

RECENZJA

jednotematycznego cyklu publikacji **dr inż. Luis'a Emerson'a Coy Romero**
pod tytułem

**„Wielofunkcyjne cienkie warstwy nanokompozytowe o podwyższonych
właściwościach mechanicznych”**

oraz

**ocena całokształtu osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i
popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej**

w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie Dziekana Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej, prof. dr hab. inż. Włodzimierza Mozgawy z dnia 11 czerwca 2019 roku w związku z decyzją Centralnej Komisji do Spraw Stopni i Tytułów o powołaniu recenzentów nr BCK-VI-L-6298/2019 z dnia 5 kwietnia 2019 r.

Informacje ogólne

Dr inż. Luis Emerson Coy Romero uzyskał tytuł inżyniera w 2006 roku, kończąc 5-letnie studia na kierunku Inżynieria Komputerowa na prywatnym Uniwersytecie im. Manuela Beltran w Bogocie w Kolumbii. Dalsze studia kontynuował w Barcelonie w Hiszpanii. W roku 2008 uzyskał stopień magistra w zakresie Nanotechnologii na Wydziale Fizyki Stosowanej i Optyki Uniwersytetu w Barcelonie broniąc pracę „*Growth and characterization of Gold and Platinum thin films.*”. Natomiast w roku 2009 uzyskał kolejny stopień magistra w zakresie Fizyki Obliczeniowej i Stosowanej

na Wydziale Fizyki Stosowanej Politechniki Katalońskiej broniąc pracę „*Simulation of Pulsed Laser Deposition of materials by Molecular Dynamics methods*”. W lutym 2016 roku uzyskał stopień naukowy doktora w zakresie Nanonauki na Wydziale Fizyki Stosowanej i Optyki Uniwersytetu w Barcelonie za rozprawę doktorską pt. „*Growth and characterization of new multiferroic materials*”. Jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora podjął dwuletnią pracę badawczą na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Barcelonie (od września 2011 do sierpnia 2013). Natomiast, od września 2013 roku do chwili obecnej pracuje w Centrum NanoBioMedycznym Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, najpierw na stanowisku asystenta naukowego a od lutego 2017 roku na stanowisku adiunkta.

Ocena całokształtu dorobku naukowo-badawczego

Jak wynika z tytułów obydwu prac magisterskich, zainteresowanie Habilitanta wytwarzaniem cienkich warstw oraz badaniem ich struktury i właściwości rozpoczęło się już podczas studiów drugiego stopnia. Owocem okresu studiów magisterskich w Barcelonie są trzy pierwsze publikacje współautorskie opublikowane w 2010 roku w prestiżowych czasopismach (2 w *Thin Solid Films* i 1 w *Journal of Applied Physics*). W jednej z nich Habilitant jest pierwszym autorem.

W latach 2011-2013 Habilitant nie opublikował żadnych prac. Kolejne publikacje powstają już w okresie Jego pracy badawczej w Poznaniu. W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora ukazuje się 11 kolejnych artykułów współautorstwa Habilitanta (3 w 2014 i 8 w 2015 roku).

W okresie 2016-2018 Habilitant kierował grantem NCN (Preludium 9) pt. „Osadzanie cienkich warstw molibdenianu gadolinu techniką PLD – badanie ich właściwości multiferroicznych”. Wykształcenie i zdobyte doświadczenie w dziedzinie fizyki ciała stałego oraz opanowanie licznych zaawansowanych technik badania nanomateriałów umożliwiło Habilitantowi uczestnictwo w sześciu projektach badawczych kierowanych przez innych badaczy. Po uzyskaniu stopnia doktora, na początku 2016 roku, nastąpił znaczący wzrost aktywności badawczej Habilitanta, który znacząco pomnażył swój dorobek naukowy. W latach 2016-2019 opublikował On kolejnych 80 artykułów w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, co daje w tym okresie imponującą średnią liczbę 20 publikacji rocznie. Prace te dotyczą między innymi: syntezy i zastosowań nanorurek

węglowych, analizy mikroskopowej nanocząstek metalicznych, tlenków metali i polimerowych, badań materiałów katalitycznych, badań cienkowarstwowych materiałów magnetycznych a także badań struktury i właściwości mechanicznych nanomateriałów.

Aktualnie (sierpień 2019) całkowity dorobek publikacyjny Habilitanta obejmuje 94 współautorskie artykuły naukowe o łącznym IF (zgodnie z rokiem opublikowania) wynoszącym ok. 300. W 8 publikacjach Habilitant jest pierwszym autorem. Według bazy danych *Scopus*, artykuły Habilitanta były cytowane łącznie 493 razy (po odrzuceniu autocytowań wszystkich współautorów), co świadczy o ich oryginalności i aktualności tematycznej. Według danych z tej samej bazy, indeks *Hirscha* $h=12$, *G-index*=16 oraz indeks $i_{10}=20$. Habilitant uczestniczył w licznych konferencjach naukowych, prezentując ponad 70-krotnie swoje wyniki na konferencjach międzynarodowych za granicą i w Polsce, kilkakrotnie również jako *invited speaker*.

Należy podkreślić, że szczególne osiągnięcia naukowe dr inż. Luis'a Emerson'a Coy Romero zyskały uznanie kierownictwa Centrum NanoBioMedycznego UAM w Poznaniu, które uhonorowało Go rocznym wynagrodzeniem motywacyjnym przyznając je trzykrotnie w latach 2016, 2017 i 2018.

Uważam, że całokształt dorobku naukowo-badawczego dr inż. Luis'a Emerson'a Coy Romero zasługuje na wysoką ocenę zarówno w kategoriach ilościowych jak i jakościowych.

Ocena zgłoszonego osiągnięcia naukowego

Kandydat do stopnia naukowego doktora habilitowanego przedstawił do oceny osiągnięcie naukowe pod wspólnym tytułem „**Wielofunkcyjne cienkie warstwy nanokompozytowe o podwyższonych właściwościach mechanicznych**” w postaci cyklu 13 współautorskich artykułów naukowych opublikowanych w latach 2014-2018. W 3 artykułach dr inż. Luis Emerson Coy Romero jest pierwszym autorem i według oświadczeń współautorów jego udział był dominujący (w jednym 65% a w dwóch 70%). W 6 publikacjach Habilitant był drugim autorem a w 4 ostatnim, zaś jego udział w tych 10 publikacjach wahał się od 35 do 50%.

Dorobek Habilitanta w dziedzinie wytwarzania oraz badania struktury i właściwości cienkich warstw nanokompozytowych, zaprezentowany we wspomnianym cyklu 13 artykułów, rozpoczyna się publikacją z roku **2014**, oznaczoną

symbolem **A5**, która jednak nie została wymieniona na pierwszym miejscu w wykazie prac wchodzących w skład osiągnięcia naukowego będącego podstawą do ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego. Habilitant, brał czynny udział we wszystkich etapach tej pracy, począwszy od koncepcji projektu, poprzez udział w otrzymywaniu warstw, badanie struktury metodą XRD, pomiar nanotwardości, analizę wyników badań własnych i otrzymanych od współautorów wyników komplementarnych badań HRTEM aż po współredakcję manuskryptu. W pracy tej wykazano, że regulując moc r.f. dostarczoną do targetu niobu przy utrzymaniu stałej mocy d.c. dla targetu węgla w procesie niereaktywnego rozpylania magnetonowego, możliwe jest kształtowanie składu chemicznego, struktury oraz właściwości mechanicznych i elektrycznych otrzymanych nanokompozytowych warstw typu NbC+amorficzna osnowa węglowa. Wyniki badań zaprezentowane w tej pracy wskazały jednoznacznie, że istnieje duży potencjał w zastosowanej metodzie niereaktywnego osadzania twardych, elastycznych i przewodzących elektrycznie nanokompozytowych warstw w temperaturze pokojowej, co jest szczególnie użyteczne w procesie osadzania warstw na wrażliwych na działanie temperatury podłożach polimerowych, które z kolei mają zastosowanie w elastycznej elektronice. Publikacja ta była już 8-krotnie cytowana przez naukowców niebędących jej współautorami, co świadczy o zainteresowaniu jej wynikami.

Zgodnie z załączonymi deklaracjami, Habilitant był zaangażowany w proces wytwarzania cienkich warstw, których wyniki badań zostały przedstawione w 4 publikacjach: **A3**, **A5**, **A6** i **A7**. Jednak wystąpiła tutaj pewna niespójność, gdyż według autoreferatu (str. 13) zagadnieniami projektowania i wytwarzania cienkich warstw Habilitant miał zajmować się w publikacjach **A1** i **A2**. Tę drobną nieścisłość uważam za drugorzędną.

Należy zauważyć, że główny wkład Habilitanta w pracę naukową, której rezultatem jest przedstawiony cykl 13 publikacji, polegał na badaniu struktury i właściwości wytworzonych cienkich warstw nanokompozytowych. Habilitant w swojej pracy naukowej wykorzystał kilkanaście technik badawczych. Do najczęściej stosowanych należały: pomiar właściwości mechanicznych metodą nanoindentacji, XRD (*X-ray Diffraction*), AFM (*Atomic Force Microscopy*), TEM (*Transmission Electron Microscopy*), XRR (*X-Ray Reflectivity*), XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*) i pomiary elektrochemiczne. W pojedynczych publikacjach wykorzystał również eksperymenty SHG (*Second Harmonic Generation*), SEM

(*Scanning Electron Microscopy*), EELS (*Electron Energy Loss Spectroscopy*), GIXRD (*Grazing Incidence X-ray Diffraction*), EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) i HRTEM (*High Resolution Transmission Electron Microscopy*). Za najważniejszą metodę badawczą stosowaną przez Habilitanta należy niewątpliwie uznać metodę nanoindentacji pozwalającą określić podstawowe właściwości mechaniczne cienkich warstw, a zwłaszcza ich nanotwardość i moduł Younga a nawet nanościeralność. Wyniki badań tą metodą uzyskane i/lub poddane zaawansowanej analizie przez Habilitanta są zawarte we wszystkich 13 publikacjach z przedstawionego cyklu. **Uważam, że dr inż. Luis Emerson Coy Romero jest wysokiej klasy specjalistą od pomiaru i zaawansowanej analizy właściwości mechanicznych cienkich warstw mierzonych metodą nanoindentacji.**

Z punktu widzenia pozytywnej oceny dorobku i kompetencji Habilitanta istotne znaczenie mają artykuły **A1** i **A2**, w których skutecznie zastosował on nowoczesne metody analizy nanomechanicznej cienkich warstw polegające na wykonaniu całej macierzy punktów pomiarowych (10x10 i 4x4, odpowiednio w **A1** i **A2**) z częściowym obciążeniem/odciążeniem dla 50 różnych głębokości pomiarowych. Zastosowane metody umożliwiły zrozumienie właściwości nanolaminatów o różnej grubości. Stwierdził On, że nanolaminaty o grubości poniżej pewnej krytycznej wartości zachowują się podobnie jak warstwy nanokompozytowe, a ich właściwości mechaniczne ulegają poprawie wraz ze zwiększeniem chropowatości i zmniejszeniem grubości warstw laminatu. Obydwa artykuły cieszą się zainteresowaniem środowiska naukowego o czym świadczą liczby ich cytowań: 6 (**A1**) i 18 (**A2**), pomimo, że od ich opublikowania minęły zaledwie, odpowiednio, 3 i 4 lata.

Zastosowanie powyższych metod i map topograficznych umożliwiło również skuteczną analizę cienkich (<40 μ m) warstw ferroelektrycznej fazy rombowej molibdenianu gadolinu (β' -GMO) i określenie jej modułu sprężystości E_r (**A3**), który opisuje ich mechaniczną reakcję, co jest jedną z głównych właściwości materiałów ferroelektrycznych.

W artykule **A4** przedstawiono oryginalne wyniki badań Habilitanta, wykonane z wykorzystaniem powyższej metodologii, dotyczące uszkodzeń radiacyjnych kalcytu, który jest najstabilniejszą polimorficzną odmianą węgla wapnia CaCO_3 . Kompetencje i doświadczenie Habilitanta zostały wykorzystane do określenia wpływu naświetlania promieniami UV, rentgenowskimi i gamma kalcytu o indeksie

powierzchniowym (104) na właściwości mechaniczne powierzchni. Okazało się, że największe i najdłużej utrzymujące się zmiany stwierdzono po naświetlaniu promieniami UV: zmniejszenie twardości o 30% i modułu sprężystości o 20%.

Habilitant aktywnie uczestniczył również w wytwarzaniu metodą niereaktywnego i reaktywnego osadzania magnetronowego oraz badaniu właściwości warstw NbC, które wykazują dobrą biokompatybilność (**A6**) i dobre właściwości elektrokatalityczne (**A7**). Stwierdził On, że oprócz poprawy biokompatybilności wytworzone warstwy wykazują lepsze właściwości mechaniczne pod względem twardości, modułu Younga i superelastyczności (**A6**). Praca ta była już 15 razy cytowana przez innych autorów. W pracy **A7** przedstawiono unikalne właściwości nanokrystalicznych elektrod cienkowarstwowych z NbC przeznaczonych do katalizy procesu wydzielania wodoru. Autorzy wykazali, że kontrolując i optymalizując mikrostrukturę tych elektrod można poprawić zarówno ich właściwości mechaniczne jak i elektrochemiczne. Artykuł ten został opublikowany 2 lata temu i doczekał się już 8 cytowań.

W publikacjach **A8** i **A9** przedstawiono interesujące wyniki uzyskane dla cienkich warstw trójskładnikowych stopów Ta-Hf-C. Stwierdzono, że stopy trójskładnikowe składają się z roztworów stałych węglików dwuskładnikowych TaC i HfC i wykazują znacznie większą twardość i stopień elastyczności niż stopy dwuskładnikowe. Kombinacja tych bardzo dobrych właściwości mechanicznych z małą ścieralnością i doskonałą odpornością na korozję w wysokich temperaturach predestynują warstwy trójskładnikowych stopów Ta-Hf-C na pokrycia do pracy w warunkach ekstremalnych, jak np. łopatki turbin czy generatory pary (**A8**). Ponadto, duża odporność tych warstw na utlenianie połączona z dobrymi właściwościami elektrochemicznymi czynią te warstwy atrakcyjnymi do zastosowań w procesie produkcji wodoru (**A9**).

Dwuwarstwowe powłoki wieloskładnikowe TiAlBSiN, wytworzone poprzez rozpylanie magnetronowe, były przedmiotem badań, których wyniki zostały przedstawione w artykułach **A10** i **A11**. Zmierzone właściwości mechaniczne tych powłok wskazują na ich dużą przydatność na elastyczne pokrycia ochronne elementów pracujących w wysokiej temperaturze, np. narzędzi, które podlegają wielokrotnym i zmiennym obciążeniom mechanicznym (**A10**, **A11**).

Artykuł **A12** przedstawia wyniki badań właściwości powłoki TiSiN poddanej implantacji jonami Cu. Wprawdzie nie uzyskano poprawy właściwości tej warstwy, a nawet obniżenie twardości i modułu Younga, to jednak wyniki tej pracy mają duże

znaczenie poznawcze i przyciągnęły uwagę innych naukowców o czym świadczy znaczna liczba cytowań wynosząca 19 w ciągu 3 lat.

Ostatnia publikacja (A13) z przedstawionego cyklu, dotyczy nano-laminatów, czyli powłok złożonych z wielu warstw o grubościach nanometrycznych. Nanometryczne warstwy TiN/SiC były osadzane naprzemiennie z materiałów TiN i SiC techniką rozpylania magnetronowego stosując różne temperatury podłoża (od 25 do 350 C). Po analizie otrzymanych wyników badań, autorzy artykułu podają dwa sposoby zwiększenia wytrzymałości warstw nanometrycznych TiN/SiC. Pierwszy z nich to zalecenie osadzania warstw w temperaturach podłoża bliskich pokojowej aby zapewnić warunki do powstawania cienkich warstw (<3nm). Drugi sposób dotyczy grubszych warstw SiC (>3nm) z zaleceniem osadzania ich w umiarkowanych temperaturach podłoża, aby umożliwić tworzenie się heteroepitaksjalnych, kubicznych lub heksagonalnych międzywarstw SiC, które zawierają więcej niż jedną monowarstwę SiC. Wyniki przedstawione w tej pracy są niezwykle cenne dla badaczy zainteresowanych syntezą warstw nanometrycznych opartych na azotkach metali przejściowych. Jest to najlepiej cytowana praca z tego cyklu, gdyż w ciągu jednego roku doczekała się aż 17 cytowań.

Podsumowując należy stwierdzić, że Habilitant konsekwentnie zrealizował szeroki program badań w obszarze nanokompozytowych cienkich warstw prezentujących szerokie spektrum właściwości fizycznych i chemicznych, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości mechanicznych oraz możliwością ich modyfikacji poprzez odpowiednie kształtowanie struktury tych warstw.

Oceniając zbiór 13 publikacji zaprezentowanych przez dr inż. Luis'a Emerson'a Coy Romero, stanowiący podstawę wniosku o nadanie Jemu stopnia naukowego doktora habilitowanego, należy zwrócić uwagę, że wszystkie one ukazały się w czasopismach z listy JCR a łączny IF (zgodny z rokiem opublikowania) wynosi 62,227, zaś uwzględniając procentowy wkład własny Habilitanta sumaryczny IF równy 30,118 jest również imponujący. Warto podkreślić, że doczekały się one już 120 cytowań (według bazy danych *Scopus*), co stanowi bardzo dobry wynik biorąc pod uwagę fakt, iż były one opublikowane niedawno (w latach 2014-2018). Fakt ten niewątpliwie świadczy o oryginalności zamieszczonych w nich wyników badań oraz aktualności uprawianej tematyki.

Ocena dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej

Dr inż. Luis Emerson Coy Romero posiada bogaty dorobek w 6 spośród 14 obszarów (kryteriów) oceny wymienionych w paragrafie 5 Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 1 września 2011 roku.

1. Dr inż. Luis Emerson Coy Romero aktywnie uczestniczył w licznych międzynarodowych konferencjach naukowych za granicą i w Polsce prezentując swoje wyniki ponad 70-krotnie w formie plakatów i wystąpień ustnych (w tym dwukrotnie wygłaszając referaty zaproszone). Habilitant, przewodniczył sesji A (elektronika i materiały) podczas *NanoConference 2016* w Poznaniu. Ponadto, brał czynny udział w organizacji i przewodniczył sesji „Young Research's Forum” międzynarodowej konferencji *NanoTechPoland 2017* w Poznaniu. Był również współorganizatorem międzynarodowej konferencji *NanoTechPoland 2018 and 1st Symposium on Polydopamine* w Poznaniu oraz organizatorem sympozjum na temat polidopaminy.

2. Habilitant był wielokrotnie wyróżniony w Polsce i w Hiszpanii przyznaniem stypendiów na badania naukowe i współpracę międzynarodową. Ponadto, kierownictwo Centrum NanoBioMedycznego UAM w Poznaniu, trzykrotnie przyznało Habilitantowi roczne wynagrodzenie motywacyjne w latach 2016, 2017 i 2018. Otrzymał On również nagrodę „Wybitny recenzent” 2017 przyznany przez wydawcę czasopism *Open Access MDPI*.

3. Dr inż. Luis Emerson Coy Romero jest promotorem pracy magisterskiej Enzo Barbe realizowanej w ramach Programu *MaMaSelf* w oparciu o współpracę UAM w Poznaniu z Uniwersytetem Rennes 1.

4. Habilitant jest opiekunem naukowym dr Aleksandra Pshyk'a i mgr Adama Krysztofika - doktorantów Centrum NanoBioMedycznego UAM w Poznaniu.

5. Podczas pobytu w Polsce Dr inż. Luis Emerson Coy Romero odbył trzy krótkie (1-tygodniowe) staże naukowe w trzech ośrodkach zagranicznych: CIC-BiomaGUN, San Sebastian, Hiszpania (w 2014 roku), LENS – Laboratory of Electron Microscopies, Barcelona, Hiszpania (w 2015 roku) i Hysitron (producent aparatury do nanoindentacji), Aachen, Niemcy (w 2016 roku).

Jednak, należy zwrócić uwagę, że Habilitant jest Kolumbijczykiem, który swoje wykształcenie licencjackie zdobył w Bogocie (Kolumbia) w latach 2001-2006,

podwójne studia magisterskie ukończył w Barcelonie (Hiszpania) w latach 2007-2009 oraz był pracownikiem badawczym Wydziału Fizyki Uniwersytetu w Barcelonie przez dwa lata (2011-2013). Od 2013 roku pracuje w Centrum NanoBioMedycznym UAM w Poznaniu. Wobec powyższego, **warunek odbycia staży zagranicznych Habilitant wypełnił celująco.**

6. Dr inż. Luis Emerson Coy Romero recenzował 1 projekt badawczy na wniosek Chilijskiej Akademii Nauk oraz 2 książki dla Kolumbijskiego Towarzystwa Fizycznego. Ponadto, recenzował 75 artykułów dla 11 czasopism naukowych. Najwięcej recenzji napisał dla: *Materials and Design* (Elsevier) - 11, *Materials* (MDPI) - 12, *Coatings* (MDPI) – 7, *Surface Coating Technology* (Elsevier) – 7, *Applied Surface Science* (Elsevier) – 5, *Thin Solid Films* (Elsevier) – 5 i *Carbon* (Elsevier) – 4.

Poza tym, należy podkreślić szeroko rozwiniętą współpracę naukową Habilitanta z naukowcami z 5 krajów spoza Polski. Świadczą o tym liczne Jego publikacje ze współautorami z zagranicy: 26 publikacji z Hiszpanami (z 4 ośrodków), 20 publikacji z Ukraińcami (z 3 ośrodków), 8 publikacji z Kolumbijczykami (z 2 ośrodków), 7 publikacji z Francuzami (z 2 ośrodków) i 4 publikacje z Łotyszami (z 2 ośrodków).

Reasumując stwierdzam, że scharakteryzowany powyżej dorobek Habilitanta w dziedzinie działalności dydaktycznej, popularyzatorskiej i współpracy międzynarodowej oceniam pozytywnie i uważam, że jest on całkowicie wystarczający i spełnienia wymagania ustawowe stawiane habilitantom.

Ocena końcowa i wnioski

Przedłożony mi do oceny jednotematyczny cykl publikacji pod tytułem „**Wielofunkcyjne cienkie warstwy nanokompozytowe o podwyższonych właściwościach mechanicznych**” stanowi niezwykle istotny wkład Habilitanta w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa.

Uważam, że dr inż. Luis Emerson Coy Romero jest doświadczonym naukowcem o dużym dorobku naukowym w obszarze syntezy oraz badania struktury i właściwości cienkich warstw nanokompozytowych, a w szczególności jest On wysokiej klasy specjalistą od pomiaru i zaawansowanej

analizy właściwości mechanicznych cienkich warstw mierzonych metodą nanoindentacji.

Ponadto, Habilitant jest bardzo dobrze osadzony i doskonale rozpoznawalny w międzynarodowym środowisku naukowym zajmującym się cienkimi warstwami. **Cały jego dotychczasowy dorobek naukowy uznaję za bardzo dobry.**

Na podstawie dokonanej oceny osiągnięcia naukowego przedstawionego w cyklu 13 monotematycznych publikacji oraz oceny całokształtu dorobku naukowego, dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej stwierdzam, że dr inż. Luis Emerson Coy Romero wykazał kompetencję i dojrzałość naukową w stopniu uzasadniającym uzyskanie samodzielności naukowej i spełnia wymagania Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o „Stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki” wraz ze zmianami z dnia 18 marca 2011 roku. Z pełnym przekonaniem **popieram wniosek o nadanie dr inż. Luis’owi Emerson’owi Coy Romero stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa.**

