

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Mariusza Deląga

**pt. *Właściwości energetyczno-światłne liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp
wyładowczych zasilanych prądem o różnej częstotliwości***

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Dyrektora Naukowego Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, Pana dr. hab. inż. Pawła Sitek, prof. PŚk, z dnia 24 października 2022 r. numer sprawy: EA-510-02/11 o powołaniu mojej osoby na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgra inż. Mariusza Deląga zatytułowanej "*Właściwości energetyczno-światłne liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych zasilanych prądem o różnej częstotliwości*" (zgodnie z Uchwałą Nr. 17/2022 Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 12 października 2022 r.).

Recenzowana rozprawa doktorska z dziedziny nauk inżyniersko-technicznych w dyscyplinie naukowej: Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika, obejmującą dotychczasową dyscyplinę Elektrotechnika. Przewód doktorski mgr inż. Mariusza Deląga został wszczęty przez Radę Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki w dniu 25 maja 2011 r. i jest prowadzony zgodnie z „dotychczasowymi zasadami”.

Rozprawa została wykonana na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach pod kierunkiem naukowym Promotora Pana dr hab. inż. Antoniego Różowicza, prof. PŚk.

2. Treść i zakres rozprawy doktorskiej

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera łącznie 138 stron. Składa się z następujących części: spisu treści, zestawienia ważniejszych oznaczeń, dziewięciu ponumerowanych rozdziałów (w tym celu i tezy pracy) oraz bibliografii. Podstawowy układ pracy nie budzi zastrzeżeń, a teza naukowa i cele pracy są spójne i logiczne.

W rozdziale wstępnym rozprawy doktorskiej Autor w sposób ogólny wprowadza czytelnika w problematykę stosowania technologii liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych i związane z tym zagadnieniem problemy techniczne i organizacyjne. Pomimo istniejących światowych tendencji wskazujących na konieczność stosowania technicznych rozwiązań oświetleniowych, charakteryzujących się wysokim wskaźnikiem efektywności energetycznej, nadal są powszechnie produkowane i stosowane klasyczne, wyładowcze źródła światła. Zastąpienie klasycznych technologii źródłami półprzewodnikowymi odbywa się stopniowo i musi mieć uzasadnienie techniczne, ekonomiczne i ekologiczne. Określone przez UE progowe wymagania dla stosowanych źródeł światła wskazują na konieczność doskonalenia istniejących rozwiązań technicznych. Jak przekonuje Autor, istnieje potencjał do poprawy parametrów technicznych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych i zbliżenia się lub

nawet przekroczenia stawianych obecnie wymagań. Należy nadmienić, że Autor wskazuje nie na jedną, ale na kilka potencjalnych dróg poprawy parametrów technicznych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych. Możliwość poprawy skuteczności świetlnej można uzyskać poprzez: optymalny dobór składu luminoforu, zasilanie lamp wyższymi częstotliwościami, optymalizację termicznych warunków środowiska pracy lamp.

Autor przyjął zasadną kolejność realizacji poszczególnych etapów rozprawy. W pierwszym etapie prac przeprowadzono pomiary luminancji energetycznej promieniowania rezonansowego UV, generowanego w wyładowaniu łukowym w parach rtęci niskiego ciśnienia. Wykonane badania umożliwiły następnie przeprowadzenie etapu pomiarów oraz analizy parametrów energetycznych. W dalszej kolejności Autor dokonał pomiarów morfologicznych i spektralnych luminoforów stosowanych w lampach fluorescencyjnych. Wykonanie tych badań było niezbędne, aby przeprowadzić badania parametrów świetlnych, co było przedmiotem analiz w kolejnym etapie rozprawy. W dalszych etapach pracy dokonano pomiarów oraz analizy parametrów elektrycznych lamp. Powyższe etapy pracy, zgodnie z założeniami wstępnymi, obejmowały badania w warunkach zmiany temperatury otoczenia oraz częstotliwości prądu w obwodzie lampy. Na podstawie przeprowadzonych badań dokonano analizy możliwości modelowania, a następnie przeprowadzono etap modelowania luminancji energetycznej oraz parametrów elektrycznych lamp funkcji zmian warunków otoczenia pracy (temperatura, częstotliwość prądu).

W rozdziale drugim, wprowadzając do zagadnienia, Autor omówił krótko scharakteryzował budowę niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych, omówił stosowane układy pracy i ich właściwości, mechanizm świecenia lamp oraz czynniki wpływające na parametry lampy. Całość analizy wykonano ze szczególną dbałością o wnikliwą analizę dostępnej literatury. Każdy z omawianych aspektów technicznych poparto oddzielnymi analizami i wnioskami.

Uzasadniając celowość realizacji badań w zaproponowanym w rozprawie zakresie, Autor wskazuje na szereg mankamentów istniejącej wiedzy literaturowej. W opinii autora brakuje informacji w zakresie: opisu morfologii luminoforów i ich zachowania w różnych warunkach pracy, wpływu częstotliwości zasilania oraz temperatury otoczenia na pracę lampy.

Autor konkluduje, że modele parametrów świetlnych oraz parametrów energetycznych w funkcji temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy pozwalają na właściwe projektowanie systemów oświetleniowych. Analizując dostępne modele analityczne opisujące zachowanie lamp stwierdza, że mają pewne cechy wspólne:

- odwzorowują poprawnie głównie charakterystyki wysokoczęstotliwościowe lamp,
- odwzorowują z niedostateczną dokładnością charakterystyki napięciowo prądowe dla niskich częstotliwości prądu w obwodzie lampy,
- nie uwzględniają zmian warunków środowiska pracy lampy (temperatury otoczenia),
- nie uwzględniają zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy przy równoczesnej zmianie temperatury otoczenia,
- nie opisują parametrów świetlnych lamp, a jedynie parametry elektryczne.

Analiza dostępnych modeli doprowadziła Autora do wniosku, że możliwe jest wykorzystanie istniejących modeli, które stanowią połączenie modeli łuku elektrycznego Cassiego oraz Mayra. Autor uważa, że model hybrydowy opracowany w rozprawie z wykorzystaniem modeli Cassiego oraz Mayra, z uwzględnieniem zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy oraz temperatury otoczenia, pozwoli na modelowanie parametrów elektrycznych lamp w każdych warunkach pracy.

O ile lektura rozdziału wstępnego oraz dwóch pierwszych podrozdziałów rozdziału drugiego prezentuje wiedzę ogólnodostępną, tak kolejny podrozdział rozdziału drugiego istotnie poszerza zasób informacji o czynnikach wpływających na parametry lampy. Należy uznać, że informacje zawarte w rozdziale drugim porządkują i systematyzują wiedzę czytelnika. Pozwalają także uzasadnić podjęte prace badawcze. Należy stwierdzić, że Autor opisując informacje zawarte

w rozdziałach 1 i 2 często, zasadnie i celnie odnosił się do literatury branżowej, ściśle związanej z rozważanymi w dysertacji zagadnieniami.

Dokonany przez Doktoranta przegląd literatury oraz przeprowadzona analiza stanu zagadnienia pozwoliła na określenie celów, tezy i zakresu pracy.

W pierwszej kolejności Doktorant sformułował cele pracy:

1. *Przeprowadzenie badań wielkości luminancji energetycznej wyładowania niskiego ciśnienia dominujących linii widmowych w funkcji zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury środowiska pracy.*
2. *Opracowanie modelu matematycznego luminancji energetycznej wyładowania niskiego ciśnienia dominujących linii widmowych w funkcji zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury środowiska pracy.*
3. *Przeprowadzenie badań morfologicznych luminoforów stosowanych w lampach różnym wskaźniku oddawania barw.*
4. *Określenie wpływu zmian temperatury środowiska pracy i częstotliwości prądu w obwodzie lampy na parametry świetlne lamp o różnych temperaturach barwowych.*
5. *Określenie wpływu zmian temperatury środowiska pracy i częstotliwości prądu w obwodzie lampy na parametry elektryczne lamp.*
6. *Opracowanie modelu matematycznego opisującego wielkości elektryczne.*

Doktorant sformułował sześć celi szczegółowych, cel główny dysertacji nie został formalnie określony w rozprawie. Wskazuje to na równorzędność analizowanych zagadnień przez Doktoranta. Nie jest konieczne definiowanie jednego, głównego celu, jednak takie podejście mogłoby jednoznacznie wskazać na zasadniczy problem rozprawy.

W następstwie Doktorant sformułował tezę pracy:

Temperatura środowiska pracy oraz częstotliwość prądu w obwodzie niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej w sposób istotny wpływają na parametry energetyczno-świetlne tych lamp.

W świetle przytoczonych badań literaturowych, uzasadnionych i zaprezentowanych przez Autora w rozdziałach wstępnych, postawiona teza rozprawy nie jest oczywista i wymagać będzie udowodnienia.

W nawiązaniu do postawionych celi, w dalszej kolejności Autor określił szczegółowy zakres pracy:

1. *Studia literatury o zasięgu krajowym oraz międzynarodowym z zakresu tematyki rozprawy doktorskiej charakteryzujące aktualny stan zagadnienia.*
2. *Opracowanie koncepcji stanowiska badawczego do pomiaru luminancji energetycznej wyładowania niskiego ciśnienia rtęciowych lamp wyładowczych oraz przygotowanie przedmiotu badań.*
3. *Przeprowadzenie pomiarów luminancji energetycznej wyładowania niskiego ciśnienia dominujących linii widmowych w funkcji zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury środowiska pracy.*
4. *Przeprowadzenie badań morfologicznych i spektralnych luminoforów stosowanych w lampach o różnych wskaźnikach oddawania barw.*
5. *Opracowanie koncepcji stanowiska badawczego pomiaru parametrów świetlnych lamp przy zmianie temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy.*
6. *Przeprowadzenie szczegółowych badań i analiz dotyczących wpływu częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury otoczenia na skuteczność świetlną, temperaturę barwową oraz tętnienie światła.*

7. *Przeprowadzenie pomiarów parametrów elektrycznych lamp w funkcji zmian temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy.*
8. *Przeprowadzenie analizy możliwości modelowania niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej.*
9. *Opracowanie modelu matematycznego lampy wraz z walidacją.*
10. *Szczegółowe wnioski i spostrzeżenia oraz podsumowanie zawierające propozycje dalszych możliwych badań.*

W kolejnym rozdziale doktorant szczegółowo opisuje promieniowanie rezonansowe UV, parametry określające to promieniowanie i wprowadza do zagadnień pomiarowych opisując zbudowane stanowisko badawcze. Pomiary parametrów promieniowania przeprowadzano spektrometrem z siatką dyfrakcyjną umożliwiającą pomiar w zakresie od 160 nm do 1100 nm. Zmianę temperatury otoczenia w przedziale od -30°C do $+50^{\circ}\text{C}$ symulowano w komorze klimatycznej. Pomiary wartości elektrycznych (prąd, napięcie oraz ich przebiegi czasowe) przeprowadzano za pomocą zestawu pomiarowego: sondy prądowej, sondy napięciowej i oscyloskopu. Temperaturę otoczenia, temperaturę ścianki rury wyładowczej (w centralnej jej części) oraz temperaturę wewnątrz rury wyładowczej mierzono za pomocą zestawu pomiarowego: sondy temperatury i rejestratora. Należy podkreślić, że sonda służąca do odczytu temperatury wewnątrz rury wyładowczej została w niej zatopiona.

W podrozdziale 4.3 badany był wpływ temperatury otoczenia na wartość promieniowania rezonansowego UV. Wyniki przeprowadzonych przez Autora badań wskazują, że temperatura otoczenia ma istotny wpływ na wielkość emisji poszczególnych linii rezonansowych. Zmiana intensywności emisji poszczególnych linii jest proporcjonalna do zmiany temperatury otoczenia. Zmiana temperatury otoczenia od $+30^{\circ}\text{C}$ do -30°C skutkuje zmniejszeniem intensywności promieniowania poszczególnych linii rezonansowych o około 83%. Wraz ze zmianą temperatury otoczenia w tym zakresie zmienia się także temperatura wewnątrz rury wyładowczej od $+40^{\circ}\text{C}$ do $+3^{\circ}\text{C}$, a więc zmienia się ciśnienie par rtęci. Prawdopodobieństwo wzbudzenia atomu rtęci przez elektron swobodny, gdy temperatura i ciśnienie par rtęci maleje, będzie także malało. Natomiast wzrost temperatury otoczenia od $+30^{\circ}\text{C}$ do około $+50^{\circ}\text{C}$ powoduje spadek intensywności promieniowania o około 8%, niezależnie od długości i mocy rury wyładowczej. Temperatura otoczenia powyżej $+30^{\circ}\text{C}$ powoduje wyższe ciśnienie par rtęci, a intensywność linii rezonansowych spada w związku ze znacznym wzrostem samoabsorpcji promieniowania rezonansowego. Wartość emisji promieniowania rezonansowego wpływa wprost proporcjonalnie na wartość luminancji energetycznej. Autor kontynuował badania wskazując, że maksymalne wartości luminancji energetycznych głównych linii rezonansowych $\lambda = 184,9 \text{ nm}$ oraz $\lambda = 253,7 \text{ nm}$ lamp o różnych mocach występują w temperaturach otoczenia $+29,8^{\circ}\text{C}$ do $+30^{\circ}\text{C}$. Autor wskazuje, że niezależnie od mocy lampy maksymalne wartości luminancji energetycznej osiągane są w tej samej temperaturze. Wynik uzyskany przez Autora wskazuje, że wartość luminancji energetycznej w funkcji temperatury praktycznie nie zależy od mocy lampy. Temperaturę analizowano zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz rury lampy. W dalszych badaniach Autor na podstawie uzyskanych danych wskazuje, że temperatura na powierzchni ścianki rury jest zależna od temperatury otoczenia i decyduje o temperaturze wewnątrz rury wyładowczej oraz ciśnieniu par rtęci, a więc również o intensywności emisji promieniowania UV.

W podrozdziale 4.4. Autor badał wpływ częstotliwości prądu w obwodzie lampy na wartość promieniowania rezonansowego UV. Dokonano pomiarów luminancji energetycznej głównych linii rezonansowych $\lambda = 184,9 \text{ nm}$ oraz $\lambda = 253,7 \text{ nm}$. Częstotliwość prądu w obwodzie lampy zmieniano w zakresie od 50 Hz do 50 kHz. Doktorant wykazał, że częstotliwość prądu w obwodzie lampy w sposób istotny wpływa na wartość luminancji energetycznej głównych linii rezonansowych. Uzyskany wynik wskazuje na znaczący wzrost luminancji energetycznej o około 25-27% (w odniesieniu do częstotliwości 50 Hz) w przedziale częstotliwości prądu w obwodzie

lampy od 1 kHz do około 20 kHz. W opinii recenzenta informacja ta może być kluczowa do poprawy parametrów energetycznych badanych lamp.

W podrozdziale 4.5. badano jednoczesny wpływ temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy na wartość promieniowania rezonansowego UV. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują, że wartość luminancji energetycznej głównych linii rezonansowych jest funkcją częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury otoczenia (środowiska pracy). Opierając się na uzyskanych w trakcie badań wartościach luminancji energetycznej lamp o różnych mocach, które są funkcją częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury otoczenia, Autor rozprawy zaproponował opis matematyczny luminancji energetycznej w funkcji częstotliwości prądu w obwodzie lampy i temperatury otoczenia. Wyniki analizy luminancji energetycznej lampy wyznaczone z opracowanego modelu matematycznego i badań eksperymentalnych wykazują dużą zgodność.

W rozdziale 5 Doktorant przeprowadza szczegółową analizę konwersji promieniowania UV na promieniowanie widzialne. Zagadnienie to związane jest z badaniami morfologii i zachowania luminoforów stosowanych do pokrycia wnętrza rury lampy rtęciowej. Opisano szczegółowo typy i właściwości luminoforów oraz problemy z ich nanoszeniem na wnętrze rury lampy. Doktorant szczególną uwagę poświęcił na zagadnienie konwersji promieniowania UV na światło widzialne. Luminofor pobudzony promieniowaniem o dużej energii UV emituje promieniowanie o mniejszej energii w zakresie widzialnym, a więc przesuwając widmo w kierunku fal dłuższych, zmieniając również jego charakter z liniowego w pasmowe. Jak wykazał Doktorant, sprawność energetyczna luminoforu bezpośrednio wpływa na skuteczność świetlną lampy. Sprawność falowa, a zatem i sprawność energetyczna jest większa, jeśli obie linie widmowe, tj. absorbowana i emitowana, są mniej odległe. Dlatego w lampie ciśnienie par rtęci należy ustalać tak, by dominowała linia rezonansowa $\lambda = 253,7$ nm, a nie druga linia rezonansowa rtęci $\lambda = 184,9$ nm.

Rozdział 6 został poświęcony analizie zagadnień oświetleniowych. Jak wykazał Doktorant złożoność procesów i zjawisk związanych z zachowaniem określonych materiałów fluorescencyjnych wymusza zastosowanie eksperymentu jako podstawowego narzędzia analitycznego. Doktorant stwierdza: „wydaje się, że najbardziej wiarygodną ocenę wpływu poszczególnych proszków fluorescencyjnych, temperatury środowiska pracy i zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy można przeprowadzić jedynie na podstawie badań eksperymentalnych”. Przedstawiony materiał uzasadnia takie podejście.

Przeprowadzono ocenę wpływu zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy na wartość strumienia świetlnego i skuteczności świetlnej lamp o różnej temperaturze barwowej emitowanego światła oraz różnych współczynnikach oddawania barw. Analiza wyników przeprowadzonych badań wskazuje na silną zależność skuteczności świetlnej od częstotliwości prądu w obwodzie lampy. Wzrost częstotliwości prądu w obwodzie lampy skutkuje wzrostem luminancji energetycznej wyładowania w parach rtęci, a to tłumaczy wzrost skuteczności świetlnej. Na dalszym etapie uszczegółowiono w celu wyjaśnienia występujących różnic względnej skuteczności świetlnej lamp (o różnych temperaturach barwowych) o tej samej częstotliwości prądu w obwodzie lampy przeprowadzono badania w zakresie stosowania luminoforów jednopasmowych. Analiza wyników przeprowadzonych badań lamp pokrytych luminoforami jednopasmowymi wskazała, że maksymalna skuteczność świetlna osiągnięta jest przy częstotliwości prądu w obwodzie lampy wynoszącej 20-23 kHz. Największą względną skuteczność świetlną wykazuje lampa pokryta luminoforem czerwonym, a najmniejszą lampa pokryta luminoforem niebieskim. Doktorant wykazał, że najbardziej istotnym elementem, który decyduje o różnicach skuteczności świetlnej lamp, jest luminofor.

Kontynuując zagadnienie Doktorant wykonał szczegółowe analizy morfologiczne stosowanych luminoforów. Ocenę wpływu jednorodności i granulacji luminoforu na parametry świetlne badanych lamp (strumień świetlny, skuteczność świetlną) przeprowadził metodą skaningu elektronowego. Wyniki z przeprowadzonych badań wskazują, że procentowe udziały

poszczególnych granulacji kryształów w luminoforach stosowanych w lampach $Ra > 80$ i $Ra > 90$ są bardzo zbliżone. Rozkład zmienności granulacji kryształów luminoforów (mieszanin) jest zależny od procentowego udziału luminoforów jednopasmowych (niebieskiego, zielonego, czerwonego) w luminoforze. W luminoforach lamp o wyższych temperaturach barwowych występuje procentowo więcej kryształów o większej granulacji. Kryształy o większej granulacji cechują się większą samoabsorbencją wewnętrzną, co skutkuje zmniejszeniem strumienia świetlnego. Przedstawiona analiza wyjaśnia występowanie różnic skuteczności świetlnej lampy o różnych temperaturach barwowych przy danej częstotliwości prądu w obwodzie lampy.

W podrozdziale 6.4. Doktorant ocenił skuteczność świetlną lamp w funkcji zmian temperatury otoczenia. Analiza wyników badań wskazuje, że maksymalna wartość skuteczności świetlnej lamp, niezależnie od współczynnika oddawania barw, jest osiągana w temperaturze otoczenia od $29,7^{\circ}\text{C}$ do $30,5^{\circ}\text{C}$ – w takiej temperaturze otoczenia występuje także maksymalna wartość luminancji energetycznej. Natomiast przy zmianie temperatury otoczenia od $+30^{\circ}\text{C}$ do -30°C obserwowano zmniejszanie się skuteczności świetlnej, gdyż wraz ze zmniejszaniem temperatury otoczenia zmniejsza się prawdopodobieństwo wzbudzenia atomu rtęci.

W kolejnym podrozdziale przeprowadzono dodatkowe badania wpływu elementów układu lampy na uzyskiwaną skuteczność świetlną. W tym celu przebadano lampy z luminoforami jednopasmowymi (czerwonym, zielonym i niebieskim dla lamp z $Ra \geq 80$ oraz niebieskim, niebiesko-zielonym, zielonym, czerwonym 610 nm oraz czerwonym 625 nm dla $Ra \geq 90$).

Wyniki uzyskane przez Doktoranta na stanowisku pomiarowym wskazują, że:

- intensywność promieniowania w zakresie pasma widzialnego (a więc sprawność konwersji) niezależnie od rodzaju luminoforu jest proporcjonalna do intensywności promieniowania wysokoenergetycznego UV (wartości luminancji energetycznej) w danej temperaturze otoczenia,
- w niskich temperaturach otoczenia -30°C temperatura wewnątrz rury wyładowczej wynosi około 0°C , a więc względna intensywność promieniowania wysokoenergetycznego jest niewielka.

Doktorant wykazał, że zmiana temperatury otoczenia w sposób istotny wpływa na kształt widma promieniowania generowanego przez badane lampy pokryte luminoforami jednopasmowymi. Wyniki uzyskane przez Doktoranta z przeprowadzonych badań eksperymentalnych wyjaśniają mechanizm zróżnicowanych zmian skuteczności świetlnej lamp o różnych temperaturach barwowych przy zmianie temperatury otoczenia.

W podrozdziale 6.4 Doktorant analizował skuteczność świetlną lamp w funkcji temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy. Do oceny skuteczności i sprawności konwersji promieniowania wysokoenergetycznego UV na promieniowanie w paśmie widzialnym Doktorant przeprowadził badania eksperymentalne wpływu temperatury środowiska pracy (temperatury lampy) i częstotliwości prądu w obwodzie lampy na wartość strumienia świetlnego i skuteczności świetlnej. Uzyskał wyniki zaprezentowane w rozprawie (przykładowe wyniki) za pomocą trójwymiarowych krzywych przestrzennych.

W podrozdziale 6.5 analizowano zmianę temperatury barwowej wywołaną zmianami funkcji temperatury otoczenia (6.6.1) oraz funkcji częstotliwości prądu w obwodzie lampy (6.6.2). Także dla tych zależności Doktorant wyznaczył zależności za pomocą eksperymentu.

Doktorant opracował wyniki w postaci modelu 3D temperatury barwowej emitowanego światła przy jednoczesnych zmianach temperatury otoczenia w zakresie zmian od -30°C do $+50^{\circ}\text{C}$ i zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy w zakresie od 50 Hz do 50 kHz. Przedstawione wyniki badań wskazują, że temperatura otoczenia i częstotliwość prądu w obwodzie lampy mają wpływ na wartość temperatury barwowej światła emitowanego przez lampy. Największą wrażliwością na zmianę temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy cechują się luminofory jednopasmowe (niebieskie), a najmniejszą wrażliwość na zmiany wykazuje luminofor zielony.

Doktorant w podrozdziale 6.7 analizował problem tętnienia światła. Badania przeprowadzono w kuli Ulbrichta z wykorzystaniem fotodiody i oscyloskopu dla lamp o $R_a \geq 80$ i $R_a \geq 90$ oraz lamp pokrytych luminoforami jednopasmowymi przy częstotliwości prądu w obwodzie lampy od 50 Hz do 50 kHz.

Doktorant wykazał, że każdy z luminoforów stosowanych w lampach cechuje się inną wielkością fluorescencji, czyli innym czasem trwania poświaty. Przy częstotliwości prądu w obwodzie lampy wynoszącej 50 Hz, największy współczynnik tętnienia mają lampy pokryte luminoforem o emisji niebieskiej, natomiast najmniejszy współczynnik tętnienia mają lampy pokryte luminoforem o emisji zielonej. Natomiast wartości współczynników tętnienia światła lamp pokrytych luminoforami jednopasmowymi o częstotliwości prądu w obwodzie lampy 15 kHz i wyższej są bardzo zbliżone.

Znajomość charakterystyk napięciowo-prądowych lampy w różnych warunkach pracy jest konieczna do prawidłowego projektowania układów pracy lamp oraz systemów oświetleniowych. W podrozdziale 7.1 Doktorant wyjaśnia procesy towarzyszące wyładowaniu w parach rtęci. Następnie w kolejnym podrozdziale 7.2 opisuje stanowisko badawcze wykorzystywane do przeprowadzenia badań eksperymentalnych oceny wpływu zmian temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy na parametry elektryczne badanych lamp. Przeprowadza liczne eksperymenty z zachowaniem prawidłowej stabilizacji mierzonych parametrów. Dla wybranych temperatur środowiska pracy lampy z przedziału od -30°C do $+50^{\circ}\text{C}$ i zmianie częstotliwości prądu w obwodzie lampy od 50 Hz do 50 kHz Doktorant przeprowadził pomiary parametrów elektrycznych: częstotliwości, napięcia, prądu oraz wyznaczył ich przebiegi czasowe (podrozdział 7.3). Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań wskazują, że wpływ na wartość parametrów napięciowych (napięcia zapłonu, wartości skutecznej napięcia) lamp mają: częstotliwość prądu w obwodzie lampy oraz temperatura otoczenia (środowiska pracy lampy). Następnie do opisu powyższych zależności zastosowano narzędzie Curve Fitting Tool zaimplementowane w środowisku Matlab, poszukując najlepszego dopasowania funkcji opisujących zarejestrowane eksperymentalnie zależności. Jakość dopasowania mierzono współczynnikiem determinacji R^2 .

W kolejnym podrozdziale 7.4 doktorant zarejestrował wpływ temperatury otoczenia na parametry energetyczne lampy. Analiza wyników przeprowadzonych badań przez Doktoranta wskazuje, że temperatura otoczenia wpływa na wartość napięcia na lampie. Wzrost temperatury otoczenia od -30°C do $+30^{\circ}\text{C}$ powoduje wzrost napięcia na lampie wynoszący od 14% do 18%. Natomiast dalszy wzrost temperatury otoczenia do $+50^{\circ}\text{C}$ skutkuje spadkiem napięcia od 4% do 6%. W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono charakterystyki napięciowo-prądowe w funkcji temperatury otoczenia i częstotliwości prądu w obwodzie lampy. Analiza uzyskanych w trakcie badań danych wskazała, że charakter zmian dla każdej z badanych lamp jest podobny i jest niezależny od mocy lampy.

Wyniki przeprowadzonych przez Doktoranta badań wskazują, że parametry elektryczne lamp są zależne od: częstotliwości prądu w obwodzie lampy, wartości prądu w obwodzie lampy, długości rury wyładowczej, temperatury otoczenia. Zależności te zostały opisane przez niego w postaci równania. Opracowany model odwzorowuje parametry napięciowe i prądowe przy wyższych częstotliwościach prądu w obwodzie lampy. Jak podkreśla Doktorant, zaproponowany model ma ograniczenia, nie rozwiązuje całościowo problemu i nie może stanowić modelu lampy w pełnym zakresie zmian od niskiej do wysokiej częstotliwości prądu w obwodzie lampy.

W rozdziale 7.5 Doktorant podjął się zadania zaproponowania modelu do opisu pracy niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej. Wprowadzając do zagadnienia, posiłkując się literaturą i stosowanymi równaniami, opisuje główne założenia modelu. Wyniki przeprowadzonych badań umożliwiły Doktorantowi sformułowanie dodatkowych założeń, które zostały uwzględnione w budowanym modelu lampy tj.:

- napięcie łuku zależne jest od temperatury otoczenia oraz długości lampy,

- moc rozpraszana przez łuk do otoczenia zależna jest od temperatury otoczenia, częstotliwości prądu w obwodzie lampy oraz długości lampy,
- stałe czasowe związane z elektrycznymi parametrami łuku w modelu Cassiego i Mayra są sobie równe.

Po uwzględnieniu powyższych założeń doktorant sformułował model łączący szeregowo model Cassiego oraz Mayra, tzw. model hybrydowy, analogiczny do modelu Habedanka. W kolejnym kroku przeprowadził modelowanie w środowisku Matlab-Simulink. Opracowany przez Doktoranta model umożliwia dowolną zmianę parametrów oraz ocenę zgodności danych uzyskanych w trakcie symulacji z danymi pomiarowymi. Wartości każdego z parametrów wejściowych modelu zmieniał krokowo, a uzyskane wyniki symulacji w każdym przypadku porównywał z danymi uzyskanymi w trakcie badań na obiektach rzeczywistych. Jako funkcję celu określił maksymalizację wartości współczynnika dopasowania modelu do danych empirycznych, na poziomie $R^2 \geq 0,95$, którą spełnił. Analizowano: wpływu częstotliwości prądu w obwodzie lampy na charakterystykę napięciowo-prądową lampy oraz wpływu temperatury otoczenia na charakterystykę napięciowo-prądową lampy. Następnie Doktorant dokonał weryfikacji modelu poprzez porównanie wyników badań eksperymentalnych i analiz symulacyjnych. Za miarę dopasowania wyników pomiarów uzyskanych na obiekcie rzeczywistym do otrzymanych z symulacji komputerowej Doktorant przyjął współczynnik determinacji R^2 . Weryfikacji przyjętego modelu lampy dokonano poprzez ocenę zgodności obliczeń modelowych z wynikami badań empirycznych grupy lamp o mocy od 14 W do 80 W.

Doktorant uzyskał wartość współczynnika determinacji R w przedziale od 0,975 do 0,988, co potwierdza wysoką zgodność opracowanego modelu lampy z obiektem rzeczywistym. Uzyskane wyniki potwierdziły, że opracowany model lampy opisuje charakterystyki napięciowo-prądowe z dużą dokładnością i może być stosowany do projektowania układów pracy niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych o średnicy 16 mm. Wstępne badania wskazują także, że model lampy może znaleźć zastosowanie również do analizy układów pracy lamp o innych średnicach rury wyładowczej.

Rozdział ósmy stanowi podsumowanie rozprawy, w którym Doktorant w sposób syntetyczny dokonał opisu przeprowadzonych badań, zrealizowanych symulacji i wykonanych analiz. Doktorant prawidłowo interpretuje wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych badań.

Uzyskane wyniki wskazują, że określone przez Doktoranta w rozdziale 3.1 wszystkie cele pracy zostały osiągnięte.

Doktorant słusznie stwierdza, że postawiona teza naukowa rozprawy doktorskiej „temperatura środowiska pracy oraz częstotliwość prądu w obwodzie niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej w sposób istotny wpływają na parametry energetyczno-światłowe tych lamp” została w pełni udowodniona.

Na końcu rozdziału wskazano na osiągnięcia własne Doktoranta i planowane kierunki przyszłych badań.

Na końcu dysertacji zamieszczono spis bibliografii, który składa się z 159 pozycji publikacyjnych (75 w języku angielskim, 2 w języku niemieckim, 3 w języku czeskim, 1 po rosyjsku, 12 wydanych po 2017 roku), dyrektywy oraz jednej pozycji odnoszącej się do dokumentacji technicznej producenta oprogramowania i jednego odnośnika do strony internetowej (bez podania daty dostępu). Nadmienić należy, że wśród wymienionych pozycji w zamieszczonym wykazie znajduje się 19 pozycji, w których Doktorant był autorem (2) lub współautorem (17) publikacji opracowanych wraz z Promotorem.

Dobór pozycji bibliograficznych jest trafny, a sposób cytowania prawidłowy. Bibliografia wykorzystana w doktoracie zawiera liczne pozycje zwarte. Doktorant wykazał się umiejętnością doboru literatury naukowej, niezbędnej do opracowania tematu rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska jest napisana językiem komunikatywnym, z użyciem prawidłowego słownictwa i terminologii technicznej z omawianego obszaru. Należy podkreślić skrupulatność w prezentacji wyników, edycji tekstu i grafik.

3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Liniiowe niskociśnieniowe rtęciowe lampy wyładowcze są i nadal będą przez wiele lat produkowane i eksploatowane. Cechy techniczne i cena jednostkowa powodują, że ich wymiana na technologię LED może okazać się nieopłacalna w krótkiej perspektywie czasowej. Należy się liczyć z faktem, że powszechność stosowania tych źródeł światła będzie powodowała jeszcze przez wiele lat konieczność ich stosowania w istniejących instalacjach oświetleniowych. Nie można deprecjonować zastosowania tego rodzaju lamp w specjalnych aplikacjach np. do sterylizacji pomieszczeń i materiałów lub utwardzania metodą UV, gdzie nadal często i powszechnie stosuje się je w kontrolowanych warunkach temperaturowych.

Zapewnienie odpowiednich warunków temperaturowych pracy liniowym niskociśnieniowym rtęciowym lampom wyładowczym jest kluczowym czynnikiem wpływającym, ich sprawność, trwałość i niezawodność. Coraz powszechniejsze stosowanie elektronicznych układów zapłonowo-zasilających z wbudowanymi funkcjami sterującymi pracą lampy wymusza konieczność pozyskania charakterystyk lampy do zrealizowania poprawnych warunków pracy całego układu i osiągnięcia zakładanych efektów energetycznych i oświetleniowych.

Parametry świetlne niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych zmieniają się w zależności od temperatury otoczenia. Dotyczy to wszystkich parametrów, których badania przeprowadzono, a w szczególności wartości strumienia świetlnego, rozkładu widmowego promieniowania oraz temperatury barwowej. Znajomość zależności wartości poszczególnych parametrów świetlnych w funkcji temperatury otoczenia jest przydatna m.in. na etapie projektowania systemów oświetleniowych i może mieć wpływ na wybór konkretnego rozwiązania w zależności od oczekiwanych warunków środowiskowych.

Zaprezentowane przez Doktoranta w dysertacji zagadnienia badawcze odnoszą się do szeregu aspektów związanych z pracą lampy (mechanizmem wyładowania), użytych materiałów (luminoforów) i warunków pracy (temperatury) jak i zasilania. Jak wykazał Doktorant na podstawie wnikliwej analizy, mechanizmy tych zmian nie zostały dotychczas precyzyjnie opisane w literaturze. Zagadnienia te są częściowo przedmiotem prac badawczych prowadzonych w środowisku naukowym, jednak jak dotąd nie opisano ich w sposób wystarczająco pełny w odniesieniu do konkretnych, typowych konstrukcji lamp. Rozpoznanie powyższych zależności wymagało od Doktoranta przeprowadzenia wnikliwych, czasochłonnych i złożonych eksperymentów pomiarowych, zmierzających w efekcie do analitycznego opisu zaproponowanym modelem zachowania lampy. Przeprowadzona analiza stanu zagadnienia umożliwiła sformułowanie tezy naukowej rozprawy doktorskiej i zakresu pracy, który obejmuje komplementarny szereg zrealizowanych zagadnień badawczych.

Należy podkreślić systemowe ujęcie problemu przez Doktoranta, spójność i zaproponowane podejście badawcze które pozwoliło na systemowe spojrzenie na postawione w rozprawie problemy. Omówione i analizowane w dysertacji zagadnienia zostały przez Doktoranta przemyślane i ułożone w logiczny ciąg działań, zmierzających do rozwiązania zagadnienia naukowego. Doktorant w sposób uzasadniony i racjonalny stosuje podejście pomiarowe do zrealizowania postawionych celów. Na podstawie uzyskanych wyników z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wyciąga wnioski i formułuje opisy analityczne. Świadczy to o nabyciu umiejętności zaplanowania i rozwiązania postawionego problemu badawczego oraz samodzielnym przeprowadzeniu interdyscyplinarnych prac badawczych.

Rozprawa doktorska pt. „*Właściwości energetyczno-świetlne liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych zasilanych prądem o różnej częstotliwości*” wpisuje się w obecne

działania środowisk badawczych (uczelni, instytutów badawczych i jednostek przemysłowych) mierzących do efektywnego wykorzystania istniejących rozwiązań technicznych i racjonalizacji zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe. Autor słusznie wskazał na problemy: kontroli temperatury warunków pracy lampy, zmianę częstotliwości zasilania i znajomość morfologii stosowanych materiałów na luminofory. Znajomość tych zagadnień może wpłynąć na poprawę efektywności wykorzystania istniejącej technologii liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych i opracowanie efektywniejszych układów zasilających (np. wyposażonych w czujnik temperatury lampy).

Zagadnienia omówione w rozprawie stanowią rozległe kompendium wiedzy na temat badania i pracy oraz warunków eksploatacji niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych. Trzeba stwierdzić, że jest to materiał oryginalny, wnikliwy i obszerny, a zagadnienia prezentowane w rozprawie mają dalszy wieloaspektowy potencjał badawczy.

Do najważniejszych osiągnięć naukowych Doktoranta zaliczam:

- przeprowadzenie badań luminancji energetycznej wyładowania niskiego ciśnienia w funkcji zmian częstotliwości prądu oraz temperatury środowiska pracy,
- opracowanie modelu matematycznego luminancji energetycznej wyładowania niskiego ciśnienia w funkcji zmian częstotliwości prądu oraz temperatury środowiska pracy,
- przeprowadzenie badań morfologicznych luminoforów stosowanych w lampach różnym wskaźniku oddawania barw,
- przeprowadzenie badań morfologicznych warstwy luminoforów stosowanych w lampach,
- określenie wpływu zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy oraz temperatury jej środowiska pracy na parametry świetlne lamp,
- opracowanie modelu parametrów świetlnych w funkcji zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy oraz temperatury jej środowiska pracy,
- określenie wpływu zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy oraz temperatury środowiska jej pracy na parametry elektryczne,
- opracowanie modelu charakterystyki napięciowo-prądowej w funkcji zmian częstotliwości prądu w obwodzie lampy oraz temperatury jej środowiska pracy.

Poza rozważanymi przez Doktoranta aspektami naukowymi i technicznymi, polegającymi na ustaleniu relacji termiczno-emisyjnych związanych ze zmianą parametrów zasilania liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych, pragnę podkreślić, że istnieje ważny i wymierny, a często lekceważony aspekt ekologiczny. Wszystkie działania zmierzające do stosowania efektywnych układów oświetleniowych należy traktować jako pilną potrzebę, związaną z koniecznością globalnego ograniczenia zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe i jednoczesnym ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych w tym CO₂. Działania te mogą być realizowane także przez modyfikacje techniczne niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych.

Zatem działania podjęte przez Autora należy uznać za zasadne i potrzebne społecznie.

4. Uwagi ogólne i szczegółowe

Do badań wybrano określoną licznosc próby źródeł światła.

1. Uprzejmie proszę o wyjaśnienie i uzasadnienie zasadności wyboru obiektu badań, liczności próby i sposobu jej doboru.
2. Jak w ocenie Doktoranta dobór próby mógłby wpłynąć na wyniki zamieszczone w rozprawie?

W rozwiązaniach technicznych opraw oświetleniowych z liniowymi niskociśnieniowymi rtęciowymi lampami wyładowczymi i zasilaczem energoelektronicznym stosuje się funkcjonalność regulacji strumienia świetlnego (mocy opraw).

3. Jak w świetle badań zawartych w rozprawie można byłoby opisać proces regulacji (zmiany) strumienia świetlnego opraw?

Pomiary temperatury wykonano sondami temperaturowymi, co jest zasadne w pomiarach realizowanych w komorze termicznej.

4. Czy zdaniem Doktoranta w rzeczywistych warunkach pracy możliwe jest wyznaczenie temperatury zewnętrznej części lampy z wykorzystaniem technik termograficznych?

Pewnym mankamentem jest niezamieszczenie w rozprawie klasycznego układu pracy lampy z dławikiem elektromagnetycznym i opisanie właściwości tego rozwiązania.

Na rysunku 4.3. (Układ zasilania niskociśnieniowej rtęciowej lampy wyładowczej ze statecznikiem elektronicznym) brakuje oznaczeń związanych ze sterowaniem kluczami tranzystorowymi i symbolu napięcia przemiennego w obwodzie wejściowym. Poza tym z zamieszczonego opisu wynika, że jest to układ Autora dysertacji (brak oznaczeń z odniesień do literatury). Czy jest to prawda?

Na stronie 21 Doktorant stwierdza „*Schemat ideowy układu pracy lampy ze statecznikiem elektronicznym przedstawiono na rysunku 4.3*”.

5. Czy jest to jedyny stosowany schemat układu pracy lampy ze statecznikiem elektronicznym?

Z opisu zamieszczonego nad rysunkiem wynika, że nie ma innych. Uzasadnione byłoby dodanie słowa przykładowy.

Na stronie 23 Doktorant napisał: „... *Napięcie na lampie jest sumą spadków napięcia na elektrodach (anodzie i katodzie)*...”

6. Proszę o wyjaśnienie czy przy zasilaniu napięciem przemiennym uzasadnione jest posługiwanie się pojęciem anoda i katoda?

Na stronie 85, w podrozdziale 6.6.2 Doktorant napisał: „*Producenci lamp, podając w katalogach np. wielkość strumienia świetlnego, temperaturę barwową, nie podają jednocześnie, w jakich warunkach uzyskuje się te wartości ...*”

7. Proszę Doktoranta o podjęcie próby zdefiniowania wymagań dla producentów np. związanych z temperaturą.

Na stronie 95 w rozdziale 7.2, Doktorant napisał: „*Dla zapewnienia stabilnego zapłonu lampy zastosowano układ podgrzewania elektrod. Układ ten odłączano po zapłonie lampy...*”

8. Proszę o wyjaśnienie, jak była realizowana ta funkcjonalność i jak wyglądał schemat elektryczny dla tej konfiguracji obwodu pomiarowego.

Na stronie 95 w rozdziale 7.2, Doktorant napisał: „*Zmiana temperatury lampy następuje do momentu, w którym ustali się równowaga termiczna lampy–otoczenie.*”

9. Uprzejmie proszę o opisanie zastosowanej procedury stabilizacji temperaturowej podczas rejestracji wartości temperatury badanej lampy.

W rozprawie nie rejestrowano zmian ciśnienia wnętrza lampy.

10. Czy rejestracja zmian ciśnienia jest możliwa?

11. Czy stabilizacja temperatury jest jednoznaczna ze stabilizacją ciśnienia wnętrza lampy?

W rozprawie nie odniesiono się do kwestii trwałości badanych źródeł światła.

12. Czy można prognozować trwałość badanych lamp na podstawie przeprowadzonych w rozprawie badań i wykonanych analiz?

Proszę Doktoranta o pisemne odniesienie się do zgłoszonych powyżej uwag i wątpliwości.

Recenzowana rozprawa ma charakter praktyczno - teoretyczny. Do wykonania jej niezbędna była bardzo dobra znajomość zagadnień związanych z elektrotechniką, chemią, oświetleniem i zagadnieniami termicznymi. Na podkreślenie zasługuje fakt, że dla przedstawionych rozważań Autor widzi praktyczne zastosowanie, które wskazuje w końcowej części pracy i związane jest z poprawą efektywności energetycznej i redukcją kosztów eksploatacji instalacji oświetleniowych.

Rozprawa doktorska jest napisana językiem komunikatywnym. Rysunki są czytelne, ujednolicone i bardzo estetycznie wykonane, zawierają właściwe opisy i jednostki. Strona edycyjna pracy reprezentuje bardzo dobry poziom i świadczy o znajomości techniki składu komputerowego. Drobnymi mankamentami są bardzo nieliczne błędy edytorskie, które nie wpływają na odbiór treści merytorycznej przez czytelnika.

Są to m.in.:

- literówka na stronie 95 „...różnej temperaturze otoczenia..”, powinno być: różnej temperatury otoczenia,
- literówka na stronie 110 „...Dotychczasowe analizy nie obejmowały oceny wpływ zmian temperatury otoczenia..”, powinno być: wpływu.
- wprowadzenia do rozdziałów 2, 4, 5 i 7 powinny być umieszczone w podpunkcie (np. 2.1, 4.1, 5.1, 7.1 Wprowadzenie) tak jak w rozdziale 6 i podrozdziale 6.1,

Korzystne dla czytelnika byłoby zamieszczenie w rozprawie takich elementów, jak: streszczenia w języku polskim oraz w języku angielskim, spis rysunków, spis tabel, tytuł w języku angielskim, słowa kluczowe zarówno w języku polskim, jak i w angielskim.

Pewnym mankamentem rozprawy jest brak załączników, w których można było zamieścić szczegółowe wyniki pomiarów, dodatkową dokumentację, wyniki wybranych analiz dokumentujące wykonane prace.

Zawarte w recenzji uwagi i zastrzeżenia nie wpływają w sposób znaczący na wysoką wartość merytoryczną rozprawy. Praca nie wymaga w związku z tym zmian ani uzupełnień.

5. Wniosek końcowy

Oceniana rozprawa doktorska dotyczy ciekawego i aktualnego zagadnienia badawczego. Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego o znaczeniu praktycznym, z udokumentowanym aspektem nowości i systematyzacji wiedzy.

Mając na uwadze kompleksową ocenę zawartości rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Mariusza Deląga pt. „Właściwości energetyczno-światłowe liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych zasilanych prądem o różnej częstotliwości” stwierdzam, że praca z spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

Uważam, że Doktorant wykazał się samodzielnością oraz umiejętnością zaplanowania eksperymentu i rozwiązania postawionego problemu badawczego. Przedłożoną do recenzji rozprawę doktorską oceniam bardzo pozytywnie. Dotyczy to zarówno jej strony naukowej, jak i formalnej. Obie nie wzbudzają żadnych wątpliwości. Na szczególną uwagę zasługuje duży nakład pracy Autora podczas wykonania wielu pracochłonnych i czasochłonnych badań laboratoryjnych i analiz w zakresie rejestracji temperatury wnętrza lampy oraz analizy składu morfologicznego luminoforów. Praca doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dotyczącego dyscypliny naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika. Doktorant wykazał znajomość wiedzy teoretycznej w zakresie dyscypliny naukowej oraz przygotowanie do samodzielnego wykonywania prac naukowych, prowadzenia eksperymentu, analizy wyników i formułowania wniosków. Ewidentnie niewielka liczba uchybień w żaden sposób nie obniża jakości pracy doktorskiej z merytorycznego punktu widzenia.

Uwzględniając zapisy Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. 2017 r. poz. 1789) oraz rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 22 września 2011 r. w sprawie szczególnego trybu prowadzenia czynności w przewodach doktorskich oraz w postępowaniu o nadanie tytułu (Dz.U. nr. 204 poz. 1200) oraz spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim, zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce Dz.U. 2022 poz. 574, tekst jednolity ze zm.), **stwierdzam, że sformułowana teza pracy została udowodniona a cele pracy osiągnięte.**

Wnioskuje o przyjęcie i dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Po zapoznaniu się z zawartością rozprawy doktorskiej oraz zasadami wyróżniania rozpraw doktorskich wymaganych przez rady naukowe dyscyplin (Uchwała Nr 94/21 Senatu Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach z dnia 28 kwietnia 2021 r.), **składam wniosek o jej wyróżnienie.**

Uzasadnienie: W ocenie recenzenta przedłożona rozprawa doktorska reprezentuje zdecydowanie ponadprzeciętny poziom w stosunku do wymagań ustawowych. Podjęty przez Autora złożony problem badawczy jest istotny i nieoczywisty. Przyjęte metody i zrealizowany zakres badań, opisany w niniejszej recenzji, pozwoliły na ociążenie efektów naukowych jak i sformułowania zaleceń aplikacyjnych. Zawarte w rozprawie aspekty poznawcze stanowią godny uwagi wkład w rozwój metod wspomagających projektowanie źródeł światła. Uzyskane przez Autora wyniki mogą przyczynić się do zwiększenia jakości stosowanych rozwiązań technicznych i utrzymania zakładanych parametrów energetycznych i oświetleniowych. Należy dążyć do wdrożenia zawartych w rozprawie osiągnięć Autora poprzez nawiązanie ścisłej współpracy z producentami wyładowczych liniowych niskociśnieniowych rtęciowych lamp wyładowczych, także w kontekście prowadzenia dalszych prac badawczych nad luminoforami.



dr hab. inż. Piotr Tomczuk, prof. uczelni