

**Ocena**  
pracy doktorskiej  
**mgr inż. Sławomira Sowy**  
pt. „**POPRAWA EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ**  
**INSTALACJI OŚWIETLENIOWYCH**  
**W OBIEKTACH UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ**”  
wykonanej pod kierunkiem naukowym:  
promotora: dra hab. inż. Jarosława Gielniaka, prof. PP,  
oraz  
promotora pomocniczego: dra inż. Grzegorza Dombka.

Ocenę wykonano na prośbę Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej na podstawie uchwały podjętej na posiedzeniu w dniu 17 września 2024 r.

## **1. Wprowadzenie**

Poprawa efektywności energetycznej to słowa kluczowe, które są obecnie używane zarówno w odniesieniu do przemysłu, transportu, korzystania z budynków użyteczności publicznej, jak i domów mieszkalnych. Nie oznacza to jednak, że bezwzględnie zmniejszenia zużycia energii, a raczej jej lepsze, czyli efektywniejsze wykorzystanie. Ponieważ nasza aktywność życiowa rozciąga się na dużo dłuższe godziny, niż trwa dzień, ponadto mieszkamy w strefie geograficznej, gdzie przez dużą część roku mamy niedobór światła słonecznego to jesteśmy zmuszeni do korzystania ze sztucznego oświetlenia. Jest to też potrzebne, aby zapewnić właściwy komfort i bezpieczeństwo pracy, nauki i odpoczynku. W przypadku prywatnych domów i mieszkań możemy dostosować oświetlenie do naszych indywidualnych potrzeb, nie ma też w tym zakresie przepisów regulujących zasady zapewnienia minimalnego oświetlenia. Ponadto już od szeregu lat mamy możliwość korzystania z bardzo efektywnych źródeł oświetlenia jakimi są żarówki ledowe, które zużywają w stosunku do pozostałych odbiorników bardzo mało energii elektrycznej. Natomiast jeżeli chodzi o sferę publiczną, a w szczególności o szkoły, wymagania co do oświetlenia są ściśle określone odpowiednimi przepisami. Wymagają one stosowania relatywnie silnych źródeł światła i wykorzystując nawet

nowoczesne i efektywne urządzenia zużycie energii może być stosunkowo duże, co pociąga automatycznie duże koszty ich użytkowania.

Ważne jest zatem, aby w możliwie największym zakresie wykorzystywać naturalne światło słoneczne, które z uwagi na szeroki zakres widma oddziałuje bardzo korzystnie na nasze samopoczucie, wzrok, zdolność do pracy itp., ponadto jest dostępne za darmo. Większość czasu pracy szkół, urzędów i innych przestrzeni dostępnych publicznie zachodzi w ciągu dnia, gdy światło słoneczne jest dostępne, naturalnymi ograniczeniami będzie zmienna długość dnia oraz pogoda. Światłem sztucznym powinniśmy się wspomagać tylko wówczas, gdy jest to konieczne.

W świetle tych kilku dość oczywistych uwag temat rozprawy doktorskiej mgra Sławomira Sowy jest niezwykle użyteczny i potrzebny. Dotyczy ona właśnie efektywniejszego wykorzystania światła sztucznego poprzez zastosowanie automatyki sterującej, która będzie uwzględniać mierzone w czasie rzeczywistym natężenie docierającego światła słonecznego. Zapewni zatem niezbędny i regulowany przepisami komfort pracy lub nauki, dostosowując ilość światła sztucznego ściśle do chwilowych potrzeb.

## **2. Merytoryczna ocena pracy**

Ocenę pracy zacznę od jej tytułu, który w mojej opinii jest sformułowany właściwie i dobrze oddaje tematykę, jaką w swojej dysertacji zawarł mgr Sławomir Sowa.

Praca składa się z siedmiu merytorycznych rozdziałów oraz spisu wykorzystanej literatury. Rozdział pierwszy to wstęp, drugi zatytułowany „oświetlenie w aspekcie efektywności energetycznej budynku” należy traktować jako przegląd literatury. Według mnie zbyt dużo miejsca poświęcono efektywności energetycznej budynków jako całości. Doktorant powinien tylko pobieżnie omówić efektywność dotyczącą budynków a pozostawić omówienie efektywności energetycznej i wydajności dotyczących oświetlenia.

W drugiej części tego rozdziału zajęto się już wyłącznie oświetleniem, co jest właściwe. Mam jednak kilka uwag. Teoretyczne rozważania na temat oświetlenia, czyli definicje podstawowych związanych ze światłem pojęć, kryteria definiujące jakość oświetlenia w pomieszczeniach, wykorzystanie światła dziennego, doświetlanie wewnątrz i czynniki wpływające na dostępność światła w pomieszczeniach rozmieszczono aż w trzech podrozdziałach. Powoduje to pewien chaos oraz powielenie definicji, np. luminancji. Byłoby lepiej, gdyby ten materiał omówić w jednym podrozdziale.

Nie podobają mi się podrozdziały zatytułowane „analiza i wybór metod pomiaru natężenia oświetlenia” oraz „przrzędy pomiarowe parametrów oświetlenia pomieszczeń”. W obecnej postaci podrozdziały te są po prostu zbiorem ogólników pochodzących z literatury fachowej. Dobrze oceniam podrozdział dotyczący sztucznych źródeł światła, byłby jeszcze ciekawszy,

gdyby uzupełnić go ilustracjami i informacjami na temat zużycia energii i kosztów opisanych urządzeń.

Kolejny podrozdział dotyczy sterowania oświetleniem sztucznym wewnątrz pomieszczeń. Część dotycząca różnych sposobów sterowania oświetleniem jest przejrzysta i zasługuje na pozytywną ocenę. Niestety część dotycząca systemu KNX jest trudna do przyjęcia, głównie z powodu używania przez doktoranta bardzo specyficznej terminologii. Jest ona prawdopodobnie stosowana w instrukcjach producenta systemu, ale dla osoby nie znającej tej terminologii całość opisu jest niezrozumiała. Podobnie w schematach ideowych układów sterujących oświetleniem stosowane są symbole bez podania ich znaczenia. W mojej opinii KNX jest bardzo interesującym systemem i dobrze, że został on w tej pracy wykorzystany. Niestety z powodu wyżej wymienionych przyczyn opis idei jego funkcjonowania jest mało zrozumiały.

### **Sformułowanie celu i tezy rozprawy**

Cel pracy, którym cytując za doktorantem było „opracowanie algorytmu sterowania oświetleniem, który zapewni spełnienie wymaganych parametrów oświetleniowych miejsc pracy wzrokowej w obiektach użyteczności publicznej, przy jednoczesnym, maksymalnym wykorzystaniu światła dziennego” został według mnie bardzo jasno i logicznie sformułowany, a jego realizacja poprawi efektywność energetyczną instalacji oświetleniowych, co z kolei zawarto w tytule pracy. Na podstawie celu doktorant wyodrębnił problemy naukowe które powinny zostać rozwiązane, tj. znalezienie zależności opisujących zmienność natężenia światła dziennego w pomieszczeniu i wykonanie oraz zaimplementowanie układu i algorytmu sterowania oświetleniem sztucznym. Wspomniane problemy naukowe podzielił z kolei na szereg pytań na które należało znaleźć odpowiedzi, aby je rozwiązać. W mojej opinii ta konstrukcja jest trochę sztuczna i lepiej byłoby, aby wymienione problemy połączyć ze stawianymi pytaniami.

Bardzo dobrze oceniam postawioną tezę, która mówi, że wykorzystując znalezione zależności w algorytmie sterowania oświetleniem, można poprawić efektywność energetyczną. Na podstawie celu i konieczności udowodnienia tezy pracy zaplanowano i wykonano szereg zadań, które wyczerpują zakres pracy. Tu z kolei mam uwagę odwrotną do wcześniejszej, w drugim punkcie połączono trzy różne zadania, czyli zaprojektowanie i wykonanie tzw. matrycy pomiarowej, wykonanie pomiarów i znalezienie zależności matematycznych. Lepiej byłoby je jednak rozdzielić.

Pomimo wyrażonych uwag uważam, że zarówno cel jak i teza pracy zostały określone prawidłowo.

W kolejnym podrozdziale, jako wynikającą z celu, doktorant przedstawił koncepcję pracy układu sterowania oświetleniem. Zakłada on, że system na podstawie pojedynczego pomiaru natężenia oświetlenia naturalnego w sali będzie sterował pracą sztucznych źródeł światła, tak

aby w efekcie uzyskać komfortowy dla użytkowników i spełniający normy rozkład światła w całym pomieszczeniu. Aby to wykonać konieczne jest znalezienie funkcji opisujących rozkład natężenia światła naturalnego wewnątrz pomieszczenia na podstawie odległości od linii okien oraz pomiaru natężenia wykonywanego w jednym punkcie. Koncepcja jest sformułowana właściwie, jednak w tekście pojawiły się niepotrzebne informacje o „danych zapisanych w pamięci systemu”, w istocie chodzi o wspomniane powyżej funkcje.

### **Badania i analizy uzyskanych wyników**

Podrozdział dotyczący wyboru metody badawczej uważam za niepotrzebny tym bardziej, że informacje w nim zawarte są później powtórzone w rozdziale 5.3 dotyczącym bezprzewodowej matrycy fotometrycznej.

Dobrze oceniam opis miejsc prowadzenia badań. Omówiony został budynek szkoły oraz sale w których będą prowadzone badania. Rozdział jest jednak zbyt długi. Uważam, że można by go znacząco skrócić nie tracąc ważnych informacji. Źle został sformułowany tytuł, bo oprócz miejsca prowadzenia badań dodana jest fraza „i implementacji systemu sterowania oświetleniem”, którego nie ma w tym rozdziale.

W wspomnianym już rozdziale 5.3 doktorant dość wyczerpująco omówił budowę i działanie bezprzewodowej matrycy fotometrycznej. Nie ustrzegł się jednak usterek polegających na używaniu bardzo specjalistycznej terminologii, bez uprzedniego zdefiniowania pojęć oraz podawania szczegółów pracy poszczególnych elementów systemu nieistotnych z punktu widzenia całości pracy.

W metodologii pomiarów doktorant podaje wzór na ustalenie ilości punktów pomiarowych, niestety nie podaje jego pochodzenia lub sposobu wyprowadzenia. Uzasadnia też konieczność stosowania do pomiarów matrycy pomiarowej zamiast ręcznego luksomierza m.in. wysoką zmiennością natężenia promieniowania w pomieszczeniu w wyniku zmian stanu pogody. Chciałbym, aby podczas obrony wskazał pochodzenie wspomnianego wzoru i uzasadnił zastosowanie oraz podał ilość powtórzeń pomiarów i czas w jakim były wykonywane w trakcie jednej sesji pomiarowej.

W rozdziale 5.4 doktorant przedstawia wyniki uzyskane z pomiarów. Rozpoczyna od rycin z wynikami pomiarów wykonywanych ręcznie oraz za pomocą matrycy pomiarowej, różnice uzasadniają użycie matrycy pomiarowej. Kolejne rysunki to ilustracje wyników pomiarów w poszczególnych miesiącach oraz zebrane wartości średnie dla kolejnych miesięcy. Pojawia się tu szereg nieścisłości, które zazaczyłem bezpośrednio w tekście pracy. Chciałbym natomiast, aby w trakcie obrony pracy doktorant podał więcej informacji na temat terminów pomiarów, czy były wykonywane systematycznie, czy z powodu ograniczeń organizacyjnych trudno było utrzymać ich regularność. Na podstawie ilu pomiarów i warunków ich wykonywania (czas, stan pogody) były wyznaczane średnie.

Rozdział 6 to właściwie najważniejsza część pracy w której doktorant opisuje jak wyniki uzyskanych pomiarów przekłada na system sterowania oświetleniem. Uważam, że rozdział jest dobrze napisany, doktorant przedstawił jak zbudowany jest system oraz co najważniejsze jak wyprowadza formuły, które w zależności od zmierzonego oświetlenia naturalnego w punkcie Pr oraz odległości od okna posłużą do szacowania natężenia światła. Jeśli szacowane natężenie wypadnie poniżej 500 luksów to system włączy odpowiedni rząd oświetlenia. Chciałbym, aby doktorant wyjaśnił czy schematy 6.2 i 6.12 się różnią, wg mnie pokazują ten sam system i może lepiej byłoby zrezygnować z jednego z nich. Niestety doktorant ponownie opisując system KNX używa specyficznego i niezrozumiałego języka – sugeruję, aby na obronie wyjaśnił to w bardziej przejrzysty sposób.

Rozdział 6.4 dotyczący weryfikacji opracowanego układu sterowania jest w wielu miejscach niejasny. Pierwsze to zastanawiające jest dlaczego szacowane i mierzone natężenie światła tak bardzo różnią się w odległości mniejszej niż 3 do 4 metrów od okien. Drugie to na podstawie jakich danych powstał rysunek 6.16, nie zauważyłem informacji o pomiarach z działającym systemem, być może są to symulacje doktoranta. Tu również prosił bym o wyjaśnienie w trakcie obrony doktoratu.

Kolejny rozdział dotyczy możliwych oszczędności energii wynikających z zastosowania opracowanego układu sterowania. Rozdział zaczyna się jednak od rozważań na temat sterowania oświetleniem za pomocą progów mierzonego natężenia oświetlenia na zewnątrz budynku jak i wewnątrz, a nie tak jak wcześniej za pomocą opracowanych formuł. Uważam, że ta część pracy to nadal analiza przeprowadzonych badań i powinna znaleźć się we wcześniejszych fragmentach pracy. Wyjaśnienia wymaga pochodzenie danych w tabeli 6.2 szczególnie natężenie oświetlenia zewnętrznego i wewnętrznego, ponieważ raczej nie pochodzą one z danych matrycy pomiarowej. Kolejne informacje dotyczą topologii budynku i możliwego do zastosowania systemu sterującego, w mojej opinii powinny zostać znacząco skrócone. Bardzo ciekawe i ważne wyniki przedstawiono w tabeli 6.4, dotyczą one możliwych do poczynienia oszczędności energii w zależności od zastosowanego wariantu sterowania. Wyjaśnienia wymaga określenie czasu pracy oświetlenia w przyjętych trzech wariantach. Kolejne fragmenty to obliczenia dotyczące kosztów i ich zmniejszania dla różnych wariantów sterowania oświetleniem oraz wykresy ilustrujące te wyniki. Są to ciekawe fragmenty pracy zilustrowane szeregiem przejrzystych rysunków. Wyjaśnienia wymagają rysunki 6.21 i 6.22, które dotyczą oszczędności zużycia energii dla dwu różnych scenariuszy (I dla całego obiektu i II dla sal lekcyjnych), niezrozumiałe jest dlaczego doktorant przyjął taki podział, gdy wcześniej była mowa o wariantach ON/OFF i KNX.

Ostatni fragment pracy dotyczy ekonomicznych aspektów wdrożenia systemu sterowania oświetleniem, opisano tu szereg wskaźników i przedstawiono wykres dla metody NPV.

Doktorant cytuje w pracy ponad 150 pozycji literatury, wszystkie pochodzą z ostatnich kilkunastu lat. Odnosi się do zawartych w nich treści głównie w pierwszej części pracy, brakuje mi jednak na zakończenie dyskusji uzyskanych wyników z rezultatami przedstawianymi w innych pracach. Warto, aby w trakcie obrony choć w kilku punktach doktorant zrobił takie odniesienia.

Na podstawie wykonanej pracy doktorant sformułował trzy dobrze uzasadnione stwierdzenia oraz trzy wnioski. Ten podział wydaje mi się trochę sztuczny tym bardziej, że owe trzy wnioski nie są zbyt dobrze uzasadnione w treści pracy.

### **3. Ocena redakcyjnej strony rozprawy**

Praca została zredagowana na zadawalającym poziomie, język jest poprawny i logiczny, rysunki czytelne. Zauważone usterki i nieścisłości lub błędy zaznaczyłem bezpośrednio w egzemplarzu pracy, który udostępnię doktorantowi.

### **4. Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska mgra Sławomira Sowy wskazuje jak efektywniej wykorzystać światło sztuczne poprzez zastosowanie automatyki sterującej, która będzie uwzględniać mierzone w czasie rzeczywistym natężenie docierającego światła słonecznego. Zaprojektowanym i wykonanym przez siebie systemem wykonał niezbędne pomiary natężenia światła naturalnego wewnątrz pomieszczeń, co pozwoliło mu sparametryzować jego rozkład lub wyznaczyć wartości progowe od których konieczne jest włączenie sztucznego oświetlenia. Kolejnym krokiem była implementacja uzyskanych rezultatów do systemu sterującego oświetleniem sztucznym. Na zakończenie oszacował możliwe do uzyskania oszczędności energii dla przykładowego budynku szkolnego wraz z ekonomiczną analizą wyników. Podkreślenia wymaga, że jest to ewidentnie autorska i bardzo samodzielna praca mgra inż. Sławomira Sowy. Praca w pełni spełnia zatem wymogi stawiane doktoratom, zawiera szereg nieścisłości, które opisałem we fragmentach dotyczących jej oceny merytorycznej i jestem przekonany, że zostaną one wyjaśnione przez doktoranta w trakcie obrony rozprawy i odpowiedzi na pytania.

**Reasumując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa, zgodnie z prawem określonym w ustawie z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 poz. 742) spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez obowiązujące przepisy prawne. Wnoszę zatem do Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Poznańskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.**

dr hab. Jacek Leśny  
prof. UPWR