

R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Dominiki Walewskiej pt.: „Charakteryzacja innowacyjnych materiałów mezogenicznych przeznaczonych do kontroli właściwości wiązki świetlnej”.

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Dominiki Walewskiej pt. „Charakteryzacja innowacyjnych materiałów mezogenicznych przeznaczonych do kontroli właściwości wiązki świetlnej”. Funkcję promotorów rozprawy pełnili prof. dr hab. inż. Leszek Jaroszewicz, członek korespondent PAN oraz dr hab. Nouredine Bennis, prof. WAT.

Recenzja została opracowana na prośbę prof. dr hab. inż. Krzysztofa Czupryńskiego, Dziekana Wydziału Nowych Technologii i Chemii, Wojskowej Akademii Technicznej.

1. Wstęp

Technologia ciekłych kryształów (LC, ang. Liquid Crystal) zrewolucjonizowała sposób obrazowania sygnałów i doprowadziła do powstania wyświetlaczy o zróżnicowanych formatach oferując przy tym duże rozdzielczości. Należy przyznać, że właściwości fizyczne LC takie jak: przenikalność dielektryczna, współczynnik załamania światła, sprężystość czy lepkość, oferują wiele możliwości w zakresie konstrukcji czujników optoelektronicznych. Z drugiej strony cechy chemiczne jak struktura elektronowa cząsteczki, wpływ temperatury na stan mezofazy wyznaczają wyraźne ograniczenia w ich stosowaniu, co determinuje zmiany czasowe i przestrzenne propagowanej fali elektromagnetycznej. Ich kontrola, polegająca na zmianie parametrów amplitudy i częstotliwości napięcia, umożliwiła przestrzenną modulację promieniowania i konstrukcję układów typu SLM (ang. Spatial Light Modulators). Obecne rozwiązania pozwalają na uzyskiwanie dużych rozdzielczości, ale kontrola zmiany fazy musi uwzględniać wzajemne oddziaływania i kompensację efektów wynikających ze sprężystości LCs. Zagadnienie charakteryzacji zmiennej w czasie odpowiedzi fazowej ciekłych kryształów rozwijane jest właśnie w pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Walewskiej, która zaproponowała interferometryczny układ pomiarowy oraz analizę wybranych nematycznych i ferroelektrycznych ciekłych kryształów o właściwościach dedykowanych do budowy układów typu SLM.

2. Tematyka i teza pracy

Tematyka pracy obejmuje opracowanie interferometrycznego układu do dynamicznego pomiaru zmiany fazy wprowadzanej przez ciekłe kryształy i jego weryfikację na przykładzie analizy właściwości nowych mieszanin cząsteczek wybranych LCs obejmujących struktury nematyczne NLCs (ang. Nematic Liquid Crystals) i ferroelektryczne FLCs (ang. Ferroelectric

Liquid Crystals). Aktualność podjętej przez Autorkę tematyki pracy należy rozpatrywać w kontekście naukowym oraz utylitarnym. Pierwszy dotyczy konstrukcji układu, która wymagała analizy zjawisk dynamicznej zmiany fazy mierzonej w czasie rzeczywistym oraz wyboru nowych związków NLCs i FLCs. Drugi to ocena ich aplikacyjności do budowy ciekłokrystalicznego przestrzennego modulatora światła LCSLM (ang. Liquid Crystal Spatial Light Modulator). W celu rozwiązania zagadnienia badawczego Autorka zaproponowała tezę: „Interferometryczny układ do pomiaru zmiany fazy pozwala na charakteryzację i analizę zmiennych w czasie właściwości materiałów ciekłokrystalicznych przeznaczonych dla modulatorów fazowych.”

Stwierdzam, że przyjęte założenia są słuszne, a cel i teza pracy zostały sformułowane prawidłowo.

3. Układ pracy

Praca została przygotowana w postaci klasycznego opracowania charakterystycznego dla rozpraw doktorskich, obejmującego 118 stron, podzielonego na 6 głównych rozdziałów zawierających części: teoretyczną (rozdz. 1-3), metrologiczną (rozdz. 4) i doświadczalną (rozdz. 5), zakończoną podsumowaniem wyników w rozdz. 6. Dodatkowo wyeksponowano takie elementy jak: streszczenie, spis skrótów i oznaczeń, załącznik „Struktury związków oraz składy wagowe tworzące badane mieszaniny ciekłokrystaliczne”, bibliografię, spis rysunków oraz dorobek naukowy Doktorantki.

Autorka rozpoczyna pracę wprowadzeniem zawierającym rys historyczny, prowadząc czytelnika do merytorycznych zagadnień kontroli sygnału sterującego na zmianę fazy wywoływanej przez ciekłe kryształy i aspektów metrologicznych pomiaru tej wartości technikami interferometrycznymi. Na tej podstawie stawia przytoczoną powyżej tezę pracy, adresując w tym rozdziale konieczność poznania wpływu właściwości LCs na zmiany sygnału zadanego w czasie rzeczywistym. Na początku rozdziału 2 znajduje się charakterystyka cech mezofazy w jakiej znajdują się ciekłe kryształy obejmująca znane układy uporządkowania nematycznego i smektycznego, właściwości optyczne dotyczące wpływu długości fali i temperatury na wartość dwójłomności optycznej oraz analizę zmian przenikalności elektrycznej dla wektora natężenia pola równoległego i prostopadłego do kierunku orientacji cząsteczek (direktora), decydującego o właściwościach elektrooptycznych wynikających z budowy cząsteczki LC. Następnie Autorka przechodzi do opisu parametrów anizotropii dielektrycznej wskazując na jej zmiany w zależności od częstotliwości zadanego sygnału modulacji, jako podstawowego zagadnienia diskutowanego w pracy w kontekście ciekłokrystalicznych modulatorów fazowych z rozróżnieniem cech NLCs i FLCs (rozdz. 2.3). W rozdziale 3 zaprezentowane są wybrane do badań mieszaniny ciekłokrystaliczne oraz uzasadnienie ich budowy. Kolejny rozdział 4 to opis metod badawczych, który obok pomiarów transmisyjnych i dielektrycznych jest w istocie teoretyczną i praktyczną realizacją układu do pomiaru dynamicznej zmiany fazy LCs wraz z jego kalibracją. Rozdział 5 to wyniki i dyskusja nad zmierzonymi parametrami wybranych mieszanin NLCs i FLCs, wraz z określeniem stabilności tych parametrów. Pracę kończą wnioski przedstawione w formie dyskusyjnej oraz najważniejsze osiągnięcia wg. Autorki.

Układ doktoratu jest przejrzysty, co jednoznacznie pozwala na ocenę dorobku mgr inż. Aleksandry Dominiki Walewskiej.

4. Ocena pracy

4.1 Oryginalność i zdolności doktorantki do formułowania zadań i prowadzenia dyskusji naukowej.

Autorka podjęła się nietłatego tematu dotyczącego pomiarów elektrooptycznych ciekłych kryształów – czyli materiałów, które z powodzeniem od lat wykorzystujemy w codziennym życiu oraz pracy badawczej. Trzeba jednak przyznać, że świadomość ta jest widoczna w całej rozprawie, która skonstruowana została w formie dyskusji zagadnień teoretycznych i badawczych. Od początku Autorka postuluje konieczność analizy dynamicznej zmiany fazy mieszanin ciekłokrystalicznych, proponując budowę układu działającego na podstawie interferometru Younga i modyfikacji konstrukcji światłowodowego demodulatora fazy opracowanego wcześniej w grupie badawczej promotora rozprawy - prof. L. R. Jaroszewicza. W części teoretycznej dyskutuje zagadnienia relaksacji dielektrycznej opisanej równaniami Debye'a w oparciu o interpretację graficzną modelu Cole-Cole, wskazując na możliwość obliczenia czasu relaksacji i wartości anizotropii LC. Uzasadnia celowość badań nad wybranymi nematycznymi ciekłymi kryształami, charakteryzującymi się dużą dodatnią wartością anizotropii dielektrycznej, pracy bez zmiany znaku tego parametru i w zakresie niskich częstotliwości do 100kHz, będących alternatywą dla materiałów (DFLC ang. Dual Frequency Liquid Crystal) tj. o szybkim czasie przełączania opartych o zmianę częstotliwości sygnału sterującego. Drugim typem LC wybranym do badań były ferroelektryczne ciekłe kryształy znane z szybkiej odpowiedzi i zastosowań jako przesuwniki fazowe i depolaryzatory optyczne i jak wskazuje Autorka również do produkcji soczewek o szybkiej zmianie ogniskowej, w systemach LIDAR, laserowej redukcji plamek i mikroskopii z oświetleniem strukturalnym. Kolejnym istotnym zagadnieniem był wybór mieszanin ciekłych kryształów NLCs i FLCs. Autorka kierując się wcześniejszymi rozważaniami dotyczącymi zastosowań SLM, zaproponowała mieszaniny NLCs, które powinny pracować w zakresie niskich częstotliwości. W tym celu wybrała składnik 1 o dużej wartości anizotropii dielektrycznej $\Delta\epsilon > 60$ (~1kHz), składnik 2 miał zwiększyć dwójłomność i pełnić rolę strukturalną oraz składnik 3 o cechach pośrednich wpływających na jednorodność mieszanin. W ten sposób zaproponowała 4 kompozycje o określonych udziałach procentowych zamieszczone w Tabeli 1 (str. 42). Ten etap Autorka uzasadniła określając wartość anizotropii dielektrycznej składników (teoria Maiera–Meiera) i ich dwójłomność. Zadbała również o stabilność porządkowania się mieszanin nematycznych oraz przewidywaną lepkość w kontekście czasu orientacji i stabilności chemicznej. Sumarycznie należy stwierdzić, że Doktorantka uzasadniła wpływ budowy składników mieszanin NLCs na ich jednostkowe właściwości oraz przewidywane cechy możliwości kontrolowania zmian optycznych w zakresie niskich częstotliwości napięcia elektrycznego sygnału sterującego. Podobne podejście kompozycyjne miało miejsce dla jednej wybranej mieszaniny FLC z kątem pochylenia 90 stopni projektowanej w celu uzyskania odpowiedzi ferroelektrycznej w szerokim zakresie temperatur istnienia fazy ferroelektrycznej. Na podstawie powyższych informacji można stwierdzić, że zaproponowane przez Doktorantkę zagadnienia badawcze są oryginalne z punktu widzenia materiałowego i metrologicznego. Ponadto, jasno sformułowano założenia badawcze dyskutując je w oparciu o ostatnie doniesienia literaturowe oraz doświadczenia macierzystej jednostki. Wszystkie mieszaniny

NLCs i FLCs zostały wytworzone w Instytucie Chemii WAT, a ich oryginalność potwierdzają publikacje z listy JCR.

4.2 Znaczenie i ocena badań naukowych.

Kluczowym etapem pracy był pomiar dynamicznej zmiany fazy, który wymagał od Doktorantki systematycznego podejścia matematycznego i metrologicznego. Zaproponowany układ oparty był o interferometr Younga i wykorzystanie analizy dyfrakcji sygnałów w płaszczyźnie Fouriera rejestrowanego fotodetekтором dwuelementowym. Doktorantka na podstawie literatury wykazała zmiany w intensywności obrazów powstających na detektorach będące m.in. funkcją odległości od detektorów reprezentowanych przez stałe a_1 , a_2 i a_3 , pozwalające na wyznaczenie zależności określającej wartość zmiany fazy na podstawie równania 34 (str. 51). Uwzględniając powierzchnie detektora odpowiednio zmniejszono średnice wiązek lasera (przesłony typu pinhole o otworze $400\ \mu\text{m}$), wyprowadzając z obydwu ramion równoległe wiązki na soczewkę fourierowską za pomocą pryzmatu umożliwiającego regulację odległości między nimi. W ten sposób Autorka zweryfikowała podstawowy układ pozwalający na rejestrację obrazu interferencyjnego, stwierdzając jednak, że bez względu na parametry stałych a_2 i a_3 widmo nie pozwala na łatwą ocenę zmian fazowych (rys. 17-19). W konsekwencji zaproponowała modulację fazową jednej wiązki pomiarowej, wprowadzając funkcjonalność przesuwu zwierciadła M2, umieszczonego na elemencie piezoelektrycznym, którego ruch liniowy sterowany był zmianami napięcia. Z powodzeniem udowodniła słuszności swojej propozycji rejestrując zmiany fazy LC dla różnych współczynników fourierowskich a_2 i a_3 dla modulacji o przebiegu trójkątnym i sinusoidalnym (rys. 21, 22). Wykazała, że w przypadku zbliżonej wartości współczynników ($a_2 \approx a_3$) zarejestrowane zmiany fazy zgodne są z wartością teoretyczną przesunięcia fazowego wywołanego zmianą położenia zwierciadła (rys. 25). Zatem, właściwie zdefiniowała i rozwiązała to zadanie badawcze dotyczące pomiaru zmiany fazy wprowadzanej przez LC w czasie rzeczywistym, przeprowadzając dyskusję uzyskanych wyników kalibracyjnych.

W dalszym etapie dokonano charakterystyki kryształów NLCs proponując pomiary transmisji, dynamicznej zmiany fazy i dielektryczne oraz wpływu temperatury i promieniowania UV na parametry LC. Pomiar transmisji wykonano w klasycznym układzie polaryzator/analizator w funkcji przyłożonego napięcia o częstotliwości 1 kHz. Wyznaczono wartości napięcia progowego dla badanych mieszanin ($V_{th}=1,2\text{V}-1,8\text{V}$) oraz wartości napięcia (8,3V-9,9V) wymagane do przesunięcia fazowego do wartości $4,5\pi$. Dodatkowo porównano je ze znaną mieszaniną DF5 wykazując podobne wartości ($V_{th}=1,6\text{V}$ i napięcia 8V) przy których osiągnięto przesunięcie fazy o wartość $4,5\pi$.

Pomiary dynamiczne zmian fazy zaproponowano dla dwuczęstotliwościowego, prostokątnego sygnału sterującego o okresie cyklu 0,4 s, składającego się z dwóch połówek o amplitudzie napięcia 0V-10 V. W pierwszej sygnał miał stałą częstotliwość 1 kHz, a w drugiej regulowaną częstotliwość 3 kHz - 50 kHz. W ten sposób porównano wartości zmiany fazy badanych mieszanin ciekłych kryształów osiągając wartości na poziomie 13-14 rad dla wartości przyłożonego napięcia (2V-10V) o częstotliwości 1kHz. Zmiana częstotliwości do 50kHz przy napięciu 6V skutkowała obniżeniem zmiany fazy w przypadku wszystkich mieszanin i była w zakresie 3-8 rad. Jednak wartość 8 rad w przypadku próbek 5005 i 5005A daje możliwość uzyskania różnych poziomów skali szarości, inaczej niż w mieszaninach 5005B i 5005C gdzie

osiągnięto wartość w zakresie 2,5-3,5 rad. Autorka tłumaczy to zmniejszeniem wartości anizotropii dielektrycznej i zmianą stałych przenikalności dielektrycznej w funkcji częstotliwości. Z kolei porównanie wyników z mieszaniną DF5 pokazuje zalety próbki 5005, gdzie uzyskano wprawdzie podobną wartość zmiany fazy ~ 14 rad (10V), ale modulacja dwóch częstotliwości pozwoliła tylko na 3 poziomy szarości. Autorka podsumowuje wyniki wskazując na poprawnie wykonaną analizę zmian fazy pozwalającą na bezpośrednie porównanie ich właściwości ze wskazaniem na aspekty aplikacyjne to jest obecność stabilnych poziomów szarości oraz czasu relaksacji. Dopelnieniem powyższych wyników badań są pomiary dielektryczne oraz wpływu temperatury i promieniowania UV. Pierwsze pozwoliły Autorce na dyskusję w zakresie zmian przenikalności dielektrycznej w funkcji częstotliwościowych i termicznych składników mieszaniny 5005. W rezultacie zauważyła, że zgodnie z poprzednimi pomiarami modulacji fazy następuje liniowy spadek przenikalności dielektrycznej od wartości 9,5 do wartości 3,5 wspólnej dla równoległej i prostopadłej orientacji direktora względem kierunku pola elektrycznego (ϵ_{\parallel} i ϵ_{\perp}). Autorka stwierdza, że zmiana anizotropii dielektrycznej w zakresie częstotliwości 100 Hz-15 kHz, sugeruje możliwość stosowania mieszaniny jako wielofazowe modulatory światła sterowane częstotliwościowo. Zmierzone zależności temperaturowe wykazały ciekawe zmniejszenie dynamiki opóźnienia fazowego w temperaturze 25°C przy częstotliwościach 10 i 20 kHz, przy czym wzrost temperatury powyżej 50°C pozwalał na osiągnięcie dynamiki zbliżonej do modulacji 1kHz. Wydaje się, że jest to główna przyczyna uzyskanego czasu odpowiedzi na poziomie 130 ms. Kolejnym czynnikiem aplikacyjnym jest wpływ promieniowania z zakresu UV, które jest silnie absorbowane przez wiązania podwójne i potrójne obecne w strukturze molekuł organicznych ciekłych kryształów. Autorka przeprowadziła testy wpływu promieniowania o długości fali 375 nm (40 mW/cm²) przy ekspozycji od 60 s do 120 min oraz 445 nm (40 mW/cm²) i czasie 120 min na transmisję (0V-10V) oraz opóźnienia fazy. Zaobserwowano zmiany typowo występujące w ciekłych kryształach polegające na zmniejszeniu opóźnienia fazy i rozpraszania promieniowania. Autorka zarejestrowała zmiany mieszaniny 5005 w mikroskopie polaryzacyjnym, stwierdzając zmianę koloru, którą odniosła do zmniejszenia dwójłomności oraz powstawania wyraźnej tekstury w postaci kropeł po 120 sek. ekspozycji promieniowaniem o długości fali 385 nm. Nie stwierdzono negatywnego wpływu emisji długości fali 445nm.

W zakresie ferroelektrycznych ciekłych kryształów do badań wybrano mieszaninę W-212 z kątem przełączania 90° (rys.9), kierując się uzyskaniem szybkiej odpowiedzi elektrooptycznej i zmiany fazy o wartość π dla różnych stanów polaryzacji promieniowania. Główną zaletą materiałów FLC jest możliwość ich stosowania na zasadzie działania płytki falowej tj. opóźnienia fazowego z dwoma orientacjami w płaszczyźnie direktora kryształu. Transmisja mieszaniny W-212 była szczegółowo analizowana dla wartości 20V napięcia sygnału przemiennego i jego częstotliwości w zakresie 5Hz-200Hz. Na tej podstawie uzyskano informację dotyczącą wartości częstotliwości 50Hz, powyżej której nie następuje pełny obrót NC do stabilnych pozycji tj. direktor nie ustawia się w zakresie kątów 0° i 90° względem polaryzatora. Wzrost częstotliwości sygnału do 100Hz i napięcia sygnału do 84V powoduje prawidłową dynamikę obrotu kryształów oraz spodziewane obniżenie czasu odpowiedzi do poziomu ok. 1ms, a dla 140V odpowiednio 0,7ms. Dalszy wzrost parametrów sygnału do wartości 500Hz i 196 V potwierdzają wstępnie możliwości modulacyjne mieszaniny W-212.

Ich weryfikacja została potwierdzona w trakcie pomiarów dynamicznych zmiany fazy – wykazując uzyskanie przesunięcia fazowego o wartość π poniżej częstotliwości 50Hz (20V) i czasie odpowiedzi ok. 3ms. Dalszy wzrost częstotliwości do 400Hz skraca ten czas do wartości 0,2ms, ale zmiana fazy wynosi wtedy $0,24 \pi$. Autorka przeprowadziła pomiary zmiany fazy w funkcji temperatury wykazując dla wartości π próg 75°C oraz przejście w stan izotropowy w temp. 125°C . Dla tej samej wartości sygnału sterującego wykazano również brak wpływu stanu polaryzacji sygnału na wartość modulacji fazy równą π .

Podsumowując wyniki badań pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Walewskiej stwierdzam, że udowodniła ona postawioną w pracy tezę, prezentując: i) teoretyczną i doświadczalną analizę warunków pracy układu interferometrycznego, ii) dokonanie wyboru mieszanin NLC o pozytywnym znaku anizotropii dielektrycznej oraz FLC o kącie obrotu (90°) z uzasadnieniem wpływu wybranych składników mieszanin na właściwości zmiany fazy, iii) analizę pomiarów transmisji, dynamicznej zmiany fazy, właściwości dielektrycznych oraz wpływu temperatury i promieniowania UV na stabilność pracy kryształów NLC oraz iv) przeprowadzenie pomiarów kryształów FLC obejmujących transmisję, zmianę fazy oraz wpływ temperatury i polaryzacji sygnału modulującego. Należy podkreślić, że Autorka wykazała, możliwość kompleksowej oceny dynamicznej zmiany fazy uzyskując określone wartości pomiarowe, dyskutując wyniki i wykazując wpływ innych parametrów pracy LCs w odniesieniu do ich zastosowań aplikacyjnych.

5. Uwagi wynikające z lektury rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Dominiki Walewskiej została zrealizowana poprawnie. Zwróciłem uwagę na następujące aspekty dyskusyjne:

1. W ostatnim akapicie na str. 36 Autorka wskazuje na zależności wpływu budowy cząsteczki LC na ich parametry fizyczne, a w konsekwencji parametry modulacji. Czy zaobserwowane zostały i można wskazać również takie zależności w wybranych do badań mieszaninach?
2. Wyniki eksperymentalne modulacji fazy otrzymane dla sygnału sterującego przesuwnik piezoelektryczny przeprowadzone były do częstotliwości 20Hz – czy jest to wartość wystarczająca aplikacyjnie w kontekście uzyskanych wyników?
3. Na rysunkach 21 i 22 uzyskano nieliniowe wyniki modulacji fazy dla trójkątnego i sinusoidalnego sygnału sterującego w przypadku parametrów $a_2 \gg a_3$ oraz $a_2 \ll a_3$. Jakim wartościom parametru 2b odpowiadały wybrane zakresy. Jaka jest tolerancja 2b dla spełnienia warunku $a_2 = a_3$?
4. W jaki sposób można skrócić czas relaksacji mieszaniny 5005 – obiecującej do budowy układów modulacji fazy? Z drugiej strony na rys. 30c widać, że czas relaksacji próbki 5005B wydaje się krótszy niż w przypadku mieszanin 5005?
5. W pracy znalazłem drobne uchybienia językowe, ale najistotniejszą jest pomyłka w opisie zmian głębokości modulacji dla próbki 5005A, która wynosi maksymalnie ok. 11 rad, a nie 3,5 rad jak wskazuje Autorka – i sąd pytanie czy parametry tej mieszaniny nie są zbliżone aplikacyjnie do 5005?
6. Autorka stwierdza, że „dla mieszaniny 5005 na wykresie Cole–Cole'a pojawiają się dwa procesy relaksacji odpowiadające częstotliwościom 3kHz i 34 kHz, które wskazują na dwa

lub więcej oddzielnych procesów relaksacji”. Czy można te procesy zauważyć w pomiarach modulacji fazy?

7. Proszę o ustosunkowanie się do zastosowania mieszaniny 5005 w kontekście uzyskanego wyniku czasu odpowiedzi na poziome 130 ms w temperaturze pokojowej.
8. Na jakiej podstawie zaproponowano określone wartości gęstości mocy promieniowania w testach odporności w zakresie UV?
9. Jakie są oczekiwane wartości napięcia i częstotliwości sygnału modulującego w kryształach FLC do konstrukcji elementów FLC–SLM ?
10. Autorka na str. 88 stwierdza: „Jak widać poprzez zwiększenie amplitudy sygnału można zwiększyć poziom zmiany fazy oraz zwiększyć granicę częstotliwości pozwalającą na efektywne działanie FLC.”, z czym należy się zgodzić na podstawie zaprezentowanych wyników. Proszę o wskazanie parametrów modulacji mieszaniny W–212, który uważa Pani za optymalny.
11. Czy istnieje zależność pomiędzy temperaturą badanego FLC, a zadany sygnałem modulacji, w kontekście pomiarów przeprowadzonych dla amplitudy 10V i 5Hz?

Powyższe uwagi nie wpływają na ocenę wartości badań zaprezentowanych w dysertacji.

6. Dorobek i doświadczenie naukowe

W opracowaniu Doktorantka zawarła również informacje na temat swojej aktywności naukowej obejmującej: i) wyniki badań dotyczące pracy były opublikowane w 5 pracach z listy JCR ($\Sigma IF = 18,158$, 16 cytowań), 2 międzynarodowych materiałach konferencyjnych oraz prezentowane na 8 konferencjach, ii) inną aktywność naukową – 1 publikację JCR, 2 prezentacje konferencyjne.

Konkluzja

Osiągnięcia zaprezentowane w pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Dominiki Walewskiej pozwalają mi stwierdzić, że spełnia ona warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. (Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Dz.U.2020 poz. 85 z późn. zm.) i wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony. Ponadto mając na uwadze wskazane w recenzji osiągnięcia, potwierdzone aktywnością publikacyjną oraz zweryfikowane wystąpieniami na konferencjach krajowych i międzynarodowych, stawiam wniosek o wyróżnienie rozprawy.

Kraków, 16.12.2022 r.

Dominika Dorosz