

Dr hab. inż. Kazimierz Grabas, prof. PWr  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska  
Tel.: 71 320 25 28  
Tel.kom.: 601 881 468  
kazimierz.grabas@pwr.wroc.pl

### **Recenzja pracy doktorskiej**

mgra Krzysztofa Langerę, pt. „**Nanobiodetektor polianilinowy – detekcja i identyfikacja mikroorganizmów**” wykonanej pod kierunkiem Pana Prof. UAM dr. hab. Piotra Barczyńskiego, kierownika Pracowni Chemii Związków Heterocyklicznych Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

### **Podstawa wykonania recenzji**

Recenzję pracy doktorskiej mgra Krzysztofa Langerę opracowałem na podstawie Uchwały Rady Wydziału Chemii UAM z dnia 12 lipca br. oraz pisma Dziekana Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu Pana Prof. zw. dr hab. Henryka Koroniaka L.dz. MIC/304/13, z dnia 15 lipca 2013 i dostarczonego egzemplarza rozprawy doktorskiej oraz ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 poz. 595 ze zm.).

### **Charakterystyka i ocena pracy doktorskiej**

Rozprawa doktorska dotyczy nanotechnologicznych układów diagnostycznych i problematyki poszukiwania skutecznych oraz tanich metod identyfikacji bakterii. Badania przeprowadzone w ramach recenzowanej pracy stanowią dobry przykład współpracy naukowej pomiędzy Wydziałem Chemii macierzystego Uniwersytetu Doktoranta oraz Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii w Puławach i Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu. Badania częściowo objęte były projektem finansowanym przez amerykańską agencję Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA (2009-2011).

Należy podkreślić, że uzyskane wyniki badań pracy doktorskiej pozwoliły na włączenie się do projektu o charakterze obronnym ROB003101 z wyodrębnionym zadaniem realizowanym w ramach konsorcjum 12 jednostek badawczych i podmiotów gospodarczych z finansowaniem przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Tematyka pracy odpowiada bieżącym potrzebom nauki oraz zastosowań praktycznych i mieści się w bardzo aktualnym obszarze badawczym nanotechnologicznych układów diagnostycznych i poszukiwania skutecznych oraz tanich metod identyfikacji bakterii.

Jest wiele definicji nanotechnologii, choć najbliższą jest określenie nanotechnologii jako nowoczesnej dziedziny nauki, umożliwiającej otrzymywanie i zastosowanie struktur o rozmiarach nanometrycznych (od 0,1 do 100 nanometrów), czyli na poziomie pojedynczych atomów i cząsteczek. Sprawia to, że praca doktorska posiada charakter interdyscyplinarny i wchodzi w nurt rozwiązywania ważnych współcześnie problemów naukowych z pogranicza biologii, medycyny, fizyki, chemii i ochrony środowiska naturalnego.

Celem pracy doktorskiej było „zastosowanie nanomateriałów i nanotechnologii do opracowania metody szybkiej detekcji i identyfikacji żywych komórek oraz mikroorganizmów.” Cel pracy doktorskiej jest dobrze uzasadniony potrzebą rozwiązania problemu praktycznego. Został sformułowany bardzo ambitnie, wielowątkowo, ale klarownie. Rozwiązywane problemy, które były przedmiotem pracy należą do interdyscyplinarnych dziedzin. Przedstawiają jednocześnie wiedzę nieodzowną do zrozumienia zachodzących w skali nano mechanizmów fizyczno-chemiczno-biologicznych badanych procesów. Metody identyfikacji drobnoustrojów (zwłaszcza dotyczy to wykrywania mikroorganizmów chorobotwórczych) - powinny być skuteczne, szybkie, czułe i łatwe w wykonaniu. Sprzyjać temu mogą układy diagnostyczne oparte na nanomateriałach, a w sposób szczególny utworzone w oparciu o polianilinowe struktury. Zatem podjęta przez Doktoranta problematyka badawcza jest ważna i związana z badaniami mającymi na celu wykorzystanie ich do konstrukcji układów umożliwiających znacznie szybsze, niż dotychczas znane i stosowane przez mikrobiologów metody wykrywania drobnoustrojów.

Zakres pracy jest bardzo szeroki, od syntezy polimerów do przygotowania układu sensorycznego. Na obszerny zakres pracy wpłynęło połączenie względów doświadczalnych z teoretyczno-poznawczymi. Na podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant potraktował to wyzwanie, bardzo poważnie starając się usystematyzować i uporządkować wielowątkowy zakres pracy. Zasadniczym elementem autorskim są badania doświadczalne nad wykorzystaniem włókien polianilinowych (mikro- i nanostruktur) do konstrukcji układów detekcyjnych. Doświadczenia zostały wykonane w sposób staranny z zastosowaniem właściwych metod i procedur z wykorzystaniem nowoczesnej aparatury badawczej. Obszar interdyscyplinarnych zagadnień, z którymi musiał się Autor uporać, wymaga umiejętności i biegłości w wielu dziedzinach naukowych, które posługują się specyficznymi pojęciami, metodologiami i różnymi niekiedy bardzo hermetycznymi językami naukowymi.

Rezultaty przeprowadzonych badań mają duże możliwości praktycznych zastosowań biomedycznych, w diagnostyce mikrobiologicznej, jak również w obronie cywilnej, zwłaszcza w kontekście aktów terrorystycznych. Dlatego szczególnego znaczenia nabierają wyniki badań przeprowadzone przez Autora związane z praktyczną możliwością zastosowania układów nanodetekcyjnych do wykrywania zagrożeń mikrobiologicznych wykorzystywanych jako broń biologiczna. Tym bardziej, że badania z użyciem nanobiodetektora są bardzo szybkie (pojedynczy pomiar trwa kilkadziesiąt sekund. Opracowany nanobiodetektor umożliwia wykrycie przetrwalników oraz określenie ich liczby i rozpoznanie, czy analizowany materiał biologiczny jest żywy czy też martwy. Ta bardzo ważna cecha jest podstawową dla bezpieczeństwa osób narażonych na kontakt z „podejrzany” preparatem (np. listy i przesyłki z węglikiem).

Opracowany przez Doktoranta detektor, nazwany nanobiodetektorem, to czujnik, którego elementem detekcyjnym są organiczne, przewodzące prąd elektryczny nanowłókna polimerowe o rozmiarach średnic dużo mniejszych od komórki bakteryjnej, umożliwia on wykrycie drobnoustrojów w analizowanej próbce w ciągu kilkunastu sekund. Oddziaływanie powierzchni komórki z nanowłóknem zmienia jego właściwości, w tym przewodnictwo elektryczne. Pomiar tych zmian poprzez analizę sygnału pozwala określić typ komórki bakteryjnej, a przez to rozróżnić formę wegetatywną od przetrwalnikowej.

**„Wiedza nie zamieniona w konkretne działanie jest bezużyteczna, jednak podejmowanie działań bez określonej wiedzy jest niebezpieczne” (J.Staehli – Novartis).**  
Dr Joerg Staeheli jest emerytowanym dyrektorem farmaceutycznej firmy Novartis. Jego

motto powinno przyświecać wszystkim decydom, uczonym i przedsiębiorcom dlatego, że znakomicie wpisuje się w długookresowy program rozwoju społeczno-gospodarczego Unii Europejskiej (UE) - Strategia "Europa 2020", który obejmuje trzy priorytety:

- rozwój inteligentny: rozwój gospodarki opartej na wiedzy i innowacji,
- rozwój zrównoważony: wspieranie gospodarki efektywniej korzystającej z zasobów, bardziej przyjaznej środowisku i bardziej konkurencyjnej,
- rozwój sprzyjający włączeniu społecznemu: wspieranie gospodarki o wysokim poziomie zatrudnienia, zapewniającej spójność społeczną i terytorialną.

Z tego powodu i dlatego badania i innowacje stanowią centralny element strategii „Europa 2020”<sup>1</sup> na rzecz inteligentnego, trwałego wzrostu gospodarczego sprzyjającego włączeniu społecznemu.

Cytatem tym oraz fragmentem przytoczonego tekstu pragnę zaznaczyć aktualność przeprowadzonych przez Doktoranta badań w kontekście polityki naukowej krajów Unii Europejskiej ukierunkowanej na zastosowania praktyczne i wspierające gospodarkę.

### Strona formalna

Praca pt. „Nanobiodetektor polianilinowy – detekcja i identyfikacja mikroorganizmów ” składa się z 204 stron, 68 rycin - obejmujących rysunki, wykresy, zdjęcia mikroskopowe, schematy, 40 tabel, 243 odnośników literaturowych (w większości publikacji anglojęzycznych). W cytowanej literaturze pod numerem 198 znajduje się jedna pozycja Autora - publikacja współautorska.

Praca napisana jest przejrzystym, bardzo zwięzłym językiem, bez nadmiernego rozbudowywania materiału. Została wydana bardzo starannie jako maszynopis, posiada czytelną grafikę, fotogramy i przejrzyste opracowane schematy oraz tabele, wszystko dobrze wkomponowane w tekst sprawia, że mimo jego objętości, czyta się dobrze. Układ pracy jest logiczny i nie budzi zastrzeżeń, co dowodzi umiejętności właściwego przedstawienia problemu naukowego i sposobu jego rozwiązania.

Praca ma klasyczną strukturę obejmującą część literaturową i doświadczalną podzieloną na 7 głównych rozdziałów.

Tekst pracy poprzedzony jest syntetycznym zestawieniem i zdefiniowaniem zastosowanych w pracy skrótów i terminów. Moim zdaniem jest on zbyt skromny jak na mnogość użytych terminów i powinien być nieco szerszy.

W części wstępnej pracy zawarto ogólne wprowadzenie do tematu pracy doktorskiej. We *Wstępie* (rozdział 1), Doktorant zarysowuje problem naukowy i badawczy dotyczący wykorzystania nanomateriałów do konstrukcji układów diagnostycznych, analitycznych i detekcyjnych umożliwiających wykrywanie chorobotwórczych mikroorganizmów i wskazuje drogi jego rozwiązania.

Drugi rozdział (2. *Część literaturowa*) to trzydziestostronicowy wybór piśmiennictwa, praktycznie w czterech przekrojach tematycznych dotyczących informacji o:

- nanomateriałach i nanostrukturach stosowanych w naukach biologicznych,
- miniaturowych układach przepływowych,
- właściwościach polimerów przewodzących przydatnych do konstrukcji czujników ze szczególnym uwzględnieniem polianiliny i otrzymywaniem polianilinowych struktur,

<sup>1</sup> COM(2010) 2020 wersja ostateczna KOMUNIKAT KOMISJI EUROPA 2020 Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu

- detekcji i identyfikacji mikroorganizmów, cechach charakterystycznych drobnoustrojów, w tym o zwiększonej zjadliwości (broń biologiczna) oraz metodach ich wykrywania zarówno tradycyjnych - mikrobiologicznych jak detekcji na nanomateriałach, a wśród nich bioczuźnikach na bazie polianilinowych struktur.

Na końcu rozdziału drugiego sformułowano cel i zakres rozprawy doktorskiej.

Wstęp i część literaturowa dobrze orientują czytelnika w problematyce pracy i podjętych badaniach oraz stanowią wartościowy fragment pracy świadczący o tym, że Doktorant wykazał się dobrą ogólną wiedzą w odnośnej tematyce i jest zorientowany w bieżącym piśmiennictwie naukowym. Część literaturowa jest we właściwej proporcji do całości pracy

Oceniając wartości merytoryczne tej części pracy, uważam, że nadano właściwie nazwy tytułom rozdziałów, zachowując przy tym logiczny ciąg wywodów.

Podstawową merytoryczną część pracy stanowi część badawcza zawarta w rozdziałach trzecim i czwartym (137 stron). Rozdział trzeci (3. *Część eksperymentalna*) i czwarty (4. *Dyskusja wyników*) stanowią o wartości pracy doktorskiej.

Podrozdział 3.1. opisuje metody i materiały. Uwagę zwraca 3.1.1 *Metodyka badań fizykochemicznych*, opisujący zastosowanie w części eksperymentalnej metod badawczych (mikroskopia optyczna, mikroskopia elektronowa SEM i TEM, spektrofotometria FT-IR, analiza elementarna, spektroskopia EPR) i rodzaj stosowanej aparatury. Była ona wykorzystywana do analizy morfologii i oceny właściwości uzyskiwanych materiałów na potrzeby konstruowanych nanobiodektorów. Podrozdział 3.1.2 *Substancje wyjściowe* wyszczególnia stosowane chemikalia i wymienia jednostki współpracujące oraz przygotowujące i bakterie i przetrwalniki, a następny 3.1.3 *Przygotowanie hodowli bakteryjnych* metodologię przygotowania próbek mikrobiologicznych pozyskanych bądź przygotowanych przez laboratoria: szpitala w Śremie (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Enterococcus faecalis*), Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii w Puławach (*Vibrio cholerae*) i szczepy i ich przetrwalniki z rodzaju *Bacillus*

W podrozdziale 3.2. przedstawiono metody i warunki otrzymywania i modyfikacji mikro- oraz nanostruktur polianilinowych wykorzystywanych następnie jako aktywne elementy detekcyjne bioczuźników. Nanowłókna otrzymywano następującymi metodami i technikami: polimeryzacji elektrochemicznej (w tym mikroelektropolimeryzacji), syntezy chemicznej (otrzymywanie nanorurek PANI, nano- i submikro- PANI, roztworu bazowego do elektroprzędzenia). Elektroprzędzenia pozwalają na otrzymanie nanorurek, nanosieci polianilinowych, mikrowłókien i nanowłókien kompozytowych.

Podrozdział 3.3 poświęcony jest konstrukcji miniaturowych czujników na bazie otrzymanych struktur polianilinowych z wykorzystaniem, jako główne założenie konstrukcyjne, powtarzalnego elementu stanowiącego podstawowy moduł służący do budowy typoszeregu czujników. Do nich należą nanobiodektory:

- z elektrochemicznie otrzymaną warstwą detekcyjną polianiliny (NBD),
- o charakterze włącznika progowego (NBD OFF-ON) dwójakiego rodzaju opartego na:
  - mikrowłóknach otrzymanych poprzez elektrochemiczną syntezę,
  - nanorurkach polianilinowych,

- oparte na włóknach kompozytowych wytworzonych w procesie elektroprzędzenia.

Podrozdział 3.4 obejmuje konstrukcję systemów pomiarowych wytworzonych na bazie czujników nanobiodetektorowych wykorzystujących mikro- i nanostruktury polianilinowe w roli elementu aktywnego nanobiodetektora. Wykorzystanie ich umożliwiło opracowanie dwóch systemów pomiarowych:

- stacjonarnego systemu nanobiodetekcyjnego umożliwiającego monitoring zmian zachodzących w płynnej hodowli bakterii,
- przepływowego systemu w układzie makro- i mikroprzepływowym, zawierający element detekcyjny utworzony z różnych nanostrukturalnych form morfologicznych polianiliny, pozwalającego na wielorazowe badania próbek laboratoryjnych.

W podrozdziale 3.5. omówiono odpowiedzi nanobiodetektorów na różne substancje chemiczne oraz mikroorganizmy (obecność soli fizjologicznej, buforu fosforanowego, buforu octanowego czy też roztworów glukozy).

Mechanizm odpowiedzialny za detekcję różnych form drobnoustrojów oparty jest na zróżnicowanych strukturach powierzchni rozróżnialnych form komórkowych i różnym sposobie ich oddziaływania z polianilinowymi nanowłóknami.

Rozdział 4 (*Dyskusja wyników*) omawia budowę poszczególnych typów nanobiodetektorów, specyfikę pomiarów w poszczególnych nanobiodetektorach, interpretację uzyskanych wyników pomiarów - związanych z różnymi typami mikroorganizmów, ich ilością w próbce, specyfiką budowy zewnętrznej ściany komórkowej, kształtu i wielkości oraz możliwości ruchu. Parametry te i cechy morfologiczne mikroorganizmów, w tym szczególnie aktywnych grup chemicznych reaktywnych w różnym stopniu wobec polianiliny, wpływają na odpowiedź elektryczną nanobiodetektorów.

Rozdział 5 (*Wnioski końcowe*) przedstawia wnioski odniesione do przeprowadzonych badań i uzupełnione informacjami dorobku naukowego Doktoranta (publikacje, konferencje naukowe, wykłady).

Rozdział 6 (*Streszczenie*) w sposób skondensowany przedstawia w wersji językowej polskiej i angielskiej rezultaty pracy doktorskiej.

Rozdział 7 (*Literatura*) – zestawienie pozycji literaturowych wykorzystywanych i cytowanych w pracy doktorskiej.

### **Walory pracy**

Do najbardziej istotnych rezultatów badań Autora należy zaliczyć to, że różnice w odpowiedziach nanobiodetektora zależą od liczby komórek bakteryjnych, od gatunku bakterii, typu komórki (formy przetrwalnikowej, wegetatywnej), kształtu i wielkości oraz możliwości ruchu. Dzięki temu można określić przybliżoną liczbę drobnoustrojów, wstępną ich identyfikację rodzajową i gatunkową.

Niemniej ważnymi rezultatami pracy doktorskiej i jej elementami są opracowania dwóch metod wytwarzania polianilinowych czujników do detekcji komórek bakteryjnych, zmierzające do konstrukcji biodetektora progowego on-off, który informuje o przekroczeniu w badanej próbce dopuszczalnej liczby komórek bakteryjnych. Pierwsza metoda polega na elektrochemicznej syntezie polianilinowych mikrowłókien w warunkach ograniczonej ilości

substratu w mikroreaktorze w procesie mikroelektropolimeryzacji chlorowodoru aniliny i druga wykorzystująca wcześniej otrzymane, na drodze syntezy chemicznej, polianilinowe nanorurki jako materiał detekcyjny.

Autor w ramach pracy określił limity detekcji mikroorganizmów przez zaproponowane rozwiązania bioanalityczne:

- nanobiodetektory otrzymane technikami elektrochemicznymi na poziomie  $10^5$ - $10^6$  jtk/ml
- nanobiodetektory z kompozytem na bazie polianiliny na poziomie  $10^5$  jtk/ml dla bakterii szczepów: *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*.

Wyniki badań mogą zostać wykorzystane do budowy układu alarmowego informującego o przekroczeniu dopuszczalnego progu zanieczyszczenia mikrobiologicznego w kontrolowanym środowisku.

Opracowany nanobiodetekcyjny układ przepływowy zawierający element detekcyjny z różnych nanostrukturalnych form morfologicznych został przebadany przez Autora zarówno w kierunku analizy ilościowej mikroorganizmów (określenie liczebności komórek w badanej próbce) jak i określenia przynależności gatunkowej analizowanych/wykrywanych bakterii czy też określenie typu mikroorganizmów pod względem chemizmu ściany komórkowej (bakterie Gram+ i Gram-). Dodatkowo na uwagę zasługuje fakt sprawdzenia możliwości detekcji form przetrwalnikowych.

#### Uwagi do pracy

W trakcie przygotowania oceny pracy nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne wyrażające głównie niedociągnięcia opisowe pracy.

- W części badawczej zabrakło mi opisu i eksperymentów wyjaśniających rolę elementu aktywnego w postaci nanostruktur polianiliny w procesie detekcji poprzez wykonanie prostych pomiarów z układem detekcyjnym pozbawionym tego elementu („próba ślepa”).
- Odczułem przy czytaniu pracy brak syntetyzujących uogólnień każdego z rozdziałów, co uważam, że jest ważne dla późniejszego ciągu myślowego. Powiększyłyby to objętość pracy, ale udoskonaliły jej zawartość.
- Odczułem, też brak spisu rysunków, wykresów, tabel i zdjęć.
- Spis literatury jest niepełny – brakuje tytułów publikacji. Zastosowano wersję uproszczoną, utrudnia ona recenzentowi, co zrozumiałe, analizę materiału rozprawy. Nie jest to zarzut, gdyż standardy są różne niemniej jednak cytowania objęte są normą PN-ISO 690:2012 *Wytyczne opracowania przypisów bibliograficznych i powołań na zasoby informacji*.
- Należało dokonać wydzielenia z rozdziału 5 (*Wnioski końcowe*) części dotyczącej osiągnięć związanych z aktywnością naukową Doktoranta od rzeczywistych wniosków odnoszonych do wyników pracy. Posłużyłoby to przejrzystości i czytelności tego rozdziału.

Autor nie ustrzegł się w wielu miejscach niezręczności językowych i uchybień redakcyjnych, które zaznaczyłem w tekście, ale niektóre, jest ich niewiele, pozwolę sobie wymienić i skomentować:

- „bufor” w dopełniaczu odmienia się na buforu, a nie bufora jak w tytule podrozdziału 3.5.2. (str. 7, 69) i konsekwentnie str. 70, Być może językoznawcy złagodzili nieco zasady i dopuszczalne jest użycie Pańskiej wersji. Jednak nic mi na ten temat nie wiadomo.
- błąd literowy „wykazujące” powinno być „wykazuje” (str.9)
- błąd literowy funkcjonowanie powinno być funkcjonowania (str. 10)., podobnie otrzymywanie powinno być otrzymywania (str. 27), wykrywanie powinno być wykrywania (str. 41)
- jest „biomedyczynnie” powinno być „biomedycynie” (str. 13)
- przyjęto nazwy bakterii pisać kursywą „Vibrio choleae” (str. 15) „Staphylococcus ureus” (str.16), „Escherichia coli” (str. 42, 43)
- jest „powoduj” powinno być „powoduje” (str. 27)
- jest „pomocom” powinno być „pomocą” (str 29)
- jest „kropi” powinno być „kropki” ( str. 38)
- brakuje w zdaniu „ Nanoczujnik polianilinowy...” przyimka „na” (str. 100)
- jest „w raz” powinno być „wraz” (str.161)

W rozdziale 1:

- fragment tekstu: „Statystycznie, człowiek zawiera w sobie lub na sobie...” znacznie lepiej będzie brzmiał „Statystycznie, ludzki organizm zamieszkuje....
- fragment: „Bakteryjne patogeny stanowią zagrożenie dla zdrowia człowieka. I to nie tylko te naturalne. ” (str. 10) - proponuję przeredagować ze względu na to, iż żaden patogen nie jest mikroorganizmem stanowiącym naturalną florę bakteryjną organizmów żywych.

W rozdziale 3:

W podrozdziale 3.1.2. *Substancje wyjściowe* (str. 46) nie określono poziomu czystości wykorzystywanych chemikaliów, określenie jedynie producentów Aldrich oraz POCH nie jest wystarczające, o czym wiedzą chemicy.

W zdaniu (str. 47) „Podłoże przygotowywano...i sterylizowano przez 15 min przy temperaturze 121 °C. Sterylizowano w temperaturze, a nie przy temperaturze. Podobnie jeszcze na tej samej stronie „Odczyn podłoża po sterylizacji, mierzony przy temperaturze 20 °C, ...(str 47) – coś jest mierzone w temperaturze, a nie przy temperaturze. I jeszcze dwukrotnie na tej stronie użyto przy temperaturze, poprawnie będzie w temperaturze.

- wyrażenie w zdaniu: „...roztwór bazowy polimeru był przepychany przez pompę perystaltyczną do dyszy elektroprzędnej” (str. 60) sugeruję zmienić na transportowany do wylotu przyrządu do elektroprzędzenia.

Na str. 65 użyto nieprawidłowego terminu prędkości oraz wyrazu poruszała w zdaniu „Pompa poruszała ciecz nośną z prędkością 1,12 ml/min ...” Zgodnie z definicją - prędkość odnosi się do zmiany wektora położenia w jednostce czasu (wektorowa wielkość fizyczna) lub do drogi przebytej w jednostce czasu (wielkość skalarna). Jednostką prędkości w układzie SI jest m/s. Należało w zdaniu użyć terminu prędkości przepływu, który wyrażony może być w m<sup>3</sup>/s lub w krotności tej jednostki (ml/min). Używanie pompy związane jest z pompowaniem/transportowaniem płynu (ciecz, gaz) lub jego przetłaczaniem. Użycie w zdaniu „Pompa poruszała ciecz nośną z prędkością..” wyrazu „poruszała” jest zatem również nieprawidłowe z punktu widzenia techniki i technologii.

- liczebność bakterii określano w pracy w jednostkach: CFU/ml (str. 37, 38, 39, 40, 41, 43, 56, 69, 74, 80, 93, 94, 118, 122...), kom/ml (str. 70), kom/ML (str. 71)
- zamiast 4x10<sup>6</sup> kom/ml napisać: 4x10<sup>6</sup> jtk/ml (str.71) lub konsekwentnie jak w większości przytaczanych danych z jednostką CFU/ml, co jest fuzją „angielsko-polską” i może nie być w zgodzie z ustawą o języku polskim. Jednak przepisy tej ustawy nie dotyczą „zwyczajowo

stosowanej terminologii naukowej i technicznej<sup>2</sup>, ale wtedy CFU/ml i byłby porządek w tekście.

- jednostkę objętości pisano: nL, mL, µL L (str. 15, 55, 67, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 82, 86, 90, 93, 102, 111, 117...), poprawnie jest nl, ml, µl, l, choć stosowne rozporządzenie<sup>3</sup> dopuszcza w załączniku 4 oznaczenia jak przytoczono w tekście pracy doktorskiej

### Ogólna ocena pracy i wnioski końcowe

Należy podkreślić, że cały materiał zawarty w pracy doktorskiej jest bardzo obszerny, co wynika z wielu ważnych elementów składających się na osiągnięcie postawionego celu. Zawartość tematyczna pracy jest bardzo szeroka i zawiera wiele interesujących wątków. Wyniki badań są wartościowe i dostarczają cennych informacji, były też publikowane przez Doktoranta jako współautora w renomowanych czasopismach Biosensors and Bioelectronics (2009) -IF-5.143, Microchimica Acta (2007) -IF-1,91, Reviews on Advanced Materials Science (2005) IF-1.011 i prezentowane na międzynarodowych konferencjach naukowych w formie 11 referatów, w tym 3 wygłoszonych przez Doktoranta i 9 posterach (5 osobiście przez Doktoranta).

W oparciu o uzyskane w badaniach wyniki przedstawiono na zaproszenie zagranicznych placówek naukowych 6 wykładów (3 osobiście przez Doktoranta) m.in. na Uniwersytecie w Kilonii, Florencji i ETH w Zurichu

Podsumowując ogólne wrażenie z lektury rozprawy doktorskiej stwierdzam, że Autor:

- wybrał dobrą tematykę rozprawy doktorskiej, w jej zakresie przestudiował liczną i poważną literaturę, m.in. dzięki temu opanował dużą wiedzę, którą należycie wykorzystał formułując temat, cel i zakres pracy,
- przedstawił ciekawą i wartościową pracę wnoszącą nowe elementy do problematyki nanotechnologii i detekcji oraz identyfikacji mikroorganizmów,
- wykazał się umiejętnością biegłego wykorzystania i łączenia wiedzy teoretycznej z obserwacjami empirycznymi,
- poprawnie zaplanował i przeprowadził eksperymenty badawcze,
- oryginalnie przedstawił i rozwiązał zadania badawcze, posiadające też znaczenie praktyczne,
- wykazał się umiejętnością analizy uzyskanych wyników eksperymentalnych,
- przedstawił wnioski końcowe, które dostarczają wszystkich informacji w sposób zwięzły, czytelny, i kompletny,
- dobrze zredagował pracę doktorską, która jest napisana poprawnym językiem, w której posłużono się należytych nazewnictwem naukowym i naukowo-technicznym i w której przyjęto dobre oznaczenia i jednostki miar.

Podsumowując mogę stwierdzić, że niniejsza praca doktorska jest opracowaniem oryginalnym i udaną próbą powiązania wielu tematów należących do różnych dziedzin takich jak biologia, chemia, fizyka, medycyna i ochrona środowiska. Całość nie nasuwa zastrzeżeń.

<sup>2</sup> Dz.U. 1999 Nr 90 poz. 999, Dz. U. z 2011 r. Nr 43, poz 224, USTAWA z dnia 7 października 1999 r. o języku polskim ze zmianami.

<sup>3</sup> Rozp. RM z 30 listopada 2006 r. w sprawie legalnych jednostek miar Dz.U. 2006, Nr 225, poz. 1638



Doktorant wykazał wysoki poziom ogólnej wiedzy teoretycznej w dziedzinach nauk chemicznych i biologicznych oraz w dyscyplinie naukowej inżynieria materiałowa, dowiódł też umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przytoczone wcześniej uwagi ogólne i szczegółowe nie umniejszają zasadniczych wartości merytorycznych pracy.

Biorąc pod uwagę wszystkie elementy oceny, uważam recenzowaną rozprawę za spełniającą bez zastrzeżeń warunki ustawowe i wnoszę do Wysokiej Rady o dopuszczenie mgr Krzysztofa Langera do publicznej obrony przedstawionej pracy doktorskiej.

Recenzent:



Dr hab. inż. Kazimierz Grabas, prof. PWr

Wrocław, 6 wrzesień 2013 r.