

Dr Tomasz Szczepan Makowski,
Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych
Polskiej Akademii Nauk



ZAŁĄCZNIK 3

DO WNIOSKU O PRZEPROWADZENIE POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO:
AUTOREFERAT W JĘZYKU POLSKIM

Łódź, 05.10.2020

1 | 33
Tomasz Makowski

1. Imię i Nazwisko: **Tomasz Szczepan Makowski**

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

a. **Stopień - Magistra** w zakresie chemii, nadany przez Wydział Fizyki i Chemii Uniwersytetu Łódzkiego w dniu 09 czerwca 2004 r.

b. **Stopień - Doktora** nauk chemicznych w zakresie chemii, nadany uchwałą Rady Naukowej Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi, z dnia 14 października 2013 r.

tytułu rozprawy doktorskiej: „*Wytwarzanie i właściwości cienkich warstw organicznych dla elektroniki i optoelektroniki*” promotor: prof. dr hab. A. Tracz

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

Przebieg pracy zawodowej:

Zatrudniony w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi od dnia 01.04.2008 – nadal

01/04/2008 – 31/03/2011 – chemik

01/03/2009 – 31/03/2011 – asystent

01/04/2011 – 31/03/2012 – asystent

08/05/2012 – 31/05/2013 – specjalista

01/06/2013 – 30/04/2016 – specjalista

01/05/2016 – nadal – adiunkt

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789):

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

„Elektroprzewodzące, superhydrofobowe i antybakteryjne materiały włókniste, w tym biodegradowalne, uzyskiwane poprzez modyfikację powierzchni”

b) osiągnięcie naukowe zostało opisane w cyklu 8 publikacji, które ukazały się w latach 2014 -2020

[H1]. **T. Makowski***, D. Kowalczyk, W. Fortuniak, D. Jeziorska, S. Brzezinski, A. Tracz,
*Superhydrophobic properties of cotton woven fabrics with conducting 3D networks of
multiwall carbon nanotubes, MWCNTs,*
Cellulose (2014), 21:4659-4670.

IF = 3.573, punkty ministerialne = 45 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Publikacja ta przedstawia wyniki badań dotyczących pokrywania powierzchni włókien tkaniny bawełnianej wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNT), metodą napawania ich wodną dyspersją, co pozwoliło uzyskać przewodnictwo elektryczne. Z kolei modyfikacja przy użyciu metylotrichlorosilanu (MTCS) nadała tkaninie właściwości superhydrofobowe. Zaproponowano wytłumaczenie uzyskania właściwości superhydrofobowych oraz mechanizm formowania się cząstek poli(metylosilsekwioksanu) (PMSQ), odpowiedzialnych za te właściwości, na powierzchniach włókien. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań i przeprowadzeniu wybranych analiz, takich jak analiza powierzchni metodą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i identyfikacja pierwiastków na powierzchniach włókien metodą energodispersyjnej spektroskopii promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDS). Uczestniczyłem również w pomiarach kąta zwilżania wodą i kąta poślizgu, a także wykonałem pomiary elektrycznej oporności powierzchniowej modyfikowanej tkaniny. Ponadto, uczestniczyłem w interpretacji wyników, przygotowaniu publikacji i pełniłem rolę autora do korespondencji.

[H2]. **Makowski T***, Kowalczyk D, Fortuniak W, Brzezinski S, Kregiel D

*Electrochemical deposition of silver nanoparticle and polymerization of pyrrole on
fabrics via conducting multiwall carbon nanotubes*
Cellulose (2015), 22:3063-3075.

IF = 3.195, punkty ministerialne = 45 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Publikacja ta przedstawia wyniki badań dotyczących skutecznego wykorzystania tkaniny bawełnianej oraz tkaniny poliestrowej z poli(tereftalanu etylenu), pokrytych wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNT), jako elektrod podczas ich dalszego funkcjonalizowaniai metodami elektrochemicznymi. Pokrycie tkanin MWCNT nadało im właściwości przewodzenia elektrycznego. Dalsza modyfikacja polegała na osadzeniu cząstek srebra i warstwy polipirołu metodą woltamperometrii cyklicznej. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na

wypracowaniu koncepcji, zaplanowaniu i przeprowadzeniu modyfikacji tkanin, oraz zbadaniu tych materiałów. Przeprowadziłem samodzielnie elektrochemiczne osadzanie cząstek srebra na powierzchniach tkanin metodą woltamperometrii cyklicznej, co nadało tym tkaninom właściwości antybakteryjne. Ponadto, również metodą woltamperometrii cyklicznej, pokryłem tkaniny warstwami polipirolu w procesie elektropolimeryzacji. Następnie zbadłem te materiały za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i mikroskopii sił atomowych (AFM), a także zidentyfikowałem pierwiastki obecne na powierzchni metodą energodispersyjnej spektroskopii promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDS). Przeprowadziłem również analizę składu metodą spektroskopii w podczerwieni (FTIR). Wykonałem również pomiary powierzchniowej oporności elektrycznej. Zaproponowałem mechanizmy osadzania nanocząstek srebra i elektropolimeryzacji pirolu na powierzchniach modyfikowanych materiałów. Ponadto, uczestniczyłem w interpretacji wyników, przygotowaniu publikacji i pełniłem rolę autora do korespondencji.

[H3]. Kowalczyk D*, Brzeziński S, Makowski T, Fortuniak W.

Conductive hydrophobic hybrid textiles modified with carbon nanotubes

Applied Surface Science (2015), 357:1007-1014.

IF = 3.150, punkty ministerialne = 35 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Publikacja ta przedstawia wyniki badań dotyczących modyfikacji hybrydowych tkanin poliestrowo-bawełnianych poprzez pokrycie ich wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNT) metodą napawania i nadania im właściwości hydrofobowych przez pokrycie powierzchni włókien komercyjnym preparatem hydrofobizującym na bazie kopolimeru fluoroakrylowego w postaci wodnej zawiesiny. Elektroprzewodzące i hydrofobowe tkaniny kompozytowe otrzymane w ten sposób zostały przebadane różnymi metodami fizykochemicznymi. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu badań i przeprowadzeniu wybranych pomiarów. Przeprowadziłem analizę struktury tkanin za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Wykonałem również pomiary elektrycznej oporności powierzchniowej metodami laboratoryjnymi w celu weryfikacji wartości uzyskanych przy wykorzystaniu standaryzowanych przemysłowych urządzeń pomiarowych. Uczestniczyłem w interpretacji wyników oraz w przygotowaniu publikacji.

[H4]. Makowski T*, Grala M, Fortuniak W, Kowalczyk D, Brzezinski S

Electrical properties of hydrophobic polyester and woven fabrics with conducting 3D network of multiwall carbon nanotubes

Materials and Design (2016), 90:1026-1033.

IF = 4.364, punkty ministerialne = 35 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Publikacja ta przedstawia wyniki badań dotyczących modyfikacji tkaniny poliestrowej z poli(tereftalanu etylenu) i tkaniny bawełnianej, poprzez pokrycie wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNT) metodą napawania. Tkanina poliestrowa została poddana modyfikacji metylotrichlorosilanem (MTCS) w celu hydrofobizacji. Określono czynniki wpływające na właściwości elektryczne tych materiałów. Pokazano, że powierzchniowa oporność elektryczna tkanin zmodyfikowanych MWCNT maleje ze wzrostem temperatury, inaczej niż w przypadku metali. Zademonstrowano możliwość zastosowania tych materiałów jako czujników odkształcenia, ze względu na czułość ich oporności powierzchniowej na odkształcenie i odwracalność zmian oporności po wielokrotnym odkształceniu mechanicznym. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu koncepcji, zaplanowaniu i przeprowadzeniu modyfikacji tkanin. Przeanalizowałem strukturę powierzchni włókien tkaniny poliestrowej po modyfikacji za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Wykonałem również pomiary elektrycznej oporności powierzchniowej tkanin w różnych temperaturach w zależności od wielokrotności napawań dyspersją MWCNT, a także w funkcji odkształcenia podczas rozciągania. Ponadto, przeprowadziłem pomiary kąta zwilżania wodą. Uczestniczyłem w interpretacji wyników, przygotowaniu publikacji i pełniłem rolę autora do korespondencji.

[H5]. Makowski T*, Svyntkivska M, Piorkowska E, Mizerska U, Fortuniak W, Kowalczyk D, Brzezinski S

Conductive and superhydrophobic cotton fabric through pentaerythritol tetrakis(3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate) assisted thermal reduction of graphene oxide and modification with methyltrichlorosilane

Cellulose (2018), 25:5377-5388.

IF = 3.917, punkty ministerialne = 45 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Praca ta opisuje nadanie właściwości elektroprzewodzących tkaninie bawełnianej, poprzez

termiczną redukcję tlenku grafenu naniesionego na tę tkaninę, wspomaganą kwasem L-askorbinowym oraz komercyjnym antyutleniaczem stosowanym w przemyśle tworzyw sztucznych, tetrakis(3-(3,5-di-tert-butylo-4-hydroksyfenylo)propionianem pentaerytrytolu (nazwa handlowa Irganox 1010). Tak zmodyfikowanym tkaninom nadano również właściwości superhydrofobowe poprzez modyfikację metylotrichlorosilanem (MTCS). Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu i przeprowadzeniu modyfikacji oraz przebadaniu zmodyfikowanych materiałów. Przeprowadziłem analizę struktury za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM). Wykonałem również pomiary elektrycznej oporności powierzchniowej oraz przeprowadziłem pomiary kąta zwilżania wodą. Ponadto, przeprowadziłem redukcję tlenku grafenu w zawiesinie wodnej w obecności kwasu L-askorbinowego i Irganoxu 1010. W celu potwierdzenia redukcji wykonałem badania potencjału powierzchni płytek tlenku grafenu po redukcji za pomocą mikroskopii sił atomowych z sondą Kelvina (ang. Kelvin probe force microscopy – KPFM). Uczestniczyłem w interpretacji wyników, przygotowaniu publikacji i pełniłem rolę autora do korespondencji.

[H6]. **Makowski T***, Zhang C, Olah A, Piorkowska E, Baer E, Kregiel D

Modification of dual-component fibrous materials with carbon nanotubes and methyltrichlorosilane

Materials and Design (2019), 162:219-228.

IF = 5.770, punkty ministerialne = 140 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Publikacja ta przedstawia wyniki badań dotyczących modyfikacji powierzchni dwuskładnikowych materiałów włóknistych z polietylenu dużej gęstości (HDPE) i poli(fluorku winylidenu) (PVDF) oraz z polipropylenu (PP) i HDPE, które zostały wytworzone w zespole prof. E. Baera techniką współwytłaczania a następnie separacji w strumieniu wody. Otrzymane w ten sposób nowe materiały włókniste zostały zmodyfikowane w celu nadania im właściwości elektroprzewodzących, superhydrofobowych i antybakteryjnych. Przewodnictwo elektryczne zostało nadane tym materiałom poprzez naniesienie wielościennych nanorurek węglowych (MWCNT) na ich powierzchnię. Właściwości superhydrofobowe zostały osiągnięte poprzez modyfikację metyltrichlorosilanem (MTCS). Z kolei osadzenie na przewodzących materiałach cząstek srebra metodą woltamperometrii cyklicznej nadało im właściwości antybakteryjne. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji, zaplanowaniu i przeprowadzeniu modyfikacji oraz uczestnictwie w przebadaniu zmodyfikowanych materiałów. Przeprowadziłem samodzielnie wszystkie modyfikacje. Następnie

przeprowadziłem analizę struktury za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) i mikroskopii sił atomowych (AFM), metodą spektroskopii w podczerwieni (FTIR) a także identyfikację pierwiastków na powierzchni metodą energodispersyjnej spektroskopii promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDS). Wykonałem również pomiary elektrycznej oporności powierzchniowej i kąta zwilżania wodą. Ponadto, uczestniczyłem w interpretacji wyników, przygotowaniu publikacji i pełniłem rolę autora do korespondencji.

[H7]. Makowski T*

Hydrophobization of cotton fabric with silanes with different substituents

Cellulose (2020), 27:1-9.

IF = 4.210, punkty ministerialne = 100 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Praca ta poświęcona jest hydrofobizacji tkaniny bawełnianej w celu nadania jej właściwości superhydrofobowych, z zastosowaniem szeregu silanów o różnej budowie chemicznej. Pokazano zależność ich zdolności do hydrofobizacji od liczby atomów chloru podstawionych do atomu krzemu. Modyfikację tkaniny przeprowadzono w roztworach silanów w bezwodnym toluenie i n-heksanie. W wyniku modyfikacji otrzymano superhydrofobowe materiały, o dużym kącie zwilżania wodą. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu koncepcji, zaplanowaniu i przeprowadzeniu wszystkich modyfikacji oraz przebadaniu zmodyfikowanych materiałów. Przeprowadziłem analizę za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), spektroskopii w podczerwieni metodą osłabionego całkowitego odbicia (ATR-FTIR), identyfikację pierwiastków na powierzchni metodą energodispersyjnej spektroskopii promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDS) oraz pomiary metodą spektroskopii dielektrycznej, jak również pomiary kąta zwilżania wodą. Przeprowadziłem wszystkie badania, interpretację wyników i przygotowałem publikację. Pełniłem rolę autora do korespondencji.

[H8]. Makowski T.*, Svyntkivska M., Piorkowska E., Kregiel D.

Multifunctional polylactide nonwovens with 3D network of multiwall carbon nanotubes

Applied Surface Science (2020), 527:146898.

IF = 6.182, punkty ministerialne = 140 (zgodnie z rokiem opublikowania)

Praca ta poświęcona jest wielofunkcyjnej modyfikacji włókien polilaktydowych, będących materiałami biodegradowalnymi. Poprzez pokrycie wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNT) metodą napawania, nadano włókninom właściwości elektroprzewodzące.

Następnie, w wyniku modyfikacji metylotrichlorosilanem (MTCS), otrzymano elektroprzewodzące materiały superhydrofobowe, wykazujące tzw. efekt lotosu. Z kolei metodą woltamperometrii cyklicznej na elektroprzewodzących włókninach osadzono cząstki srebra, które nadały tym materiałom właściwości antybakteryjne. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na sformułowaniu koncepcji, zaplanowaniu i przeprowadzeniu modyfikacji oraz przebadaniu zmodyfikowanych materiałów. Przeprowadziłem samodzielnie wszystkie modyfikacje, a następnie analizę struktury za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), a także identyfikację pierwiastków na powierzchni metodą energodispersyjnej spektroskopii promieniowania rentgenowskiego (SEM-EDS). Wykonałem również pomiary kąta zwilżania wodą, które wykazały, że zmodyfikowane włókniny stały się superhydrofobowe. Ponadto, uczestniczyłem w interpretacji wyników, przygotowaniu publikacji i pełniłem rolę autora do korespondencji.

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

Streszczenie

W trakcie badań opisanych w cyklu publikacji [H1-H8] opracowano sposoby wielofunkcyjnej modyfikacji tkanin, a także innych materiałów włóknistych, które umożliwiły nadanie im przewodnictwa elektrycznego, właściwości hydrofobowych lub superhydrofobowych i aktywności antybakteryjnej. Modyfikowano tkaninę bawełnianą, poliestrową z poli(tereftalanu etylenu), tkaninę bawełniano-poliestrową, a ponadto inne materiały włókniste, z polietylenu dużej gęstości (HDPE), polipropylenu (PP), poli(fluorku winylidenu) (PVDF), a także polilaktydu (PLA). Materiały te pokrywano wielościennymi nanorurkami węglowymi (MWCNT) a także wykorzystano tlenek grafenu (GO). W celu hydrofobizacji zastosowano metylotrichlorosilan (MTCS), a także inne silany. Do nadania właściwości antybakteryjnych wykorzystano cząstki srebra. W trakcie badań mierzono powierzchniową oporność elektryczną materiałów i analizowano ich strukturę metodą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM) oraz mikroskopii sił atomowych (AFM). Do identyfikacji pierwiastków na powierzchniach włókien wykorzystano energodispersyjną spektroskopię promieniowania rentgenowskiego (EDS). Stosowano również spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR). W celu zbadania zwilżalności wodą dokonywano pomiarów kąta zwilżania (WCA) i kąta poślizgu (SA). Aktywność

antybakteryjna była badana metodą krążkowo-dyfuzyjną Kirby-Bauera.

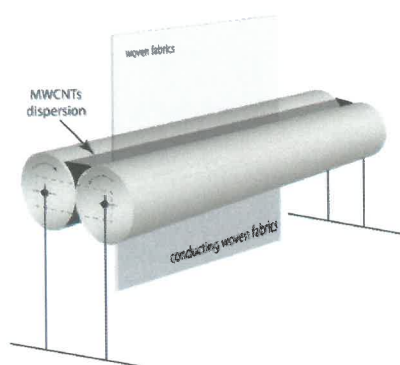
Przewodnictwo elektryczne uzyskano poprzez osadzanie na włóknach MWCNT metodą napawania wodnej dyspersji MWCNT lub zanurzania w takiej dyspersji. Pokazano również, że tkaninę bawełnianą można pokryć tlenkiem grafenu (GO) poprzez napawanie jego wodną dyspersją a następnie dokonać redukcji termicznej GO na tkaninie, przy czym zastosowanie antyutleniacza powoduje uzyskanie lepszego przewodnictwa elektrycznego. Z kolei modyfikacja metylotrichlorosilanem (MTCS) pozwoliła na uzyskanie hydrofobowości lub superhydrofobowości, wskutek formowania się cząstek poli(metylosilseskwioksanu) (PMSQ), na włóknach modyfikowanych MWCNT lub zredukowanym GO a także na niemodyfikowanych włóknach. Na elektroprowadzących włóknach, modyfikowanych MWCNT, metodą woltamperometrii cyklicznej osadzono cząstki srebra, które nadają tym włóknom właściwości antybakteryjne. Pokazano również, że metodą woltamperometrii cyklicznej można dokonać elektropolimeryzacji pirolu na elektroprowadzących włóknach modyfikowanych MWCNT.

Ponadto, zbadano możliwości hydrofobizacji tkaniny bawełnianej silanami różniącymi się liczbą atomów chloru przyłączonych do atomu krzemu oraz pozostałymi podstawnikami. Pokazano, że hydrofobizacja tkaniny bawełnianej jest możliwa jedynie tymi silanami, w których więcej niż jeden atom chloru jest przyłączony do atomu krzemu.

Wykazano, że w przypadku materiałów włóknistych o silnie rozwiniętych powierzchniach zastosowanie prostych metod modyfikacji powierzchni jest skuteczne i pozwala na efektywną modyfikację właściwości tych materiałów. Osiągnięte cele badań pozwoliły na uzyskanie, poprzez modyfikację powierzchni, materiałów o właściwościach elektroprowadzących, superhydrofobowych i antybakteryjnych. Nowe, zmodyfikowane materiały tekstylne, mogą mieć szereg zastosowań, np. zarówno w odzieży, jak i artykułach medycznych, czy też przemyśle samochodowym. Metoda napawania, wykorzystana w badaniach, jest szeroko stosowana, zatem zbadane i opracowane sposoby modyfikacji przy użyciu tej metody mogą być zastosowane na skalę przemysłową.

Omówienie publikacji

Grupą materiałów, które w ostatnich latach budzą duże zainteresowanie są tzw. inteligentne materiały tekstylne (ang. smart textiles) charakteryzujące się szeregiem przydatnych właściwości, których nie posiadają materiały tradycyjne. Zaliczają się do nich: przewodnictwo elektryczne, superhydrofobowość i aktywność antybakteryjna. Przewodnictwo elektryczne umożliwia wykorzystanie takich materiałów np. w odzieży antyelektrostatycznej, w odzieży umożliwiającej termoregulację, w czujnikach odkształcenia jako elektrody



Rys. 1. Schemat przedstawiający napawanie.

elektrochemiczne, elementy grzejne czy anteny lub ekrany promieniowania elektromagnetycznego [1]. W wielu przypadkach, np. w zastosowaniach biomedycznych lub w odzieży, istotna jest aktywność antybakteryjna, która eliminuje kolonizację przez bakterie i zagrożenie infekcją. Ponadto, na wolnym powietrzu pożądaną cechą staje się hydrofobowość, a nawet superhydrofobowość i właściwości samoczyszczące [2,3]. Należy dodać, że superhydrofobowość, jakkolwiek nie uśmierca

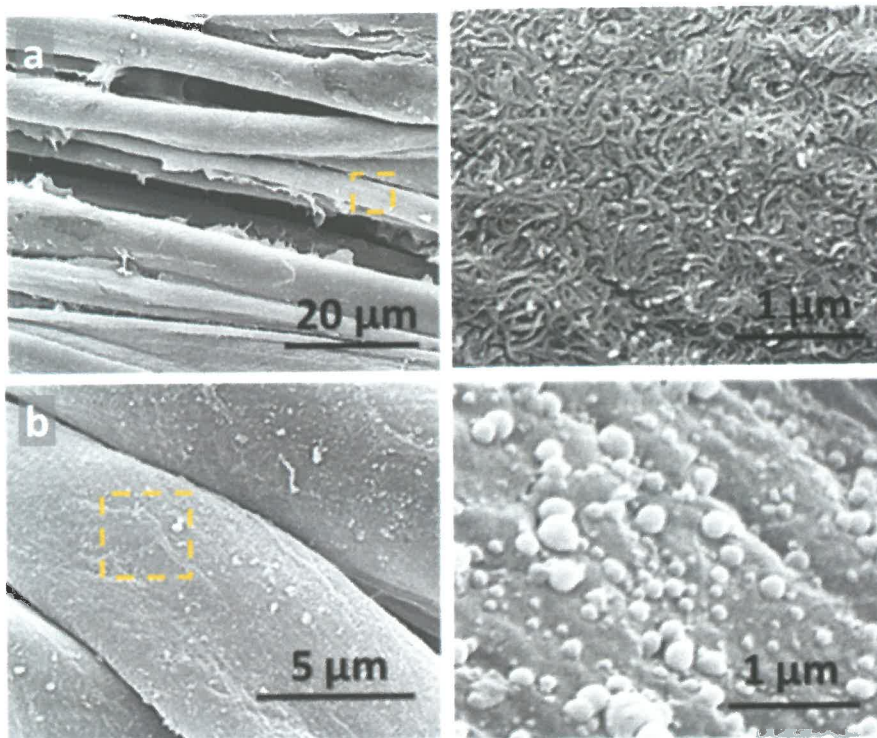
bakterii, to ogranicza ich adhezję do materiału [4]. Do metod stosowanych do nadawania przewodnictwa elektrycznego materiałom tekstylnym należy nanoszenie warstw na powierzchnię poprzez chemiczne osadzanie z fazy gazowej (ang. chemical vapor deposition (CVD)) warstwa np. poli(3,4-etylenodioksytiofenu) (PEDOT) [5] i pokrywanie cząstkami substancji przewodzących prąd elektryczny metodą napawania (ang. padding) [6, 7], techniką wykorzystywaną w przemyśle (rys. 1). Natomiast hydrofobowość można uzyskać przez napawanie emulsji wodnych odpowiednich środków hydrofobizujących [8]. Dążenie do odchodzenia od preparatów hydrofobizujących zawierających fluor [9], sprawia, że szuka się nowych preparatów chemicznych umożliwiających uzyskanie hydrofobowości i superhydrofobowości [3]. Z kolei aktywność antybakteryjną uzyskuje się przez modyfikację odpowiednimi związkami chemicznymi, a również nanocząstkami metali [10, 11]. W przypadku włókien sztucznych możliwe jest dodawanie odpowiednich substancji na etapie wytwarzania. W przypadku włókien pochodzenia naturalnego modyfikuje się z reguły gotowe włókna lub wyroby tekstylne. Jedynie nieliczne prace zostały poświęcone modyfikacji gotowych włókien sztucznych otrzymanych metodą elektroprzędzenia [12]. Należy dodać, że często wymaga to wcześniejszej modyfikacji powierzchni włókien w celu wytworzenia trwałej

powłoki.

Celem przeprowadzonych badań była modyfikacja zarówno tkaniny bawełnianej [H1, H4, H5, H7], jak i materiałów włóknistych z tworzyw syntetycznych jak poli(tereftalan etylenu) (PET) [H2-H4], polilaktyd (PLA) [H8] z polietylenu o dużej gęstości (HDPE), poli(fluorku winylidenu) (PVDF) i polipropylenu (PP) [H6] w celu uzyskania przewodnictwa elektrycznego, superhydrofobowości lub hydrofobowości i aktywności antybakteryjnej.

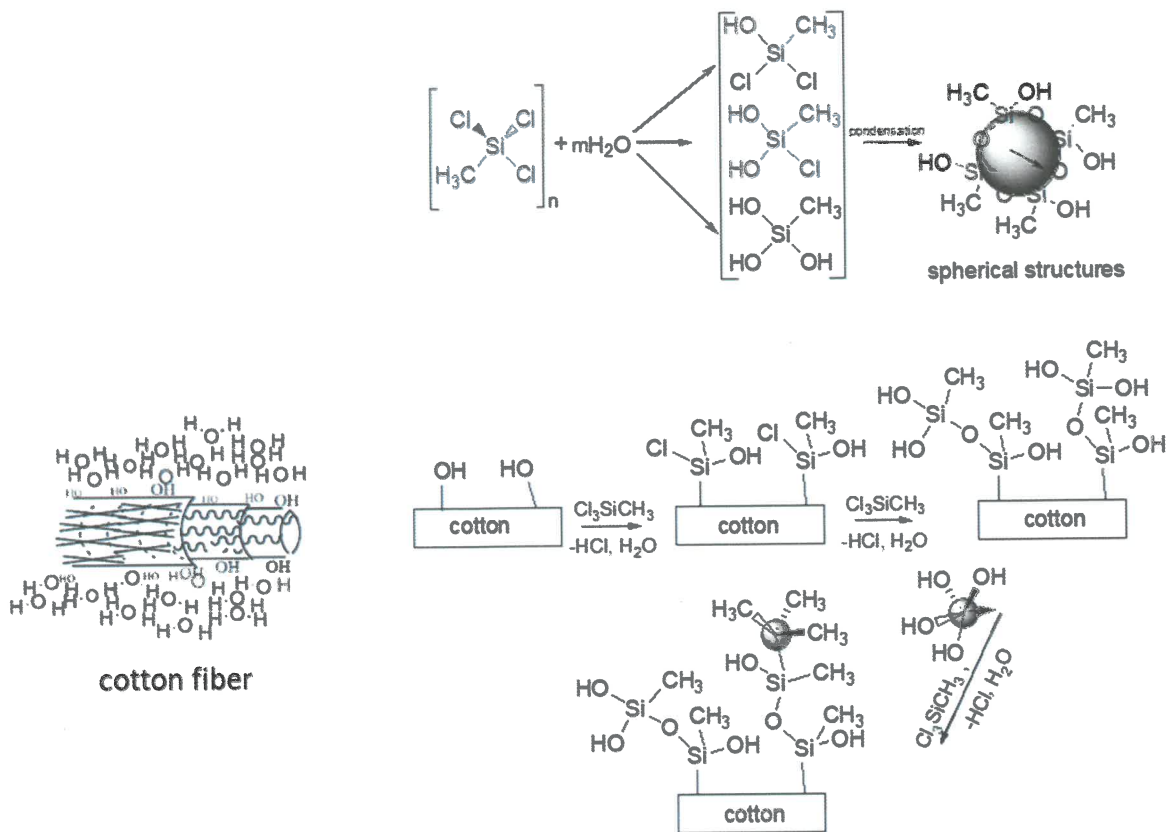
Wykorzystano w tym celu nanoszenie na materiały włókniste wielościennych nanorurek węglowych (MWCNT) [H1-H4, H6, H8], nanoszenie tlenku grafenu (GO) i jego późniejszą redukcję [H5], a także modyfikację silanami [H1, H4-H8], a także elektrochemiczne osadzanie cząstek srebra [H2, H6, H8]. Należy nadmienić, że wykorzystywane MWCNT zgodnie z danymi literaturowymi są nieszkodliwe dla ludzkiego zdrowia [13].

Publikacja [H1] przedstawia wyniki badań dotyczących modyfikacji tkaniny bawełnianej. Pokrycie powierzchni włókien tkaniny bawełnianej MWCNT, metodą napawania ich wodnej dyspersji, pozwoliło uzyskać przewodnictwo elektryczne. Wskazało to, iż na powierzchniach włókien powstała sieć przewodząca MWCNT. Obecność MWCNT na powierzchniach włókien została potwierdzona metodą SEM, co przedstawia rys. 2 a. Określono wpływ liczby naniesień na przewodnictwo elektryczne. Po czterech naniesieniach 0.5% dyspersji MWCNT elektryczna oporność powierzchniowa wyniosła 710 Ω /sq a kolejne naniesienia nie powodowały znaczących zmian tej oporności. Tkanina bawełniana jest hydrofilowa. Po osadzeniu MWCNT na powierzchniach włókien stała się hydrofobowa, z WCA 134°. Natomiast modyfikacja przy użyciu MTCS pozwoliła na uzyskanie właściwości superhydrofobowych, z WCA w zakresie 144-170 °C. Wyższe wartości WCA uzyskano dla tkaniny modyfikowanej MWCNT przed zastosowaniem MTCS. Wartości WCA zależały też od wilgotności względnej (RH) w czasie kondycjonowania tkaniny i zwiększały się ze wzrostem RH, czemu towarzyszyło zmniejszanie się kąta poślizgu (SA) do 6-7°. Analiza SEM wykazała, że wskutek modyfikacji MTCS na powierzchniach włókien utworzyły się cząstki (rys.2 b), które najprawdopodobniej odpowiedzialne były za superhydrofobowość.



Rys. 2. Mikrofotografie SEM powierzchni włókien tkaniny bawełnianej a) po naniesieniu MWCNT, przy dużym powiększeniu widoczne nanorurki węglowe pokrywające ściśle powierzchnię włókien b) po hydrofobizacji przy użyciu MTCS, przy dużym powiększeniu widoczne nanocząstki PMSQ.

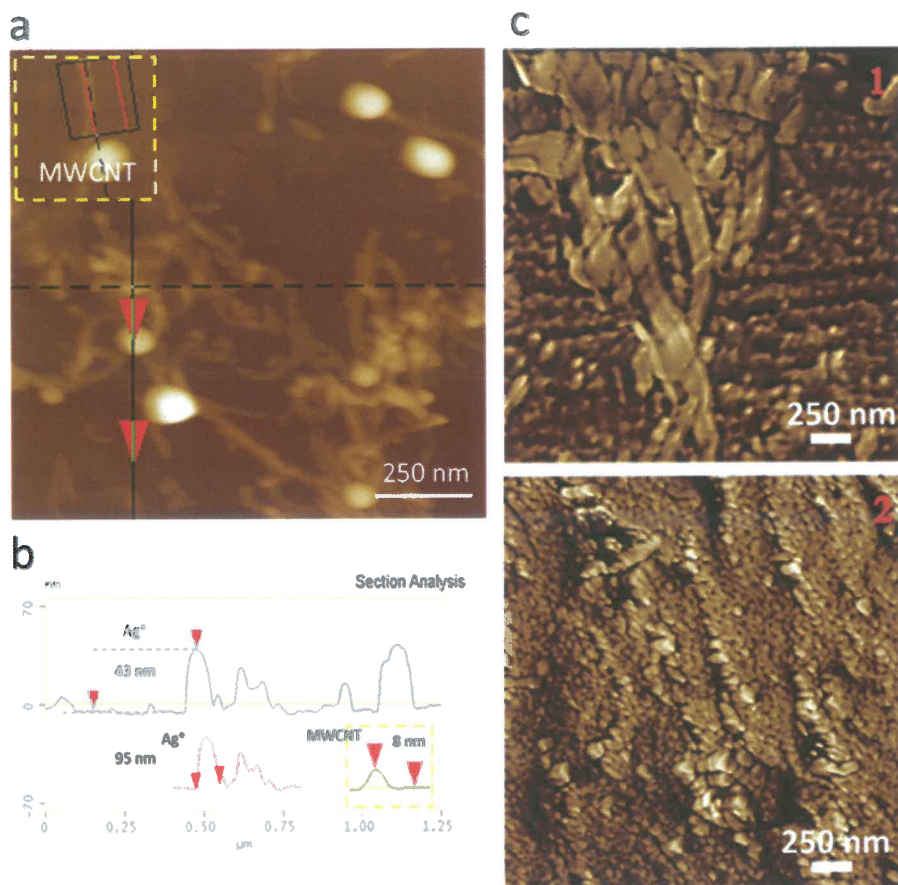
Zaproponowano mechanizm tworzenia się tych cząstek – cząstek PMSQ poprzez reakcje hydrolizy i kondensacji, w które zaangażowane były cząsteczki wody związane z włóknami bawełny, a także grupy hydroksylowe na powierzchniach włókien, co przedstawiono na rys. 3. Należy dodać, że modyfikacja MTCS zwiększyła elektryczną oporność powierzchniową, nawet o rząd wielkości w przypadku kondycjonowania w warunkach RH 70%, co było wynikiem nieoczekiwanym.



Rys. 3. Mechanizm powstawania na powierzchniach włókien bawełny, struktur poli(metylosilsekwioxanowych).

Celem badań przedstawionych w publikacji [H2], była modyfikacja tkaniny poliestrowej z PET w celu nadania jej właściwości elektroprzewodzących, następnie zbadanie możliwości wykorzystania tej tkaniny, jak również tkaniny bawełnianej jako elektrod. Przewodnictwo elektryczne tkanin, zarówno bawełnianej jak i poliestrowej, osiągnięto poprzez napawanie wodną dyspersją MWCNT, metodą wcześniej opracowaną dla tkaniny bawełnianej [H1]. Przestrzenna sieć MWCNT na powierzchniach włókien zapewniła przewodnictwo elektryczne. Elektryczna oporność powierzchniowa wyniosła $350 \Omega/\text{sq}$ i $260 \Omega/\text{sq}$, odpowiednio dla tkaniny PET i dla tkaniny bawełnianej. Umożliwiło to dalszą modyfikację poprzez elektrochemiczne osadzanie nanocząstek srebra, wskutek redukcji jonów srebra na powierzchniach MWCNT i elektropolimeryzację pirolu, metodą woltamperometrii cyklicznej. Tym samym wykazano, że tkaniny modyfikowane MWCNT mogą pełnić rolę elektrod w procesach elektrochemicznych. Obecność MWCNT, nanocząstek srebra i polipirolu na powierzchniach włókien została udokumentowana badaniami SEM, AFM i FTIR. Rys. 4 przedstawia obraz wysokościowy AFM z analizą powierzchni włókna PET, modyfikowanego MWCNT po osadzeniu nanocząstek srebra oraz obrazy fazowe AFM powierzchni włókna PET,

modyfikowanego MWCNT, po elektropolimeryzacji pirolu. Wiadomo, że polipirol zwiększa absorpcję wodoru, co sprawia, że można go wykorzystać w ogniwach paliwowych jak również jako sensorów piezoelektrycznych czy termorezystorów [14, 15]. Z kolei obecność nanocząstek srebra zapewniła aktywność antybakteryjną zmodyfikowanych tkanin, potwierdzoną badaniami metodą dyfuzyjno-krażkową Kirby-Bauera.

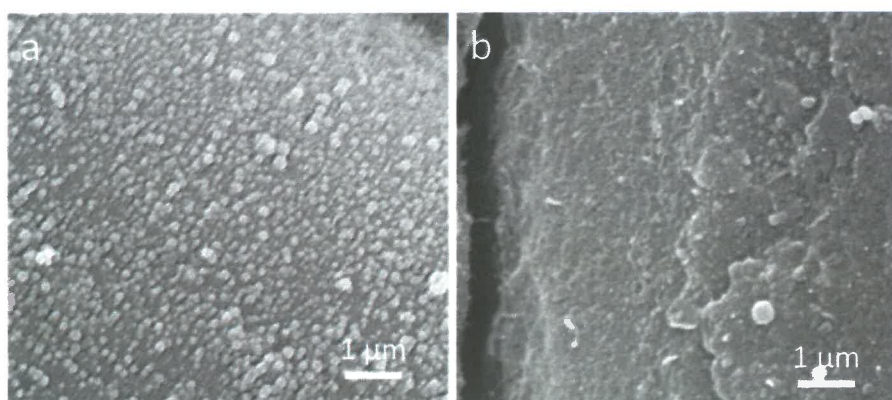


Rys. 4. Powierzchnie włókien PET: a) obraz wysokościowy AFM włókna modyfikowanego MWCNT po osadzeniu nanocząstek srebra, b) analiza powierzchni na podstawie obrazu wysokościowego AFM, c) obrazy fazowe AFM włókna modyfikowanego MWCNT po elektropolimeryzacji pirolu.

Kolejna publikacja [H3] opisuje modyfikację tkaniny poliestrowo (PET)-bawełnianej. Poprzez napawanie wodną dyspersją MWCNT nadano tkaninie przewodnictwo elektryczne. Najlepszy wynik uzyskano dla tkaniny czterokrotnie napawanej 0,5 % dyspersją, a dalsze zwiększenie liczby naniesień nie wpłynęło znacząco ani na ilość naniesionych MWCNT ani na przewodnictwo elektryczne tkaniny. Obecność MWCNT na powierzchniach włókien potwierdzono metodami SEM i FTIR. Rezystancja powierzchniowa, mierzona zgodnie z normą PN-EN 1149-1, wyniosła dla niemodyfikowanej tkaniny 2600 GΩ, a po czterokrotnym

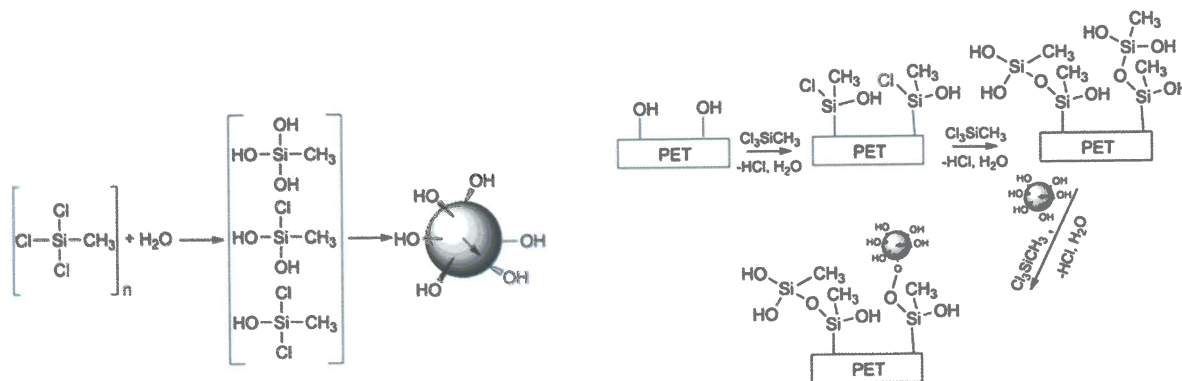
napawaniu zmniejszyła się do 1,6 k Ω , przy zawartości MWCNT ok. 7,5 %wag. Tkanina pokryta MWCNT była hydrofilowa, natomiast po modyfikacji komercyjnym środkiem na bazie kopolimeru fluoro-akrylowego stała się hydrofobowa. WCA wyniósł ok. 90°, a przy czym hydrofobizacja nie pogorszyła znacząco przewodnictwa elektrycznego tkaniny napawanej dwa lub więcej razy. Pokazano, że istotne jest usunięcie nadmiaru MWCNT, luźno związanych z tkaniną, oraz anionowego środka powierzchniowo czynnego stosowanego do zdyspergowania MWCNT w wodzie, którego obecność negatywnie wpływa na utworzenie hydrofobowej powłoki tkaniny.

Z kolei publikacja [H4] poświęcona jest właściwościom elektrycznym tkanin bawełnianych, poliestrowej z PET, z naniesionymi MWCNT oraz chemicznej modyfikacji przy użyciu MTCS w celu nadania właściwości superhydrofobowych. Pokazano, że elektryczna oporność powierzchniowa tkanin pokrytych MWCNT maleje ze wzrostem temperatury. Ponadto zademonstrowano, że elektryczna oporność powierzchniowa tych tkanin zmniejsza się podczas rozciągania i że zmiana ta jest odwracalna, co wskazuje, że takie materiały mogą być wykorzystane w czujnikach odkształcenia. Po modyfikacji tkaniny PET przy użyciu MTCS, wartości WCA wyniosły ok. 140° i nie zależały od RH w czasie kondycjonowania, inaczej niż w przypadku tkaniny bawełnianej [H1]. Za wysokie wartości WCA odpowiadają cząstki PMSQ utworzone na powierzchniach włókien PET, których obecność wykazano badaniami SEM, co przedstawia Rys. 5. Mechanizm tworzenia się cząstek PMSQ na powierzchniach włókien PET przedstawia Rys. 6. Grupy hydroksylowe konieczne do utworzenia cząstek na powierzchniach włókien powstały prawdopodobnie wskutek degradacji PET podczas przetwarzania, a nawet niefunkcjonalizowane MWCNT też zawierają pewną ich ilość. Elektryczna oporność powierzchniowa materiałów tkanin poliestrowej z PET i bawełnianej z naniesionymi MWCNT po modyfikacji MTCS wyniosła, odpowiednio, 8.60 k Ω /sq i 0.68 Ω /sq, dla materiałów z MWCNT naniesionymi czterokrotnie i kondycjonowanych przy RH 70%.



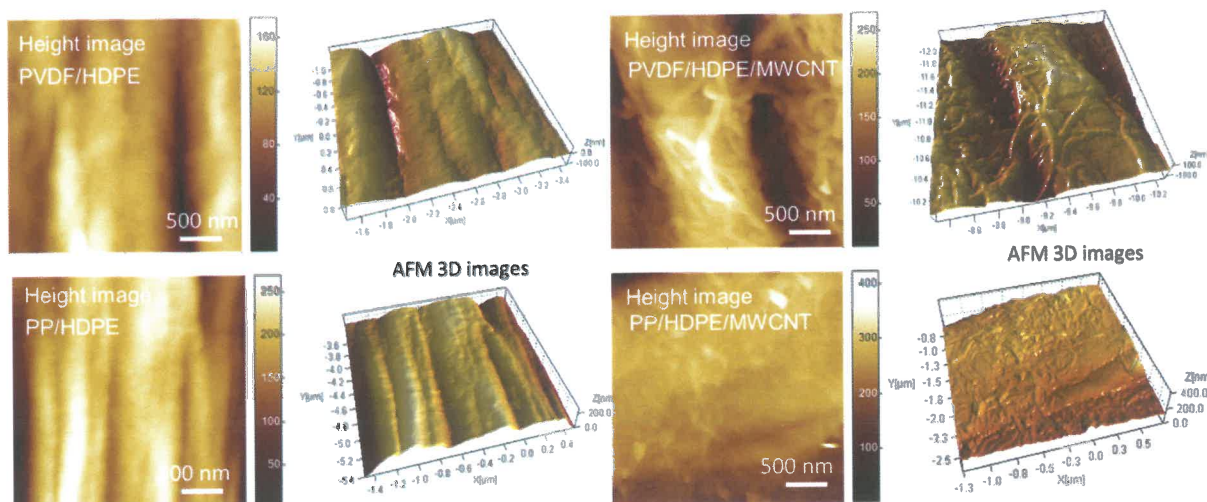
Rys. 5. Mikrofotografie SEM włókien PET: a) włókno PET po hydrofobizacji przy użyciu

MTCS; (b) włókno PET pokryte MWNCT po hydrofobizacji przy użyciu MTCS.



Rys. 6. Mechanizm powstawania na powierzchniach włókien PET struktur poli(metylosilsekwioxanowych).

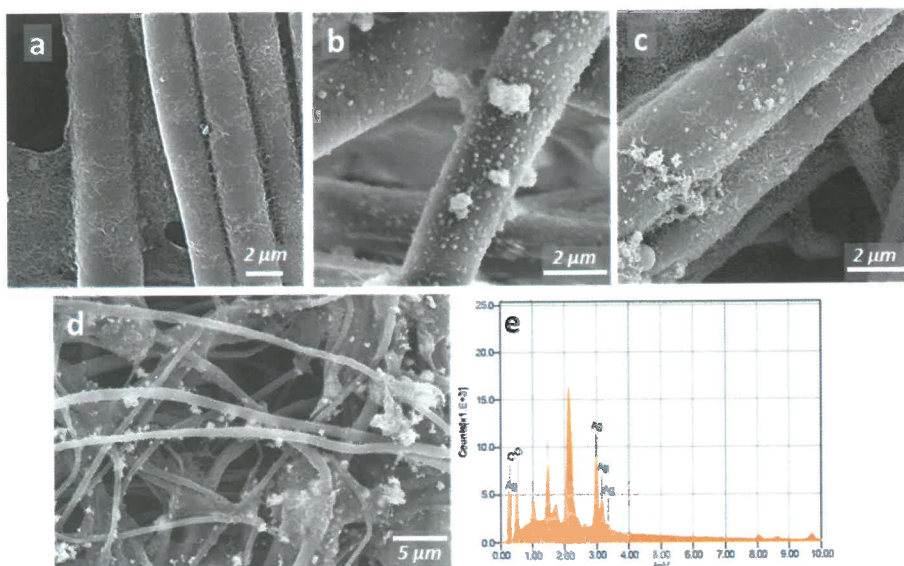
Publikacja [H6] przedstawia wyniki badań dotyczących modyfikacji powierzchni dwuskładnikowych porowatych materiałów włóknistych z HDPE i PVDF (HDPE/PVDF) oraz z PP i HDPE (PP/HDPE), które zostały wytworzone w zespole prof. E. Baera w Case Western Reserve University techniką współwytłaczania a następnie separacji w strumieniu wody [16]. Na otrzymane w ten sposób nowe materiały włókniste zostały naniesione MWCNT poprzez zanurzenie w i wodnej dyspersji MWCNT, co nadało tym materiałom właściwości elektroprowadzące. Elektryczna oporność powierzchniowa materiałów HDPE/PVDF i PP/HDPE wyniosła, odpowiednio, 58 Ω /sq i 63 Ω /sq. Obecność MWCNT na powierzchniach włókien potwierdziły badania metodą SEM i AFM. Rys. 7 przedstawia wysokościowe obrazy AFM pokazujące MWCNT na powierzchniach włókien.



Rys. 7. Obrazy AFM materiałów włóknistych PVDF/HDPE i PP/HDPE przed i po pokryciu MWCNT.

Wartości WCA, które wynosiły początkowo 136°, a po modyfikacji MWCNT zmniejszyły się do ok. 100°, po modyfikacji MTCS zwiększyły się do 160-170°, co wskazuje, że uzyskano właściwości superhydrofobowe, spowodowane utworzeniem cząstek PMSQ na powierzchniach włókien. Obecność tych cząstek na powierzchniach włókien potwierdziły badania metodą SEM. Grupy hydroksylowe, konieczne do utworzenia cząstek, powstały zapewne podczas separacji włókien silnym strumieniem wody, a nawet niefunkcjonalizowane MWCNT też zawierają pewną ich ilość. Przy tym toluen, w którym przeprowadzano modyfikację, zawiera również resztkową wodę. Po modyfikacji MTCS elektryczna oporność powierzchniowa HDPE/PVDF i PP/HDPE wzrosła, odpowiednio do 87 Ω /sq i 63 Ω /sq. Oba rodzaje modyfikacji zmniejszyły rozmiary porów HDPE/PVDF i zwiększyły pole powierzchni materiału. Na materiałach pokrytych MWCNT osadzono nanocząstki srebra metodą woltamperometrii cyklicznej, co potwierdzono badaniami SEM oraz SEM-EDS. Osadzenie nanocząstek srebra nadało materiałom właściwości antybakteryjne.

W kolejnej publikacji [H8] zademonstrowano możliwości modyfikacji włókien z PLA, polimeru biodegradowalnego, kompostowalnego, otrzymywanego z surowców naturalnych. Włókniny, z włókien o różnych rozmiarach poprzecznych, otrzymano metodą elektroprzędzenia. Metodą napawania, wodną dyspersją MWCNT nadano włókninom przewodnictwo elektryczne. Najniższą elektryczną oporność powierzchniową, 77 Ω /sq uzyskano w przypadku włókniny o rozmiarze poprzecznym włókien w zakresie 1.5- 3 μ m, na której osadzono 14 %wag. MWCNT. MWCNT utworzyły ‘maty’ pokrywające włókna i rozciągające się pomiędzy włóknami, co spowodowało powstanie sieci przewodzącej prąd elektryczny. Te ‘maty’ widoczne są na mikrofotografiach SEM, co przedstawia Rys. 8 a.

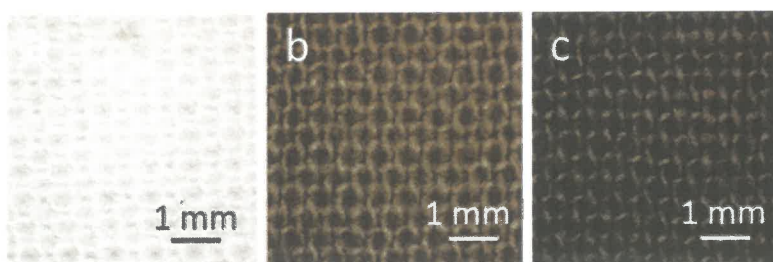


Rys. 8. Mikrofotografie SEM włókniń PLA: a) włóknina pokryta MWCNT tworzącymi ‘maty’ przewodzące prąd elektryczny, b) włóknina modyfikowana przy użyciu MTCS, c) włóknina pokryta MWCNT po modyfikacji MTCS, d) włóknina pokryta MWCNT po osadzeniu cząstek srebra, e) analiza EDS włókniny pokrytej MWCNT po osadzeniu cząstek srebra.

Pokrycie MWCNT nie spowodowało zmiany wartości WCA dla włókniń z włóknami o mikrometrowych rozmiarach poprzecznych. Natomiast modyfikacja przy użyciu MTCS spowodowała wzrost WCA do 160-175°, a wartości SA wyniosły 1-2°, co wskazuje na tzw. efekt lotosu. Podobnie jak w innych przypadkach na powierzchniach włókien utworzyły się cząstki PMSQ, widoczne na mikrofotografiach SEM (Rys. 8 b, c), do czego przyczyniły się najprawdopodobniej końcowe grupy hydroksylowe PLA i hydroksylowe grupy na powierzchniach MWCNT, a także resztkowa woda w n-heksanie, w którym przeprowadzono modyfikację. Na elektroprzewodzących włókninach metodą woltamperometrii cyklicznej osadzono cząstki srebra, co potwierdziły badania metodą SEM i SEM-EDS, tak jak to przedstawiono na Rys. 8 d, e. Włókniny zmodyfikowane w ten sposób wykazały aktywność antybakteryjną.

Również modyfikacja tkanin grafenem lub zredukowanym GO może prowadzić do nadania materiałom włóknistym przewodnictwa elektrycznego [17, 18]. Rzadko stosuje się w tym celu grafen, ze względu na trudność uzyskania jego wodnych dyspersji [18]. Natomiast obecność grup funkcyjnych na powierzchni GO umożliwia zdyspergowanie go w wodzie, chociaż w celu uzyskania dobrego przewodnictwa elektrycznego GO musi zostać zredukowany, co zwykle wymaga ogrzewania do wysokiej temperatury w beztlenowej atmosferze i/lub redukcji chemicznej [19].

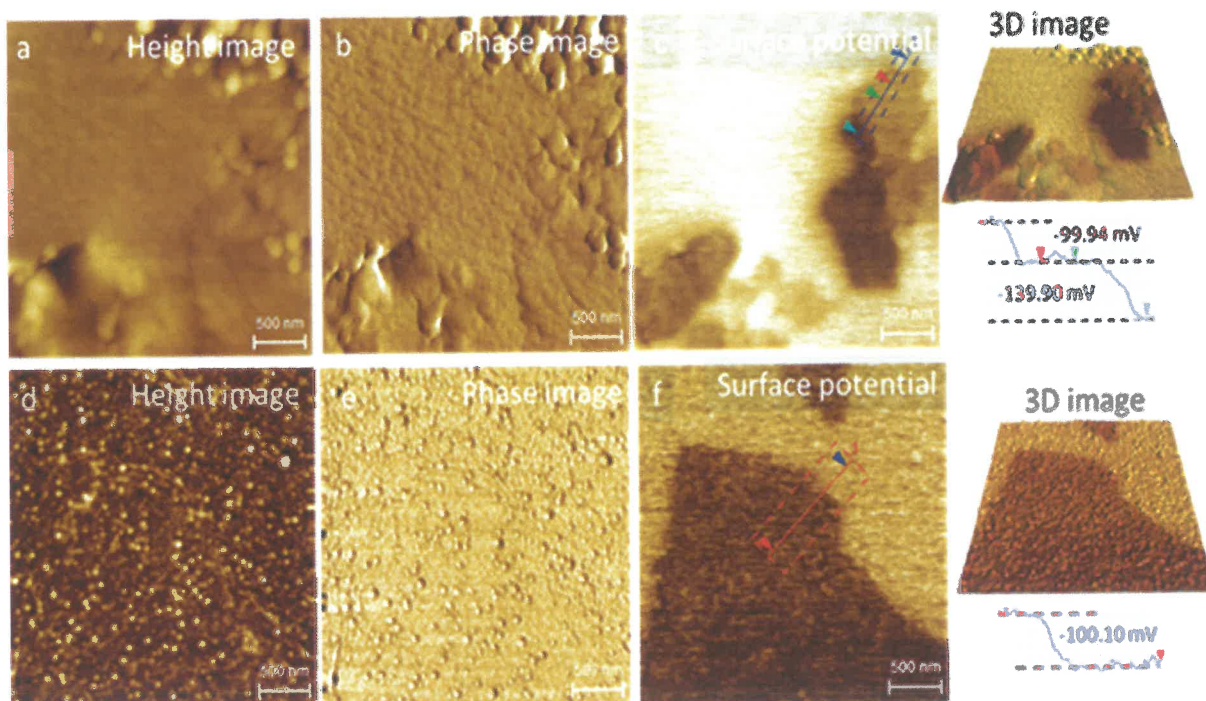
W publikacji [H5] tkanina bawełniana została pokryta GO poprzez napawanie jej wodną dyspersją. Zademonstrowano, że jest możliwa redukcja GO na tkaninie w powietrzu. Pokazano, że ogrzewanie do 180 °C lub 220 °C, i krótkie wygrzewanie w tych temperaturach, odpowiednio przez 15 lub 1 min, wystarczy do częściowej redukcji GO, skutkującej uzyskaniem przewodzenia elektrycznego i zmianą koloru (Rys. 9).



Rys. 9. Mikrofotografie uzyskane w świetle odbitym tkaniny bawełnianej: a) czysta tkanina bawełniana, b) tkanina po naniesieniu GO, c) tkanina po termicznej redukcji GO wspomaganiej Irganoxem 1010.

Pokazano ponadto, że termiczną redukcję GO na tkaninie można wspomóc kwasem L-askorbinowym lub komercyjnym przeciwutleniaczem stosowanym w przetwórstwie polimerów - pentaerytrytol tetrakis[3-[3,5-di-tert-butyl-4-hydroksyfenyl]propionian, o nazwie handlowej Irganox 1010. Zastosowanie tych związków pozwoliło na osiągnięcie niższych wartości elektrycznej oporności powierzchniowej. Ponadto, aby udowodnić zdolność Irganoxu 1010 do redukcji GO, przeprowadzono redukcję GO w wodnej zawieszynie z dodatkiem tego związku, jak również dla porównania z dodatkiem kwasu L-askorbinowego, w temperaturze 90 °C przez 30 min. Po redukcji przeanalizowano produkty reakcji za pomocą mikroskopu AFM w trybie KPFM (Kelvin Probe Force Microscopy) na podłożu pokrytym złotem i wykonano pomiary potencjału powierzchniowego. Uzyskane wyniki wskazały, że zaszła redukcja GO i osiągnięto przewodnictwo elektryczne, co przedstawia Rys. 10.

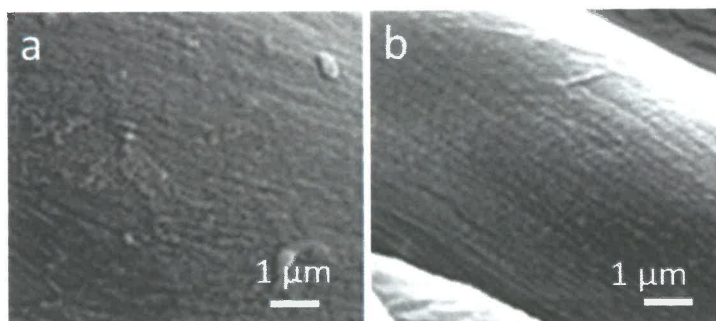
W przypadku zastosowania Irganoxu 1010 osiągnięto elektryczną oporność powierzchniową 6.6 MΩ/sq i 3.7 MΩ/sq, o redukcji w temperaturze odpowiednio 180 °C i 220 °C. Przy tym, jakkolwiek wytrzymałość tkaniny na rozciąganie po wygrzewaniu pogorszyła się, to zastosowanie Irganoxu 1010 te niekorzystne zmiany ograniczyło. Ponadto, zastosowanie Irganoxu 1010 spowodowało, że tkanina pokryta GO stała się hydrofobowa z WCA 136°. Z kolei modyfikacja tkanin po redukcji GO, z zastosowaniem MTCS, nadała im właściwości superhydrofobowe z WCA 165 – 174° i SA 2-3°, co wskazuje na tzw. efekt lotosu. RH podczas kondycjonowania przed modyfikacją nie miała większego wpływu na WCA. Podobnie jak w innych przypadkach, odpowiedzialne za superhydrofobowość były cząstki PMSQ utworzone na powierzchniach włókien, obserwowane metodą SEM. Modyfikacja MTCS miała wpływ na przewodnictwo elektryczne, jakkolwiek efekt ten zależał od warunków redukcji GO oraz RH podczas kondycjonowania.



Rys. 10. Obrazy AFM wysokościowe i fazowe oraz analiza potencjału powierzchni metodą KPFM zredukowanego GO na podłożu pokrytym złotem: a, b, c) GO zredukowany z zastosowaniem kwasu (L-askorbinowego), d, e, f) GO zredukowany z zastosowaniem Irganoxu 10110.

W publikacjach [H1, H4-H6, H8] do hydrofobizacji włókien wykorzystywano MTCS. Interesujące wydawało się zbadanie możliwości hydrofobizacji tkaniny bawełnianej przy użyciu szeregu silanów różniących się liczbą atomów chloru związanych z atomem krzemu i pozostałymi podstawnikami, takich jak trimetylochlorosilan (TMCS), dichlorodimetylosilan (DMDCS), dichloro(metylo)fenylosilan (DCMPHS), 3-chloropropylometylodichlorosilan (CPTCS), (3,3,3-trifluoropropyl)dichlorometylosilan (TFDCMS) oraz 3-aminopropyl(dietoksy)metylosilan (AMDES), co przedstawia publikacja [H7]. Przed modyfikacją tkaniny kondycjonowane były w atmosferze powietrza o RH 30% i 70%. Modyfikację tkaniny przeprowadzono w roztworach silanów w bezwodnym toluenie i n-heksanie. Stosując DMDCS, DCMPHS, CPTCS i TFDCMS otrzymano materiały o wysokim WCA, 157° – 165° i 163° – 174° po kondycjonowaniu, odpowiednio, przy RH 30% i 70%, co wpłynęło na ilość wody zaadsorbowanej przez włókna, podobnie jak to opisano w pracy [H1]. Jedyne związki zawierające w cząsteczce więcej niż jeden atom chloru związany z atomem krzemu wykazały zdolność do hydrofobizacji, gdyż, najprawdopodobniej, jedynie w tych przypadkach reakcje hydrolizy i kondensacji prowadziły do powstania liniowych oligo(siloksanów), które utworzyły hydrofobowe powłoki na powierzchniach włókien. Analiza

SEM wykazała obecność cienkich warstw i cząstek na powierzchniach modyfikowanych włókien, co przedstawia Rys. 11. Natomiast, analiza ta nie wykazała obecności globularnych struktur na powierzchniach, obserwowanych poprzednio po modyfikacji przy użyciu MTCS [H1, H4-H6, H8]. Spektroskopia osłabionego całkowitego odbicia w podczerwieni (ATR-FTIR) potwierdziła obecność związków siloksanowych a badania metodą SEM-EDS potwierdziły obecność krzemu na powierzchniach.



Rys.11. Mikrofotografie SEM włókien bawełny, kondycjonowanych przy RH 70% i zmodyfikowanych silanami w toluenie: a) TMCS, b) CPTCS.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania koncentrowały się na modyfikacji materiałów włóknistych. Pokazano, że naniesienie MWCNT na materiały włókniste poprzez napawanie lub zanurzenie w wodnej dyspersji MWCNT nadało tym materiałom przewodnictwo elektryczne. Metodą nanoszenia MWCNT nadano przewodnictwo elektryczne tkaninie bawełnianej, tkaninie poliestrowej z PET, tkaninie poliestrowo-bawełnianej, włóknistym materiałom PP/HDPE i PVDF/HDPE, oraz włókninom PLA [H1-H5, H8]. Jakkolwiek w przypadku napawania powierzchniowa oporność elektryczna malała w miarę kolejnych naniesień, to po przekroczeniu czterech naniesień dalsze napawanie nie zmniejszało znacząco oporności elektrycznej [H1]. Za każdym razem nadmiar MWCNT oraz środek powierzchniowo czynny były usuwane poprzez intensywne płukanie w wodzie. Pokazano, że elektryczna oporność powierzchniowa tkaniny bawełnianej i tkaniny poliestrowej, pokrytych MWCNT, malała ze wzrostem temperatury [H4]. Ponadto zademonstrowano, że elektryczna oporność powierzchniowa tych tkanin zmniejszała się podczas rozciągania i że zmiana ta była odwracalna, co wskazało na możliwość wykorzystania takich tkanin w czujnikach ruchu [H4]. Przewodnictwo elektryczne umożliwiło osadzenie na zmodyfikowanych materiałach, tkaninie bawełnianej, poliestrowej, włóknistych materiałach PP/HDPE i PVDF/HDPE, oraz włókninach PLA, cząstek srebra metodą woltamperometrii cyklicznej, co zademonstrowało przydatność

tych materiałów jako elektrod w tym elektrochemicznym procesie, i nadało im właściwości antybakteryjne [H3, H6, H8]. Na zmodyfikowanych MWCNT tkaninach bawełnianej i poliestrowej dokonano ponadto elektropolimeryzacji pirolu, również metodą voltamperometrii cyklicznej [H3]. Pokazano, że pokrycie tkaniny bawełnianej GO metodą napawania jego wodnej dyspersji i redukcja GO na tkaninie w podwyższonej temperaturze pozwoliło na nadanie tkaninie przewodnictwa elektrycznego [H5]. Ponadto, pokazano, że redukcję można wspomóc stosując komercyjny antyutleniacz - pentaerytrol tetrakis[3-[3,5-di-tert-butyl-4-hydroksyfenyl]propionian, o nazwie handlowej Irganox 1010 [H5]. W oddzielnym eksperymencie wykazano zdolność tego związku do redukcji chemicznej GO. Tkaninę bawełnianą, poliestrową, włókniste materiały PP/HDPE i PVDF/HDPE, oraz włókniny PLA, modyfikowane MWCNT jak również niemodyfikowane poddano hydrofobizacji przy użyciu MTCS uzyskując właściwości hydrofobowe lub superhydrofobowe, które wywołały cząstki PMSQ utworzone na powierzchniach włókien [H1, H4-H6, H8]. Zaproponowano mechanizm tworzenia się takich cząstek [H1, H4, H6]. W taki sam sposób nadano właściwości superhydrofobowe tkaninie bawełnianej pokrytej zredukowanym GO [H5]. Pokazano, że kondycjonowanie w warunkach różnej RH ma wpływ na wartości WCA tkaniny bawełnianej niemodyfikowanej i modyfikowanej MWCNT po hydrofobizacji przy użyciu MTCS [H1]. Zbadano możliwości hydrofobizacji tkaniny bawełnianej przy użyciu szeregu silanów różniących się liczbą atomów chloru związanych z atomem krzemu i pozostałymi podstawnikami i pokazano, że jedynie związki zawierające w cząsteczce więcej niż jeden atom chloru związany z atomem krzemu wykazały zdolność do hydrofobizacji tkaniny [H8].

W trakcie przeprowadzonych badań zbadano możliwości modyfikacji materiałów włóknistych poprzez modyfikacje powierzchni. W przypadku tych materiałów, o silnie rozwiniętych powierzchniach, zastosowanie prostych metod modyfikacji powierzchni okazało się skuteczne. Uzyskano w ten sposób materiały o właściwościach elektroprzewodzących, superhydrofobowych i antybakteryjnych. Wyniki badań przedstawiono w szeregu publikacji [H1-H8]. Nowe, zmodyfikowane materiały włókniste, mogą mieć szereg potencjalnych zastosowań, np. zarówno w odzieży, jak i artykułach medycznych, czy też przemyśle samochodowym. Należy dodać, że zbadane i opracowane sposoby modyfikacji przy użyciu metody napawania mogą być zastosowane na skalę przemysłową.

Literatura

- [1] A. Kausar, I. Rafique, B. Muhammad, Review of Applications of Polymer/Carbon Nanotubes and Epoxy/CNT Composites, *Polym-Plast Technol* (2016), 55 1167-1191.
- [2] A. Hooda, M.S. Goyat, J.K. Pandey, A. Kumar, R. Gupta, A review on fundamentals, constraints and fabrication techniques of superhydrophobic coatings, *Prog Org Coat* (2020) 142, 105557.
- [3] S. Das, S. Kumar, S.K. Samal, S. Mohanty, S.K. Nayak, A Review on Superhydrophobic Polymer Nanocoatings: Recent Development and Applications, *Ind Eng Chem Res* (2018) 57, 2727-2745.
- [4] X.X. Zhang, L. Wang, E. Levanen, Superhydrophobic surfaces for the reduction of bacterial adhesion, *Rsc Adv* (2013) 3, 12003-12020.
- [5] K. Chatterjee, J. Tabor, T.K. Ghosh, Electrically Conductive Coatings for Fiber-Based E-Textiles, *Fibers* (2019), 7 51.
- [6] L.B. Hu, M. Pasta, F. La Mantia, L.F. Cui, S. Jeong, H.D. Deshazer, J.W. Choi, S.M. Han, Y. Cui, Stretchable, Porous, and Conductive Energy Textiles, *Nano Lett* (2010) 10, 708-714.
- [7] S. Petrusic, V. Koncar, 5 - Controlled release of active agents from microcapsules embedded in textile structures, in: V. Koncar (Ed.) *Smart Textiles and their Applications*, Woodhead Publishing, Oxford, 2016, pp. 89-114.
- [8] M. Kotthoff, J. Muller, H. Jurling, M. Schlummer, D. Fiedler, Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in consumer products, *Environ Sci Pollut R* (2015) 22, 14546-14559.
- [9] H. Viberg, I. Lee, P. Eriksson, Adult dose-dependent behavioral and cognitive disturbances after a single neonatal PFHxS dose, *Toxicology* (2013) 304, 185-191.
- [10] S.A. Anuj, H.P. Gajera, D.G. Hirpara, B.A. Golakiya, Bacterial membrane destabilization with cationic particles of nano-silver to combat efflux-mediated antibiotic resistance in Gram-negative bacteria, *Life Sci* (2019) 230, 178-187.
- [11] M.C. Stensberg, Q.S. Wei, E.S. McLamore, D.M. Porterfield, A. Wei, M.S. Sepulveda, Toxicological studies on silver nanoparticles: challenges and opportunities in assessment, monitoring and imaging, *Nanomedicine-Uk* (2011) 6, 879-898.
- [12] J.J. Xue, T. Wu, Y.Q. Dai, Y.N. Xia, Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications, *Chem Rev* (2019) 119, 5298-5415.
- [13] L. Ma-Hock, S. Treumann, V. Strauss, S. Brill, F. Luizi, M. Mertler, K. Wiench, A.O.

- Gamer, B. van Ravenzwaay, R. Landsiedel, Inhalation Toxicity of Multiwall Carbon Nanotubes in Rats Exposed for 3 Months, *Toxicol Sci* (2009) 112, 468-481.
- [14] X.X. Yuan, X.L. Ding, C.Y. Wang, Z.F. Ma, Use of polypyrrole in catalysts for low temperature fuel cells, *Energ Environ Sci* (2013) 6, 1105-1124.
- [15] N.F. Attia, K.E. Geckeler, Polyaniline-Polypyrrole Composites with Enhanced Hydrogen Storage Capacities, *Macromol Rapid Comm* (2013) 34, 931-937.
- [16] Z.P. Li, A. Olah, E. Baer, Micro- and nano-layered processing of new polymeric systems, *Prog Polym Sci* (2020) 102, 101210.
- [17] D. Kowalczyk, S. Brzezinski, I. Kaminska, S. Wrobel, U. Mizerska, W. Fortuniak, E. Piorkowska, M. Svyntkivska, T. Makowski, Electrically conductive composite textiles modified with graphene using sol-gel method, *J Alloy Compd* (2019) 784, 22-28.
- [18] D. Kowalczyk, W. Fortuniak, U. Mizerska, I. Kaminska, T. Makowski, S. Brzezinski, E. Piorkowska, Modification of cotton fabric with graphene and reduced graphene oxide using sol-gel method, *Cellulose* (2017) 24, 4057-4068.
- [19] M. Acik, G. Lee, C. Mattevi, A. Pirkle, R.M. Wallace, M. Chhowalla, K. Cho, Y. Chabal, The Role of Oxygen during Thermal Reduction of Graphene Oxide Studied by Infrared Absorption Spectroscopy, *J Phys Chem C* (2011) 115, 19761-19781.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

brak

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Wykłady na studium doktoranckim 2016 - 2019 „Mikroskopia sił atomowych - Atomic Force Microscopy (AFM) – **wykładowca**

6.2. Wykłady przedstawione w ramach Festiwalu Nauki, Techniki i Sztuki Łódź w latach 2017 – 2019 r – **wykładowca**

6.1. Pokazy dla uczniów szkół podstawowych i ogólnokształcących podczas „Drzwi Otwartych” Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w czasie, których młodzież poznawała tajniki nano świata w latach 2017 – 2019 r. – **wykładowca**

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

7.1. Krótkie omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

W czasie studiów doktorskich byłem stypendystą programu BIO-MAT, który był częścią Zintegrowanego Programu Rozwoju Regionalnego, finansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego, w Zakładzie Fizyki Polimerów CBMiM PAN.

Badania były wykonywane pod kierownictwem prof. dr hab. Adama Tracza. W trakcie wykonywania pracy zapoznałem się z różnymi technikami orientacji warstw organicznych związków o małej masie cząsteczkowej oraz polimerów. W ramach pracy wytworzyłem cienkie, o silnie zorientowanej strukturze warstwy związków organicznych za pomocą oryginalnej metody strefowego odparowywania rozpuszczalnika (ang. zone casting) (ZC). Po raz pierwszy metodę ZC zastosowano do otrzymania ciągłej warstwy o zorientowanej strukturze z kompleksu inkluzyjnego DNAA/PHTP (N,N-dimetylo-4(4-nitrofenyloazo)-anilina/perhydrotrifenylen), wykazującego nieliniowe właściwości optyczne. Wytworzone zostały warstwy o silnie zorientowanej strukturze organicznych półprzewodników krystalicznych i dyskotycznych ciekłych kryształów, charakteryzujące się dużą jednorodnością oraz dużą anizotropią właściwości optycznych, absorpcji UV-VIS i fluorescencji. Przeprowadzono badania tych warstw przy użyciu dyfrakcji promieniowania X, mikroskopii w świetle spolaryzowanym, mikroskopii sił atomowych (AFM) oraz za pomocą analizy termooptycznej (TOA). Warstwy dyskotycznych ciekłych kryształów, charakteryzowały się silną orientacją cząsteczek (tworzyły się warstwy o strukturze kolumnowej). Okazało się, że historia termiczna i warunki przechowywania warstw dyskotycznych ciekłych kryształów o silnie zorientowanych strukturach może istotnie wpływać na ich właściwości, jakkolwiek orientacja struktury w warstwach zostaje zachowana po przejściach fazowych. Warstwy o silniejszej orientacji zostały przebadane pod kątem zastosowania ich jako aktywnych warstw półprzewodnikowych w układzie tranzystora polowego. Uzyskane wyniki stały się podstawą mojej rozprawy doktorskiej pt. „Wytwarzanie i właściwości cienkich warstw organicznych dla elektroniki i optoelektroniki”, obronionej w 2013 r., i zostały opublikowane [1-4].

Dzięki możliwości tygodniowego pobytu r. Max Planck Institute for Polymer Research w Moguncji, Niemcy, w zespole prof. Klause Müllena, w 2013 r., miałem okazję zapoznania się z technikami badań rentgenowskich GIWAXS (ang. grazing incidence wide angle X-ray scattering) i GISAXS (ang. grazing incidence small angle X-ray scattering). Pobyt ten

zapoczątkował współpracę dotyczącą badań strukturalnych cienkich warstw o zorientowanej strukturze metodami dyfrakcji rentgenowskiej. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w dwóch publikacjach [3, 5].

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora, zajmowałem się również innymi badaniami. Rozpocząłem współpracę z grupą prof. dr hab. Włodzimierza Stańczyka w CBMiM PAN, kontynuowaną również w późniejszym okresie. Uzyskałem warstwy o zorientowanej strukturze z polisiloksanów z odgałęzieniami z przyłączoną ftalocjaniną (5-(pentyloksy)-3-metoksy-9,10,16,17,23,24-heksakis(oktenyloksy)ftalocyjanina oraz polisiloksanu z odgałęzieniami z przyłączonymi grupami trifenyłowymi (2,3,6,7-tetrakis (heksyloksy) -10-metoksytrifenylene-11-undekanianu), zsyntezowanych w tym zespole, z potencjalnym zastosowaniem w elektronice organicznej. Wykazałem, że wpływ na orientację i krystalizację zsyntezowanych związków ma oddziaływanie pierścieni podstawników a nie łańcuch boczny, co przedstawiono w publikacjach [5, 6]. W okresie po uzyskaniu stopnia doktora nawiązałem również współpracę z dr hab. Anną Kowalewską, prof. CBMiM PAN, dotyczącą badań poli(silsekwioksanów) liniowych zawierających grupy karboksylowe na końcach łańcuchów w podstawnikach bocznych, o potencjalnym zastosowaniu w hodowli komórek macierzystych. Zastosowanie mikrokapilar pozwoliło mi na uzyskanie cienkowarstwowych „ścieżek” o dowolnym kształcie i szerokości, co ma znaczenie np. przy hodowli komórek macierzystych. Zbadałem również wpływ podłoża oraz oddziaływań wodorowych między grupami karboksylowymi grup bocznych na orientację takich makrocząsteczek na powierzchni miki. Wynikiem tych badań były 4 publikacje [7-10] i jedno zgłoszenie patentowe [11].

Istotnym kierunkiem moich badań po uzyskaniu stopnia doktora była modyfikacja materiałów włóknistych, w tym tkanin i włókien, w celu nadania im właściwości elektroprzewodzących, antybakteryjnych, hydrofobowych lub superhydrofobowych. Badania te były prowadzone we współpracy z prof. dr hab. S. Brzezińskim z Instytutu Włókiennictwa (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Włókiennictwa) w Łodzi, a od roku 2015 z prof. dr hab. Ewą Piórkowską-Gałęską z CBMiM PAN, w ramach grantów Narodowego Centrum Nauki: dwóch grantów OPUS (2011/03/B/ST8/06126, 2012-2015, „Możliwości wielofunkcyjnej modyfikacji tkanin zawierających sieć przewodząca utworzoną z wielościennych nanorurek węglowych”, którym kierowałem od roku 2012, oraz 2014/15/B/ST8/04286, 2015-2019, „Wielofunkcyjna modyfikacja tkanin z naniesionymi nanocząstkami grafenu”, w którym byłem wykonawcą) oraz kierowanym przeze mnie grantem SONATA 2016/21/D/ST8/02908, 2016-2021, „Włókniny biodegradowalne z przestrzenną siecią wielościennych nanorurek węglowych, możliwości wielofunkcyjnej modyfikacji”.

Wynikiem tych badań jest szereg publikacji [12-23] oraz dwa zgłoszenia patentowe [24, 25]. Osiem z tych publikacji [15, 17-22, 26] stanowi osiągnięcie opisane w mojej rozprawie habilitacyjnej. Z kolei publikacja [12] to kontynuacja pracy [22], i przedstawia wykorzystanie szeregu komercyjnych antyutleniaczy stosowanych w przemyśle tworzyw sztucznych do wspomaganie redukcji tlenku grafenu (GO) na tkaninie bawełnianej w podwyższonej temperaturze w celu nadania jej przewodnictwa elektrycznego. Z kolei publikacje [16, 23] przedstawiają nadanie tkaninom bawełnianej, polipropylenowej i poliestrowej (z poli(tereftalanu etylenu)) przewodnictwa elektrycznego poprzez pokrycie organo-krzemowym żelem zawierającym rozproszony grafen, z wykorzystaniem techniki napawania i metody zol-żel. W celu wykorzystania GO do modyfikacji tkaniny bawełnianej, zsyntezowany został zol organo-krzemowy z grupami -SiH. GO rozproszony w tym zolu, po naniesieniu na tkaninę, poddany został redukcji w podwyższonej temperaturze, wspomaganej grupami -SiH [23, 25]. Z kolei publikacja [13] przedstawia otrzymanie, metodą elektroprzędzenia, włókien polilaktydu (PLA) o właściwościach antibakteryjnych poprzez dodanie kwercetyny [13]. Wytworzono włókniny zarówno z komercyjnego PLA jak i gwiaździstego, zsyntezowanego w grupie dr hab. Tadeusza Bieli, prof. CBMiM PAN.

Opanowanie techniki AFM, umożliwiającej analizę nano-struktury, pozwoliło mi na uczestniczenie w pracach innych zespołów, w zakresie charakteryzowania nowych materiałów [7, 13, 27-37]. Przykładem jest analiza cząstek polistyrenowych z poliglicydołem i siloksanowych [16-18] a także cząstek z linowych i gwiaździstych PLA, czy stereokompleksów PLA [19, 20].

W okresie po doktoracie kieruję Zespołem Struktury Powierzchni Materii Miękkiej, w którym w chwili obecnej pracują oprócz mnie dwie osoby. Jedną z nich jest doktorantka, w której przewodzie doktorskim pełnię rolę pomocniczego promotora. Oprócz kierowania grantem SONATA wspomnianym wyżej, uczestniczę jako wykonawca w innych projektach, zarówno grantach NCN jak i badaniach statutowych. Prowadzone przeze mnie badania dotyczą zarówno dalszej modyfikacji tkanin lub włókien, w tym biodegradowalnych, np. poprzez wykorzystanie nasączania nadkrytycznym ditlenkiem węgla, a także otrzymywania warstw o silnie zorientowanych strukturach z nanokryształów celulozy metodą ZC o anizotropowych właściwościach optycznych. Takie warstwy posłużyć mogą jako matryce do orientacji związków chemicznych o małej masie cząsteczkowej, krystalicznych, wykorzystywanych w elektronice i optoelektronice np. organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED), organiczne tranzystory polowe (OFET).

Jestem współautorem 37 publikacji (szczegółowy wykaz w załączniku 4) i trzech

zgłoszeń patentowych. Oprócz zaangażowania w zadania badawcze uczestniczyłem i nadal uczestniczę w pracach organizacyjnych i administracyjnych w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk. Jestem członkiem Komisji ds. Równego Traktowania (Committee for Equal Treatment) dla wdrożenia strategii związanej z uzyskaniem wyróżnienia HR Excellence in Research oraz członkiem w Komisji ds. Kontroli Zarządczej.

Lista publikacji dr Tomasza Makowskiego

- [1] D.V. Anokhin, M. Rosenthal, T. Makowski, A. Tracz, W. Bras, K. Kvashnina, D.A. Ivanov, Comparative structural study of thin films of a columnar liquid crystal aligned by mechanical shearing and zone casting, *Thin Solid Films* (2008) 517, 982-985.
- [2] T. Makowski, R. Berger, H. Aboulfadl, J. Hulliger, A. Tracz, Alignment of PHTP-DNAA inclusion crystals by zone casting, *Opt Mater* (2011) 33, 1464-1468.
- [3] T. Makowski, R.M. Moustafa, P. Uznanski, W. Zajaczkowski, W. Pisula, A. Tracz, B.R. Kaafarani, Structural, Thermo-Optical, and Photophysical Properties of Highly Oriented Thin Films of Quinoxalinophenanthrophenazine Derivative, *J Phys Chem C* (2014) 118, 18736-18745.
- [4] A. Tracz, T. Makowski, S. Masirek, W. Pisula, Y.H. Geerts, Macroscopically aligned films of discotic phthalocyanine by zone casting, *Nanotechnology* (2007) 18.
- [5] T. Makowski, T. Ganicz, W. Zajaczkowski, W. Pisula, W.A. Stanczyk, A. Tracz, Synthesis and thermotropic behavior of side chain polysiloxane bearing triphenylene moiety, *Express Polym Lett* (2015) 9, 636-646.
- [6] T. Ganicz, T. Makowski, W.A. Stanczyk, A. Tracz, Side chain polysiloxanes with phthalocyanine moieties, *Express Polym Lett* (2012) 6, 373-382.
- [7] A. Kowalewska, M. Nowacka, T. Makowski, Macroporous materials by self-assembly of linear oligo(phenylsilsesquioxanes), *Express Polym Lett* (2015) 9, 984-1000.
- [8] A. Kowalewska, M. Nowacka, T. Makowski, A. Michalski, Thermal stability of self-assembled surfaces and micropatterns made of ladder polysilsesquioxanes, *Polymer* (2016) 90, 147-155.
- [9] M. Nowacka, A. Kowalewska, T. Makowski, Nanostructured surfaces by supramolecular self-assembly of linear oligosilsesquioxanes with biocompatible side groups, *Beilstein J Nanotech* (2015) 6, 2377-2387.
- [10] M. Nowacka, A. Kowalewska, T. Makowski, Structural studies on ladder phenylsilsesquioxane oligomers formed by polycondensation of

- cyclotetrasiloxanetetraols, *Polymer* (2016) 87, 81-89.
- [11] A. Kowalewska, M. Nowacka, T. Makowski, Surface-modification of mica using low-molecular organic compounds having carboxy group, comprises preparing solution of the compounds in organic solvents followed by application of compounds in form of solutions onto mica by dip coating, in, *Cent Badan Molekularnych I Makromolekula*.
- [12] M. Jedrzejczyk, T. Makowski, M. Svyntkivska, E. Piorkowska, U. Mizerska, W. Fortuniak, S. Brzezinski, D. Kowalczyk, Conductive cotton fabric through thermal reduction of graphene oxide enhanced by commercial antioxidants used in the plastics industry, *Cellulose* (2019) 26, 2191-2199.
- [13] B. Kost, M. Svyntkivska, M. Brzeziński, T. Makowski, E. Piorkowska, K. Rajkowska, A. Kunicka-Styczyńska, T. Biela, PLA/ β -CD-based fibres loaded with quercetin as potential antibacterial dressing materials, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* (2020) 190, 110949.
- [14] D. Kowalczyk, S. Brzezinski, I. Kaminska, S. Wrobel, U. Mizerska, W. Fortuniak, E. Piorkowska, M. Svyntkivska, T. Makowski, Electrically conductive composite textiles modified with graphene using sol-gel method, *J Alloy Compd* (2019) 784, 22-28.
- [15] D. Kowalczyk, S. Brzezinski, T. Makowski, W. Fortuniak, Conductive hydrophobic hybrid textiles modified with carbon nanotubes, *Appl Surf Sci* (2015) 357, 1007-1014.
- [16] D. Kowalczyk, W. Fortuniak, U. Mizerska, I. Kaminska, T. Makowski, S. Brzezinski, E. Piorkowska, Modification of cotton fabric with graphene and reduced graphene oxide using sol-gel method, *Cellulose* (2017) 24, 4057-4068.
- [17] T. Makowski, Hydrophobization of cotton fabric with silanes with different substituents, *Cellulose* (2020) 27, 1-9.
- [18] T. Makowski, M. Grala, W. Fortuniak, D. Kowalczyk, S. Brzezinski, Electrical properties of hydrophobic polyester and woven fabrics with conducting 3D network of multiwall carbon nanotubes, *Mater Design* (2016) 90, 1026-1033.
- [19] T. Makowski, D. Kowalczyk, W. Fortuniak, S. Brzezinski, D. Kregiel, Electrochemical deposition of silver nanoparticle and polymerization of pyrrole on fabrics via conducting multiwall carbon nanotubes, *Cellulose* (2015) 22, 3063-3075.
- [20] T. Makowski, D. Kowalczyk, W. Fortuniak, D. Jeziorska, S. Brzezinski, A. Tracz, Superhydrophobic properties of cotton woven fabrics with conducting 3D networks of multiwall carbon nanotubes, MWCNTs, *Cellulose* (2014) 21, 4659-4670.
- [21] T. Makowski, M. Svyntkivska, E. Piorkowska, D. Kregiel, Multifunctional polylactide nonwovens with 3D network of multiwall carbon nanotubes, *Appl Surf Sci* (2020) 527,

146898.

- [22] T. Makowski, M. Svyntkivska, E. Piorkowska, U. Mizerska, W. Fortuniak, D. Kowalczyk, S. Brzezinski, Conductive and superhydrophobic cotton fabric through pentaerythritol tetrakis(3-(3,5-di-tert-butyl-4-hydroxyphenyl)propionate) assisted thermal reduction of graphene oxide and modification with methyltrichlorosilane, *Cellulose* (2018) 25, 5377-5388.
- [23] U. Mizerska, W. Fortuniak, T. Makowski, M. Svyntkivska, E. Piorkowska, D. Kowalczyk, S. Brzezinski, Electrically conductive and hydrophobic rGO-containing organosilicon coating of cotton fabric, *Prog Org Coat* (2019) 137.
- [24] T. Makowski, U. Mizerska, W. Fortuniak, E. Piorkowska-Galeska, M. Svyntkivska, D. Kowalczyk, S. Brzezinski, Organo-silicon coating for fabric modification, preferably cotton, comprises e.g. hydrolysis and condensation of mixture of di- and tetra-functional alkoxy-silanes and polymethyl ethoxy dihydrogen siloxane having dispersed graphene oxide, in, *Cent Badan Molekularnych I Makromolekula; Inst Wlokiennictwa*.
- [25] T. Makowski, M. Svyntkivska, E. Piorkowska-Galeska, Modified biodegradable non-woven fabric comprises lactide polymer fibers coated with electrically conductive carbon nanotubes in the process of surfacing or immersion in suspension of dispersed carbon nanotubes, in, *Cent Badan Molekularnych I Makromolekula*.
- [26] T. Makowski, C. Zhang, A. Olah, E. Piorkowska, E. Baer, D. Kregiel, Modification of dual-component fibrous materials with carbon nanotubes and methyltrichlorosilane, *Mater Design* (2019) 162, 219-228.
- [27] M. Gosecka, M.M. Chehimi, T. Basinska, S. Slomkowski, T. Makowski, Adsorption and covalent binding of fibrinogen as a method for probing the chemical composition of poly(styrene/alpha-tert-butoxy-omega-vinylbenzyl-polyglycidol) microsphere surfaces, *Colloid Surface B* (2017) 160, 438-445.
- [28] P. Komar, M. Gosecka, M. Gadzinowski, M. Gosecki, T. Makowski, S. Slomkowski, T. Basinska, Core-shell spheroidal microparticles with polystyrene cores and rich in polyglycidol shells, *Polymer* (2018) 146, 6-11.
- [29] U. Mizerska, R. Halasa, K. Turecka, J. Chojnowski, P. Pospiech, W. Fortuniak, S. Slomkowski, T. Makowski, W. Machnowski, P. Sowinski, Bacterial cell killing properties of silver-loaded polysiloxane microspheres, *J Mater Sci* (2018) 53, 7125-7137.
- [30] M. Socka, M. Brzezinski, A. Michalski, A. Kacprzak, T. Makowski, A. Duda, Self-Assembly of Triblock Copolymers from Cyclic Esters as a Tool for Tuning Their

- Particle Morphology, Langmuir (2018) 34, 3701-3710.
- [31] J. Drabowicz, D. Krasowska, W. Ciesielski, D. Kulawik, M. Pyzalska, S. Zdanowska, B. Dudzinski, P. Pokora-Sobczak, J. Chrzanowski, T. Makowski, Carbon nanotubes functionalized with sulfur, selenium, or phosphorus or substituents containing these elements, Phosphorus Sulfur (2016) 191, 541-547.
- [32] D. Krasowska, A. Zajac, P. Wach, W. Ciesielski, O. Michalski, D. Kulawik, M. Pyzalska, B. Dudzinski, P. Pokora-Sobczak, T. Makowski, M. Janicka, A stereogenic heteroatom-containing substituent as an inducer of chirality in the derivatives of thiophenes (mono, oligo, and poly), fullerenes C-60, and multiwalled nanotubes, Phosphorus Sulfur (2016) 191, 211-219.
- [33] A. Michalski, T. Makowski, T. Biedron, M. Brzezinski, T. Biela, Controlling polylactide stereocomplex (sc-PLA) self-assembly: From microspheres to nanoparticles, Polymer (2016) 90, 242-248.
- [34] E. Wojtczak, M. Gadzinowski, T. Makowski, K. Maresz, P. Kubisa, M. Bednarek, M. Pluta, Encapsulation of hydrophobic vitamins by polylactide stereocomplexation and their release study, Polym Int (2018) 67, 1523-1534.
- [35] M. Kucinska, I. Frac, J. Ulanski, T. Makowski, A. Nosal, M. Gazicki-Lipman, The role of surface morphology in a performance of top-gate OFETs prepared from a solution processable derivative of perylene bisimide, Synthetic Met (2019) 250, 12-19.
- [36] E.Z. Frateczak, T. Makowski, R.M. Moustafa, T.H. El-Assaad, M.E. Moneta, P. Uznanski, B.R. Kaafarani, Spectroscopic characterization of the structural properties of quinoxalinophenanthrophenazine thin films, J Mater Chem C (2018) 6, 781-789.
- [37] P. Pospiech, J. Chojnowski, U. Mizerska, T. Makowski, K. Strzelec, N. Sienkiewicz, Polysiloxane microspheres functionalized with imidazole groups as a palladium catalyst support, Appl Organomet Chem (2016) 30, 399-407.

7.2. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego

Promotor pomocniczy w przewodzie otwartym w roku 2019, pt.: „*Wielofunkcyjna modyfikacja poliestrowych materiałów włóknistych*”, mgr Mariia Svyntkivska, w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi, Od roku 2013 pełnię rolę **kierownika** Zespołu Struktury Powierzchni Materii Miękkiej w Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk - aktualnie 3-osobowego.

7.3. Wyróżnienia

Wyniki uzyskane przeze mnie za pomocą mikroskopii sił atomowych zaprezentowane w publikacji: P. Komar, M. Gosecka, M. Gadzinowski, M. Gosecki, T. Makowski, S. Slomkowski, T. Basinska, (2018) Core-shell spheroidal microparticles with polystyrene cores and rich in polyglycidol shells, *Polymer*, 146, 6-11. zostały wyróżnione i zaprezentowane na stronie producenta sprzętu FlexAxiom Nanosurf: "Nanosurf Flex-Axiom used to study domain re-arrangements of microparticles upon stretching by phase contrast AFM imaging" <https://www.nanosurf.com/en/publication/flex-axiom-used-to-study-domain-re-arrangements-of-microparticles-upon-stretching-by-phase-contrast-afm-imaging>

7.4. Posiadane dodatkowe uprawnienia/certyfikaty zawodowe:

7.5.1 Uprawnienia do nauczania w szkołach wszystkich stopni przedmiot Chemia

7.5.2 Uprawnienia do nauczania w szkołach na poziomie gimnazjum przedmiot Fizyka

8. Nagrody

8.1. List gratulacyjny za wybitne osiągnięcia naukowe w 2015 roku od Dyrektora Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych Polskiej Akademii Nauk w Łodzi na Sesji Sprawozdawczej w 2016 roku

8.2. Nagroda za najlepsze wystąpienie na międzynarodowej konferencji „INTERTECH 2008”, 17-18 kwietnia 2008 Poznań, Polska

9. Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych

Współpraca międzynarodowa

9.1 Max Planck Institute for Polymer Research, Mainz, Niemcy - od 2013 - współpraca konsultacyjna, badania struktury metodami rentgenowskimi oraz wymiana naukowa. Realizowane zadania to: badania struktury metodami rentgenowskimi i pomiary ruchliwości elektronów w organicznych tranzystorach polowych. oraz rozwijanie techniki strefowego odparowania rozpuszczalnika (ang. zone casting).

9.2 Case Western Reserve University, Cleveland, OH, USA – od 2016 –wspólne badania. Modyfikacja nowych materiałów włóknistych w celu nadania im przewodnictwa elektrycznego, właściwości superhydrofobowych i antybakteryjnych, jak również charakterystyka struktury i właściwości zmodyfikowanych materiałów. Modyfikacja

nanocząstkami węglowymi, silanami i poprzez elektrochemiczne osadzanie nanocząstek srebra.

9.3 Institute of Chemistry Slovak Academy of Sciences, Bratysława, Słowacja – od 2018-2019, badania morfologii oraz pomiary nanomechaniczne filmów polisacharydowych, otrzymywanych z alg.

10. INFORMACJE NAUKOMETRYCZNE

Informacja o punktacji Impact Factor (w dziedzinach i dyscyplinach, w których parametr ten jest powszechnie używany jako wskaźnik naukometryczny).

Dane zaczerpnięte z bazy Web of Science Core Collection Clarivate Analytics, wejście z dn. 02.10.2020

Sumaryczny *impact factor* według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: **128.15**

Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy, z oddzielnym uwzględnieniem autocytowań.

Liczba wszystkich cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): **297**

Liczba cytowań bez autocytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS): **241**

Informacja o posiadanym indeksie Hirscha - h-index - **9**

Informacja o liczbie punktów MNiSW.

Publikacje do 2017 – maksymalna liczba punktów MNiSW – 50 - **735 na 21** publikacji

Publikacje od 2018 – maksymalna liczba punktów MNiSW - 200 - **1760 na 17** publikacji

05.10.2020
Opatkowski