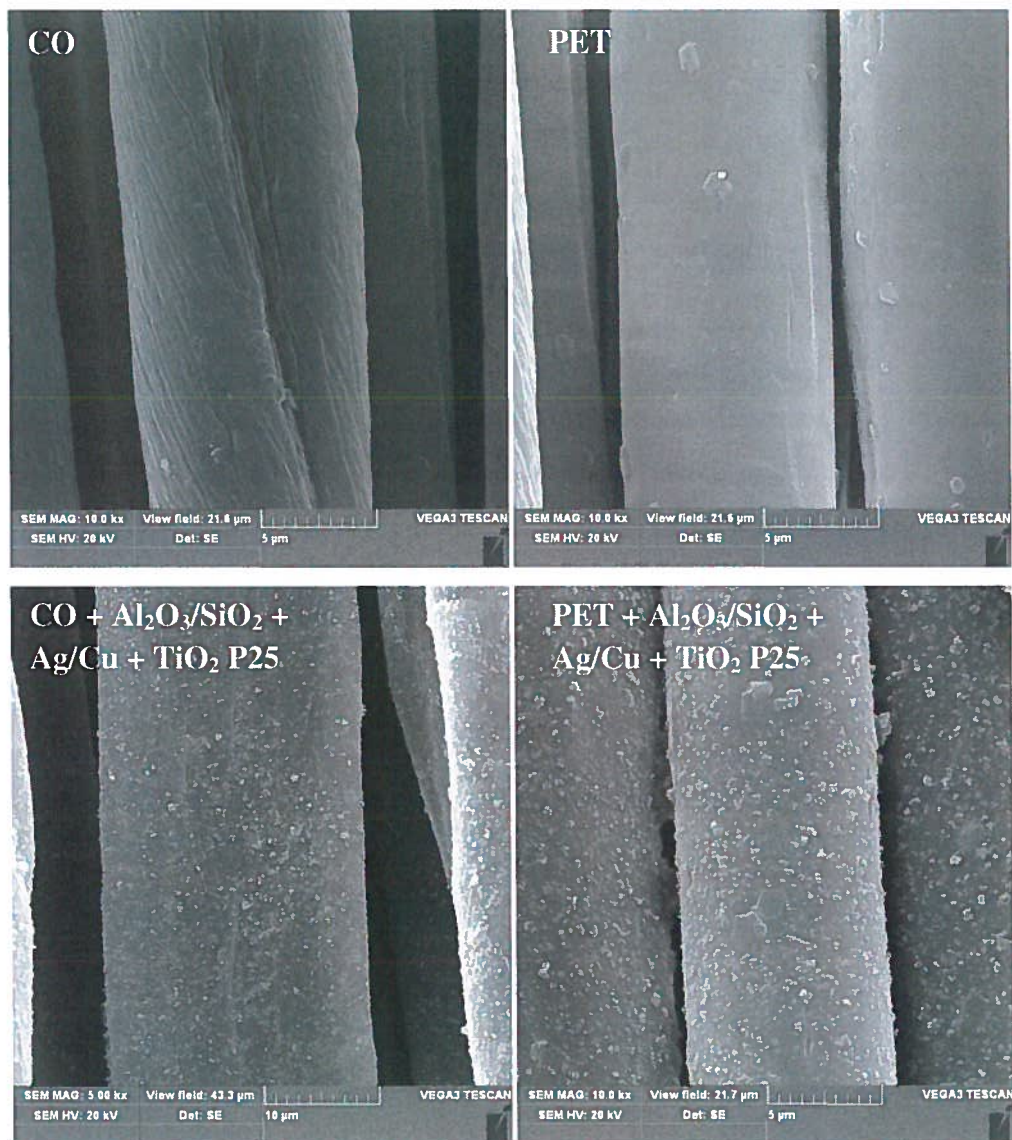
Pierwszy etap badań ukierunkowany był na ocenę możliwości aplikacyjnych zoli krzemionkowych w procesach funkcjonalizacji materiałów włókienniczych. Zole krzemionkowe syntezowane przez Partnera projektu – Politechnikę Wrocławską, miały tworzyć na powierzchni włókien cienką powłokę (nanopowłokę) chroniącą przed działaniem sił ścierających (ścieranie i/lub pilling) oraz stanowić matrycę do trwałej immobilizacji na powierzchni włókien nanocząstek funkcjonalnych. Podstawowym kryterium decydującym o możliwościach aplikacyjnych syntezowanych zoli była stabilność w czasie, możliwość rozcieńczania wodą, brak negatywnego wpływu na elastyczność włókien, właściwości wytrzymałościowe i estetyczne (kolor, chwyt) materiału włókienniczego.

Ocenę spełniania poszczególnych kryteriów przeprowadziłam dla serii zsyntezowanych zoli różniących się ilością i rodzajem zastosowanego prekursora oraz warunków syntezy. Na podstawie uzyskanych wyników opracowanego przeze mnie i zrealizowanego programu badawczego stwierdziłam, że powyższe kryteria spełnia hybrydowy zol krzemionkowy otrzymany na bazie (3-glicydoksypropyl)trimetoksy silanu i izopropoksy glinu, który wytypowałam do dalszych badań. W kolejnym etapie moich badań skoncentrowałam się na zbadaniu wpływu wytworzonej powłoki kserożelowej na właściwości użytkowe materiałów włókienniczych, a w szczególności ich odporność na ścieranie i tworzenie się pillingu. Aspekt zwiększania trwałości użytkowej jest szczególnie istotny w przypadku tkanin z włókien bawełnianych lub tkanin z mieszanki włókien poliestrowych i włókien bawełnianych. Materiały te w czasie użytkowania szybko tracą swój pierwotny wygląd, co powodowane jest procesem ścierania ich powierzchni, głównie mniej odpornych włókien bawełnianych, a w przypadku włókien poliestrowych, tworzeniem się pillingu. Hybrydowy zol krzemionkowy nanosiłam na powierzchnię włókien techniką napawania pełnokąpielowego, który w wyniku następczych procesów termicznych: suszenia i sieciowania przekształcał się w cienką powłokę kserożelową. **Na podstawie wyników badań odporności na ścieranie stwierdziłam, że wytworzona powłoka kserożelowa wykazuje właściwości ochronne, przy czym wielkość efektu ochronnego powłoki zależała od rodzaju włókien na których była wytworzona oraz stężenia hybrydowego zolu krzemionkowego w kąpeli napawającej.** Największy, bo 5-krotny wzrost odporności na ścieranie uzyskałam dla tkaniny z włókien bawełnianych z naniesionym na jej powierzchnię stężonym hybrydowym zolem krzemionkowym. W przypadku tkaniny z mieszanki włókien poliestrowych i bawełnianych najlepszy efekt ochronny (1,5 – krotny wzrost) uzyskałam po naniesieniu hybrydowego zolu

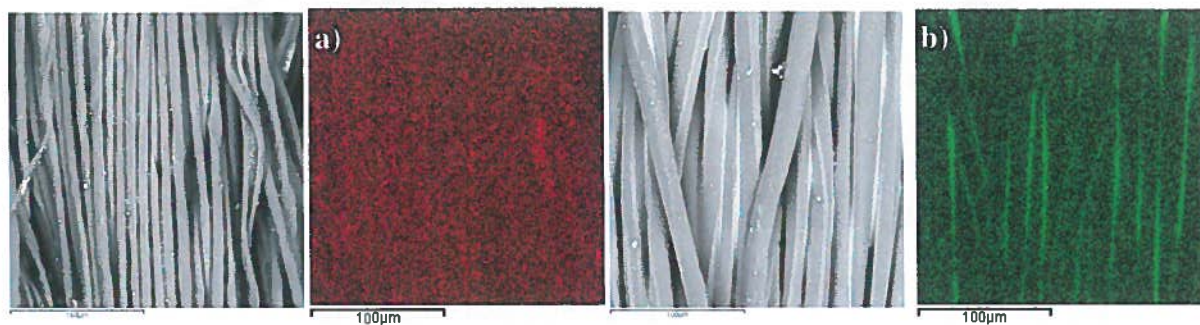
krzemionkowego rozcieńczonego wodą w stosunku objętościowym 1:20. Jednocześnie tak modyfikowana tkanina wykazywała całkowitą odporność na tworzenie się pillingu.

Następnym istotnym problemem badawczym było opracowanie sposobu domieszkowania hybrydowego zolu krzemionkowego nanocząstkami funkcjonalnymi w celu uzyskania wielofunkcyjnych materiałów włókienniczych. Podstawowym warunkiem uzyskania oczekiwanego efektu było otrzymanie równomiernego, możliwie monocząstkowego, rozmieszczenia nanocząstek funkcjonalnych w powłoce kserożelowej, przy zachowaniu podwyższonej trwałości użytkowej materiałów włókienniczych. Hybrydowy zol krzemionkowy poddałam modyfikacji nanocząstkami stopu Ag/Cu i/lub TiO₂ P25. Wybór tego rodzaju modyfikatorów miał na celu wytworzenie materiału włókienniczego o właściwościach wielofunkcyjnych (antybakteryjnych, antygrzybiczych, samooczyszczania fotokatalitycznego i barierowych wobec promieniowania UV). **Opracowując sposób domieszkowania hybrydowego zolu krzemionkowego stwierdziłam, że najbardziej równomierne rozproszenie nanocząstek funkcjonalnych w powłoce kserożelowej otrzymałam w wyniku procesu dwuetapowego.** Pierwszy etap polegał na rozproszeniu nanocząstek funkcjonalnych w małej ilości hybrydowego zolu krzemionkowego z zastosowaniem homogenizatora ultradźwiękowego, a następnie (drugi etap) na połączeniu uzyskanej dyspersji z rozcieńczonym hybrydowym zolem krzemionkowym i kontynuowaniu homogenizowania ultradźwiękami i mieszadłem magnetycznym. Równomierność rozłożenia cząstek w powłoce kserożelowej, a tym samym słuszność zastosowania 2-etapowego procesu ich dyspergowania, potwierdziły obrazy SEM (Rys. 3) oraz mapy chemicznego rozkładu nanocząstek na powierzchni włókien (Rys. 4).

Podstawowym problemem w trakcie modyfikacji hybrydowego zolu krzemionkowego była optymalizacja ilości wprowadzanych nanocząstek funkcjonalnych, w aspekcie wykluczenia pogorszenia właściwości ochronnych wytworzonej powłoki kserożelowej i jednoczesnego zapewnienia oczekiwanego poziomu właściwości wielofunkcyjnych. Nanocząstki wykazując tendencję do tworzenia większych skupisk (agregaty, aglomeraty) zwiększają chropowatość wytworzonej powłoki kserożelowej. W trakcie procesu ścierania mogą odrywać się od powłoki i stanowić dodatkowy element ścierający, powodujący uszkodzenia poszczególnych włókien tkaniny. Uzasadnia to bardzo istotne znaczenie zapewnienia możliwie monocząstkowego rozproszenia nanocząstek w przygotowywanych dyspersjach wodnych, dodawanych do syntezy zoli.

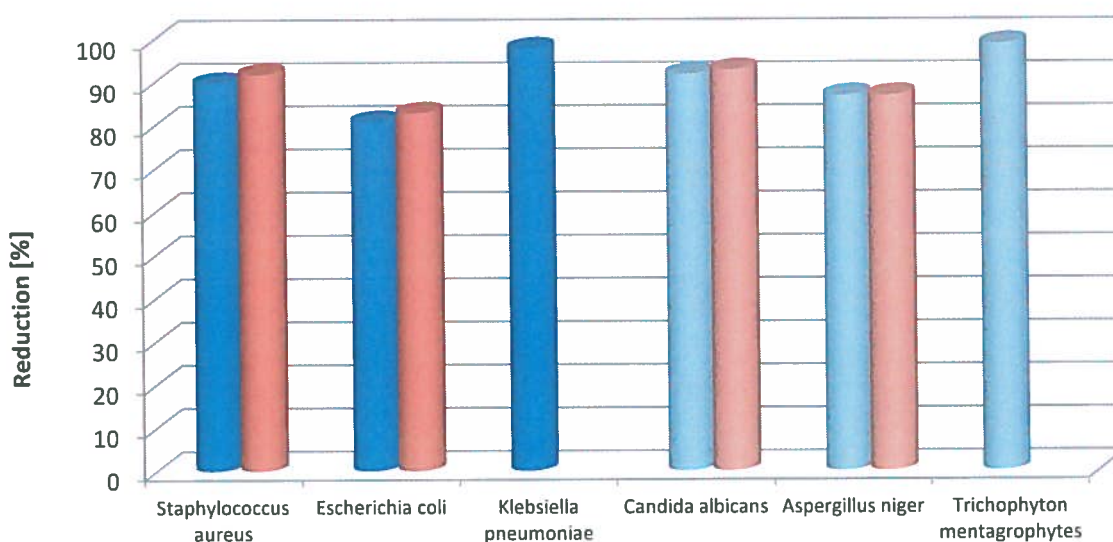


Rys. 3. Obrazy SEM powierzchni włókien bawełnianych (lewa strona) i włókien poliestrowych (prawa strona) przed i po naniesieniu hybrydowego zolu krzemionkowego modyfikowanego nanocząstkami Ag/Cu i TiO_2 P25.

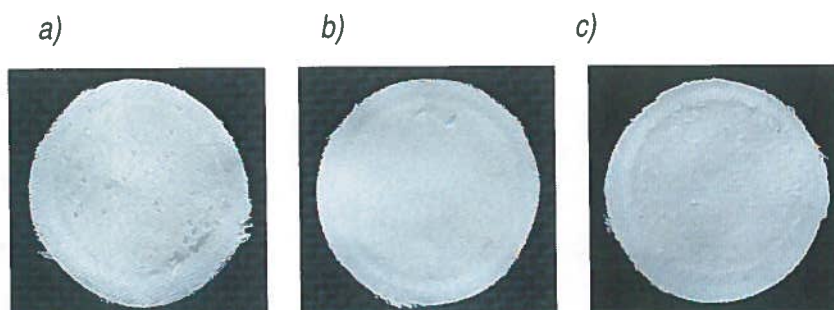


Rys. 4. Obrazy SEM i mapy rozkładu nanocząstek: a) Ag i b) Ti na powierzchni włókien tkaniny PET/CO.

Dobór odpowiedniej ilości nanocząstek funkcjonalnych obejmował dwa etapy badań. W pierwszym etapie wytworzyłam na powierzchni włókien ciekłą powłokę kserożelową zawierającą różne stężenia nanocząstek bioaktywnych. Na podstawie przeprowadzonych badań mikrobiologicznych i odporności na ścieranie stwierdziłam, że tkanina z mieszanki włókien poliestrowych i bawełnianych (typu 67/33) z wytworzoną na ich powierzchni powłoką kserożelową zawierającą nanocząstki Ag/Cu w ilości 1006 ppm (0,2% Ag/Cu w kąpeli napawającej) wykazuje bardzo dobre właściwości antybakteryjne i antygrzybicze przy jednoczesnym zachowaniu zwiększonej odporności na ścieranie i tworzenie się pillingu (Rys. 5 i Rys. 6). W drugim etapie badań wprowadziłam do powłoki kserożelowej kolejny (drugi) nanomodifikator w postaci TiO₂ P25.



Rys. 5. Wyniki badań efektywności mikrobiologicznej tkaniny PET/CO z wytworzoną na powierzchni włókien powłoką kserożelową modyfikowaną nanocząstkami Ag/Cu (kolor niebieski) oraz nanocząstkami Ag/Cu i TiO₂ P25 (kolor czerwony).

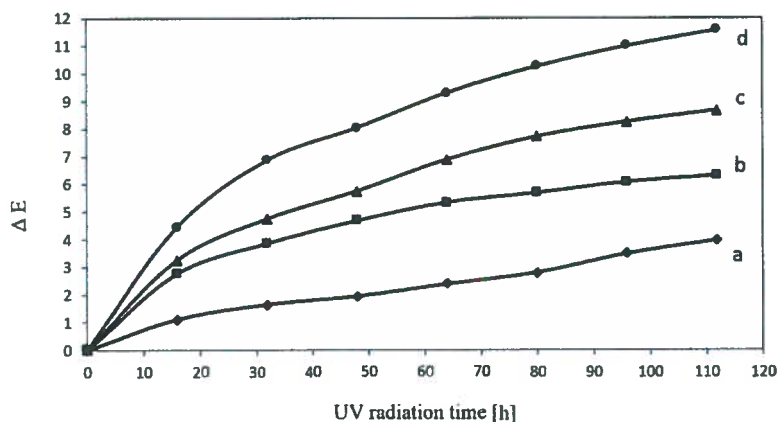


Rys. 6. Zdjęcie powierzchni tkaniny PET/CO: a) bez powłoki kserożelowej po 40 000 cykli ścierania, b) z wytworzoną na powierzchni włókien powłoką kserożelową po 55 000 cykli ścierania, c) z wytworzoną na powierzchni powłoką kserożelową modyfikowaną nanocząstkami Ag/Cu po 52 000 cykli ścierania.

Optymalną ilość TiO_2 P25 w powłoce ustaliłam na podstawie badań procesu samooczyszczania fotokatalitycznego oraz odporności na ścieranie i tworzenie się pillingu. Stwierdziłam, że zawartość 1% TiO_2 P25 w kąpielii napawającej zapewnia bardzo dobrą zdolność fotokatalitycznego samooczyszczania materiału włókienniczego pod wpływem promieniowania UV, jak również pozwala na zachowanie zwiększonej trwałości użytkowej. Wyznaczony współczynnik $\text{UPF} \gg 50$, co według ogólnie stosowanej kategoryzacji oznacza bardzo dobre właściwości ochronne przed promieniowaniem UV. Stwierdziłam, że zastosowanie 0,2% Ag/Cu i 1% TiO_2 P25 w kąpielii napawającej pozwala na ich trwałą immobilizację w powłoce kserożelowej. W wyniku ścierania nanomodifikatory te nie ulegają wykruszaniu, a tym samym nie uszkadzają powierzchni włókien. Dalsze badania ukierunkowane były na ocenie uzyskiwanych nowych (dodatkowych) właściwości wielofunkcyjnych.

O ile właściwości bioaktywne i ochronne przed promieniowaniem UV badałam zgodnie z obowiązującymi normami (np. AATCC 100, PN-EN 13758:2007), to **ocenę zdolności fotokatalitycznego samooczyszczania przeprowadziłam na podstawie opracowanej przeze mnie procedury badawczej**. Procedura ta opierała się na pomiarze składowych barwy (CIE L a b) metodą kolorymetryczną i wyznaczeniu różnicy barwy ΔE prób po naświetleniu lampą UV ($\lambda=302$ nm, moc=8 W, intensywność $340 \mu\text{W}/\text{cm}^2$). W metodzie tej istotne było uzyskanie równomiernego naniesienia barwnika – błękitu metylenowego, na powierzchnię modyfikowanych włókien. Równomierność tę osiągnęłam poprzez wybarwienie modyfikowanych tkanin w wodnym roztworze błękitu metylenowego o stężeniu 0,175 mg/l w zautomatyzowanej barwiarce laboratoryjnej (temp. 20°C , czas 30 min., stosunek kąpielii 1:100). Zastosowanie zautomatyzowanej barwiarki typu „AHIBA NUANCE Top Speed” pozwoliło na stworzenie warunków równomiernego wybarwienia modyfikowanych tkanin. Degradację barwnika na powierzchni modyfikowanych tkanin oceniałam spektrofotometrycznie poprzez pomiar różnicy barwy po naświetlaniu lampą UV w różnym czasie. Wyznaczone wartości ΔE dla tkaniny PET/CO z wytworzoną na jej powierzchni kserożelową powłoką domieszkowaną TiO_2 P25 (1%), potwierdziły jej wysoką skuteczność samooczyszczania fotokatalitycznego (Rys. 7). Odnosząc uzyskane wartości ΔE do szarej skali stwierdziłam, że po 112 h naświetlania lampą UV zmiana odcienia barwy była na poziomie 2 lub 1-2, podczas gdy dla tkaniny niemodyfikowanej lub modyfikowanej

jedynie Ag/Cu uzyskałam zmianę odcienia barwy odpowiednio na poziomie 3 i 3-2 szarej skali¹.



Rys. 7. Zmiana różnicy barwy (ΔE) tkaniny PET/CO wybarwionej błękitem metylenowym: a) bez naniesień, oraz z wytworzoną na powierzchni włókien powłoką kserożelową modyfikowaną: b) Ag/Cu, c) TiO₂ P25, d) Ag/Cu i TiO₂ P25.

Podsumowując, opracowany przeze mnie sposób wykończenia cienkopowłokowego metodą zol-żel, umożliwia wytworzenie wielofunkcyjnych materiałów włókienniczych. Materiały te wykazują właściwości bioaktywne, fotokatalitycznego samooczyszczania i barierowe wobec promieniowania UV. Jednocześnie zastosowany hybrydowy zol krzemionkowy tworzy bardzo cienkie, przezroczyste, bezbarwne i elastyczne powłoki kserożelowe, które stanowią trwałą w warunkach użytkowania i odporną na wykruszanie warstwę ochronną i powodują znaczący wzrost wytrzymałości materiałów włókienniczych na oddziaływanie sił ścierających. Dodatkowo stanowi matrycę do trwałej immobilizacji nanocząstek funkcjonalnych na powierzchni włókien.

Opracowany sposób modyfikacji umożliwia wytwarzanie wielofunkcyjnych materiałów włókienniczych, które mogą być wykorzystane między innymi w odzieży sportowej, roboczej, obuwiu, jako materiały wyposażenia wnętrza lub tkaniny techniczne.

Ref. 1, 2, 6, 8, 9; patenty: P1, P2, P3, P4; zgłoszenie patentowe: ZP1

¹ Zgodnie z normą PN-EN 20105-A02 „Tekstylna. Badania odporności wybarwień. Szara skala do oceny zmiany barwy”, ocena zmiany barwy za pomocą szarej skali podawana jest w postaci stopni w przedziale od 5 do 1. Stopień 5 oznacza, że nie uzyskano dostrzegalnej różnicy między próbką referencyjną a badaną.

3. Funkcjonalizacja materiałów włókienniczych poprzez wytworzenie na ich powierzchni przestrzennej przewodzącej sieci wielościennych nanorurek węglowych.

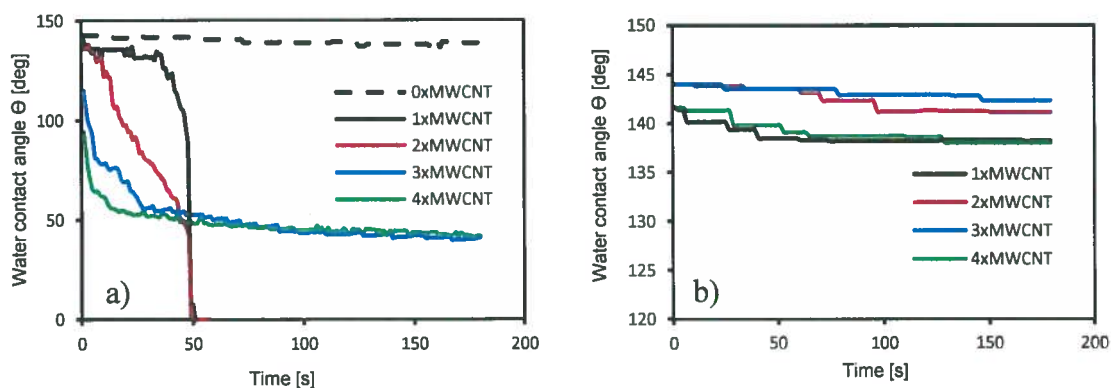
Równoległe z badaniami dotyczącymi funkcjonalizacji materiałów włókienniczych metodą zol-żel prowadziłam badania w ramach projektu badawczego nr 2011/03/B/ST8/06126 pt. *Możliwości wielofunkcyjnej modyfikacji tkanin zawierających sieć przewodzącą utworzoną z wielościennych nanorurek węglowych*, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki i realizowanego przez Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w konsorcjum z Instytutem Włókiennictwa. W ramach tego projektu pełniłam rolę zarówno koordynatora jak i głównego wykonawcy prac badawczych realizowanych w Instytucie Włókiennictwa. Celem projektu było uzyskanie wielofunkcyjnych materiałów włókienniczych o właściwościach elektroprzewodzących, bioaktywnych i hydrofobowych, w wyniku wytworzenia i modyfikacji przestrzennej sieci nanorurek węglowych na powierzchni włókien.

Moje badania były ukierunkowane na uzyskanie stabilnej dyspersji nanorurek węglowych nanoszonej na materiał włókienniczy techniką napawania pełnokąpielowego. Do modyfikacji zastosowałam wielościenne nanorurki węglowe (MWCNT) Nanocyl NC-700 (Nanocyl S.A., Belgia), o średnicy 9,5 nm, długości 1,5 μm i powierzchni właściwej 250-300 m^2/g . Podstawowym warunkiem równomiernego naniesienia dyspersji MWCNT, a w rezultacie utworzenia na powierzchni włókien równomiernej przestrzennej sieci nanorurek węglowych, było uzyskanie dyspersji MWCNT o wysokim stopniu rozproszenia. Ze względu na podatność MWCNT do tworzenia aglomeratów w środowisku wodnym, wynikającą z występujących między atomami węgla oddziaływań van der Waalsa, niezbędne było dobranie odpowiedniego dyspergatora i jego stężenia w roztworze wodnym. Jako dyspergatory zastosowałam związki powierzchniowo czynne: anionowe - dodecylosiarczan sodu (SDS), kationowe - bromek heksadecylotrimetyloamoniowy (CTAB) i niejonowe - 4-(2,4,4-trimetylopentan-2-ylo)fenoksypolietoksyetanol (Triton X-100), z których przygotowałam roztwory wodne o stężeniach w zakresie 0,5% - 2%, i w których dyspergowałam MWCNT. Równocześnie przygotowywałam dyspersję MWCNT w wybranych rozpuszczalnikach organicznych tj. 2-propanolu, acetonie i octanie etylu. Wybór tego rodzaju rozpuszczalników jak i środków powierzchniowo czynnych był uwarunkowany możliwością ich zastosowania do modyfikacji materiałów włókienniczych, a w szczególności do tkanin z włókien bawełnianych, bez powodowania ich pęcznienia. W trakcie prowadzonych badań **stwierdziłam, że najbardziej stabilną dyspersję MWCNT**

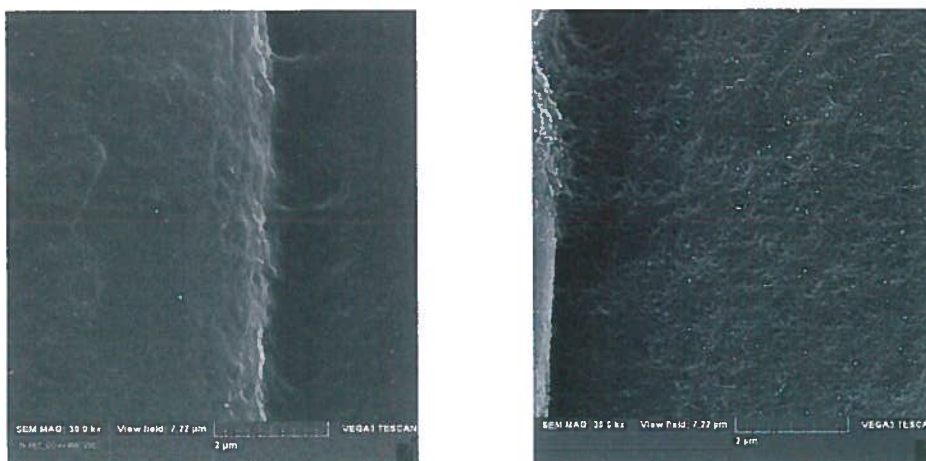
uzyskałam w środowisku wodnym zawierającym SDS. Stąd w dalszych badaniach stosowałam dyspersję MWCNT w środowisku wodnym SDS w stosunku wagowym MWCNT:SDS = 1:3. W dalszym etapie prac skoncentrowałam się na opracowaniu zoptymalizowanego sposobu nanoszenia wodnych dyspersji MWCNT na wybrane rodzaje tkanin (PET, PET/CO, CO) i wytworzeniu materiałów o właściwościach elektroprzewodzących. Podstawowym kryterium uzyskania materiałów o właściwościach elektroprzewodzących jest osiągnięcie progu perkolacji, a więc wytworzenie ciągłej, przestrzennej przewodzącej sieci nanorurek węglowych na powierzchni włókien. W celu naniesienia nanorurek węglowych na powierzchnię włókien zastosowałam technikę napawania pełnokąpielowego, w której kąpiel napawającą stanowiła opracowana przeze mnie stabilna wodna dyspersja MWCNT w obecności SDS. Na podstawie wyników badań stwierdziłam, że w zależności od stężenia MWCNT w kąpeli napawającej i krotności napawania (ilości naniesionych warstw sieci nanorurek) tkaniny charakteryzowały się rezystancją powierzchniową (R_S) rzędu $10^2 \div 10^4 \Omega$. Najlepsze właściwości przewodzące wykazywała tkanina z włókien bawełnianych, charakteryzująca się z pośród trzech wybranych rodzajów tkanin, największą hydrofilowością i zdolnością sorpcji kąpeli napawającej zawierającej przewodzące nanorurki węglowe. Dla której, po 4-krotnym napawaniu uzyskałam wartość $R_S \sim 2,6 \cdot 10^2 \Omega$.

Tak wytworzone, z zastosowaniem opracowanego sposobu nanoszenia nanorurek węglowych, przewodzące materiały włókiennicze zostały poddane następcej modyfikacji mającej na celu nadanie im właściwości hydrofobowych i bioaktywnych. Prace nad hydrofobizacją przewodzących materiałów włókienniczych prowadzone były zarówno w CBMiM PAN jak i w IW. W CBMiM PAN proces hydrofobizacji prowadzono z zastosowaniem trichlorometylosilanu w środowisku bezwodnym, natomiast ja prowadziłam badania w oparciu o organiczne związki fluorowęglowe w formie dyspersji wodnych. W trakcie wykonywanych badań zaobserwowałam negatywny wpływ dyspergatora nanorurek węglowych na proces następcej hydrofobizacji materiałów przewodzących. Wyznaczona wartość kąta zwilżania wodą była mniejsza niż wartość kąta zwilżania materiału włókienniczego po hydrofobizacji bez wytworzonej na powierzchni włókien przewodzącej sieci nanorurek węglowych (Rys. 8). Obecność SDS na powierzchni włókien, spowodowała obniżenie napięcia międzyfazowego ciało stałe-ciecz i jednocześnie wpłynęła na proces sieciowania kationowego środka hydrofobizującego, wytworzonego na bazie kopolimeru fluoroakrylowego. Poprawę właściwości hydrofobowych uzyskałam w wyniku usunięcia SDS

z powierzchni przewodzącego materiału włókienniczego poprzez intensywne płukanie w wodzie destylowanej (Rys. 9), przeprowadzone przed procesem następczej hydrofobizacji. Usunięcie SDS spowodowało nie tylko uzyskanie trwałego efektu hydrofobizacji, ale również zmniejszenie udziału na powierzchni włókien grup polarnych, pochodzących od dyspergatora nanorurek węglowych. W konsekwencji uzyskałam mniejsze wartości składowej polarnej i swobodnej energii powierzchniowej przewodzącego materiału włókienniczego.



Rys. 8. Kinetyka rozplywu kropli wody dla tkaniny PET/CO z naniesionymi nanorurkami węglowymi a) po hydrofobizacji, b) po płukaniu i hydrofobizacji



Rys. 9. Obrazy SEM powierzchni włókien tkaniny PET/CO z naniesioną przestrzenną siecią nanorurek węglowych: a) przed płukaniem, b) po płukaniu w wodzie.

Opracowane przeze mnie przewodzące materiały włókiennicze poddano badaniom określających ich przydatność do modyfikacji metodami chemicznymi i elektrochemicznymi. Przewodzącą tkaninę z włókien bawełnianych i tkaninę z włókien poliestrowych poddano

procesowi następczej hydrofobizacji metylotrichlorosilanem w warunkach bezwodnych. W wyniku wykształcenia się na powierzchni włókien struktur polimetylosilsekwioxanów (PMSQ) w środowisku bezwodnym, uzyskano przewodzącą tkaninę bawełnianą o właściwościach superhydrofobowych (kąt zwilżania wodą 155-170°), oraz przewodzącą tkaninę poliestrową o właściwościach hydrofobowych (kąt zwilżania ok. 139-143°). Wytworzone tkaniny z naniesioną przestrzenną siecią MWCNT zostały również wykorzystane jako elektrody w reakcji elektrochemicznej redukcji srebra. W wyniku zachodzącego procesu elektroosadzania nanocząstek srebra na powierzchni nanorurek węglowych uzyskano tkaninę o właściwościach antybakteryjnych, co potwierdziły badania aktywności mikrobiologicznej przeprowadzone metodą jakościową w stosunku do szczepu bakterii *Escherichia coli*.

Wytworzone przeze mnie tkaniny przewodzące, wykorzystane zostały również jako elektrody w procesie elektropolimeryzacji pirolu. W wyniku tego procesu na powierzchni sieci nanorurek węglowych została wytworzona nanopowłoka polipirolu, którego obecność została potwierdzona metodą spektroskopii w podczerwieni.

Opracowana przeze mnie metoda wytwarzania stabilnej wodnej dyspersji MWCNT zapewnia możliwość uzyskiwania przewodzących materiałów włókienniczych, które mogą być poddawane następczym procesom modyfikacji zarówno metodami chemicznymi jak i elektrochemicznymi. Pozwala to na dalszy rozwój materiałów hybrydowych zarówno w obszarze nanotechnologii jak i inżynierii materiałowej. Opracowany sposób funkcjonalizacji materiałów włókienniczych z zastosowaniem MWCNT, może być wykorzystany przy projektowaniu nowych rodzajów technicznych materiałów włókienniczych o szerokich możliwościach aplikacyjnych np. jako materiały antystatyczne, przewodzące elementy grzejne, elektrody w procesach elektrochemicznych, anteny itp.

Ref. 3, 4, 5, 7

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (artystycznych).

Prowadzone przeze mnie badania nad funkcjonalizacją materiałów włókienniczych z zastosowaniem nanocząstek, niejednokrotnie wymagały opracowania otrzymywania ich w postaci stabilnej dyspersji koloidalnej. Badania nad stabilnością dyspersji koloidalnej nanocząstek prowadziłam w ramach projektu finansowanego z działalności statutowej Instytutu Włókiennictwa pt. *Badanie stabilności nanocząstek w postaci koloidalnej zawiesiny*

na podstawie pomiaru wartości potencjału zeta, którego byłam kierownikiem. Celem badań było poznanie mechanizmów zachodzących w określonych warunkach w dyspersjach koloidalnych oraz dobór odpowiednich addytywów i określenie parametrów ich aplikacji w procesie powierzchniowej funkcjonalizacji materiałów włókienniczych. Zbadałam wpływ siły jonowej, pH roztworu oraz dodatku addytywów (środków sieciujących, katalizatorów, surfaktantów) na właściwości fizyko-chemiczne wytwarzanych koloidalnych dyspersji, obejmujące rozkład wielkości promienia hydrodynamicznego cząstek i pomiary wartości potencjału elektrokinetycznego (potencjału zeta). Wnioski z przeprowadzonych badań są istotne w aspekcie otrzymywania nie tylko stabilnych dyspersji koloidalnych, ale również ich równomiernego naniesienia na powierzchnię włókien i uzyskania oczekiwanych właściwości dodanych.

Zdobyte doświadczenie w zakresie uzyskiwania stabilnych dyspersji oraz modyfikacji materiałów włókienniczych, wykorzystuję obecnie w badaniach prowadzonych w ramach projektu badawczego nr 2014/15/B/ST8/04286 pt. *Wielofunkcyjna modyfikacja tkanin z naniesionymi nanocząstkami grafenu*, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki i realizowanego przez Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w konsorcjum z Instytutem Włókiennictwa. W ramach projektu opracowałam sposób otrzymywania stabilnej wodnej dyspersji grafenu i zredukowanego tlenku grafenu oraz warunki procesowe ich trwałego (w hybrydowej matrycy krzemionkowej) nanoszenia na powierzchnię włókien bawełnianych z zastosowaniem metody zol-żel. W dalszej części badań skoncentruję się na ocenie właściwości przewodzących tak modyfikowanych tkanin bawełnianych oraz ich funkcjonalizacji cząstkami bioaktywnymi. Badania te będę kontynuowała w ramach realizacji projektu, do września 2018 roku.

6. Najważniejsze informacje dotyczące mojego dorobku naukowego.

Moje osiągnięcia naukowe oraz aktywność naukowa zostały szczegółowo przedstawione w Załączniku 3/4 do Wniosku. Poniżej prezentuję zestawienie liczbowe poszczególnych osiągnięć i aktywności naukowej.

Lp.	Osiągnięcie / aktywność	Liczba pozycji
1.	Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR), tj. z listy filadelfijskiej.	18
2.	Autorstwo zrealizowanego oryginalnego osiągnięcia projektowego, konstrukcyjnego lub technologicznego.	5
3.	Udzielone patenty międzynarodowe lub krajowe.	9 patentów krajowych 1 krajowe zgłoszenie patentowe
4.	Wynalazki, wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach.	3
5.	Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych spoza bazy Journal Citation Reports (JCR).	1 (składająca się z 3 części) w czasopiśmie recenzowanym o zasięgu krajowym 3 w materiałach konferencyjnych o zasięgu krajowym
6.	Autorstwo lub współautorstwo opracowań zbiorowych, dokumentacji prac badawczych i ekspertyz.	8
7.	Sumaryczny impact factor (IF) publikacji naukowych według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania.	IF = 29,821
8.	Indeks Hirsha i lista cytowań opublikowanych publikacji według bazy Web of Science.	Indeks Hirsha = 5 Liczba cytowań = 72
9.	Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach.	5
10.	Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową.	5
11.	Wygłoszenie referatów na międzynarodowych konferencjach naukowych.	1 referat 13 posterów
12.	Wygłoszenie referatów na krajowych konferencjach naukowych.	5 referatów 12 posterów